
**Um novo método para auferição de
características de cascas de ovos utilizando
processamento de imagens**

Marcos Paulo Souza Tomé



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Uberlândia
2023

Marcos Paulo Souza Tomé

**Um novo método para auferição de
características de cascas de ovos utilizando
processamento de imagens**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Área de concentração: Processamento Digital de Imagens

Orientador: Mauricio Cunha Escarpinati

Coorientador: Bruno Augusto Nassif Travençolo

Uberlândia

2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

T656 2024	<p>Tomé, Marcos Paulo Souza, 1992- Um novo método para auferição de características de cascas de ovos utilizando processamento de imagens [recurso eletrônico] / Marcos Paulo Souza Tomé. - 2024.</p> <p>Orientador: Maurício Cunha Escarpinati. Coorientador: Bruno Augusto Nassif Travençolo. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Ciência da Computação. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.53 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Computação. I. Escarpinati, Maurício Cunha, 1976-, (Orient.). II. Travençolo, Bruno Augusto Nassif, 1981-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Ciência da Computação. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 681.3</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1A, Sala 243 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4470 - www.ppgco.facom.ufu.br - cpgfacom@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ciência da Computação				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado, 4/2024, PPGCO				
Data:	23 de janeiro de 2024	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	10:20
Matrícula do Discente:	12112CCP021				
Nome do Discente:	Marcos Paulo Souza Tomé				
Título do Trabalho:	Um novo método para auferição de características de cascas de ovos utilizando processamento de imagens				
Área de concentração:	Ciência da Computação				
Linha de pesquisa:	Ciência de Dados				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	-				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, assim composta:

Professores Doutores: Bruno Augusto Nassif Travençolo -

(coorientador)- FACOM/UFU, André Ricardo Backes- FACOM/UFU, Paulo Sérgio Silva Rodrigues - Centro Universitário FEI e Maurício Cunha Escarpinati- FACOM/UFU, orientador do candidato.

Os examinadores participaram desde as seguintes localidades: Paulo Sérgio Silva Rodrigues - São Bernardo do Campo/SP e André Ricardo Backes - São Carlos/SP. Os outros membros da banca e o aluno participaram da cidade de Uberlândia.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Prof . Dr. Maurício Cunha Escarpinati, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Augusto Nassif Travençolo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 23/01/2024, às 14:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Sergio Rodrigues, Usuário Externo**, em 24/01/2024, às 13:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Ricardo Backes, Usuário Externo**, em 24/01/2024, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mauricio Cunha Escarpinati, Professor(a) do Magistério Superior**, em 24/01/2024, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5095605** e o código CRC **641B268B**.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a esta Universidade por ter me acolhido, proporcionado os meios e sido casa propícia para que eu me aventurasse em mais uma empreitada. Agradeço também ao Jocival Dias, Otávio Olivieri e Thomas Calil por terem contribuído com este projeto e à empresa Lohmann Breeders GmbH por terem fornecido ovos para os testes aqui desempenhados. Agradeço, por fim, a todos aqueles que, a despeito de mim mesmo, acreditaram na minha capacidade para chegar até o fim desta empreitada. Agradeço aos meus orientadores por terem sido pais em todo o processo árduo de dar à luz este mestrado, agradeço aos meus professores que insistiram que eu desse este passo e agradeço a todos os parentes e amigos que tiveram que ouvir minha procissão interminável de lamentos nestes anos.

*“Entenda bem como eu, minha compreensão só pode ser uma fração infinitesimal de
tudo que eu quero entender.”
(Ada Lovelace)*

Resumo

As características geométricas e visuais das cascas dos ovos de aves são objetos de estudo há mais de meio século, pois permitem determinar a salubridade do ovo e sua adequação às diversas etapas da cadeia produtiva. Este trabalho propõe um método não destrutivo e de baixo custo (aqui batizado de EggScale) para aferição das características dimensionais e de coloração da casca de ovos, ambos fatores envolvidos na determinação da eclodibilidade destes ovos. Um aparato de captura foi projetada para aquisição das imagens em condições estáveis de iluminação e, a partir do processamento das imagens obtidas, foi possível extrair com precisão as medidas de comprimento e largura máxima dos ovos (erro médio de 1,64mm e 1,83mm, respectivamente) utilizando técnicas de detecção de objetos e identificação de seus pontos de borda. O volume foi estimado a partir do cálculo de troncos de cone baseado nas medidas de comprimento e largura máxima identificados através do processamento das imagens. Boas taxas de precisão foram alcançadas, com uma taxa de erro média de 4,27ml com desvio padrão de 2,16 no pior caso, inclusive alcançando-se resultados melhores que aqueles obtidos pelo método estabelecido por Narushin (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b) e utilizado como base de avaliação dos resultados. Também foi proposto um método para análise de cor de casca de ovo. Esta análise provou-se mais desafiadora, porém, pois os dados obtidos indicaram baixa confiabilidade no estabelecimento de um padrão de referência, dado o alto nível de subjetividade envolvido na percepção das cores pelos avaliadores humanos.

Palavras-chave: Avaliação de casca de ovos; Processamento de Imagem; Visão Computacional.

Abstract

The geometric and visual characteristics of bird egg shells have been objects of study for more than half a century, as they allow us to determine the healthiness of the egg and its suitability for the various stages of the production chain. This work proposes a non-destructive and low-cost method (named here as EggScale) for measuring the dimensional and color characteristics of eggshells, both factors involved in determining the hatchability of these eggs. A capture apparatus was designed to acquire images under stable lighting conditions and, from the processing of the images obtained, it was possible to accurately extract the length and maximum width measurements of the eggs (average error of 1.64mm and 1.83mm , respectively) using object detection techniques and identification of their edge points. The volume was estimated from the calculation of cone frustums based on the maximum length and width measurements identified through image processing. Good accuracy rates were achieved, with an average error rate of 4.27ml with a standard deviation of 2.16 in the worst case, even achieving better results than those obtained by the method established by Narushin (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b) and used as a basis for evaluating results. A method for analyzing eggshell color was also proposed. This analysis proved more challenging, however, as the data obtained indicated low reliability in establishing a reference standard, given the high level of subjectivity involved in color perception by human evaluators.

Keywords: Eggshel characteristics evaluation; Image processing; Computer Vision.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	16
1.2	Objetivos Gerais	16
1.3	Objetivos Específicos	17
1.4	Organização do trabalho	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Definição das características de interesse para a casca do ovo .	19
2.2	Processamento de Imagens	21
2.2.1	Aquisição da imagem	23
2.2.2	Pré-processamento	26
2.2.3	Segmentação	33
2.2.4	Representação e descrição	37
2.2.5	Reconhecimento e interpretação	38
3	TRABALHOS CORRELATOS	40
3.1	(VASILEVA et al., 2018)	40
3.2	(ALIKHANOV et al., 2019)	46
3.3	(NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b)	49
3.4	Carneiro et al. (2016)	52
4	METODOLOGIA	56
4.1	Materiais	56
4.1.1	Aparato de aquisição de imagens	56
4.1.2	Conjunto de dados	57
4.1.3	Conjunto de dados 1: Dimensões dos ovos	58
4.1.4	Conjunto de dados 2: Cor da casca	59
4.2	Métodos	60

4.2.1	Captura da imagem	60
4.2.2	Segmentação assistida dos ovos	60
4.2.3	Detecção de bordas e cálculo das dimensões	62
4.2.4	Cálculo do volume do ovo a partir dos troncos de cone	63
4.3	Levantamento de características de cor	65
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
5.1	Análise das características físicas dimensionais	68
5.2	Análise da coloração das cascas	70
6	CONCLUSÃO	77
6.1	Trabalhos Futuros	79
	REFERÊNCIAS	80

Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema das etapas do processamento digital de imagens	23
Figura 2 – Distribuição das ondas no espectro eletromagnético. Fonte:(EDUCACAO, 2023)	25
Figura 3 – Processo de aquisição de imagem por dispositivo utilizando sensores matriciais	26
Figura 4 – Ilustração do espaço de cores RGB na forma de cubo	28
Figura 5 –	30
Figura 6 – Elemento estruturante em matriz de <i>pixels</i>	31
Figura 7 – Ilustração do processo de erosão com elemento estruturante.	32
Figura 8 – Exemplo de filtragem mediana.	33
Figura 9 – (a) Imagem com região de intensidade constante. (b) Imagem da borda do objeto. (c) Resultado da segmentação da imagem em duas regiões. (d) Imagem com uma região com textura. (e) Resultado do cálculo da borda. (f) Resultado da segmentação baseada nas propriedades da região. Imagem adaptada de (GONZALEZ; WOODS, 2009)	34
Figura 10 – Exemplos de histogramas e suas imagens	36
Figura 11 – Funcionamento do algoritmo Marching Squares. Imagem adaptada de (MARCHING...,).	37
Figura 12 – Ilustração dos primeiros passos do algoritmo seguidor de fronteira. O ponto a ser processado a seguir é indicado em preto, os pontos que ainda serão processados são cinza e os pontos encontrados pelo algoritmo são indicados como quadrados cinza. - imagem adaptada de (GONZALEZ; WOODS, 2009)	39
Figura 13 – Câmara de captura. Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018).	41
Figura 14 – Processo de captura da imagem (Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018)).	42
Figura 15 – Dispersão da diferença entre os valores de raio medidos manualmente e pelo método proposto	43

Figura 16 – Valores de índices de formato medidos em comparação com o Índice dado e Índice proposto	44
Figura 17 – Classificação de Formato do Ovo. Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018)	45
Figura 18 – Classificação de Classes de Manchamento. Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018)	45
Figura 19 – Matriz de confusão dos resultados obtidos para nível de manchamento das cascas dos ovos Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018). . .	46
Figura 20 – Resultados da avaliação por especialista e classificação por máquina no regime de 2 ovos por segundo. Figura Adaptada de (ALIKHANOV et al., 2019)).	48
Figura 21 – Resultados da avaliação por especialista e classificação por máquina no regime de 3 ovos por segundo. Figura adaptada de (ALIKHANOV et al., 2019)).	48
Figura 22 – Valores de integrais da equação 16	51
Figura 23 – Análise de cor da gema no trabalho de Carneiro et. al.	54
Figura 24 – Mapa de erro entre classificações.	55
Figura 25 – Aparato de aquisição das imagens. (a)-(c) Projeto das dimensões da câmara e da gaveta; (d)-(f) Projeto da gaveta destacada da câmara; (g)-(i) Câmara de captura.	57
Figura 26 – Exemplo de bandeja de ovos capturada na câmara.	58
Figura 27 – Processo de estimativa do volume dos ovos utilizando-se de um béquer. (a) Imagem anterior à deposição do ovo no béquer (b) Imagem posterior à deposição do ovo no béquer. O volume é estimado pela quantidade de líquido deslocada.	59
Figura 28 – Paleta colorímetro padrão fornecida pela Lohmann Breedere GmbH. . .	60
Figura 29 – Passos do algoritmo para cálculo das características físicas dos ovos. . .	61
Figura 30 – Bandeja de ovos com linhas e colunas determinando cada subimagem a ser trabalhada.	61
Figura 31 – Passos do processo de identificação das dimensões do ovo. (a) Ovo originalmente identificado. (b) Objeto segmentado na imagem. (c) Detecção do contorno do ovo. (d) Processo de identificação da maior linha entre dois pontos do contorno. (e) Processo de identificação da maior linha entre dois pontos do contorno perpendicular à linha identificada no passo anterior. (e) Largura máxima e comprimento identificados. . .	62
Figura 32 – Cômputo das dimensões do ovo. (a) Pontos da borda do ovo. (b) Eixo primário L determinado pela maior distância entre um par de pontos da borda. (c) Eixo secundário determinado pelo maior segmento perpendicular a L	63

Figura 33 – Tronco de cone extraído da secção horizontal do ovo.	64
Figura 34 – Ovo segmentado e com ambos os eixos determinados.	65
Figura 35 – Screenshot do sistema utilizado para classificação das cores de cascas de ovos pelos avaliadores humanos.	66
Figura 36 – Definição da área de interesse da casca do ovo para extração de informação de cor.	67
Figura 37 – Dispersão das medições de volume.	70
Figura 38 – Distribuição de ovos por classe de cor por avaliador.	71
Figura 39 – Variância do teste de repetibilidade na análise visual pelo Avaliador 1.	72
Figura 40 – Variância do teste de repetibilidade na análise visual pelo Avaliador 2.	73
Figura 41 – Variância por ovo com a inclusão dos outliers <i>EggScale</i>	74
Figura 42 – Variância por ovo excluindo-se os outliers <i>EggScale</i>	75
Figura 43 – Distribuição dos valores de comprimento de onda no levantamento do <i>EggScale</i> para cada cor de casca dos ovos e para cada cor da paleta.	76

Lista de tabelas

Tabela 1 – Teste de repetibilidade - erro de mensuração.	69
Tabela 2 – Teste de Acurácia - erro de mensuração.	69
Tabela 3 – Análise comparativa entre a fórmula de Narushin (NARUSHIN; RO-MANOV; GRIFFIN, 2021b) e o método proposto.	70

Introdução

Ovos de galinha constituem um dos alimentos mais consumidos pelas populações de diversos países no mundo. Esta predileção pelo consumo de ovos pode ser primariamente relacionada a fatores como seu alto valor nutricional e baixo custo, e o processamento destes ovos nas indústrias granjeiras tem grande importância para a indústria de alimentos. Nesse contexto, a principal etapa do processamento de ovos é a classificação destes ovos segundo sua qualidade estimada (VASILEVA et al., 2018). A qualidade da casca dos ovos é um fator de considerável relevância comercial para produtores devido ao fato de que, frequentemente, a baixa qualidade da casca resulta na perda destes ovos (YANG; WANG; LU, 2009).

As características da casca de ovos podem ser medidas de maneira objetiva ou subjetiva. Nesta última, pesam os fatores culturais envolvidos na relação do indivíduo com a escolha de alimentos percebidos por ele como mais adequados nutricionalmente, por exemplo: ovos de casca marrom são comumente preferidos na Austrália e na Europa Ocidental, enquanto ovos brancos e marrons são igualmente preferíveis na Alemanha, Holanda e Espanha. Em geral, ovos de coloração marrom uniforme são preferidos em detrimento de ovos manchados ou pálidos. Além disso, a cor da casca do ovo e manchas podem ser medidas de estresse e condições de doença. Cascas anormalmente finas ou de coloração pálida normalmente estão associadas a estes fatores (MILOVANOVIC et al., 2021).

Apesar da tendência à mecanização de diversas etapas na cadeia produtiva destas indústrias, o processo de classificação e seleção de ovos, em muitos casos, ainda é feito de forma manual. A inspeção visual humana é normalmente realizada a uma taxa de até 12 ovos por segundo em uma inspeção de alta velocidade em fábricas de niveladoras/empacotadoras. Assim, qualquer automação no processo de inspeção levaria a uma redução do estresse visual dos encarregados desta classificação e a uma melhoria do processo de controle de qualidade (GARCÍA-ALEGRE et al., 1997).

Diversos fatores são considerados ao se adereçar a qualidade de um ovo, notadamente: as suas dimensões, a coloração da casca, a presença de manchas de diversas sortes, a porosidade e a diferença de espessura da casca além da presença de rachaduras. A consideração

desses fatores orienta o processo de decisão relativo tanto ao potencial destes ovos para o consumo quanto para a reprodução. Enquanto fatores como a presença de manchas (que podem indicar contaminações fúngicas ou bacterianas) e a presença de rachaduras influenciam primariamente a adequabilidade daquele ovo para o consumo humano. Outras características como coloração, porosidade e espessura da casca, assim como as dimensões do ovo, constituem fatores determinantes para aferição do potencial de eclosão destes ovos (VASILEVA et al., 2018).

O potencial de eclodibilidade de ovos é um fator de suma importância nas cadeias produtivas de criadores aviários, dada a necessidade de manutenção de um alto patamar de oferta de pintinhos com um dia de idade (KING'ORI et al., 2011). Diversos estudos têm sido realizados na tentativa de determinar os fatores que influenciam este potencial. Narushin's et. al. V.G. (NARUSHIN; ROMANOV, 2002) apontaram que, dentre as características mais importantes para a determinação do potencial de eclosão de um ovo estão o seu peso, a espessura e nível de porosidade da casca, suas dimensões (na forma da proporção entre a largura e altura máximas), e a consistência de seus conteúdos internos. Outras características como o genótipo, a idade da galinha, o tempo de estocagem e o tipo de incubadora foram indicados em (GROCHOWSKA et al., 2019) como fatores de influência para a eclodibilidade. Leticia Orellana et. al. em (ORELLANA et al., 2023) investigaram a relação da coloração das cascas de ovos com sua eclodibilidade tendo seu estudo apontado um incremento nesta relacionado às colorações mais escuras da casca, indicativos também de uma maior densidade da casca e peso dos ovos. Por fim, A.M. King'ori aponta em (KING'ORI et al., 2011) mais fatores externos que influenciam no sucesso reprodutivo, tendo o seu estudo indicado que, além das características físicas do ovo, uma dieta adequada para as galinhas e o controle de temperatura para se evitar stress térmico (que pode influenciar as características interiores do ovo) também são fatores que podem influenciar seu potencial de eclosão.

As técnicas para aferição das características de um ovo que podem indicar um maior potencial para eclosão se dividem em técnicas destrutivas e não destrutivas. Uma vez que a aferição de características de forma destrutiva implica a perda do ovo estudado é, por evidente, de grande interesse a proposição de técnicas que possam levantar características de forma a preservar o embrião.

Neste contexto, a utilização de ferramentas de Visão Computacional têm se mostrado eficientes e adequadas para este objetivo. Diversos trabalhos foram publicados, nos últimos anos, propondo algoritmos de Visão Computacional para a utilização em processos da indústria aviária. Tais processos incluem inspeção de segurança; monitoramento, avaliação e predição de frescor; inspeção de qualidade; caracterização e inspeção de saúde; detecção de defeitos e sujeira e a classificação de ovos; estimativa de peso, volume e frescor de ovos; e classificação e separação de ovos (NYALALA et al., 2021).

Vasileva et. al. (2018) (VASILEVA et al., 2018) propuseram um aparato de captura

consistindo de uma câmera acoplada a uma estrutura de madeira contendo diversos LED's dispostos em duas camadas, uma acima do receptáculo do ovo e uma abaixo, combinados com difusores de luz para garantir uniformidade da iluminação e em que os modos de iluminação eram controlados por um microcontrolador. A partir das imagens obtidas nesta câmara, levantaram-se as características morfológicas do ovo, possibilitando o cálculo de seu índice de formato, seguindo a classificação de dois manuais (o *USDA Egg Grading Manual* e *The Russian Guide*), além no nível de manchamento da casca do ovo. A comparação dos resultados obtidos pelo método proposto com aqueles obtidos pelo método manual tradicional mostraram uma diferença de valores médios de raio entre $0,095 \pm 0,058$ mm para a extremidade aguda e $0,080 \pm 0,047$ mm para a extremidade chata do ovo com desvio padrão de 0,58 mm e 0,49 mm, respectivamente. O coeficiente de correlação entre os índices de formato determinados pelos dois métodos foi de 0,93 e a taxa de precisão da estimativa de nível de manchamento foi de 0,78 em comparação com a classificação realizada por especialista. Apesar dos bons resultados obtidos, a alta complexidade dos aparatos para aquisição das imagens, os custos envolvidos na produção destes são elevados, tornando, em muitos casos, a sua utilização demasiadamente onerosa.

Jakhfer Alikhanov et al. (2019) (ALIKHANOV et al., 2019) apresentaram um método para classificação automatizada de ovos utilizando-se do levantamento de algumas de suas características, nomeadamente as dimensões do eixo maior e menor, área, perímetro, o índice e o fator de forma. Utilizou-se uma máquina classificadora industrial modificada onde os ovos eram dispostos em esteira passando por uma zona de captura acoplada a uma controladora que fazia a análise dos ovos a partir do algoritmo proposto e estes ovos então eram direcionados a partir da utilização de tubos pneumáticos. Nesse trabalho, foi proposto um modelo matemático para o cálculo do volume dos ovos baseado em análise regressiva realizada para determinar qual característica morfológica levantada apresentava maior relação com o volume. Os resultados apresentados atingiram uma taxa de precisão da classificação entre 91,53 e 98,33% para a velocidade de dois ovos por segundo e entre 88,33 e 93,45% para a velocidade de três ovos por segundo.

Apesar das altas taxas de precisão, não fica clara a indicação do método utilizado em (ALIKHANOV et al., 2019) para a determinação da área dos ovos, característica esta que foi determinante na aferição do resultado final, haja vista a análise regressiva que originou o modelo proposto ter indicado a medida da área como a medida de maior correlação com o volume e resultando em um modelo baseado nesta característica levantada para cálculo do volume do ovo.

Desta forma, o presente trabalho tem como proposta a apresentação de um método automatizado e não destrutivo para o levantamento de características importantes para a determinação do potencial de eclosão de forma a alimentar futuros estudos da área e potencialmente proporcionar que tais análises sejam feitas de maneira mais célere e precisa em incubadoras componentes da cadeia produtiva de produtos aviários. Este trabalho

focará em três proposições: (i) a proposição de um aparato simples e de baixo custo para aquisição das imagens que possibilita o tratamento de diversos ovos por lote de maneira célere; (ii) um modelo alternativo para cálculo do volume do ovo, de forma independente de sua área, a partir do levantamento das características dimensionais extraídas de sua imagem.; (iii) a proposta de um novo índice para classificação da casca do ovo quanto a sua cor.

1.1 Justificativa

O presente trabalho insere-se no campo de pesquisas em processamento de imagens e foi motivado pelo nicho criado da necessidade apresentada por indústrias granjeiras por métodos de identificação e classificação de características presentes nas cascas de ovos. A identificação dessas características permite alimentar o processo decisório que culminará na destinação da produção de forma a minimizarem-se os custos de produção, eminentemente os custos humanos e de tempo, e otimizarem a cadeia produtiva.

Diversos fatores são considerados ao se adereçar a qualidade de um ovo, notadamente: as suas dimensões, a coloração da casca, a presença de manchas de diversas sortes, a porosidade e a diferença de espessura da casca e a presença de rachaduras. A consideração desses fatores orienta o processo de decisão relativo tanto ao potencial destes ovos para o consumo quanto para a reprodução. Enquanto fatores como a presença de manchas (que podem indicar contaminações fúngicas ou bacterianas) e a presença de rachaduras influenciam primariamente a adequabilidade daquele ovo para o consumo humano, outras características como coloração, porosidade e espessura da casca assim como as dimensões do ovo constituem fatores determinantes para aferição do potencial de eclosão destes ovos (VASILEVA et al., 2018)

As características aqui selecionadas como foco de estudo foram escolhidas pela indicação de sua relação com a viabilidade daqueles ovos. As dimensões do ovo são importantes para se estabelecer a proporção entre seu peso, volume e a quantidade de casca e futuro cálculo de sua densidade, fatores indicativos de sua eclodibilidade (MUELLER; SCOTT, 1940). Já a coloração da casca está relacionada ao peso do ovo e a espessura da casca, sendo determinantes para sua força e resistência (YANG; WANG; LU, 2009).

1.2 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é investigar a possibilidade de se incrementar a precisão dos resultados atingidos pela utilização de processamento de imagem na obtenção de características dimensionais da casca de ovos e no cálculo de seu volume estimado. Também é objetivo deste trabalho investigar se a captura das imagens realizadas em um aparato de captura de baixo custo e fácil implementação trará resultados satisfatórios

e suficientes para as análises realizadas. Por fim, objetiva-se, também, investigar se o método proposto para levantamento da coloração da casca dos ovos é eficaz.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos aqui expressos decorrem do nicho identificado em seções anteriores e se resumem da seguinte forma:

- ❑ Proposição e construção do aparato físico de captura de imagens.
- ❑ Desenvolvimento do algoritmo para aquisição das imagens e definição do elementos de interesse para análise nessas imagens.
- ❑ Desenvolvimento e apresentação de um algoritmo para levantamento das dimensões físicas de largura e comprimento máximo do ovo a fim de possibilitar a indicação do índice de formato destes ovos.
- ❑ Estimar o volume de cada ovo utilizando-se das medidas de sua dimensão física a partir do cálculo dos troncos de cone balizados por estas medidas.
- ❑ Desenvolvimento e apresentação de um algoritmo para aferição da coloração das cascas de ovos de maneira automatizada.

1.4 Organização do trabalho

Este documento está organizado da seguinte forma:

- ❑ O Capítulo 2 traz uma fundamentação teórica de tópicos contextuais e objetivos das técnicas aqui utilizadas para implementação dos algoritmos de extração das características. O mesmo capítulo também visa apresentar a justificativa teórica para a escolha dos aspectos das dimensões físicas aqui propostas para a composição do trabalho.
- ❑ O Capítulo 3 apresenta trabalhos que guardam correlação com aquele aqui proposto seja no âmbito do escopo da investigação seja na utilização de técnicas similares para obtenção dos resultados.
- ❑ O Capítulo 4 apresenta a metodologia utilizada para abordagem do proposta aqui estabelecida e ilustra a utilização das técnicas que compõem o algoritmo desenvolvido.
- ❑ O Capítulo 5 traz a apresentação dos resultados e discute a significância dos dados obtidos.

- O Capítulo 6, por fim, apresenta as conclusões finais e discussões sobre potenciais rotas de expansão do trabalho aqui desenvolvido em trabalhos futuros.

Fundamentação Teórica

Buscou-se, neste capítulo, balizar a utilização das técnicas que foram aplicadas neste trabalho apresentando o fundamento teórico que justificam sua escolha e utilização assim como possibilitar ao leitor uma familiarização com as técnicas envolvidas nesta proposta e que serão apresentadas no Capítulo 4 - Metodologia.

2.1 Definição das características de interesse para a casca do ovo

Em (KING'ORI et al., 2011) elencou-se uma série de fatores influentes para a fertilidade e eclodibilidade de ovos. Nesta revisão bibliográfica, foi destacado o fato de que em cadeias produtivas dos mais diversos portes existe uma dependência completa com o suprimento de pintinhos de um dia de idade e que a fertilidade e eclodibilidade são os dois parâmetros que mais influenciam este suprimento. Operações comerciais desta sorte tornam-se tremendamente dependentes da implementação de incubadoras para viabilizar tal suprimento. O estudo focou, então, em reunir os fatores que mais influenciavam estes parâmetros. Foram indicados cinco classes de fatores influenciadores: os fatores nutricionais, os fatores de espécie, os fatores dos ovos, fatores de incubadoras e os fatores ambientais. Destes cinco fatores, aquele que detém a eminência para investigação proposta nesta dissertação são os fatores relacionados ao ovo. Tradicionalmente, o ovo fértil contém todos os nutrientes necessários para o desenvolvimento do embrião até a eclosão. No entanto, fatores físicos e condições químicas podem prejudicar este desenvolvimento e chegar até mesmo a causar a inviabilidade de eclosão destes ovos. Assim, as características físicas do ovo representam grande influência no potencial para eclosão, sendo que, dentre estas características, aquelas de maior eminência são o peso, a espessura da casca e sua porosidade, o índice de forma (definido como a proporção entre largura máxima e comprimento) e a consistência de seu conteúdo. Para ovos que recaem na faixa média das dimensões, normalmente verifica-se suficiência para o desenvolvimento do embrião. Por

sua vez, para aqueles que encontram-se fora desta faixa, verifica-se que aqueles com uma casca mais grossa, um formato mais pontudo que redondo e uma consistência mais grossa de seus conteúdos, obtêm mais sucesso no processo de incubação. A revisão em questão indica que existe certa contradição nos resultados dos estudos examinados quanto à influência do peso na eclodibilidade de ovos fora das faixas médias. No entanto, os estudos apontam, em geral, para o fato de que ovos de peso médio apresentam uma maior taxa de eclosão do que ovos de peso alto ou baixo e que, dentre estes últimos, os ovos de peso mais alto possuem taxas de eclosão melhores que aqueles de peso mais baixo, o que poderia ser explicado por uma maior grossura da casca e consistência mais espessa de seus conteúdos.

Outra característica de interesse para a casca de ovos é a sua coloração, conforme indicado em (CAVERO et al., 2012). Salienta-se que, apesar de esta característica não guardar relação com o valor nutricional ou qualidade do conteúdo interior destes ovos, existe uma correlação forte entre a preferência dos consumidores e esta característica. Ovos de coloração branca são, normalmente, preferidos em favor de ovos de coloração marrom. Além disso, padrões de coloração uniforme são mais bem quistos em detrimento daqueles que possuem coloração mesclada ou que apresentem manchas. Assim sendo, a indústria granjeira tem realizado a seleção artificial de linhagens cuja coloração reflita o interesse pelo atendimento deste nicho comercial por muitos anos caracterizando, assim, a coloração da casca como fator determinante para aferição da qualidade do ovo no quesito de potencial comercial.

O impacto da coloração das cascas de ovos em seu potencial de eclodibilidade também têm sido estudado na última década apresentando resultados divergentes, tendo alguns estudos apontado nenhuma relação do elemento de coloração da casca de maneira isolada como fator influenciador da eclodibilidade enquanto outros estudos relacionaram a coloração da casca com outros fatores determinantes para o incremento deste potencial. Um estudo de 2023, porém, demonstrou que as matizes mais escuras de coloração da casca tinham, sim, efeito no incremento de potencial de eclodibilidade na ordem de aproximadamente 3,75%, sendo que trabalho anterior havia apontado que incrementos de percentuais tão baixos quanto 1% na eficiência de eclodibilidade em incubadoras poderiam trazer retornos da ordem dos 25 milhões de dólares para estas indústrias. Este estudo indicou ainda que uma potencial motivação para divergência nos resultados entre os estudos alegando não terem encontrado impacto da coloração das cascas na eclodibilidade dos ovos se deveu à baixa variabilidade nos ovos utilizados nestes estudos tendo estes sido realizados em ovos de tamanho similar botados por galinhas com pesos também similares enquanto o estudo mais recente selecionou uma gama maior de ovos de galinhas mais diversas. Os resultados indicam que a coloração da casca se torna um fator mais influente na eclodibilidade em ovos colocados por galinhas mais velhas enquanto ovos de galinhas mais novas apresentam maior eclodibilidade em geral. O aumento do potencial de eclodibilidade dos ovos de coloração mais escura foi associado a uma maior densidade

da casca (ORELLANA et al., 2023).

Dado o que foi indicado nestes estudos, optou-se, no trabalho presente, por definir como características a serem levantadas aquelas que refletem a qualidade dos ovos em dois âmbitos significativos para determinar sua destinação em cadeias produtivas. Em primeiro lugar as dimensões físicas (largura máxima e comprimento – que podem ser correlacionadas para se obter o índice de forma do ovo) e volume do ovo (para classificação quanto ao pertencimento a uma faixa média de tamanho ou não), fatores que indicam a qualidade do ovo no quesito de potencial para eclosão e destinação reprodutiva. E, em segundo lugar, a coloração da casca, fator que indica sua qualidade em termos de valor percebido e potencial para destinação comercial além de um potencial maior de eclodibilidade associado à densidade de suas cascas e seu peso.

2.2 Processamento de Imagens

Dentre os cinco sentidos presentes no ser humano, a visão é o mais avançado e aquele que ocupa o papel de maior importância. Diferentemente dos seres humanos, que são limitados à percepção de uma pequena faixa do espectro eletromagnético da luz, alguns aparelhos capazes de fazer o processamento de imagens cobrem quase a totalidade desse espectro. Eles podem trabalhar com imagens geradas por fontes que os humanos não estão acostumados a associar com imagens. Essas fontes incluem ultrassom, microscopia eletrônica e imagens geradas por computador. Dessa forma, o Processamento Digital de Imagens (PDI) inclui um amplo e variado campo de aplicações (GONZALEZ; WOODS, 2009).

A expressão Processamento de Imagem é frequentemente confundido com o ato de edição de imagens. No entanto, (BURGER et al., 2009) introduz uma definição que considera mais precisa: a edição de imagens é a manipulação de imagens digitais utilizando aplicações pré-existentes enquanto o processamento de imagens é a concepção, projeto, desenvolvimento e aprimoramento de programas de imageamento digital.

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. O campo de PDI se refere ao processamento de imagens digitais por um computador digital. Uma imagem digital é composta de um número finito de elementos, cada um com localização e valores específicos. Esses elementos são chamados de elementos pictóricos, elementos de imagem e *pixels*. *Pixel* (do inglês “*Picture Element*”) é o termo mais utilizado para representar os elementos de uma imagem digital (GONZALEZ; WOODS, 2009). Essa definição contempla a especificação de uma imagem não colorida, em escala de cinza. Há, porém, outras formas de se definir uma imagem contemplando o conceito de

cores. Uma imagem contém um ou mais “canais” de cor que definem a intensidade da cor numa localização específica da imagem (a coordenada $f(x, y)$, localização correspondente àquela *pixel* específico) que, no caso mais simples, pode corresponder apenas a um valor numérico representante do nível de sinal (sinal este recebido pelo sensor estimulado por uma determinada fonte de energia e transformado em informação digital) naquele ponto da imagem. Em casos mais complexos, com múltiplos “canais” de cor, há a atribuição de múltiplos valores àquela posição de *pixel*, valores estes que podem corresponder a informações diversas como as intensidades de cada componente de cor no espectro das cores primitivas que irão formar a cor desejada (exemplo do espaço de cores RGB) ou as informações de matiz, saturação e intensidade (exemplo do espaço de cores HSI) (SOLOMON; BRECKON, 2011).

O processamento digital de imagens pode ser definido como um conjunto de tarefas realizadas sobre uma matriz de *pixels* a fim de se realizar uma transformação nesta imagem ou extrair informações dela. O processamento de imagens pode ser dividido didaticamente em três categorias: os processos de nível baixo - que são aqueles definidos por operações primitivas, das quais são exemplo o pré-processamento para redução de ruído, o realce de contraste e o aguçamento de imagens; os processos de nível baixo caracterizados pelo fato de tanto a entrada quanto a saída serem imagens – dos quais são exemplos tarefas como a segmentação (separação de uma imagem em regiões ou objetos), a descrição desses objetos para reduzi-los a uma forma adequada para o processamento computacional e a classificação (reconhecimento) de objetos individuais – esses processos são caracterizado pelo fato de suas entradas, em geral, serem imagens, mas as saídas são atributos extraídos dessas imagens (isto é, bordas, contornos e a identidade de objetos individuais); por fim, o processamento de nível alto envolve “dar sentido” a um conjunto de objetos reconhecidos, como na análise de imagens e realizar sobre estas operações associadas às funções cognitivas normalmente ligadas à visão. As áreas de aplicação do PDI são amplamente variadas. Uma das formas mais fáceis de se obter uma compreensão básica de tal amplitude é a categorização de imagens de acordo com a fonte. As fontes de maior eminência são aquelas cuja energia geradora incluem a acústica, a ultrassônica, a eletrônica e por fim a eletromagnética, sendo esta última a principal (GONZALEZ; WOODS, 2009).

O processamento de imagens é realizado em etapas bem definidas que compartilham informações entre si para produzir o resultado esperado, de forma que o resultado de cada etapa interfere diretamente nas etapas subsequentes. As etapas fundamentais para o processamento digital de imagens podem ser observadas na Figura 1:

- Aquisição da imagem – envolve a definição do aparato de captura e os parâmetros para a aquisição e pode resultar na produção de ruídos ou outras distorções na imagem resultante, fontes de alguma eventual deficiência do dispositivo ou de condições inerentes à captura.

- ❑ Pré-processamento – consistente de um conjunto de operações que visam melhorar a imagem, por meio da remoção de ruídos e outras eventuais deficiências, de forma a torná-la mais propícia para a extração do resultado final desejado.
- ❑ Segmentação – divisão da imagem em diferentes regiões que apresentem diferentes graus de interesse para o processo definindo bordas e regiões de transição entre objetos e regiões.
- ❑ Representação e descrição – etapa em que são determinadas características que possam representar informações de interesse para o domínio do problema.
- ❑ Reconhecimento e interpretação – etapa em que são atribuídos descritores para as diferentes regiões ou para diferentes objetos identificados na imagem e em que atribui-se a estes algum significado.

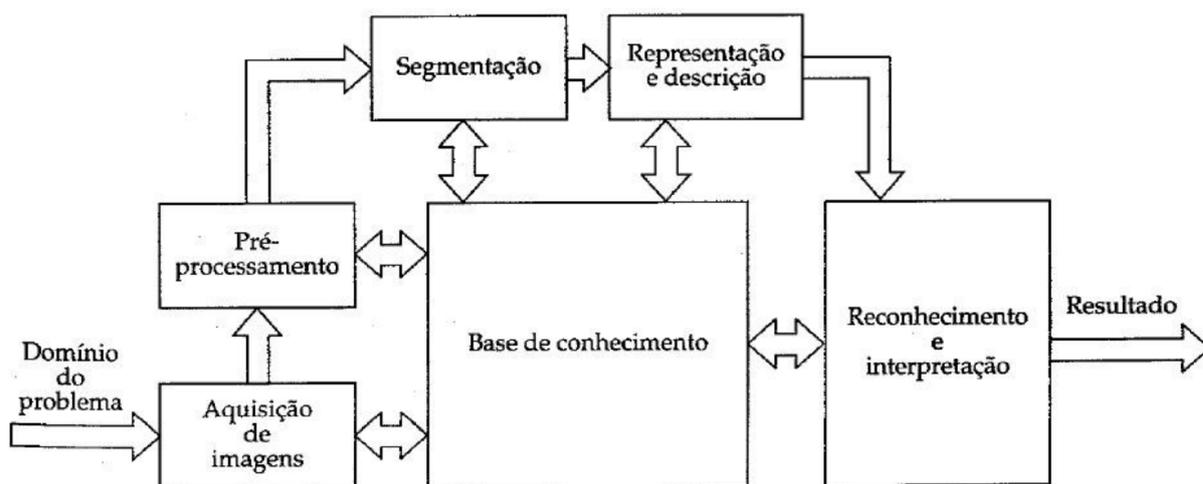


Figura 1 – Esquema das etapas do processamento digital de imagens. Imagem obtida de (GONZALEZ; WOODS, 2009).

2.2.1 Aquisição da imagem

O processo de formação de uma imagem digital implica um pequeno número de elementos chave. Matematicamente, podemos expressar estes elementos como: a função o , representação formal da cena, a função de distribuição de pontos p , representando o processo de captura e o ruído n , representando possíveis interferências e/ou falhas no processo de digitalização da cena capturada. Estes elementos se combinam para formar a imagem (SOLOMON; BRECKON, 2011):

$$\text{Imagem} = p * o + n \quad (1)$$

Assim sendo, pode-se definir como imagem o resultado gerado pela incidência de energia (luminosa, eletromagnética, radioativa, etc.) proveniente de uma fonte em um ou mais objetos e sua posterior reflexão ou absorção capturada por um dispositivo de registro que traduz esses estímulos em luz visível para o ser humano (na forma de foto-conversores em uma tela fluorescente, por exemplo). Dentre as principais formas de se proceder a esta produção de imagens está a utilização de sensores capazes de captar um estímulo luminoso (como a luz refletida sobre objetos numa cena) e produzir imagens digitais a partir deste estímulo. O procedimento consiste de transformar a energia que entra no sensor fotossensível em uma tensão pela combinação da energia de entrada e do material do sensor, sensível a um tipo específico de energia que está sendo detectado. O sensor produz como resposta uma forma de onda específica que reflete a tensão de saída e uma quantidade digital é obtida para cada sensor.

Imagens produzidas a partir da exposição destes sensores a radiação dentro do espectro eletromagnético ou de raios x são as mais comuns. As ondas eletromagnéticas são ondas que se propagam no espaço sem precisar de um meio um meio material e podem ser interpretadas como uma curva senoidal propagada no espaço. Outra interpretação possível é a de um fluxo de partículas sem massa em deslocamento. Estas partículas são denominadas *fótons* e cada uma delas contém uma determinada quantidade de energia associada. A distribuição dessa quantidade de energia associada às partículas de uma radiação eletromagnética é o que se chama de **espectro eletromagnético** (Figura 2), variando desde os raios gama (aqueles que possuem a carga de energia mais alta) até as ondas de rádio (aquelas que possuem a carga de energia mais baixa) (GONZALEZ; WOODS, 2009).



Figura 2 – Distribuição das ondas no espectro eletromagnético. Fonte:(EDUCACAO, 2023)

As emanações decorrentes de radiação, portanto, depreendem uma determinada quantidade de energia e a faixa de energia capaz de sensibilizar o olho humano produzindo uma resposta visual no cérebro é o denominado **espectro visível** ou **espectro óptico**. Esta é a faixa do espectro eletromagnético corresponde à faixa das emissões cujo comprimento de onda varia dos 400 aos 750 nanômetros. Cada região do espectro de valores compreendidos entre esta faixa é interpretado pelo cérebro humano como uma cor distinta e, conseqüentemente, a percepção humana de cor pode ser traduzida em termos de um determinado posicionamento no espectro eletromagnético. Diversas abordagens têm sido usadas em ciência da computação para se traduzir a informação obtida por sensores digitais em informações mais próximas àquelas identificadas pelo olho humano, notadamente a implementação de diversos espaços de cores como o RGB, o CIELAB e CIEXYZ cada um com uma aplicação distinta e adequada a um determinado domínio.

As câmeras digitais da atualidade utilizam-se, majoritariamente, do esquema de organização de sensores de forma matricial. Nestes dispositivos ocorre o registro da energia luminosa incidente sobre objetos observados numa cena e refletida sobre a superfície do sensor durante um período de tempo e o resultado, ao final deste período (que pode variar de algumas frações de segundos a algumas horas), é dado pela integral da energia luminosa captada pelo sensor. A luz entra por uma lente ótica, responsável por projetar a cena no ponto focal sobre o sensor; o sensor produz, então, saídas proporcionais à luz projetada sobre cada sensor e circuitos digitais e analógicos varrem estas saídas convertendo-as em um sinal que será interpretado para a formação da imagem digital conforme pode-se observar na Figura 3.

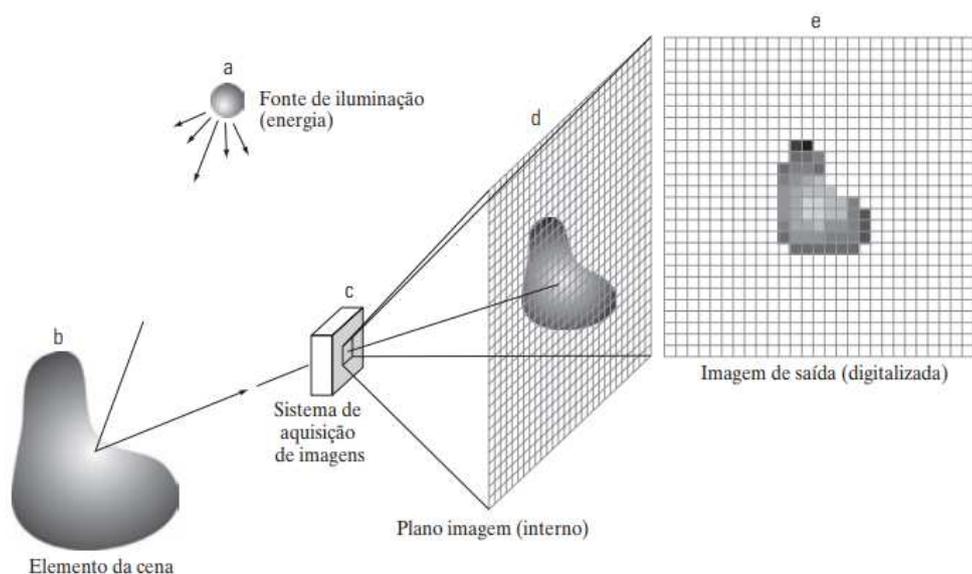


Figura 3 – Processo de aquisição de imagem por dispositivo utilizando sensores matriciais. Imagem adaptada de (GONZALEZ; WOODS, 2009)

Assim sendo, podemos tomar como imagem digital a matriz bidimensional ($M \times N$) - Figura 3(e), onde M representa o número linhas e N número de colunas, em que cada célula desta matriz representa a resposta de um sensor a um estímulo capturado do mundo real no momento de aquisição da imagem. Cada célula desta matriz é corresponde a um *Pixel* e guarda a informação digitalizada da resposta de um sensor de acordo com um processo de amostragem responsável pela discretização da informação (SOLOMON; BRECKON, 2011).

2.2.2 Pré-processamento

As operações de pré-processamento de uma imagem consistem daquelas operações realizadas anteriormente ao processamento principal (este voltado ao efetivo resultado esperado com alteração ou extração de informações da imagem) visando ao preparo e melhoramento dessas imagens com fulcro na produção de um melhor resultado quando da realização do processamento principal. Tais operações incluem ações como a correção de distorções geométricas produzidas pelo sensor de captura da imagem, a calibração radiométrica da imagem e a aplicação de filtros para eliminação de ruídos, suavização ou realce da imagem.

2.2.2.1 Espaços de Cores

Um espaço de cores (ou modelo de cores) tem como função apresentar uma forma padronizada de se especificar cores em um sistema computacional. Essencialmente esta

representação funciona como um sistema de coordenadas e um subespaço dentro deste sistema onde cada cor é representada por um ponto. Os modelos de cores têm como principal diferença a orientação de sua aplicabilidade, havendo modelos pensados e desenvolvidos com uma orientação à sua aplicabilidade em hardware e modelos orientados à aplicabilidade em manipulação de cores. Dentre o primeiro tipo podemos citar como exemplo de modelos de cores mais utilizados o modelo RGB (*red, green, blue*), cuja orientação está eminentemente associada à sua utilização em monitores coloridos e câmeras de vídeo, o modelo CMY/CMYK (*cyano, magenta, yellow and black*) utilizado amplamente para a realização de impressões em cores, e os modelos HSV (*hue, saturation, value*) ou HSB (*hue, saturation, brightness*), HSI (*hue, saturation, intensity*) e HSL (*hue, saturation, lightness*) que são modelos cuja proposta é bem parecida, apesar de serem ligeiramente diferentes, e orientados à aproximação de um modelo de cor à forma como os seres humanos percebem, descrevem e interpretam cores na natureza.

2.2.2.2 O espaço de cores RGB

O formato RGB, também conhecido como formato *true color* (cor verdadeira), é o sistema de representação de cores baseado nas três cores primárias (vermelho, verde e azul) cuja combinação produz uma diversidade de cores percebidas pelo olho humano. Esse formato é o mais utilizado na representação de imagens digitais coloridas a serem exibidas em monitores e outros dispositivos similares. Uma imagem digital representada nesse formato pode ser separada em três planos distintos constituídos individualmente pelos valores de seus componentes de cada uma das três cores básicas e imagem resultante será um matriz tridimensional em que cada *pixel* corresponderá à informação de componente de cor em cada um dos canais (vermelho, verde e azul) naquela linha e coluna (Figura 4). Esse espaço de cores visa representar o espectro eletromagnético visível capaz de ser percebido pelo ser humano (como visto anteriormente, esta faixa corresponde aos comprimentos de onda variando aproximadamente dos 400-700 nanômetros) e convencionalmente assume a forma de uma amostragem de 24-bits (8 bits, ou um *byte* por canal de cor) (SOLOMON; BRECKON, 2011).

O espaço de cores RGB é um sistema de cores aditivo. Todos os *pixels* são pretos, originariamente, e a estes vão sendo adicionadas as cores primárias para formar a coloração desejada. A intensidade de cada cor primária incidente é que será responsável por determinar o tom e o brilho da cor resultante e as cores branca e cinza são atingidas misturando-se as cores primárias na mesma intensidade (BURGER et al., 2009).

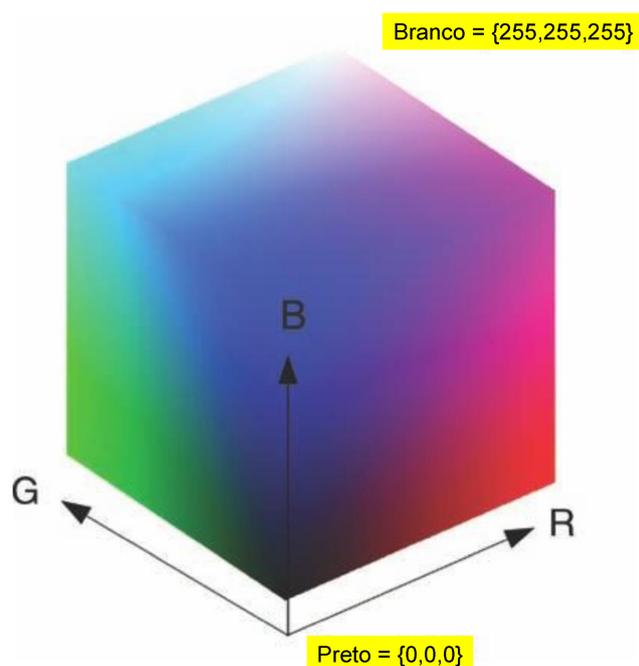


Figura 4 – Ilustração do espaço de cores RGB na forma de cubo. Imagem adaptada de (SOLOMON; BRECKON, 2011).

2.2.2.3 O espaço de cores HSV

Sistemas de cor como o RGB (sistema de cores em que cada cor é representada pela combinação das três cores primárias) são teoricamente adequados para implementações em hardware e lidam bem com a visão humana pois este é bastante perceptivo às cores primárias (vermelho, verde e azul). Esse sistema de cores, porém, não é adequado quando se discute a descrição de cores em termos práticos para a interpretação humana. Uma cor é percebida pelos seres humanos em termos de matiz, saturação e brilho. O espaço de cores HSV é, pois, uma representação composta por três canais, nomeadamente aqueles associados à percepção humana de cor: o canal de Matiz ou Cromo (*Hue*), o canal de Saturação (*Saturation*) e o canal de intensidade de brilho (*Value*). O matiz corresponde à especificação da cor pura, a saturação indica a quantidade de luz branca imiscuída no matiz e é uma grandeza inversamente proporcional, o que significa que quanto maior o valor de saturação menor a quantidade de luz branca misturada à tonalidade original. Por fim, a intensidade vai indicar a profundidade do brilho, em que o brilho mais alto é atribuído ao branco e o mais baixo ao preto (RACHMAWANTO et al., 2020). O modelo HSV figura como ideal para o desenvolvimento de algoritmos de processamento de imagem em que a descrição de cores seja intuitiva para seres humanos enquanto o modelo RGB figura como ideal para a produção de imagens coloridas (GONZALEZ; WOODS, 2009).

A conversão entre o espaço de cores RGB e o espaço HSV pode ser feita pelas fórmulas 1 a 7 (adaptado de (RACHMAWANTO et al., 2020)).

$$r = \frac{R}{(R + G + B)} \quad (2)$$

$$g = \frac{G}{(R + G + B)} \quad (3)$$

$$b = \frac{B}{(R + G + B)} \quad (4)$$

$$V = \max(r, g, b) \quad (5)$$

$$S = \begin{cases} 0, & V = 0 \\ 1, & \frac{-\min(r, g, b)}{V}, V > 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$H = \begin{cases} 0, & \text{if } V = r \\ \frac{60 * (g - b)}{S + V}, & \text{if } V = r \\ 60 * [2 + \frac{b - r}{S + V}], & \text{if } V = g \\ 60 * [4 + \frac{r - g}{S + V}], & \text{if } V = b \end{cases} \quad (7)$$

$$H = H + 360 \quad \text{if } H < 0 \quad (8)$$

2.2.2.4 Morfologia Matemática

O termo **morfologia** refere-se ao estudo da forma. A utilização do termo se dá em diversos âmbitos das ciências. Em processamento de imagem, porém, a morfologia matemática denota não apenas o estudo da forma mas o estabelecimento de ferramentas utilizadas para a extração de componentes com o intuito de representar e descrever estas formas identificando regiões distintas, fronteiras, esqueletos etc. A morfologia matemática neste contexto compreende, ainda, o estudo das técnicas para transformação morfológica de imagens para pré ou pós processamento. A representação e descrição de elementos de uma imagem em morfologia matemática se dá pela utilização da teoria de conjuntos onde uma imagem pode ser representada por um espaço bidimensional no caso de uma imagem binária, tridimensional no caso de uma imagem em escala de cinza ou multidimensional para a representação de imagens coloridas ou em movimento (pela sucessão de quadros no tempo).

Operações morfológicas têm sua maior eminência na utilização em imagens binárias (apesar de terem aplicação em quaisquer tipos de imagem) e é possível argumentar que toda técnica mais sofisticada no âmbito de procedimentos morfológicos pode ser reduzida a uma série de erosões e dilatações. Uma imagem binária é aquela em que cada um de seus *pixels* assume apenas um de dois valores - 0 ou 1 - onde um dos valores corresponderá àqueles *pixels* que representam o plano de fundo da imagem e o outro valor corresponderá aos *pixels* que representam objetos de interesse, de fato, da imagem. A determinação de

objetos de interesse se dá pela identificação de grupos de *pixels* conectados e a conexão entre *pixels* normalmente é determinada por uma de duas formas: a identificação de componentes 4-conectados ou 8-conectados, como pode ser visto na Figura 5.

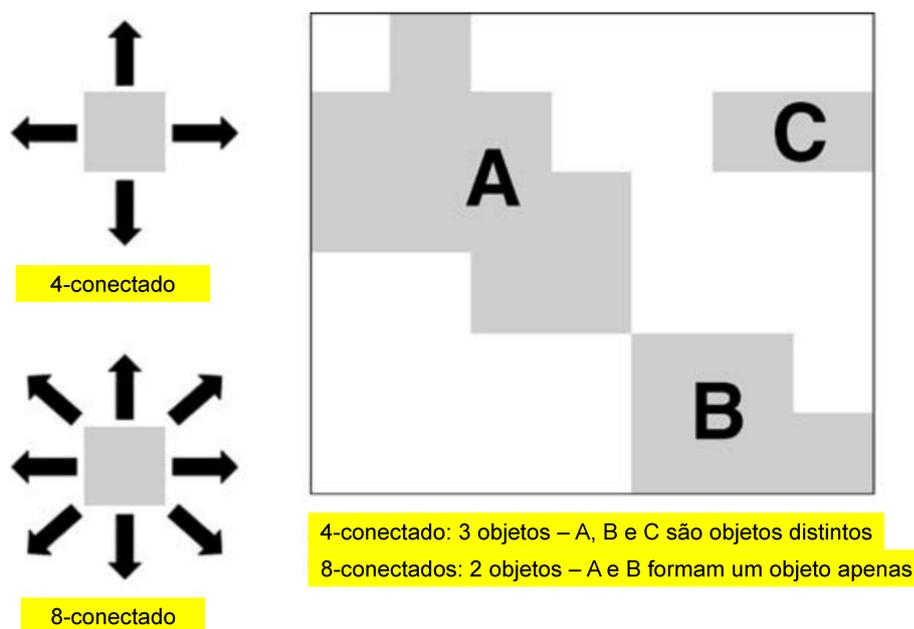


Figura 5 – Imagem binarizada com objetos identificados por componentes 4-conectados ou 8-conectados. Imagem adaptada de (SOLOMON; BRECKON, 2011)

Em imagens binarizadas o interesse principal é na identificações de formas, tamanhos e localização de um objeto na imagem. Apesar deste tipo de operação poder ser aplicada a imagens coloridas ou em escala de cinza, é mais prático proceder à identificação de características em uma imagem binarizada para produzir uma imagem modificada. Tal tarefa torna-se pois, eminentemente, uma tarefa de determinar quais *pixels* correspondem a objetos da imagem e quais correspondem ao plano de fundo e para tal determinação torna-se fundamental a aplicação do conceito de **Elemento Estruturante**, sendo este o fator que determinará quais *pixels* comporão o plano de fundo e quais comporão o plano principal das imagens (SOLOMON; BRECKON, 2011).

Os **Elementos Estruturantes**, que nada mais são que pequenos conjuntos ou sub imagens utilizadas para a identificação de propriedades de interesse numa imagem. Um elemento estruturante precisa, necessariamente, de um ponto de origem e para o trabalho com imagens também é necessário que os elementos estruturantes sejam arranjados em matrizes retangulares acrescentando a eles elementos de fundo de forma a garantir que todo o elemento estruturante seja acomodado na região de análise quando sua origem coincide com um ponto de contorno no conjunto original. A Figura 6 ilustra a definição de um elemento estruturante e sua conversão em um arranjo retangular para utilização

em processamento de imagem (GONZALEZ; WOODS, 2009).

A Figura 7 ilustra a utilização de um elemento estruturante para a realização de uma operação de **erosão** num elemento de uma imagem. A operação de erosão consiste numa operação de intersecção entre conjuntos e resulta numa remoção de elementos de uma imagem com a manutenção de outros e pode ser utilizada para diversos fins. Uma operação de erosão morfológica pode ser definida pela seguinte operação: para proceder à erosão de A pelo elemento estruturante B faça uma varredura de todos os *pixels* contidos no conjunto definido por A posicionando a origem do elemento estruturante B naqueles *pixels*. Em cada posicionamento de B defina aquele *pixel* como pertencente a um novo conjunto C representante do resultado do processamento caso o conjunto B esteja completamente contido no conjunto A.

A erosão é uma operação morfológica que realiza uma transformação em elementos da imagem dotando estes elementos de uma nova forma. Outras operações morfológicas possíveis são a dilatação (união entre conjuntos), abertura (erosão seguida de dilatação), fechamento (dilatação seguida de erosão) e *transformada hit-or-miss*, cujo objetivo é a localização de elementos de uma forma específica contido numa imagem.

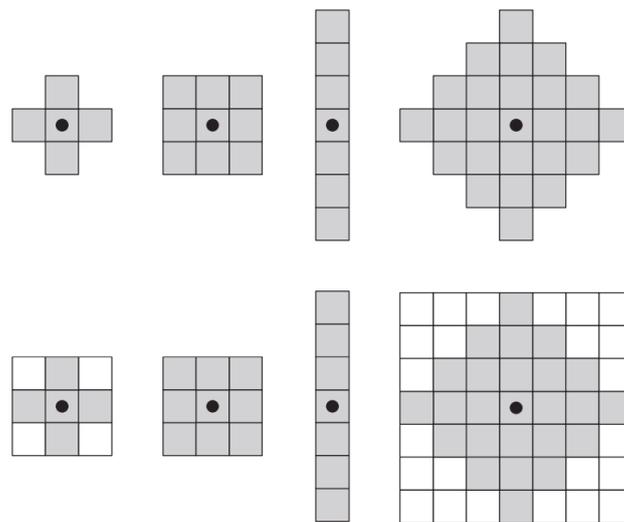


Figura 6 – Primeira linha: exemplos de elementos estruturantes. Segunda linha: elementos estruturantes convertidos em arranjos retangulares. Os pontos indicam a origem dos elementos estruturantes. Imagem adaptada de (GONZALEZ; WOODS, 2009)

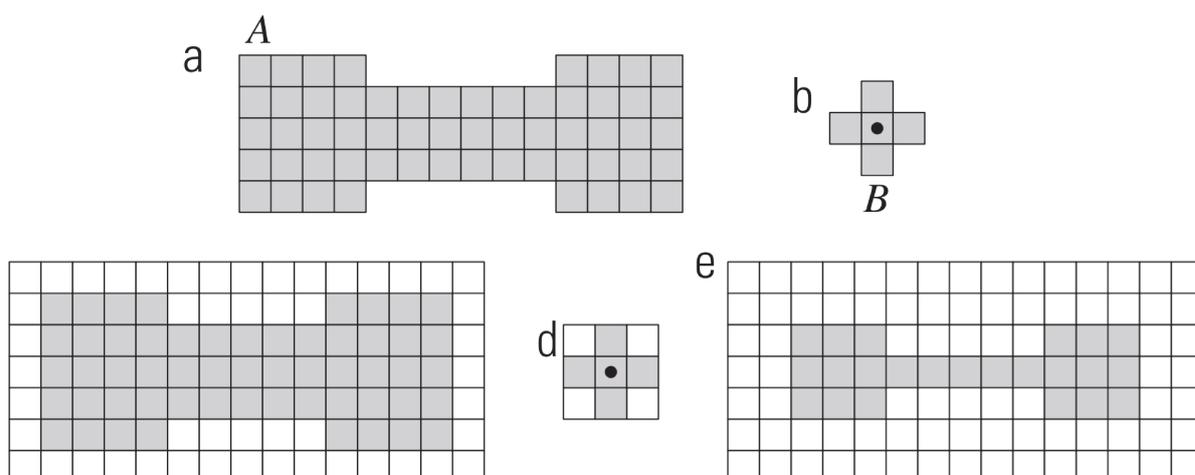


Figura 7 – Ilustração do processo de erosão com elemento estruturante. (a) Um conjunto (cada quadrado sombreado é um membro do conjunto). (b) Um elemento estruturante. (c) O conjunto preenchido com elementos de fundo para formar um arranjo matricial retangular e fornecer um contorno de fundo. (d) Elemento estruturante como um arranjo matricial retangular. (e) Conjunto processado pelo elemento estruturante. Imagem adaptada de (GONZALEZ; WOODS, 2009)

2.2.2.5 Filtro da mediana

O filtro de mediana é um filtro de suavização da categoria dos filtros de estatística de ordem (não lineares) e é, dentre os filtros dessa categoria, o mais conhecido. Os filtros de estatística de ordem são filtros espaciais (ou seja, filtros aplicados no próprio domínio da imagem através de operações direta no plano representado por seus *pixels*) que realizam uma operação de classificação sobre uma vizinhança determinada de cada *pixel* da imagem substituindo o valor desse *pixel* pelo valor resultante da classificação (no caso do filtro da mediana, esta operação consiste na computação do valor da mediana dos valores de *pixels* dados por uma vizinhança determinada – incluindo o valor do *pixel* original). A aplicação do filtro da mediana apresenta resultados expressivamente relevantes para o tratamento de ruídos aleatórios ou impulsivos (chamados de “ruído sal e pimenta”), provenientes de falhas mecânicas na aquisição da imagem ou por erro na transmissão dos dados desta imagem que alteram o valor de bits e causam uma diferença brusca de tons entre este *pixels* e seus vizinhos (GONZALEZ; WOODS, 2009). O tratamento proveniente da utilização do filtro da mediana em imagens que possuam ruídos desse tipo proporciona um resultado em que a imagem é suavizada com um grau diminuído de borramento e em que os contornos e as bordas são preservadas de forma muito melhor que outros filtros de suavização conforme pode-se verificar na Figura 8.

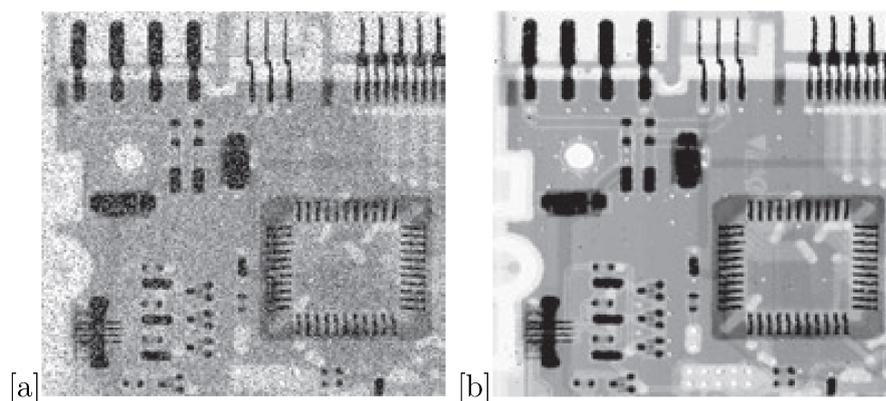


Figura 8 – Exemplo de filtragem mediana. (a) Imagem original (b) Imagem processada por um filtro de mediana de máscara 3×3 . Imagem adaptada de (GONZALEZ; WOODS, 2009)

2.2.3 Segmentação

A segmentação é um processo que visa dividir uma imagem em partes distintas que representem objetos ou regiões de interesse diferentes presentes nesta. Dado o potencial de complexidade que algumas imagens apresentam, a tarefa de segmentação de imagens figura como uma das mais difíceis no âmbito do PDI. A precisão da segmentação determina o sucesso ou o fracasso final dos procedimentos de análise computadorizada. A maioria dos algoritmos de segmentação baseia-se em duas ideias principais: descontinuidade e similaridade. Na primeira abordagem a ideia consiste de dividir a imagem de acordo com zonas de mudança brusca de intensidade (bordas), definindo, assim, zonas e objetos; já na segunda, busca-se identificar critérios que possam definir determinadas regiões de acordo com sua semelhança e agrupá-las numa mesma categoria: limiarização, crescimento, divisão e fusão de regiões são exemplos dos métodos dessa categoria. Melhorias no desempenho da segmentação podem ser alcançadas com a combinação de métodos de categorias diferentes, como as técnicas cuja detecção de bordas é combinada com a limiarização (GONZALEZ; WOODS, 2009).

A segmentação ocupa um lugar de eminência na tarefa de processamento de imagens pois muito frequentemente corresponde a um primeiro passo essencial para a realização das tarefas subsequentes como a extração de características da imagem, classificação, descrição, etc. É importante notar, também, que não se pode falar em uma singular segmentação correta para qualquer imagem dada, uma vez que a maneira como a segmentação será implementada depende fortemente dos tipos de objeto ou regiões que se interessa identificar (SOLOMON; BRECKON, 2011).

Podemos definir a segmentação de uma imagem R como o processo de partição esta imagem em n subregiões $R_1, R_2, R_3 \dots R_n$, de tal forma que:

$$\square \text{ (a) } \bigcup_{i=1}^n R_i = R$$

- (b) R_i é um conjunto conectado, $i = 1, 2, 3, \dots, n$
- (c) $R_i \cap R_j = \emptyset$ para todo i e j , $i \neq j$
- (d) $Q(R_i) = \text{verdadeira}$ para $i = 1, 2, \dots, n$
- (e) $Q(R_i \cup R_j) = \text{falsa}$ para quaisquer regiões adjacentes R_i e R_j

Onde $Q(R_k)$ é uma propriedade lógica definida sobre os pontos no conjunto R_k , e \emptyset é o conjunto nulo. A condição (a) indica que a segmentação deve ser completa, isto é, cada *pixel* deve estar em uma região. A condição (b) requer que os pontos em uma região estejam conectados de alguma forma predefinida. A condição (c) indica que as regiões devem estar separadas. A condição (d) tem a ver com as propriedades que devem ser cumpridas pelos *pixels* em uma região segmentada. Finalmente, a condição (e) indica que duas regiões adjacentes, R_i e R_j , devem ser diferentes no sentido da propriedade Q (GONZALEZ; WOODS, 2009). A Figura 9 ilustra o processo de segmentação realizado pela abordagem de identificação de bordas e pela abordagem de identificação de regiões.

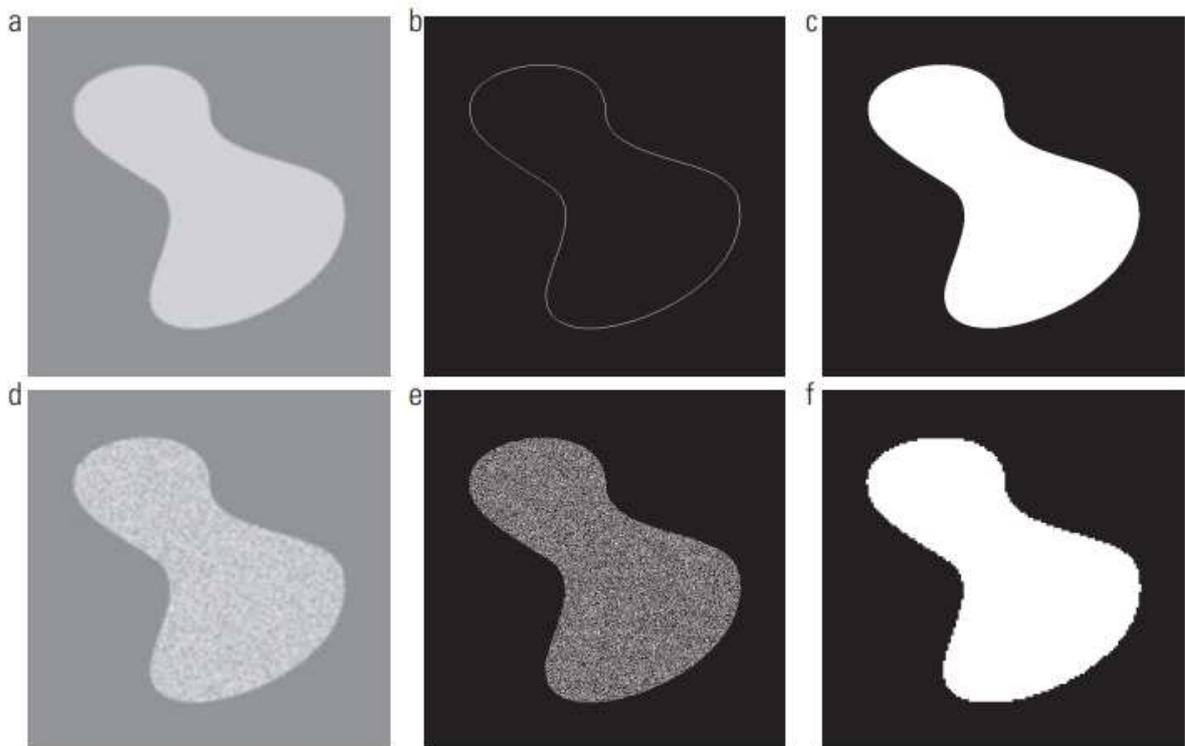


Figura 9 – (a) Imagem com região de intensidade constante. (b) Imagem da borda do objeto. (c) Resultado da segmentação da imagem em duas regiões. (d) Imagem com uma região com textura. (e) Resultado do cálculo da borda. (f) Resultado da segmentação baseada nas propriedades da região. Imagem adaptada de (GONZALEZ; WOODS, 2009)

2.2.3.1 Segmentação por limiarização

O método da limiarização é uma ferramenta muito utilizada no processamento de imagens para se proceder à segmentação pois apresenta certa simplicidade de implementação e processamento célere em comparação a outras técnicas e, por isso, tem posição central na aplicação a segmentação de imagens. Neste método busca-se a divisão da imagem com base nos valores de intensidade de seus *pixels* e/ou propriedades destes valores. O processo de limiarização pode ser sumarizado como o processo de identificação de um limiar para os valores de intensidade de seus *pixels* que separe a os conjuntos de *pixels* em dois ou mais grupos distintos (também chamados de *modos*). Para identificação deste limiar pode-se utilizar da análise do histograma da imagem, sendo o histograma uma função de distribuição dos valores de *pixels* encontrados na imagem em relação a frequência de sua ocorrência.

Um histograma pode expressar problemas originados durante o processo de aquisição de uma imagem, como aqueles envolvendo contraste e alcance dinâmico, assim como a presença de objetos estranhos presentes na imagem como resultado de algum processamento anterior. Histogramas são frequentemente utilizados para determinar se uma imagem está fazendo uso efetivo do sua distribuição de intensidades a partir do exame do tamanho e uniformidade do seu histograma (BURGER et al., 2009).

Uma maneira de se extrair os objetos do fundo de uma imagem utilizando histogramas é selecionar um limiar T , que separa os modos desta. Então, qualquer ponto (x, y) na imagem em que $f(x, y) > T$ é chamado de ponto do objeto; caso contrário, o ponto é chamado ponto de fundo. Quando T é uma constante aplicável a uma imagem inteira temos o processo de *limiarização global*. Quando o valor de T muda ao longo da imagem, usamos o temos uma *limiarização variável*. Já a *limiarização local ou regional* é aquela na qual o valor de T em qualquer ponto (x, y) em uma imagem depende das propriedades de sua vizinhança (por exemplo, a intensidade média dos *pixels*). Uma imagem pode ter apenas um limiar T capaz de separar objetos de uma imagem de seu fundo ou diversos limiares T_1, T_2, \dots, T_n necessários para se realizar tal separação, como ocorre quando uma imagem apresenta diversos objetos claros sobre um fundo escuro sendo que, neste caso, a limiarização se torna uma tarefa um tanto mais difícil. Neste caso a *limiarização múltipla* classifica um ponto (x, y) como pertencente ao fundo se $f(x, y) = T_1$, para uma classe de objeto se $T_1 < f(x, y) \leq T_2$, e para a classe de outro objeto se $T_2 < f(x, y) \leq T_3$ e assim em diante como visto na Figura 10. O sucesso da limiarização depende diretamente da largura e profundidade dos vale do(s) vale(s) que separa(m) os modos do histograma e os fatores que mais afetam as propriedades do(s) vale(s) são: a separação entre picos (quanto mais distantes forem os picos entre si, melhores as possibilidades de separação dos modos); o índice de ruído da imagem (os modos ampliam com o aumento do ruído); o tamanho relativo dos objetos e do fundo; a uniformidade da fonte de iluminação; e a uniformidade das propriedades de reflexão da imagem (GONZALEZ; WOODS, 2009).

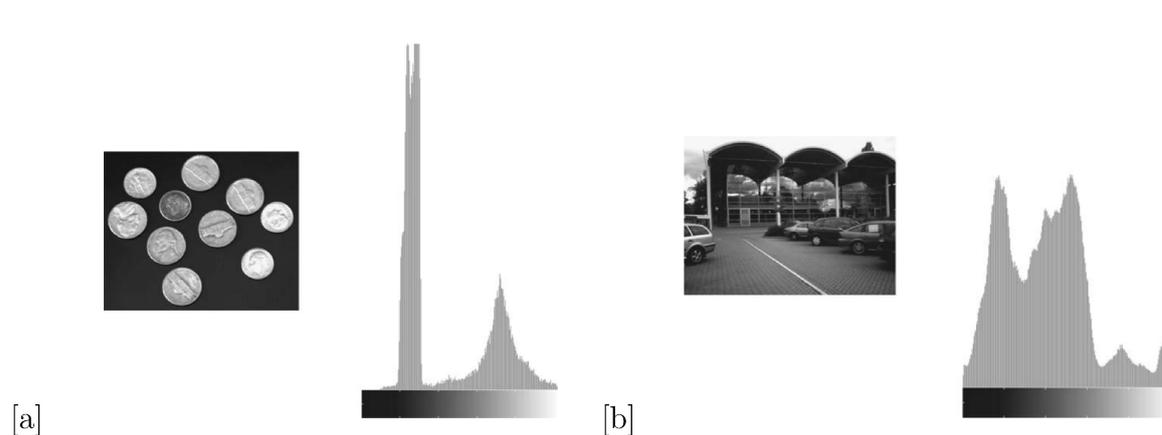


Figura 10 – Histogramas de intensidade que podem ser divididos (a) por um limiar único e (b) por limiares múltiplos. Imagem adaptada de (SOLOMON; BRECKON, 2011)

2.2.3.2 Extração de contornos - Algoritmo Marching Squares

O algoritmo *Marching Squares* é uma versão 2d do algoritmo *Marching Cubes* (LORENSEN; CLINE, 1998). A ideia do algoritmo é a separação da imagem em janelas formadas por uma quantidade arbitrária de pixels, quantidade esta que determinará a resolução de funcionamento do método, e analisar cada uma destas janelas de acordo com o valor de seus vértices procedendo-se, então, à separação dos valores das vértices nestas janelas de acordo com sua caracterização como pertencente a um objeto identificado na imagem ou ao plano de fundo da imagem. Esta separação se dá pela implementação de uma ou mais linhas que conectarão os pontos médios do segmento formado por cada par de vértices cujos valores os caracterizem como pertencentes a classes diferentes (objeto ou plano de fundo). Seu funcionamento se dá com a execução dos seguintes passos:

1. Binarização da imagem para separar os objetos a serem contornados do plano de fundo
2. Separação da imagem em uma grade formada por quadrados cujos vértices são pixels da imagem
3. Para cada quadrado deste grid:
 - a) Tome os quatro pixels nos vértices do quadrado para construir um índice binário com seus valores: caminhe ao redor do quadrado no sentido horário anexando o valor do pixel ao índice, usando OR bit a bit e deslocamento para a esquerda, do bit mais significativo no canto superior esquerdo, para o menos pouco significativo no canto inferior esquerdo. O índice de 4 bits resultante pode ter 16 valores possíveis no intervalo de 0 a 15.

- b) O índice resultante será indexado para um dos 16 estados possíveis para aquele quadrado.
- c) Aplique interpolação linear entre os valores originais dos dados do quadrado para encontrar a posição exata da linha de contorno ao longo das bordas deste quadrado.

O funcionamento do algoritmo pode ser visto na Figura 11.

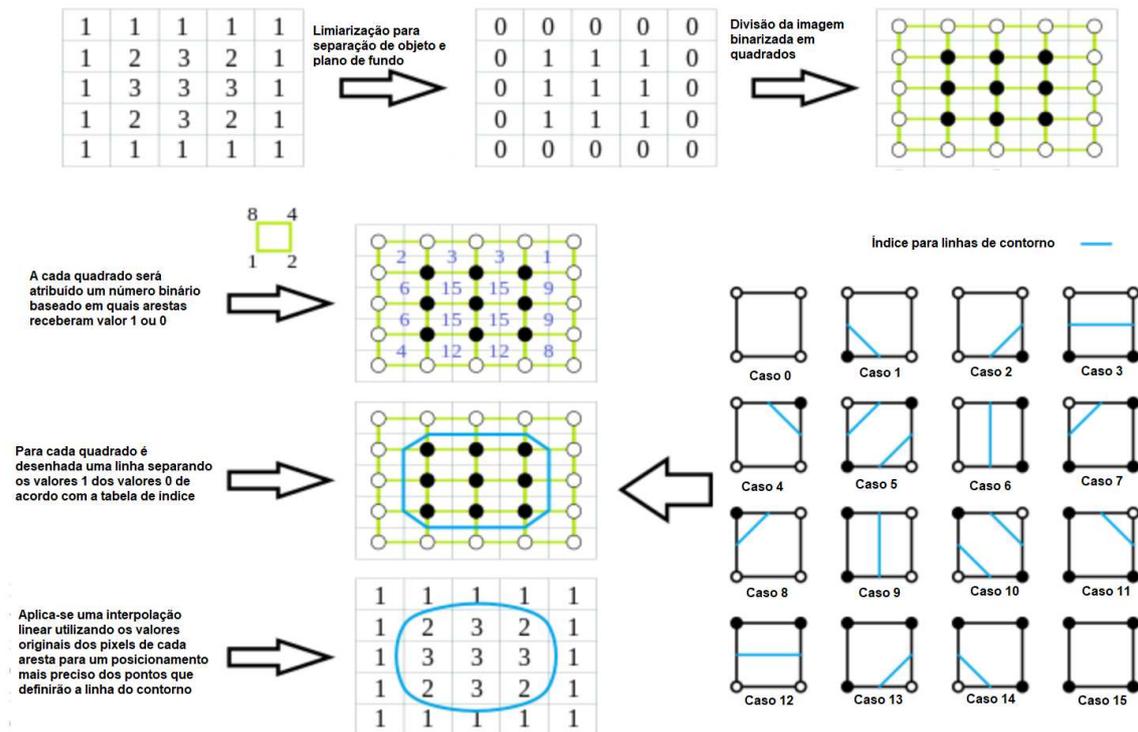


Figura 11 – Funcionamento do algoritmo Marching Squares. Imagem adaptada de (MARCHING...,).

2.2.4 Representação e descrição

De posse dos dados provenientes da segmentação de uma imagem, normalmente consistindo de grupos de *pixels* segmentados, faz-se necessária a a representação e descrição adequadas destes objetos ou regiões segmentados. Esta representação pode ser feita de duas formas: a partir de suas características externas (sua fronteira) ou a partir de suas características internas (os *pixels* dentro da fronteira determinada). A descrição posterior toma como base a representação escolhida e define características como sua extensão, orientação da linha reta que une seus pontos extremos, número de concavidades, etc. Uma representação externa é escolhida quando o foco principal está nas características da forma. Quando o foco principal está nas propriedades regionais, como cor e textura, uma representação interna é geralmente a escolha. Por vezes, pode ser necessário usar

os dois tipos de representação. Em ambos os casos, as características selecionadas como descritores devem ser tão insensíveis quanto possível às variações de tamanho, translação e rotação (GONZALEZ; WOODS, 2009).

2.2.4.1 Algoritmo seguidor de fronteira

O algoritmo seguidor de fronteira é uma ferramenta de descrição de um objeto de uma imagem cuja saída é um conjunto de pontos apresentados de forma ordenada. O algoritmo é, usualmente, aplicado a imagens binarizadas em que a segmentação já tenha sido realizada e o(s) objeto(s) de interesse da imagem já tenham sido definidos. Para fins de discussão assume-se aqui que os pontos de objeto foram marcados com o valor 1 e os pontos de fundo foram marcados com valor 0. O algoritmo segue da seguinte forma (GONZALEZ; WOODS, 2009):

Dada uma região binária R ou sua fronteira, um algoritmo para seguir a fronteira de R , ou qualquer fronteira, consiste das seguintes etapas:

- Etapa 1 - Considere que o ponto de partida, b_0 , seja o ponto mais alto e mais à esquerda na imagem que esteja rotulado com valor 1. Denote por c_0 o vizinho a oeste de b_0 (Figura 12 (b)). Claramente, c_0 sempre é um ponto do fundo. Examine os vizinhos-8 de b_0 , a partir de c_0 , seguindo no sentido horário. Seja b_1 o primeiro vizinho encontrado cujo valor é 1 e seja c_1 o ponto (de fundo) imediatamente anterior a b_1 na sequência. Conserve a localização de b_0 e b_1 para utilizá-la na Etapa 5.
- Etapa 2 - Considere que $b = b_1$ e $c = c_1$ (Figura 12 (c)).
- Etapa 3 - Faça com que os vizinhos-8 de b , a partir de c e seguindo no sentido horário, sejam indicados por n_1, n_2, \dots, n_8 . Encontre o primeiro n_k rotulado com 1.
- Etapa 4 - Considere que $b = n_k$ e $c = n_k - 1$.
- Etapa 5 - Repita as etapas 3 e 4 até que $b = b_0$ e o próximo ponto de fronteira encontrado seja b_1 . A sequência de pontos b encontrados quando o algoritmo para constitui o conjunto de pontos de fronteira ordenados.

Enunciado desta forma, o algoritmo seguidor de fronteira considera o sentido horário e extrai a fronteira externa de uma região mas a mesma lógica poderia ser aplicada para o sentido anti-horário e para extração das fronteiras internas de uma região (os "buracos" que a região apresenta).

2.2.5 Reconhecimento e interpretação

A etapa de reconhecimento e interpretação consiste em extrair informações sobre regiões individuais contidas na imagem buscando relacionar objetos ou padrões individu-

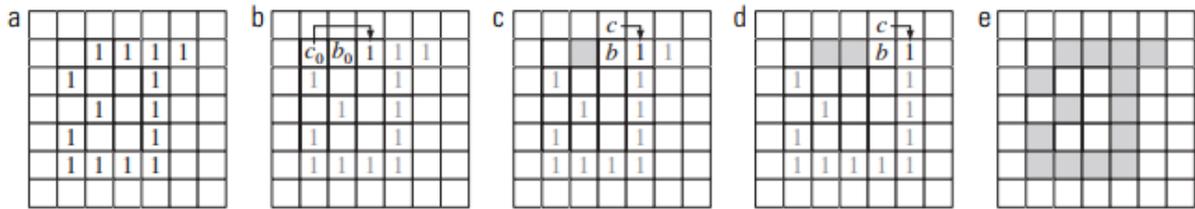


Figura 12 – Ilustração dos primeiros passos do algoritmo seguidor de fronteira. O ponto a ser processado a seguir é indicado em preto, os pontos que ainda serão processados são cinza e os pontos encontrados pelo algoritmo são indicados como quadrados cinza. - imagem adaptada de (GONZALEZ; WOODS, 2009)

ais com descritores pré-estabelecidos. As metodologias de reconhecimento de padrões dividem-se em duas áreas principais: decisão teórica e decisão estrutural. A primeira área diz respeito à análise feita com base em descritores quantitativos como o comprimento, a área, a textura e outras características mensuráveis. Já a segunda diz respeito à abordagem de padrões cuja descrição é realizada de maneira mais precisa por meio de descritores qualitativos, como os descritores relacionais, cujo principal objetivo é captar os padrões repetitivos em uma fronteira ou uma região (GONZALEZ; WOODS, 2009).

A principal tarefa desta etapa é a tarefa de **classificação**. No contexto do processamento de imagens, classificação é o ato de identificação de características típicas, padrões ou estruturas dentro de uma imagem e utilizá-los para a atribuição de significado a estes ou à própria imagem separando os objetos ou as próprias imagens em classes (SOLOMON; BRECKON, 2011).

Trabalhos Correlatos

Apresentamos, aqui, três trabalhos recentemente publicados (2018, 2019 e 2021) e que guardam profunda relação com o tópico e o contexto de inserção da proposta desta dissertação, tendo o último trabalho aqui apresentado sido aqui utilizado como parâmetro de avaliação e comparação dos resultados obtidos pela proposta deste trabalho.

3.1 (VASILEVA et al., 2018)

Neste trabalho, buscou-se a identificação de características da casca do ovo seguindo as classificações de dois manuais, o *USDA Egg Grading Manual* e *The Russian Guide*, ambos definindo fatores para a avaliação da qualidade de um ovo a partir de suas características visuais. Um aparato de captura foi proposto e projetado para se obter imagens com a qualidade adequada para a aplicação dos métodos propostos. A câmara de captura consistia de uma câmera acoplada a uma estrutura de madeira contendo diversas lâmpadas de LED dispostas em duas camadas, uma acima do receptáculo do ovo e uma abaixo, combinados com difusores de luz para garantir uniformidade da iluminação onde os modos de iluminação eram controlados por um microcontrolador. A câmara, conforme proposta, pode ser vista na Figura 13.

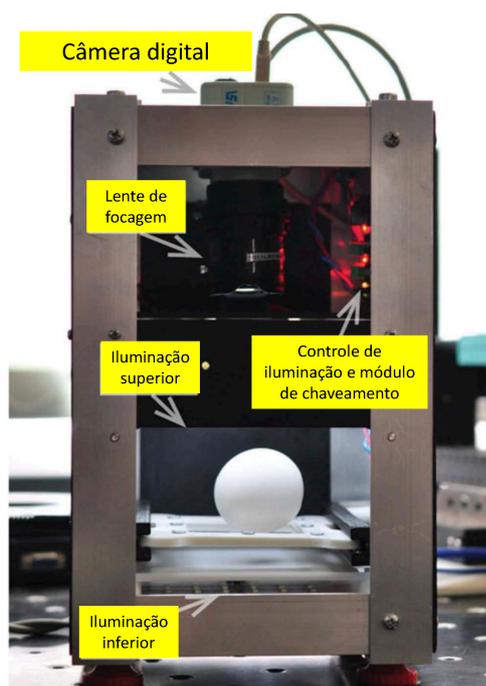


Figura 13 – Câmara de captura. Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018).

O método proposto consistia na captura de duas imagens distintas do ovo, notadamente uma imagem clara (obtida com iluminação superior) e uma imagem escura (obtida com iluminação inferior análoga ao método de *“candleing”* - método em que um fecho de luz é atravessado no ovo de forma a acentuar a translucidez da casca e avaliar seus conteúdos internos), seguida de uma etapa de pré-processamento e segmentação e, por fim, de uma análise estrutural para extração de características (comprimento, largura, volume, índice de formato e nível de manchamento – Figura 14).

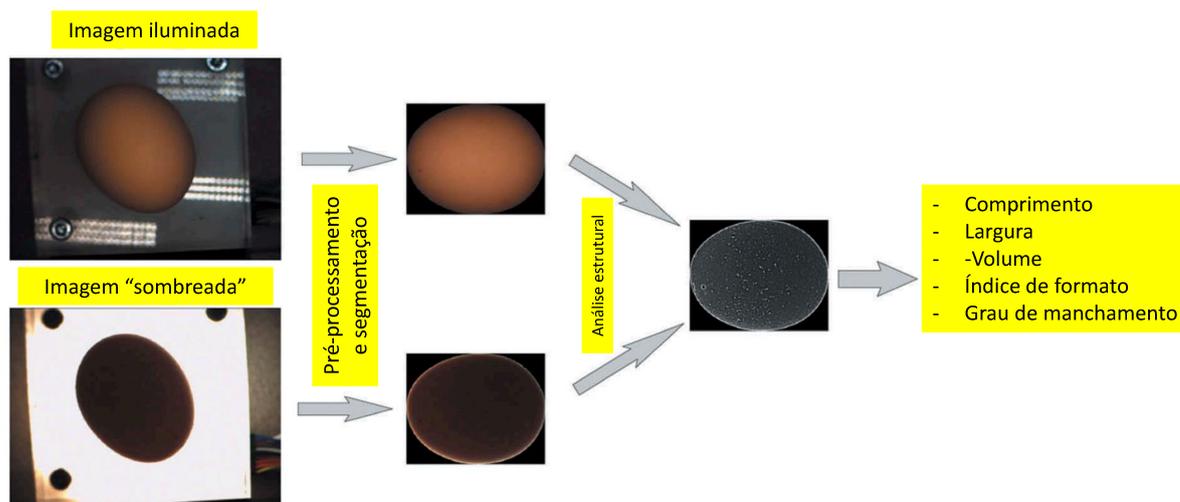


Figura 14 – Processo de captura da imagem (Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018)).

A etapa de pré-processamento era composta de uma calibração do sistema de iluminação da câmara, seguida de uma segmentação para separação da região de interesse do plano de fundo utilizando a imagem escura para se obter o contorno do ovo e posteriormente sua região interna a partir do emprego do cálculo dos componentes conectados.

O tamanho do ovo foi obtido estabelecendo primeiramente o seu eixo principal como o segmento de reta ligando os dois pontos mais distantes do contorno da imagem obtida no pré-processamento, posteriormente rotacionando-se a imagem pelo ângulo entre o eixo principal obtido e o eixo horizontal e por fim, com a imagem na horizontal, obtendo-se a distância l (comprimento) e h (altura) por meio da conversão dos valores em pixels para milímetros.

O índice de formato do ovo foi obtido calculando-se a proporção entre o raio calculado para a extremidade fina sobre o raio calculado da extremidade larga. Já o índice de tamanho do ovo foi calculado pela proporção entre sua altura e sua largura. Combinados, ambos os índices possibilitam a classificação do formato do ovo. A Figura 15 mostra a distribuição da diferença entre os valores de raio aferidos pelo método e o raio real.

Para se estimar o nível de manchamento do ovo o método utilizado consistiu dos seguintes passos:

- ❑ Seleção do canal Vermelho da imagem uma vez que o ovo era mais transparente na parte vermelha do espectro visível e, portanto, possibilitava a detecção de rachaduras e manchas.
- ❑ Equalização de histograma
- ❑ Aplicação de um filtro Laplaciano para destacar e isolar bordas dos defeitos da casca. O tamanho do filtro foi escolhido empiricamente (7×7 pixels).

- Binarização da imagem resultante.
- Cálculo da proporção entre a superfície manchada e a superfície total da casca do ovo.

Os resultados obtidos podem ser observados nas Figuras 15 a 19.

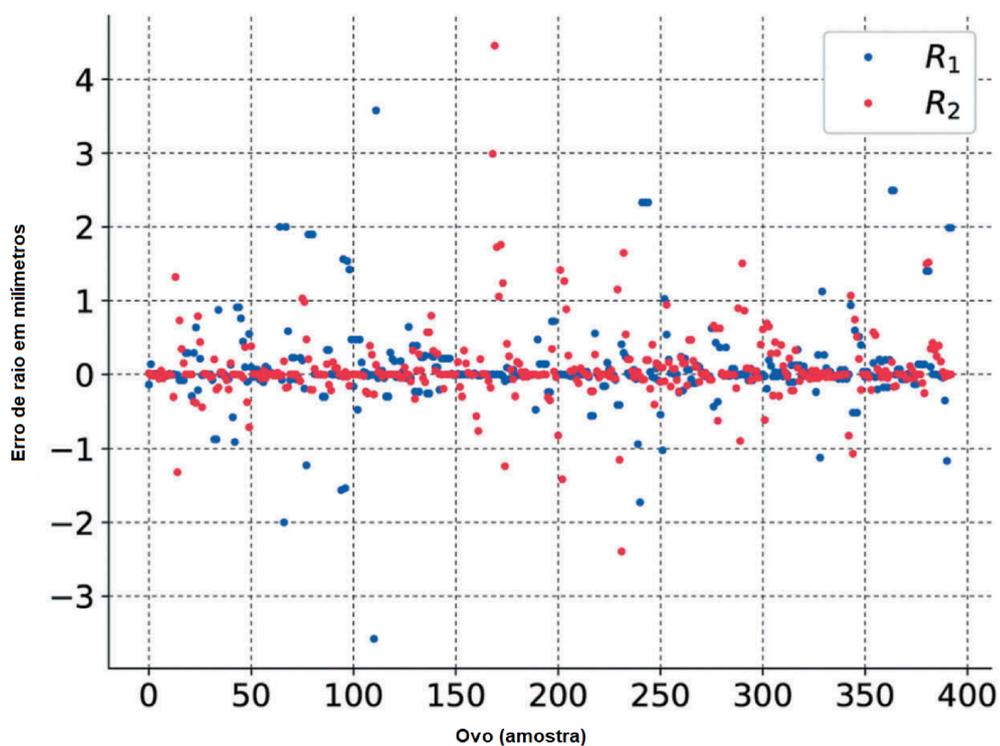


Figura 15 – Dispersão da diferença entre os valores de raio medidos manualmente e pelo método proposto. Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018).

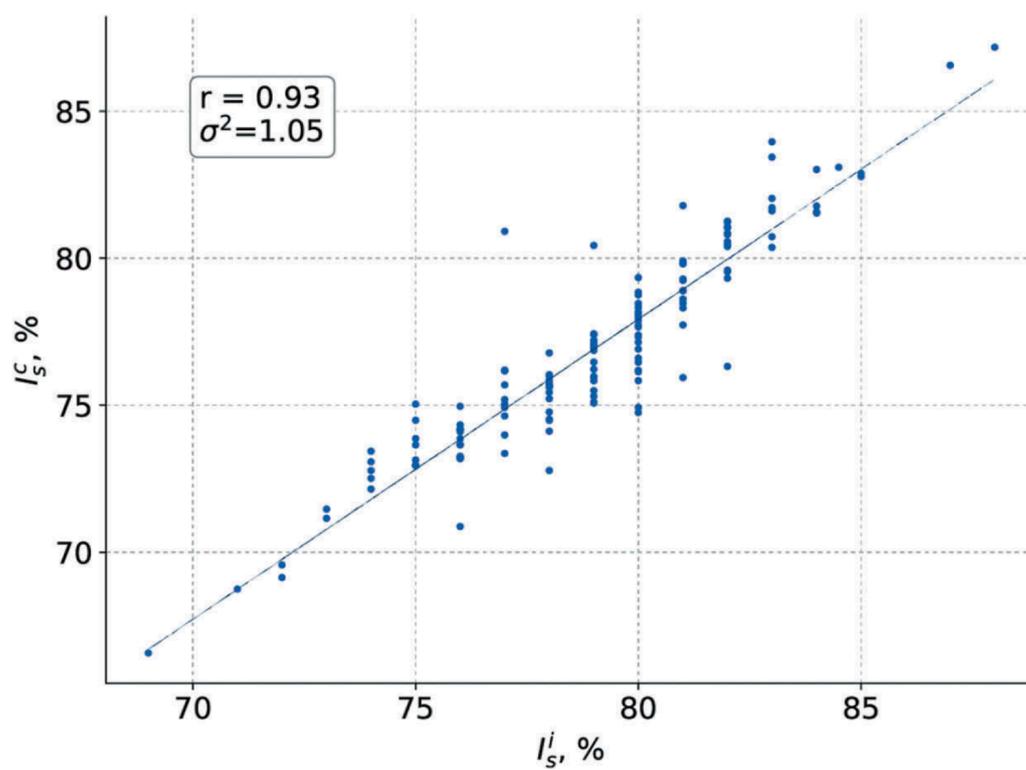


Figura 16 – Valores de índices de formato medidos em comparação com o Índice dado (I_s^i) e Índice proposto I_s^c . Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018).

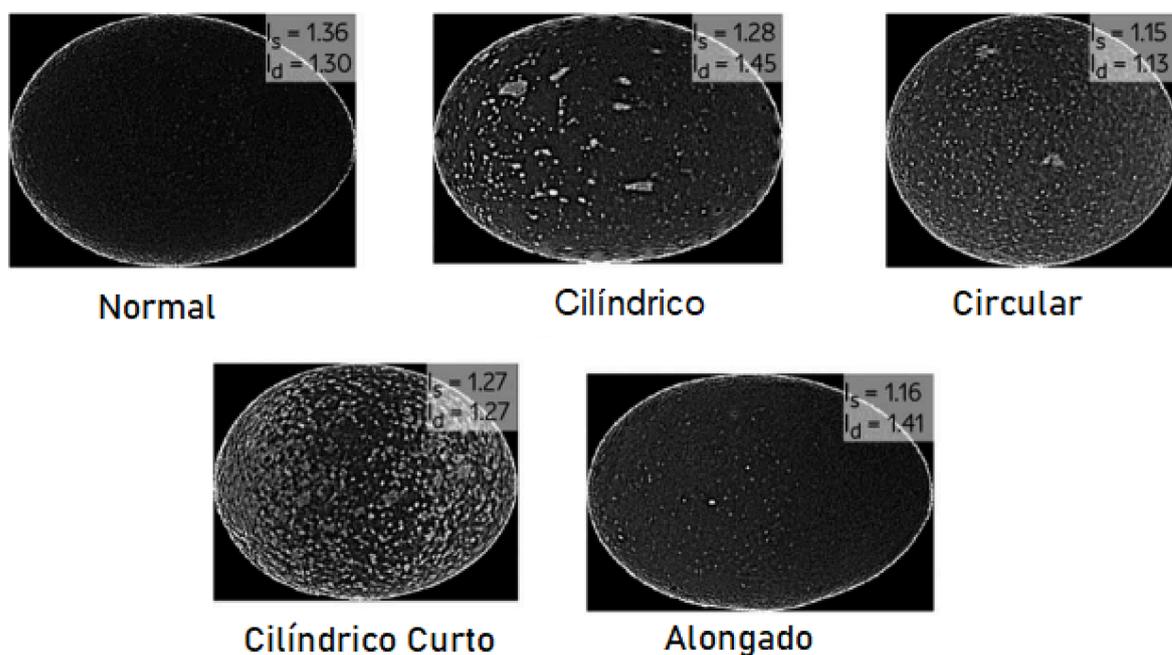


Figura 17 – Classificação de Formato do Ovo. Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018)

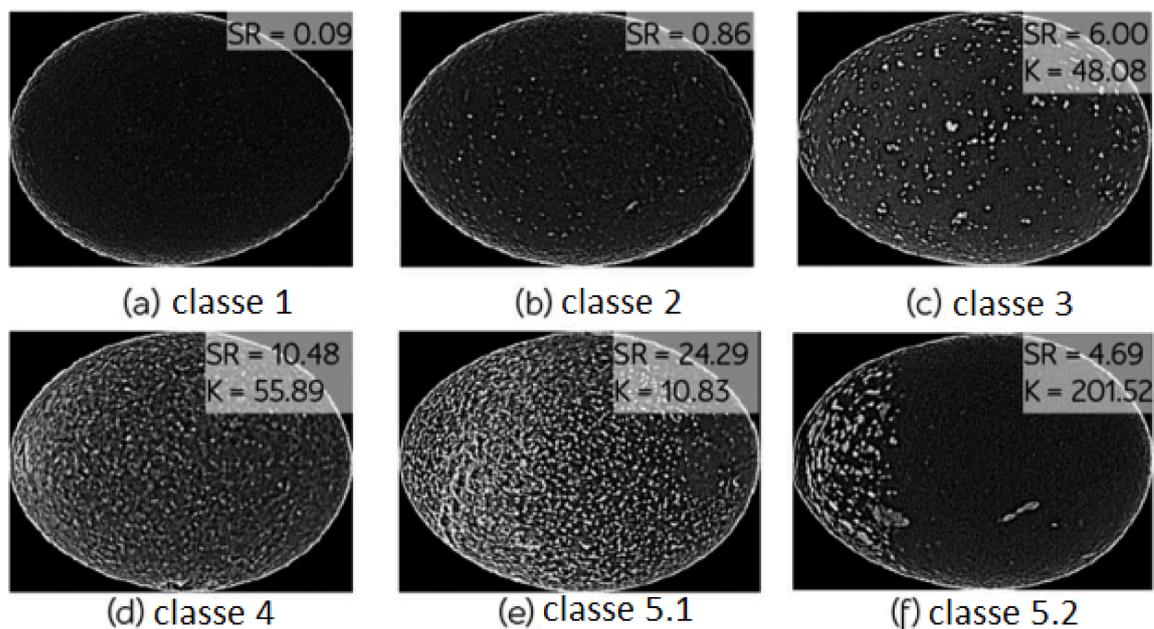


Figura 18 – Classificação de Classes de Manchamento. Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018)

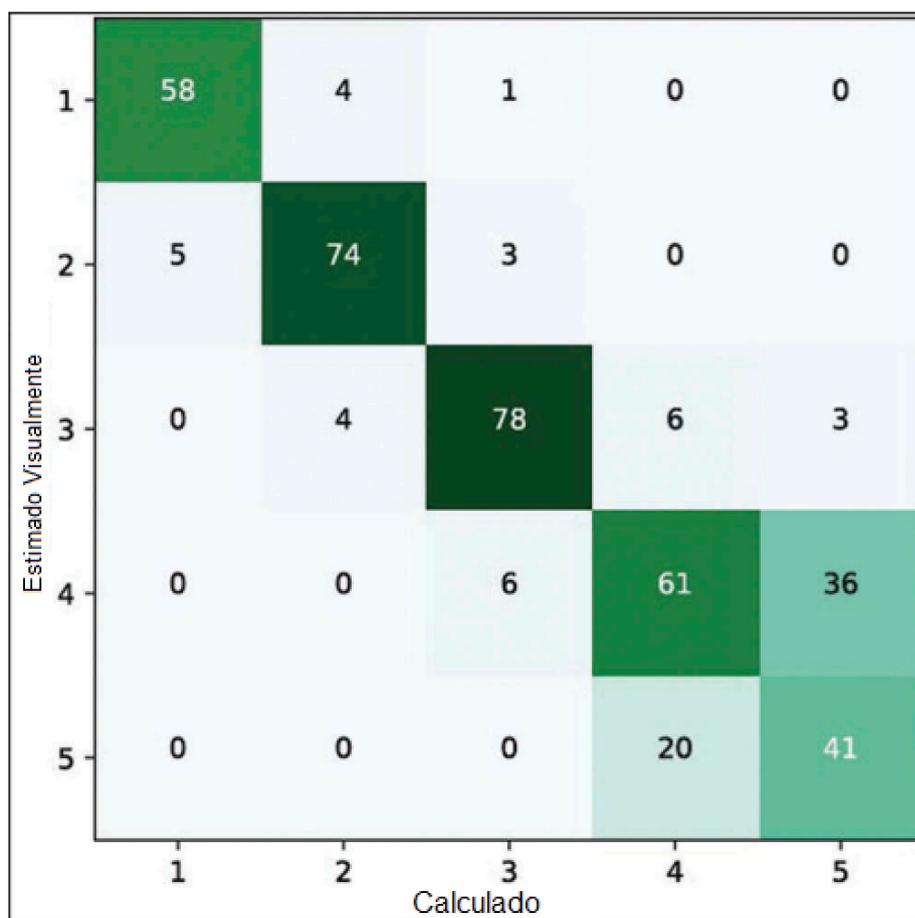


Figura 19 – Matriz de confusão dos resultados obtidos para nível de manchamento das cascas dos ovos. Imagem adaptada de (VASILEVA et al., 2018).

3.2 (ALIKHANOV et al., 2019)

Neste trabalho buscou-se a apresentação de um método para classificação automatizada de ovos utilizando-se do levantamento de algumas características destes ovos, nomeadamente as dimensões do eixo maior e menor, área, perímetro, o índice e o fator de forma.

O método proposto, consistindo da proposição do algoritmo de classificação e do projeto de aparato físico para o processamento dos ovos, foi testado numa versão modificada de uma máquina classificadora comercial consistindo de uma esteira onde os ovos eram colocados de maneira equidistante entre si e que rolava para que todos os ovos passassem por uma zona controladora onde sua imagem era capturada e enviada a uma controladora acoplada para processamento e análise. Por fim a controladora enviava comandos para uma série de tubos pneumáticos que faziam o direcionamento dos ovos de acordo com o resultado de suas classificações.

O algoritmo utilizado para o processamento foi feito no ambiente NI LabView, utilizando os módulos NI Vision Development Module e Vision and Motion Toolkit e consistia de quatro estágios: conversão do espaço de cores de RGB para escala de cinza e posterior binarização da imagem utilizando o procedimento IMAQ AutoBThreshold e o método de Otsu; calibragem dos fatores responsáveis por representar em milímetros as distâncias auferidas em pixels; aplicação de uma filtragem utilizando a operação de Fechamento; por fim a análise dos dados levantados para determinação das características físicas do ovo e cálculo de seus índices de fator e forma.

Para determinação do peso de cada ovo foi realizada uma análise regressiva para determinar qual característica física do ovo possuía maior correlação com o seu peso. Para determinar o modelo matemático que representaria essa relação os ovos foram separados em dois grupos, treino e teste, cada um consistindo de 40 ovos. Cada ovo foi manualmente pesado e teve suas características físicas levantadas por processamento de imagem. Os valores mínimos e máximos de cada parâmetro geométrico e de cada índice são então avaliados e utilizados para determinar indiretamente o peso daquele ovo e o índice de correlação entre cada um dos parâmetros relativos ao peso dos ovos é calculado. O resultado da análise indicou que o parâmetro com maior correlação era o parâmetro da área do ovo e, assim, o modelo matemático de primeira ordem da Equação 9 foi proposto:

$$m = 0,0399 * S - 15,166 \quad (9)$$

O modelo proposto foi testado em duas diferentes velocidades da esteira que correspondiam a uma velocidade de produção dois e três ovos por segundo. Os resultados do modelo proposto no processamento pela máquina em contraposição com a avaliação feita manualmente por especialista podem ser observados na Figura 20 e 21 .

Classe	Avaliação de Especialista			Classificação por máquina						Quebrados	Precisão da Classificação em %
	Padrão	Rejeitados	Total	XL	L	M	S	RD	RF		
XL	168	2	170	158	9	0	0	0	3	0	94,71
L	134	2	136	7	122	3	0	0	2	2	92,65
M	273	3	276	0	8	261	3	0	3	1	96,01
S	114	4	118	0	0	10	104	0	4	0	91,53
RD	60	0	60	0	0	0	1	59	0	0	98,33
Total	749	11	760	165	139	274	108	59	12	3	94,64

RD – Rejeitado por dimensões ; RF – Rejeitado pela forma

Figura 20 – Resultados da avaliação por especialista e classificação por máquina no regime de 2 ovos por segundo. Figura Adaptada de (ALIKHANOV et al., 2019)).

Classe	Avaliação por especialista			Classificação por máquina						Quebrado	Precisão da classificação em %
	Padrão	Rejeitado	Total	XL	L	M	S	RD	RF		
XL	168	2	170	155	10	0	0	2	3	0	92,94
L	132	2	134	8	118	3	0	0	3	1	90,30
M	272	3	275	0	13	254	5	0	2	1	93,45
S	114	4	118	0	0	16	99	0	3	0	86,44
RD	60	0	60	0	0	0	6	53	1	0	88,33
Total	746	11	757	163	141	273	110	55	12	2	90,29

RD – Rejeitado pelas dimensões ; RF – Rejeitado pela forma

Figura 21 – Resultados da avaliação por especialista e classificação por máquina no regime de 3 ovos por segundo. Figura adaptada de (ALIKHANOV et al., 2019)).

3.3 (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b)

Neste trabalho de 2021, os autores utilizam o modelo de Hügelschaffer (SCHMID-BAUER, 1948) para a geração de 1820 ovos simulados numa combinação de características físicas em acordo com o modelo. Tais ovos foram submetidos à aplicação de fórmulas clássicas, ramificações da fórmula para o cálculo de elipsóides utilizando a largura, L , e o comprimento máximo, B , proposta em (ROMANOFF; ROMANOFF et al., 1949) para o cálculo do volume e área de superfície. Os autores propõem, então, uma otimização de fórmulas e identificam dependências que facilitam o cálculo simplificado das dimensões de interesse (volume e área de superfície, calculada em função do volume) com maior precisão.

As fórmulas originalmente propostas podem ser vistas nas Equações 10 e 11:

$$V_{el} = \frac{\pi LB^2}{6} \quad (10)$$

$$S_v = \kappa_s V^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

onde κ é uma constante especulativa que visava minimizar o erro em medições não destrutivas dos ovos. Romanoff após diversas propostas de versões para o valor dessa constante conseguiram atingir resultados na ordem de 15% de erro de computação.

Narushin, no curso de investigações teóricas ao longo do tempo, em trabalhos anteriores a este, demonstrou que κ não era uma constante, mas sim uma função dos parâmetros lineares do ovo (largura e comprimento máximo) e que uma variável w , correspondendo à distância entre dois eixos, um correspondendo a B e o outro cruzando o ovo no ponto $L/2$, influenciava o coeficiente κ . Assim sendo, duas novas fórmulas foram propostas inicialmente, utilizando a nova variável e aplicada à fórmula do modelo de Hügelschaffer:

$$V = \frac{\pi B^2}{256w^3} (4wL(L^2 + 4w^3) - (L^2 - 4w^2)^2 \times \ln \left| \frac{L + 2w}{L - 2w} \right|) \quad (12)$$

$$S \approx \pi \frac{BL^2}{12} \left(-\frac{8BLw}{(L^2 - 4w^2)^2} + \frac{2\sqrt{3(L^2 - 2wL + 4w^2)^3 + B^2(5wL - L^2 - 4w^2)^2}}{(L^2 - 2wL - 4w^2)} + \frac{2\sqrt{3(L^2 + 2wL + 4w^2)^3 + B^2(5wL + L^2 + 4w^2)^2}}{(L^2 + 2wL + 4w^2)} + \frac{2\sqrt{(L^2 + 4w^2)^3 + 4B^2L^2w^2}}{(L^2 + 4w^2)^2} \right) \quad (13)$$

A aplicação as fórmulas teóricas das Equações 10 e 11 levaria ao cálculo dos valores de volume e área de superfície com alta acurácia, a medição do parâmetro w representaria uma dificuldade significativa na sua utilização.

Nesse estudo, então, para evitar as limitações inerentes à utilização de lotes de ovos que não correspondessem à alta variabilidade de formatos e proporções possíveis observadas na natureza foi utilizada uma técnica de modelagem de simulação que garantisse que todas as combinações possíveis entre os parâmetros L, B e w estariam sendo contempladas no cálculo do volume e área de superfície utilizando como base as formulações teóricas de trabalhos anteriores para determinar os valores máximos e mínimos entre as relações $SI = B/L$ e w/L e determinar o incremento de cada uma das dimensões utilizadas na simulação. Assim sendo foram utilizados na simulação os valores $L = 5, 2 \dots 6, 4 \text{ cm}$; $SI = B = L = 0, 66 \dots 0, 84$; $w/L = 0 \dots 0, 25$.

Para o cálculo do volume e partindo da Equação 10 os autores testaram o incremento em resultados que a substituição do parâmetro da constante $K_v = \pi/6$ por valores representativos da dependência deste parâmetro com os parâmetros L e B poderiam representar e chegaram à proposta final da equação 14:

$$V = 0, 5202LB - 0, 4065 \quad (14)$$

A aplicação desta fórmula para o cálculo de volume dos ovos apresentou erro variando entre 0,06-3,40% com erro médio de 1,07%.

Para o cálculo da área de superfície, dada a inexistência de um método não destrutivo, direto e preciso para a medição da área de superfície, o cálculo foi realizado utilizando uma comparação entre a estimativa dada pela substituição $w = 0$ na Equação 13, o que transformaria o modelo de Hügelschaffer num elipsoide segundo a equação 15. Tal método, porém, representava inconsistência inaceitável para utilização com propósitos práticos causados pela utilização de métodos aproximativos para o cálculo da integral clássica utilizada para cálculo da área de superfície de corpos de revolução que, no caso em questão, toma a forma da Equação 16 (NARUSHIN et al., 2020).

$$S_{w=0} \approx \pi B \frac{(2\sqrt{3L^2 + B^2} + L)}{6} \quad (15)$$

$$S = \pi B \int_{-L/2}^{L/2} \frac{\sqrt{(L^2 + 8wx + 4w^2)^3(L^2 - 4x^2) + 4B^2(4wx^2 + (L^2 + 4w^2)x + wL^2)^2}}{(L^2 + 8wx + 4w^2)} dx \quad (16)$$

Assim sendo, a Equação 16 foi modificada para substituir as dimensões L, B e w pelas razões B/L e w/L produzindo uma nova integral às quais foram aplicados os possíveis valores de $SI = w/L$ em incrementos de 0,05. Cada uma das integrais foi determinada por métodos numéricos no MS Excel em diferentes valores de $SI \frac{1}{4} 0,65 \dots 0,85$, enquanto cada uma das dependências obtidas foi aproximada pela equação correspondente.

Percebeu-se, então, que todas as dependências obtidas seguiam a mesma forma linear (Figura 22) $I_{w/L} = aSI + b$, onde a e b são coeficientes com dependência funcional relativa ao valor w/L .

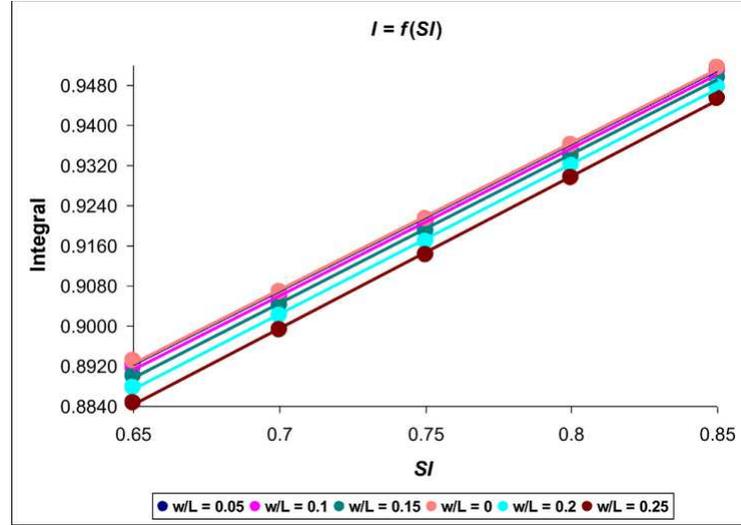


Figura 22 – Valores de integrais da equação 16 de acordo com os valores possíveis para w/L e SI : $I_0 = 0,2933SI + 0,7018$ ($R^2 = 0,9996$); $I_{0,05} = 0,2938SI + 0,7012$ ($R^2 = 0,9996$); $I_{0,1} = 0,2952SI + 0,6993$ ($R^2 = 0,9997$); $I_{0,15} = 0,2974SI + 0,6963$ ($R^2 = 0,9997$); $I_{0,2} = 0,3004SI + 0,6921$ ($R^2 = 0,9997$); $I_{0,25} = 0,304SI + 0,6867$ ($R^2 = 0,9998$). (Adaptado de (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b)).

O resultado de aproximar os coeficientes a e b geraram as seguintes dependências:

$$a = 0,043w/L + 0,292 \quad (17)$$

$$b = 0,704 - 0,061w/L \quad (18)$$

O que tornou possível a obtenção da fórmula para o valor da integral $I_{w/L} = aSI + b$:

$$I_{w/L} = (0,043w/L + 0,292)SI - 0,061w/L + 0,704 \quad (19)$$

Como resultado, a fórmula para cálculo de S pôde ser apresentada na sua forma final:

$$S = \pi BL((0,043w/L + 0,292)SI - 0,061w/L + 0,704) \quad (20)$$

Considerando a inexistência de um método direto e preciso para medir S , a precisão do cálculo de integrais foi estimada analisando o caso particular quando o modelo de Hügelschaffer para ovoides se transforma em um elipsoide, ou seja, para $w = 0$. Nesse caso, a Equação 20 deveria fornecer valores idênticos calculados pela equação de cálculo da área de superfície de elipsoides.

A análise comparativa mostrou completa concordância dos resultados usando a Equação 20 (após a substituição correspondente de $w = 0$), com um erro de cálculo sendo 0,00002%. Assim, foi concluído que a Equação 20 poderia ser tomada como base para fazer cálculos precisos da área de superfície dos ovos, cuja forma corresponde ao modelo de Hügelschaffer.

A próxima etapa foi a análise dos dados obtidos por meio de simulação de toda a variedade possível de ovos de galinha conforme descrita acima. O cálculo do volume do ovo foi realizado de acordo com a fórmula anteriormente apresentada para ovóides descritos pelo modelo de Hügelschaffer (equação 12) e os valores da equação 20 foram os critérios para análise comparativa.

A análise comparativa dos 1820 valores gerados para ovos de galinha mostraram o erro de cálculo médio para de 1,2%, variando de 0 a 5,7% com erro médio de 0,3%, variando de 0 a 0,9%. Assim, o uso da fórmula para o cálculo da área de superfície de elipsóides foi considerado bastante aceitável no estudo de área de superfície dos ovos de galinha.

3.4 Carneiro et al. (2016)

No trabalho de (CARNEIRO et al., 2016) investigou-se a comparação entre dois métodos de análise da coloração da gema de ovos com intuito de determinar sua adequabilidade à demanda do mercado consumidor. Uma técnica correspondia ao método tradicional utilizando leque colorímetro e desempenhando as análises através da avaliação física por um avaliador humano, análise esta subjetiva e dependente da acuidade visual e aptidão do aparato fisiológico do avaliador e uma segunda técnica consistia da proposta dos autores deste trabalho, com a proposição de um método computacional que visava à automação do processo.

A coloração das gemas dos ovos é amplamente dependente da deposição de pigmentos advindos da alimentação das galinhas poedeiras. Para o desenvolvimento deste trabalho 108 ovos de galinhas poedeiras da linha Isa Brown foram analisados e divididos em 3 grupos: o grupo controle, grupo daqueles ovos botados por galinhas alimentadas com a ração base, o grupo de ovos das galinhas alimentadas com ração com aditivo de 3% de farelo de Urucum e o grupo de ovos das galinhas alimentadas com ração aditivada com 8ppm de cantaxantina + 25 ppm de apocaroteno.

Todas as gemas foram analisadas pelo método tradicional usando o leque colorímetro e imediatamente após esta análise as gemas e o leque foram expostas à captura fotográfica a partir de uma câmera Kodak Easy Share de 12 megapixels, M530 que foi afixada em hastes para melhor estabilização. As fotos foram capturadas pelo mesmo fotógrafo e em ambiente de iluminação controlada e todas as análises foram conduzidas pelo mesmo indivíduo no mesmo local.

As fotos das gemas foram então submetidas a processamento por meio de um software

desenvolvido na Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia (ainda não publicado, à época do artigo). O software utiliza diversas rotinas de processamento de imagens, reconhecimento de padrões e visualização computacional. Por meio da combinação dessas técnicas, foi feita a identificação da localização da gema na foto. Uma vez fotografada, foi definida a sua região central. Essa região foi subdividida em três partes iguais, sendo considerada somente a parte central para a análise de cor. A partir dos pixels que compuseram a parte central da gema foi quantificada a sua cor. Dessa forma, para quantificar a cor média de uma região da imagem, pode-se calcular, separadamente, as médias das intensidades nos canais vermelho, verde e azul e posteriormente calcular-se a média da cor de seus pixels utilizando o sistema de cores Lab e para cada uma delas foi atribuído um escore em relação ao leque colorímetro. Em seguida, para cada escore do leque colorimétrico, foi determinada a distribuição espacial das cores dos seus pixels segundo o sistema de cores Lab o que resultou na representação de cada cor na forma de um ponto pertencente a um espaço 2d (uma vez que o componente L foi ignorado por corresponder apenas à luminância). Por fim, cada distribuição de escore foi convoluída com uma máscara Gaussiana, a fim de estimar a probabilidade de cada escore. Isso resultou na distribuição apresentada na figura 23(d), onde cada região do espaço 'a-b' está mapeada e relacionada a um escore do leque, que indicou a cor da gema.

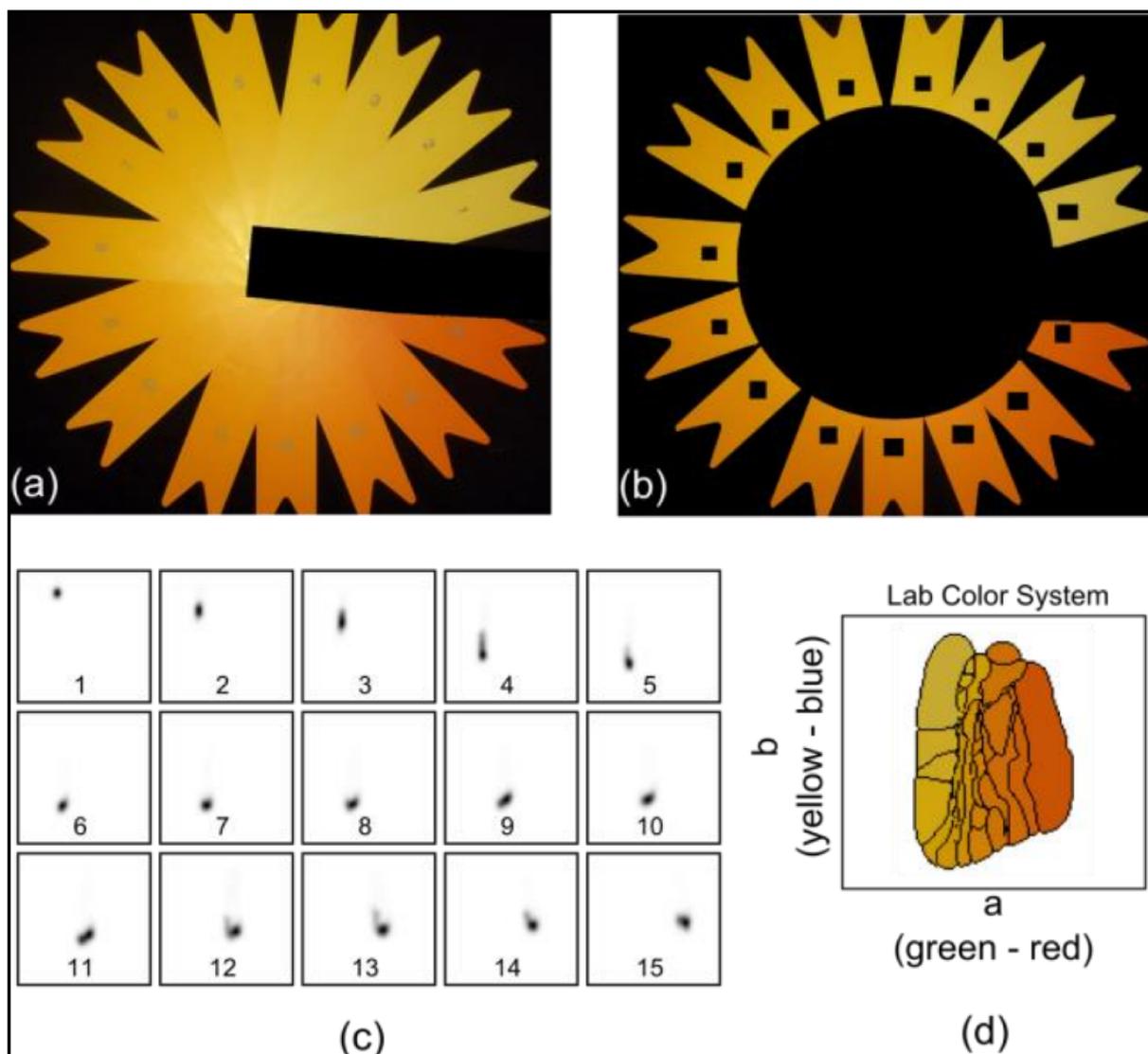


Figura 23 – A) Foto do leque colorimétrico obtida com a mesma câmera usada nas coletas das imagens das gemas. B) Seleção das partes do leque que foram passadas ao software para determinação da cor média de cada parte do leque. C) Distribuição das intensidades dos pixels de cada escora do leque colorimétrico no sistema de cores Lab (eixo horizontal – canal a; eixo vertical – canal b). É possível notar que cada escora está distribuído em uma região diferente dos eixos (a-b). D) Junção de todas as distribuições de escoras após a convolução com uma máscara Gaussiana, formando um mapa de escoras baseado nas coordenadas a e b - Imagem de (CARNEIRO et al., 2016)

Calculou-se, para fins de demonstração de resultados, a diferença absoluta entre o escore obtido pelos sistemas manual e digital e, nesta comparação, pôde-se perceber que a classificação manual foi mais uniforme que a digital e que a variação entre a análise digital e manual era mais acentuada nas gemas de coloração menos alaranjadas. Os resultados podem ser vistos na Figura 24.

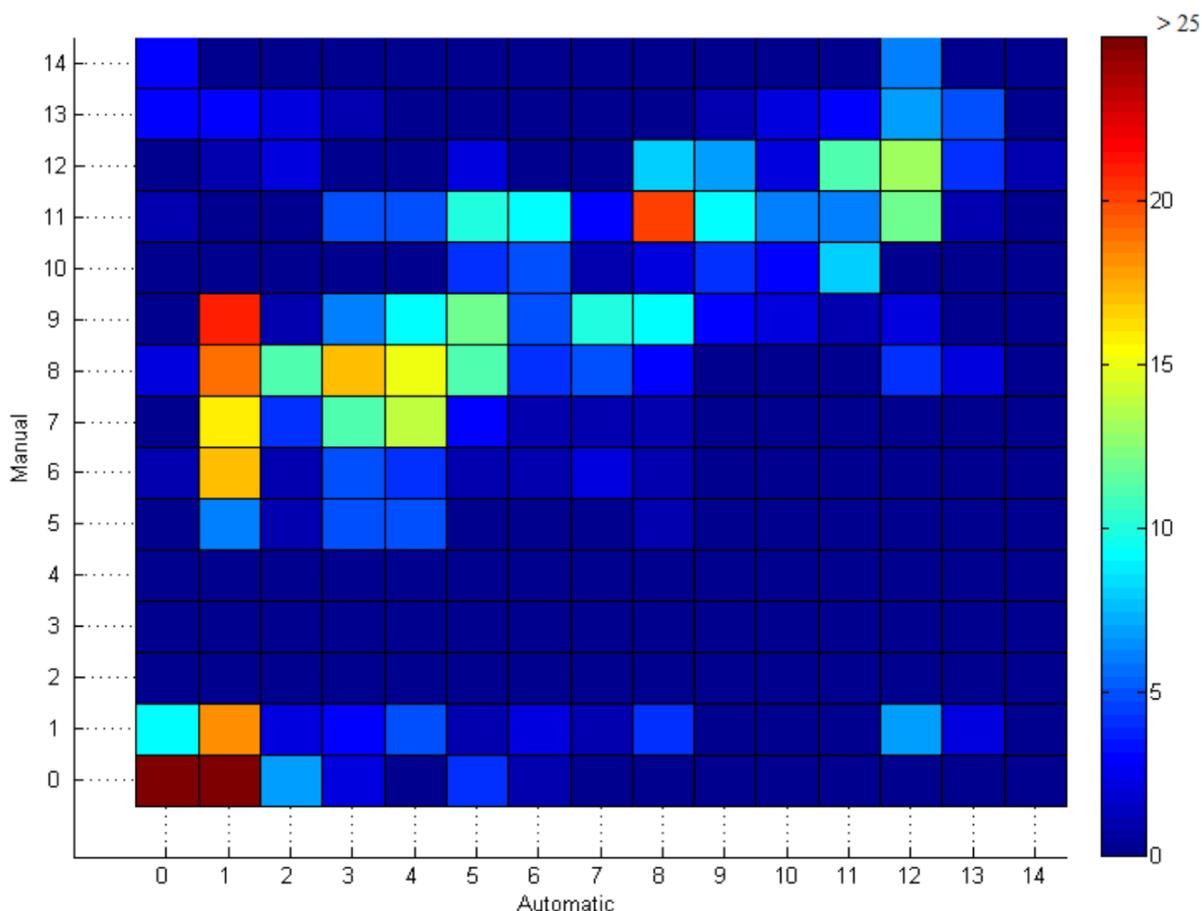


Figura 24 – Mapa de erro entre a classificação de cor da gema pelo método automático e manual. Em geral, a cor da gema dada utilizando o leque é maior do que a fornecida pelo computador. Esta divergência tende a diminuir nas gemas de coloração mais alaranjada. - Imagem de (CARNEIRO et al., 2016)

Em sua conclusão, os autores indicaram que a identificação da cor da gema com o programa computadorizado de análise de fotos foi mais precisa do que com o leque colorimétrico. Foi demonstrado, ainda que a homogeneidade do gráfico feito com o método subjetivo, e que não existe no gráfico feito com o computador, sugere influência de vies tendencioso do indivíduo. Os autores sugerem, por fim, que o avaliador pode não ter sido capaz de distinguir entre as tonalidades mais claras de amarelo e que, por mais precisa que seja a visão humana, existem algumas variáveis que afetam a percepção, como a menor sensibilidade do olho para determinadas cores. Resta ainda o cansaço visual decorrente do tempo prolongado de observação.

Metodologia

Neste capítulo serão apresentados o projeto para o protótipo de câmara de captura das imagens que serão utilizadas em todo o trabalho, assim como as ferramentas e métodos utilizados para efetuação das medições envolvidas com a validação dos dados obtidos pelo algoritmo aqui proposto. Apresenta-se também a forma de funcionamento do algoritmo, aqui chamado de EggScale, de forma a ilustrar a ideia que fundamenta a abordagem para extração dos resultados obtidos.

4.1 Materiais

4.1.1 Aparato de aquisição de imagens

Dado o potencial de influência que o posicionamento da captura, as condições de iluminação e outros possíveis fatores externos poderiam ter no desenvolvimento das análises, buscou-se a proposição de métodos que visassem garantir a uniformidade das condições para a captura da imagem buscando eliminar ou diminuir consideravelmente a possibilidade de distorção que alguns desses fatores pudessem causar. Nesse sentido, projetou-se e construiu-se um aparato para aquisição das imagens de ovos. O aparato consiste de uma câmera convencional de alta resolução acoplada a uma plataforma suportada por quatro placas paralelas de MDF, utilizadas para constituir uma câmara que possui um suporte para posicionamento de ovos e iluminação interior, de forma a reduzir a influência de diferentes condições de iluminação ambiente (Figura 25). As imagens são captadas a partir da deposição dos ovos sobre bandejas de poliestireno tingido com a cor preta para potencialização do contraste. As bandejas são alocadas dentro da câmara num assoalho móvel que pode ser posicionado a diferentes alturas fixas, garantindo que a distância da bandeja à lente da câmera seja sempre conhecida. Cada bandeja, contendo até 24 ovos por lote, é então submetida à captura da imagem (Figura 25).

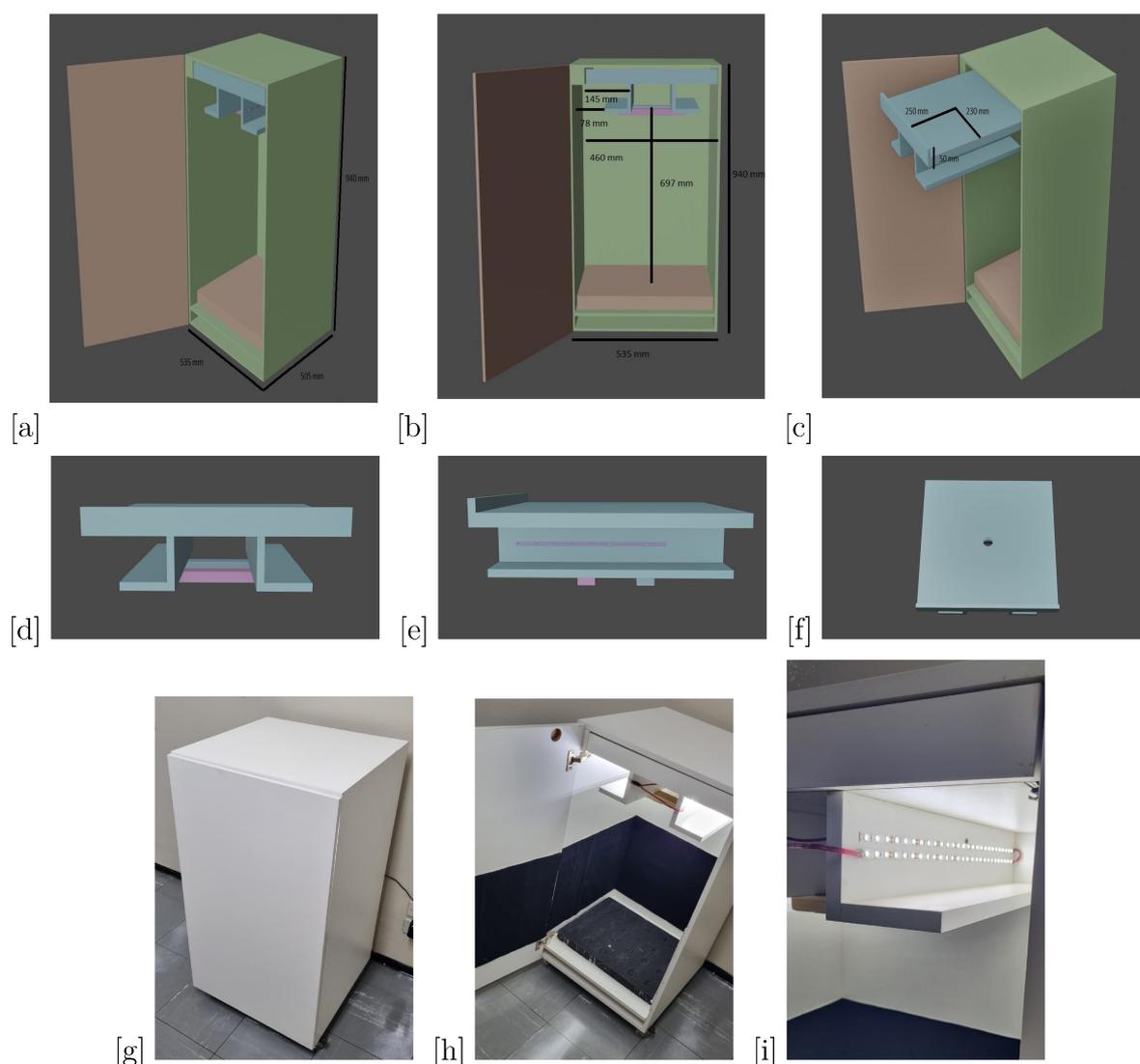


Figura 25 – Aparato de aquisição das imagens. (a)-(c) Projeto das dimensões da câmara e da gaveta; (d)-(f) Projeto da gaveta destacada da câmara; (g)-(i) Câmara de captura.

4.1.2 Conjunto de dados

Um total de 254 ovos de diferentes cores e tamanhos foram usados nos experimentos. Desses ovos, 60 foram utilizados na avaliação das características físicas e 194 foram utilizados na avaliação das características de cor. A diferenciação entre o número de ovos utilizados em cada etapa se dá pelo fato de as diferentes análises terem sido realizadas em momentos diferentes e a utilização do mesmo lote de ovos ter sido impossibilitada pela necessidade de repetição dos experimentos e a impossibilidade do acesso aos mesmos lotes de ovos, fornecidos por uma granja, para a realização destes experimentos em momentos diferentes. Buscou-se a realização das análises em lotes de ovos que representassem a ampla gama de variabilidade encontrada nas dimensões, formatos e cores de ovos de galinha.

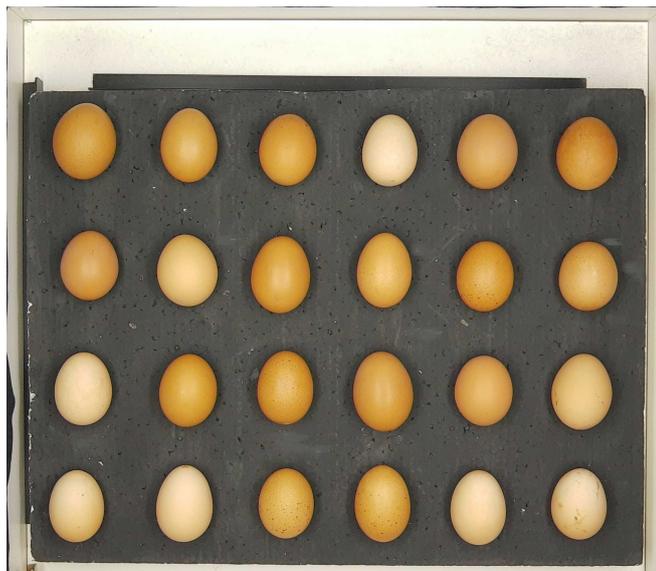


Figura 26 – Exemplo de bandeja de ovos capturada na câmara.

4.1.3 Conjunto de dados 1: Dimensões dos ovos

A largura e o comprimento dos 60 ovos foram obtidos manualmente por dois operadores diferentes usando um paquímetro digital. Cada bandeja foi fotografada cinco vezes – antes de cada foto, os ovos foram ligeiramente ajustados em seus respectivos nichos. O objetivo era avaliar se essas variações impactariam na precisão do método proposto.

Para medir o volume do ovo, foi utilizado um béquer comum com água tingida de azul para aumentar o contraste. Registros fotográficos do béquer cheio com o líquido foram feitos antes e depois da imersão do ovo nele, a fim de determinar a quantidade de líquido deslocado e, portanto, seu volume (Figura 27). Após a coleta das imagens, as mesmas foram processadas no software *GIMP* versão 2.10.32, em que foram feitas medidas de referência para determinar a relação *pixel* por milímetro em cada foto a partir das medidas reais obtidas com um paquímetro, em milímetros, do béquer fotografado em relação às medidas de distância em *pixels* feitas para cada foto e utilizando como referência, para ambas as medidas, a marca de 100ml. Com a relação volume/milímetro estabelecida pela medição física da dimensão contida entre cada marcação gravada no béquer e aferida pela pesagem do béquer cheio de água destilada (cuja relação peso/volume é conhecida) à temperatura ambiente para cada marcação e com a determinada a relação *pixel*/milímetro. Essas relações foram, então, utilizadas em cada uma das fotos para correlacionar a medida obtida para o volume de líquido em cada uma das fotos e, assim, determinar a diferença de volume entre elas, valor que corresponderia ao volume do ovo.

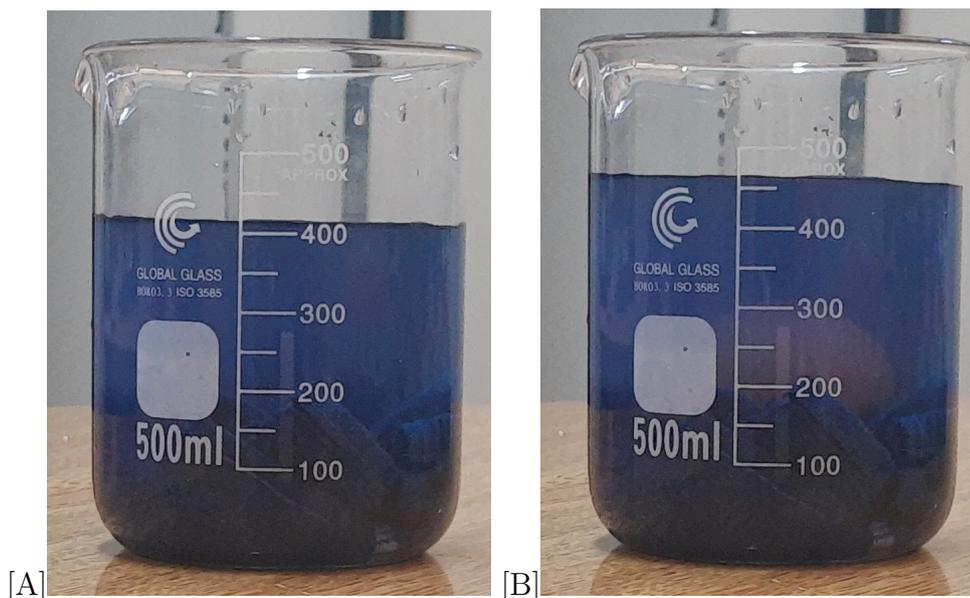


Figura 27 – Processo de estimativa do volume dos ovos utilizando-se de um béquer. (a) Imagem anterior à deposição do ovo no béquer (b) Imagem posterior à deposição do ovo no béquer. O volume é estimado pela quantidade de líquido deslocada.

4.1.4 Conjunto de dados 2: Cor da casca

Um lote de 600 ovos foi recebido como doação de uma granja de galinhas poedeiras localizada no interior do estado de São Paulo. O lote era composto de ovos provenientes de diversas linhagens diferentes de galinhas poedeiras e representavam uma ampla gama de características distintas, tendo sido selecionadas de maneira aleatória dentre a produção diária. Estes ovos foram submetidos à análise de dois avaliadores humanos, os quais indicaram a coloração da casca seguindo a classificação proposta por uma paleta padrão de cores fornecida pela empresa *Lohmann Breeders GmbH* e utilizada nas classificações visuais nela realizadas (a paleta representa tons de cascas de ovos variando do mais escuro (1) ao mais claro (24) encontrado na Figura 28). Nesse processo, foram encontradas 19 classes entre as 24 presentes na paleta, tendo o avaliador 1 encontrado as cores de 8 a 24 e o avaliador 2 as cores de 6 a 24 (nenhum dos ovos foi indicado como pertencente às classes de cores 1 a 5 por nenhum dos avaliadores).

Para a classificação da cor da casca, por motivos de praticidade e logística de transporte, um lote de 194 ovos foi selecionado dentre os 600 originais, sendo este separado em 17 grupos com, no máximo, 12 ovos em cada. Imagens dos 194 ovos e de cada instância de cor presente na paleta foram então capturadas para realização dos testes.



Figura 28 – Paleta colorímetro padrão fornecida pela Lohmann Breeders GmbH.

4.2 Métodos

A Figura 29 mostra um diagrama dos passos da metodologia utilizada para o levantamento das características físicas dos ovos. O algoritmo foi implementado na linguagem Python versão 3.9.0. com utilização da biblioteca OpenCV. A aplicação dispõe de uma interface gráfica para seleção das imagens que serão trabalhadas e seu funcionamento é simples, consistindo da escolha da imagem a partir de uma pasta local ou de sua obtenção através de um sequência de captura vindo direto da câmera acoplada ao aparato. É possível mudar a calibragem utilizada pela aplicação com a definição do fator de *pixel* a ser utilizado. O valor padrão do fator de *pixel* é definido em 0,250417, valor obtido pela relação traçada entre a resolução da câmera utilizada e a distância do objeto da captura à lente da câmera e as dimensões reais do objeto fotografado. Esse valor afeta a precisão da medição dos volumes dos ovos e pode ser ajustado para se adequar às necessidades do usuário e à resolução da imagem. Após a seleção da imagem uma nova janela é apresentada para que o usuário possa determinar as linhas verticais e horizontais que serão responsáveis pela definição das sub-imagens contendo cada ovo específico da bandeja. Assim dá-se início à análise de cada um dos ovos presentes na bandeja.

4.2.1 Captura da imagem

O primeiro passo para processar a bandeja de imagens é gerar imagens individuais para cada ovo. Esse processo é executado de forma interativa, posicionando linhas verticais e horizontais na imagem utilizando a interface gráfica. Cada imagem de ovo individual é indexada com sua respectiva posição na bandeja (linha e coluna – Figura 30).

4.2.2 Segmentação assistida dos ovos

A imagem redimensionada é então convertida do espaço de cores RGB para HSV. Verificamos empiricamente que o espaço de cores HSV resulta em uma segmentação mais

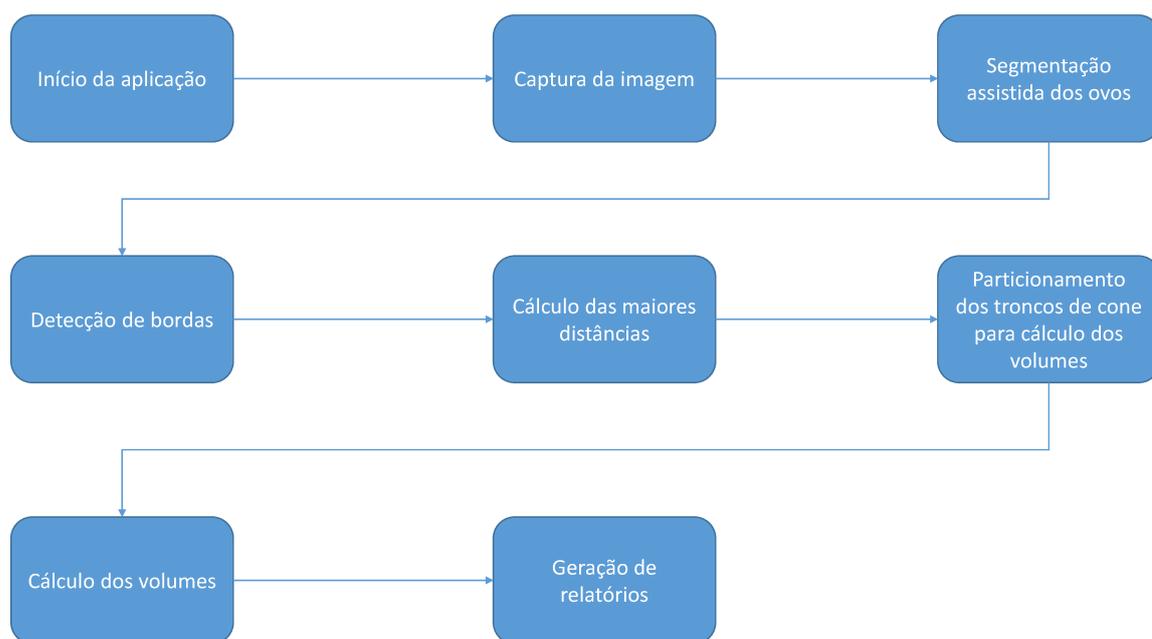


Figura 29 – Passos do algoritmo para cálculo das características físicas dos ovos.

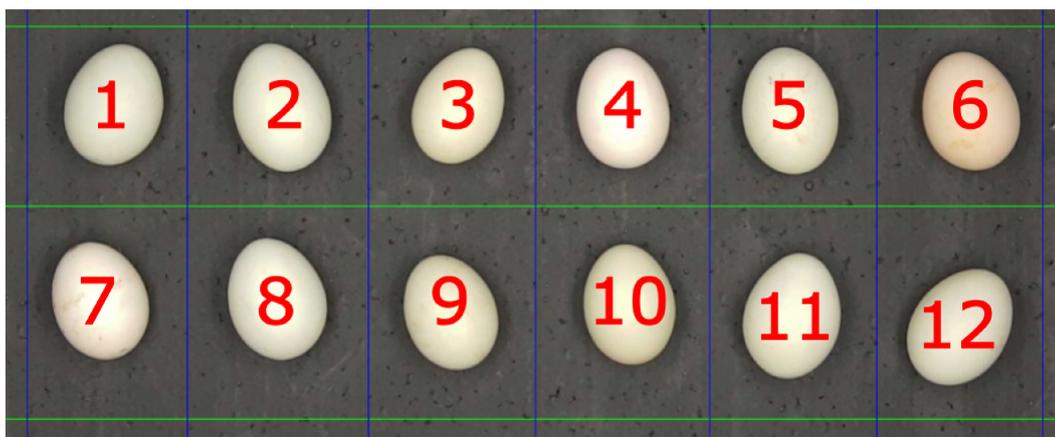


Figura 30 – Bandeja de ovos com linhas e colunas determinando cada subimagem a ser trabalhada.

eficaz da região de interesse da imagem em contraste com outros espaços de cores testados, como YCbCr e o próprio RGB. A imagem é então segmentada por meio de uma binarização realizada com a aplicação de limiares determinados empiricamente com base em dados de histograma e aplicados no canal de brilho da imagem seguido de um filtro de mediana com máscara 3×3 a fim de eliminar ruídos e pontos esparsos da imagem. Como uma etapa adicional para aumentar a precisão da segmentação, a caixa delimitadora contendo o ROI é calculada identificando os componentes conectados da imagem e eliminando qualquer componente identificado cujas dimensões sejam menores que 30% da dimensão horizontal e 15% da dimensão vertical original da imagem (Figura 31[B]).

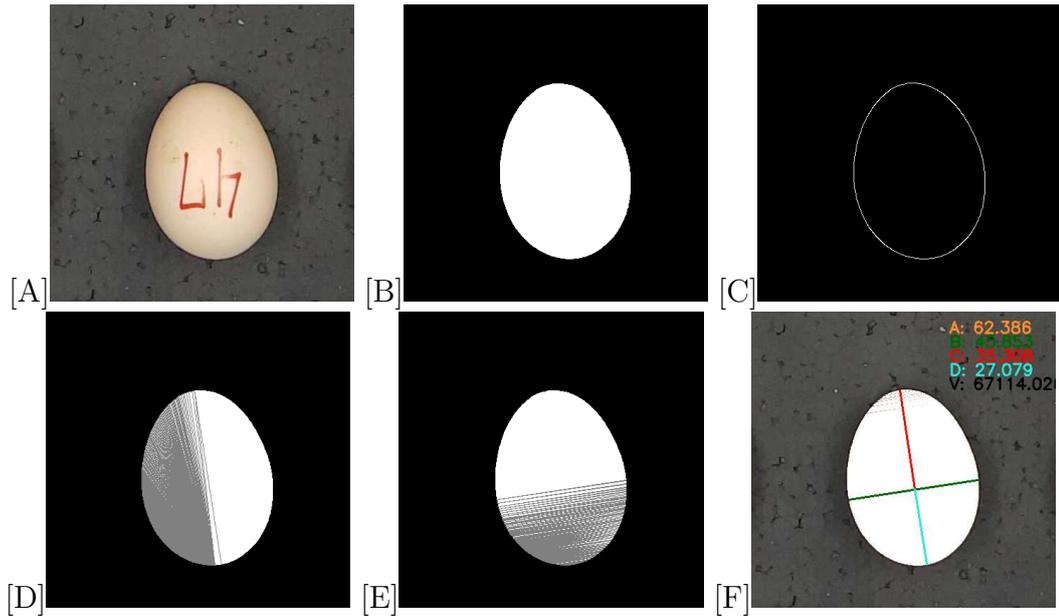


Figura 31 – Passos do processo de identificação das dimensões do ovo. (a) Ovo originalmente identificado. (b) Objeto segmentado na imagem. (c) Detecção do contorno do ovo. (d) Processo de identificação da maior linha entre dois pontos do contorno. (e) Processo de identificação da maior linha entre dois pontos do contorno perpendicular à linha identificada no passo anterior. (e) Largura máxima e comprimento identificados.

4.2.3 Detecção de bordas e cálculo das dimensões

Após a identificação do ROI, é possível calcular as dimensões do ovo. Primeiramente, a identificação do conjunto P_1 composto por todos os pontos (x, y) no contorno do ovo é realizada usando o método *Marching Squares* (HANISCH, 2004). Em seguida, calcula-se a distância entre todos os pares de pontos em P_1 (Figura 32 [B]). A maior distância identificada entre dois pares de pontos corresponderá ao eixo primário L do ovo. Com o eixo primário determinado, toma-se todos os pares de pontos que formam um segmento de reta perpendicular ao eixo primário encontrado. A distância representada por estes segmentos formados assim como a distância entre o ponto em que cada respectivo segmento perpendicular corta o eixo principal e o ponto da base do eixo primário (altura h) é guardado em um dicionário e estes registros são, então, ordenados pela altura h . O eixo secundário, B , é definido, pois, pelo maior segmento de reta entre os segmentos de reta formados pelos pares de pontos em P_1 e perpendiculares a L (Figura 32[C]). As distâncias aqui calculadas são determinadas pela distância Euclidiana (Equação 21).

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (21)$$

O eixo primário encontrado na primeira etapa corresponde ao comprimento e o eixo secundário encontrado na segunda etapa corresponde à largura máxima do ovo (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021a), medida em *pixels*. As medidas em *pixels* são

convertidas para milímetros pela multiplicação de um fator constante, identificado empiricamente por meio da calibração do sistema, considerando a distância constante entre o dispositivo de captura e a base da bandeja e a resolução das imagens geradas (Figura 31[F]).

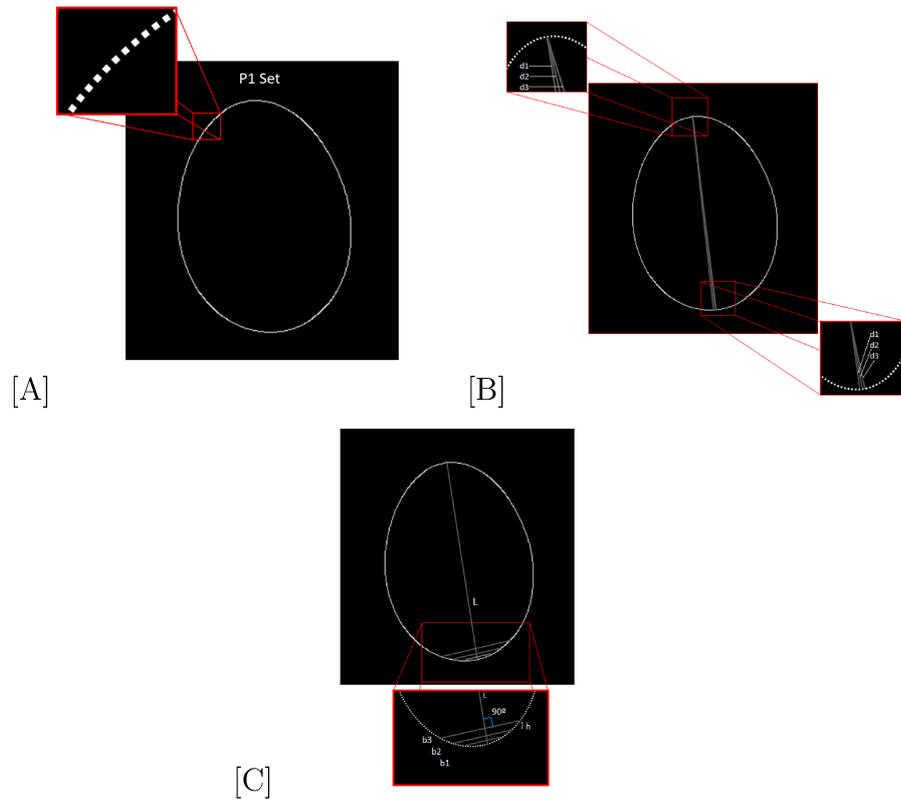


Figura 32 – Cômputo das dimensões do ovo. (a) Pontos da borda do ovo. (b) Eixo primário L determinado pela maior distância entre um par de pontos da borda. (c) Eixo secundário determinado pelo maior segmento perpendicular a L .

4.2.4 Cálculo do volume do ovo a partir dos troncos de cone

Com o eixo primário e todos os segmentos de reta que o cortam formando ângulo de 90 graus, assim como a distância destes segmentos à base do eixo principal pode-se proceder ao cálculo do volume do ovo. O cálculo é realizado a partir da premissa de que cada região delimitada pelos sucessivos cortes ao longo do comprimento do ovo representados pelas linhas perpendiculares ao eixo principal encontradas no passo anterior e separados por uma distância h formam um tronco de cone. À medida em que se diminui esta distância h , a curva da casca do ovo se aproxima de tal forma da borda deste tronco de cone que a diferença se torna desprezível. O volume do ovo é calculado, pois, com base na soma dos vários volumes de tronco de cone recortados da casca do ovo (Figura 33, Equação 22). A distância h corresponde à distância entre cada uma das linhas perpendiculares ao eixo principal do ovo encontrado na etapa anterior. R e r correspondem, respectivamente,

às dimensões maior e menor de duas linhas consecutivas. Cada volume calculado desta forma corresponderá ao volume do tronco de cone com dimensões da base maior R , base menor r e altura h . A soma dos volumes calculados para todas as linhas sequenciais corresponderá ao volume aproximado do ovo. O estado final do processamento do quadro é visto na Figura 34.

$$\sum((\pi * h)/3) * (R^2 + r^2 + R + r) \tag{22}$$

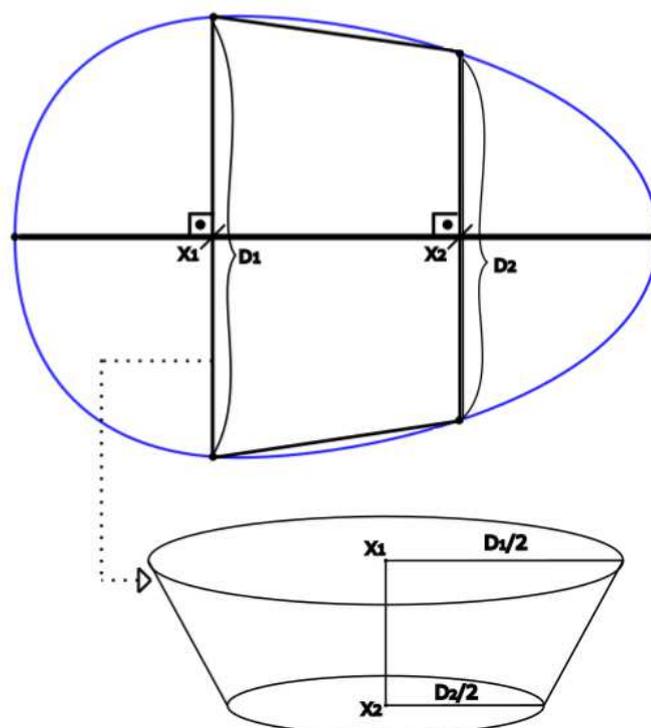


Figura 33 – Tronco de cone extraído da secção horizontal do ovo.



Figura 34 – Ovo segmentado e com ambos os eixos determinados.

4.3 Levantamento de características de cor

Para aferição da precisão do método para levantamento da cor da casca dos ovos foram realizados testes de repetibilidade e reprodutibilidade. Um lote de 58 ovos foi separado do lote original para a aplicação destes testes. Os ovos escolhidos visavam a composição de um grupo heterogêneo que representasse a variabilidade de cores de cascas encontradas na amostra e foram assim escolhidos, novamente, por um motivo de logística dado o experimento que seria implementado. As imagens desses 58 ovos foram então apresentadas aos dois avaliadores humanos juntamente com uma imagem representativa das cores presentes na paleta padrão. Foi solicitado aos avaliadores que indicassem a cor predominante da casca do ovo em análise clicando na cor correspondente dentre as cores representadas na imagem da paleta (Figura 35). Cada imagem componente da amostra foi apresentada, pelo menos, 10 vezes diferentes e de forma aleatória ao mesmo avaliador para garantir a repetibilidade do experimento e os resultados obtidos foram computados a fim de compará-los com os resultados obtidos pelo sistema computacional.

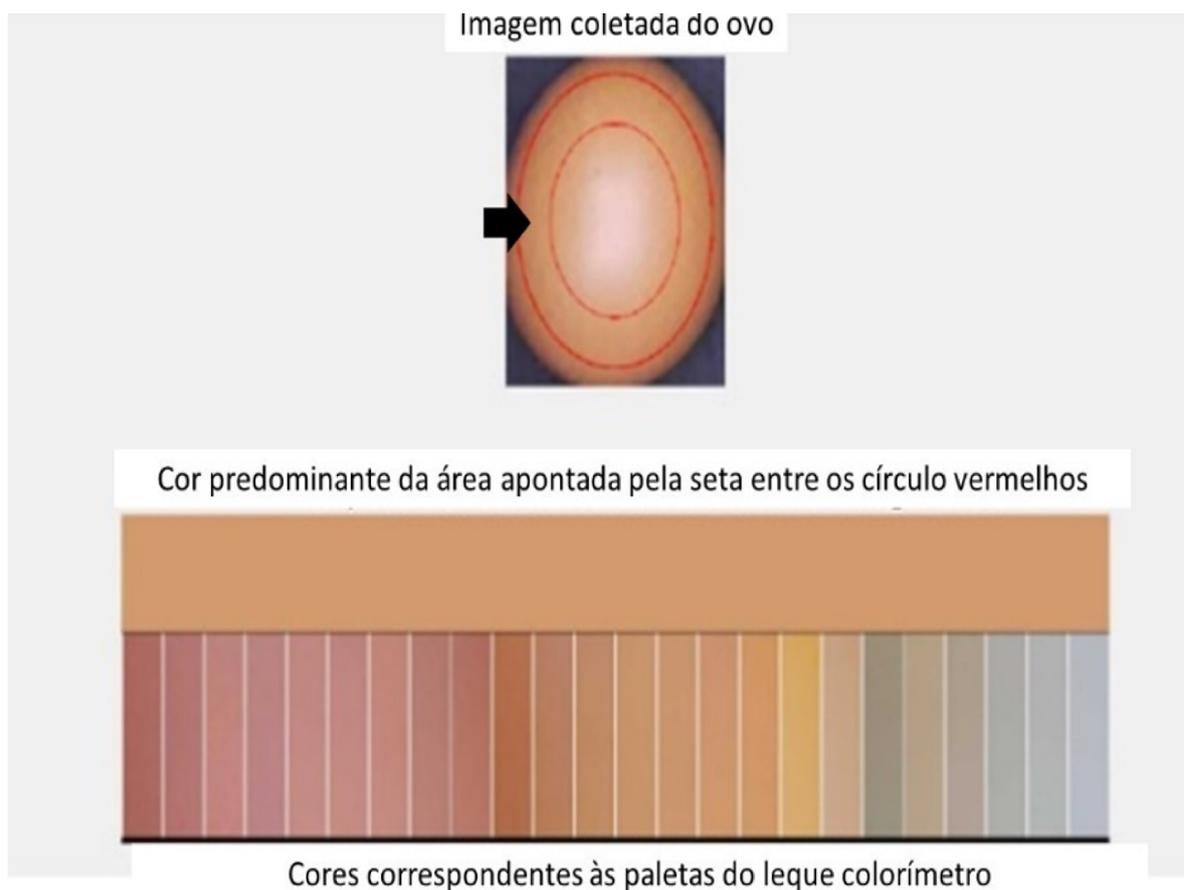


Figura 35 – Screenshot do sistema utilizado para classificação das cores de cascas de ovos pelos avaliadores humanos.

Os passos iniciais para o levantamento das características de cor da casca dos ovos pelo sistema seguem o estabelecido para o levantamento de suas dimensões com os primeiros passos sendo idênticos: captura da imagem, segmentação assistida e detecção de bordas do objeto.

Para definir as características de cor da casca, no entanto, foi necessário definir uma região da casca a ser analisada (*region of interest* ou *ROI*), visto que existe uma saturação excessiva na região central da casca causada por reflexão especular, o que prejudicava a análise de cor. Para a definição desta região, foram definidas duas elipses centradas na ROI, a maior – Elipse A – com um raio maior e um menor equivalente a 95% das dimensões de altura e largura da ROI respectivamente, ou seja, 95% das dimensões do Eixo A (Comprimento) e do Eixo B (Largura Máxima); e a menor — Elipse B — com medidas equivalentes a 35% dos valores dos Eixos A e Eixo B respectivamente (Figura 36).

Então, a região correspondente a todos os *pixels* pertencentes à Elipse A, mas não à Elipse B, é usada para avaliar a cor do ovo. São calculados os valores médios de cada canal do espaço de cores RGB.

Para facilitar a análise comparativa, as cores encontradas pelos avaliadores humanos e

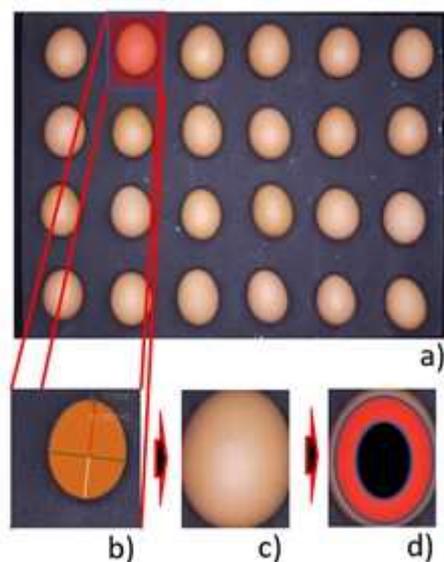


Figura 36 – Definição da área de interesse da casca do ovo para extração de informação de cor.

pelo sistema *EggScale* foram convertidas em valores do espectro eletromagnético de cores visíveis ao olho humano utilizando uma função responsável por produzir o valor em RGB para um dado valor de comprimento de onda do espectro eletromagnético distribuído em intervalos de 0,05 nanômetros e então utilizando distância Euclidiana para determinar a maior proximidade entre os valores encontrados nas avaliações e aqueles gerados a partir da distribuição no espectro eletromagnético.

Resultados e Discussões

Os resultados aqui apresentados foram divididos entre a análise das características físicas dimensionais dos ovos, levantadas por meio da metodologia exposta no capítulo anterior, e a análise da coloração das cascas destes ovos. Esta divisão reflete os momentos distintos de implementação do projeto e visa à melhor representação dos aspectos levantados na discussão de cada etapa da implementação, estas com eficiência e aplicabilidade distintas.

5.1 Análise das características físicas dimensionais

Considerando o Conjunto de dados 1, a diferença da avaliação manual entre as medidas feitas pelos dois especialistas variou entre 0,0 mm e 1,12 mm para comprimento e entre 0,00 mm e 0,13 mm para largura máxima. Os mesmos 60 ovos foram, então, avaliados pelo sistema para as cinco corridas de bandejas fotográficas. As medidas obtidas repetindo a aplicação do sistema mostraram uma variação de 0,00 mm–2,29 mm na dimensão comprimento, 0,00 mm–1,45 mm na dimensão largura máxima e 0,0 ml–4,48 ml na volume, com variações médias correspondentes a 0,43 mm, 0,29 mm e 0,90 ml respectivamente. A divergência de valores entre as medidas feitas pelo sistema computacional e a média das medidas feitas fisicamente variou entre 0,01 mm–3,70 mm no comprimento do ovo, entre 0,13 mm–3,77 mm na largura máxima do ovo e 0,04 ml–10,70 ml no volume do ovo com variações médias de 1,64 mm, 1,83 mm e 4,27 ml respectivamente. O desvio padrão obtido entre as cinco medidas dadas pelo EggScale para os 60 ovos variou entre 0,13 mm–1,08 mm para comprimento e 0,06 mm–0,76 mm para largura máxima, resultando em médias de 0,46 e 0,29, respectivamente. Tais resultados estão resumidos nas Tabelas 1 e 2.

Ressalta-se ainda que, na comparação entre os resultados obtidos pelo método proposto e os apresentados por Narushin et. al. (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b), pudemos observar maior precisão e exatidão no método aqui proposto em todas as cinco medições como pode ser visto na Figura 37 e na Tabela 3. Nota-se que a medição das

características físicas pelo sistema confere um alto grau de precisão (em média acima de 90% em todos os casos) o que permitiria a análise e classificação rápida de grandes lotes de ovos em categorias de tamanho com grau de confiabilidade aceitável. É necessário, entretanto, ressaltar que para análises que requerem uma precisão ainda maior, seria recomendável a utilização de outros métodos. O método aqui proposto mostrou-se mais eficiente que o modelo proposto por Narushin em (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b) com a vantagem de dispensar medições físicas de qualquer natureza, possibilitando a realização do levantamento apenas por meio do processamento de imagens. Ressalta-se também que trabalhos futuros poderão abordar a evolução do método proposto, abordando eminentemente a possibilidade de levantamento da superfície dos ovos, além do volume, característica que não foi abordada aqui dada a dificuldade e falta de recursos para elaborar um teste adequado que sirva como dados de validação. Outra possível melhoria seria adaptar as bandejas que compõem o aparato de captura para que tivessem uma superfície de baixo atrito, fazendo com que eventuais ovos colocados nos nichos deslizassem até a estabilização em uma posição perfeitamente horizontal.

Tabela 1 – Teste de repetibilidade - erro de mensuração.

Erro	Absoluto*	Médio	Desvio Padrão*
Entre medições (Comprimento)	0,0 mm - 2,29 mm	0,43 mm	0,13 mm - 1,08 mm
Entre medições (largura máxima)	0,0 mm - 1,45 mm	0,29 mm	0,06 mm - 0,76 mm
Entre medições (volume)	0,0 ml - 4,48 ml	0,90 ml	0,20 ml - 2,32 ml

*Testes de repetibilidade realizados entre cada uma das cinco medições realizadas. Valores representam a variação entre o máximo e o mínimo dentre aqueles encontrados em cada medição.

Tabela 2 – Teste de Acurácia - erro de mensuração.

Erro	Absoluto*	Médio	Desvio Padrão*
Entre medições e EggScale (comprimento)	0,01 mm - 3,70 mm	1,64 mm	0,60 mm - 0,70 mm
Entre medições e EggScale (largura máxima)	0,13 mm - 3,77 mm	1,83 mm	0,71 mm - 0,77 mm
Entre medições e EggScale (volume)	0,04 ml - 10,70 ml	4,27 ml	1,90 ml - 2,16 ml

*Testes de repetibilidade realizados entre cada uma das cinco medições realizadas. Valores representam a variação entre o máximo e o mínimo dentre aqueles encontrados em cada medição.

Tabela 3 – Análise comparativa entre a fórmula de Narushin (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b) e o método proposto.

Método	Erro médio	Erro percentual médio	Desvio padrão
Narushin (teste 0)	3,41 ml	7%	2,27
EggScale (teste 0)	2,84 ml	5%	1,90
Narushin (teste 1)	5,02 ml	10%	2,52
EggScale (teste 1)	4,40 ml	8%	2,16
Narushin (teste 2)	5,21 ml	10%	2,24
EggScale (teste 2)	4,50 ml	9%	2,07
Narushin (teste 3)	5,45 ml	10%	2,17
EggScale (teste 3)	4,87 ml	9%	1,99
Narushin (teste 4)	5,37 ml	10%	2,12
EggScale (teste 4)	4,75 ml	9%	2,01

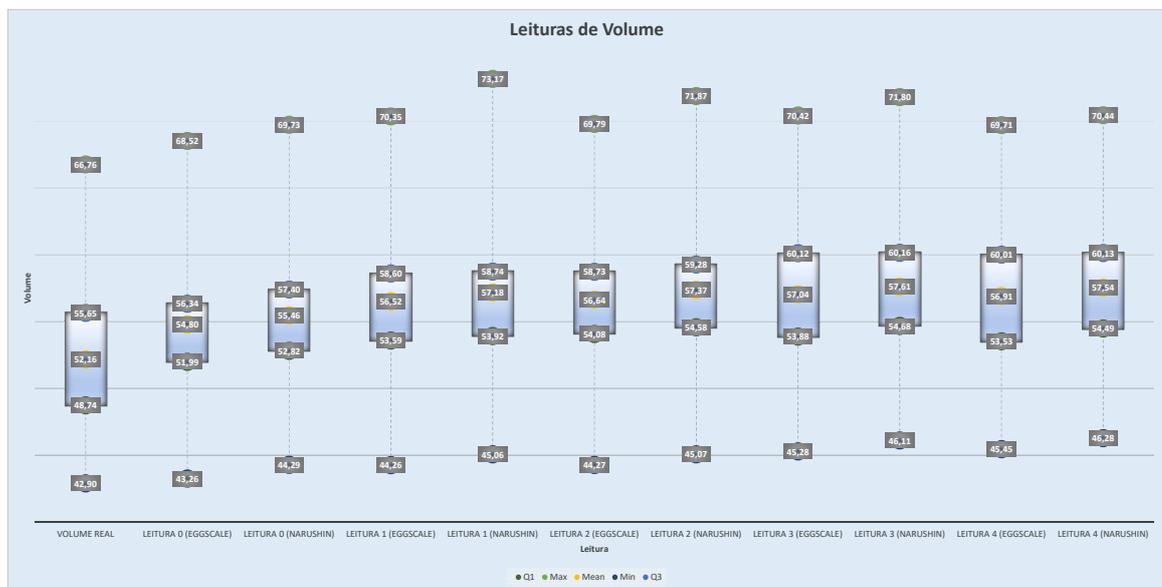


Figura 37 – Dispersão das medições de volume.

5.2 Análise da coloração das cascas

Na análise visual física das cores das cascas dos ovos, foi registrado que o Avaliador 1 identificou ovos variando das classes de cores 8 a 24 e o Avaliador 2 identificou ovos vari-

ando das classes de cores 6 a 24 dentro da amostra original de 194 ovos. Essa distribuição entre a quantidade de ovos considerados como pertencentes a cada classe na análise visual física dos ovos já demonstrou considerável variação entre os dois avaliadores tendo a quantidade de ovos classificados em cada classe variado sensivelmente em diversos dos casos, como pode-se observar na Figura 38.

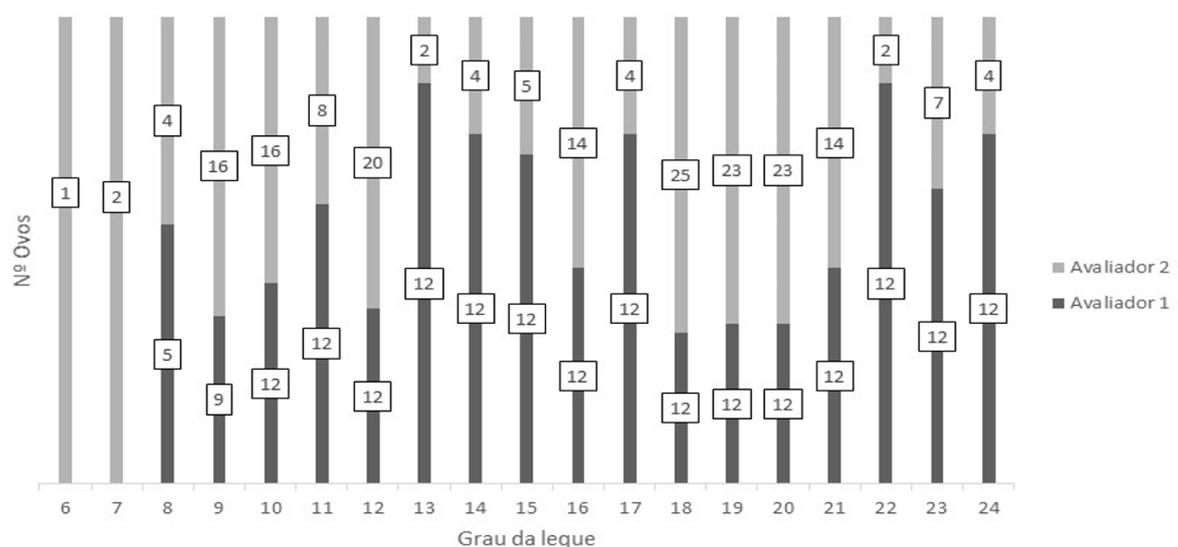


Figura 38 – Distribuição de ovos por classe de cor por avaliador.

Já no exame de repetibilidade da avaliação visual utilizando a metodologia descrita na Seção 4.3, pôde-se quantificar a variação do resultado entre análises demonstrando a altas taxas de divergência entre as análises para ambos os avaliadores, tendo as taxas de variância estendido-se entre 0 e 37,56 para o Avaliador 1 e entre 0 e 80,01 para o Avaliador 2. Neste teste pôde-se verificar, ainda, que as maiores taxas de variância ficaram compreendidas em regiões de coloração distintas entre os avaliadores, sendo que para o Avaliador 1 as maiores taxas de variância ocorreram na faixa de coloração representada pelos ovos 32 a 34 e pelo ovo 40, enquanto o Avaliador 2 teve maior dificuldade em repetir o resultado da análise na faixa de coloração representada pelos ovos 40 a 42 e 47 a 49. Nota-se também que as menores taxas de variância ocorrem consistentemente na faixa do ovo 51 ao 58 para ambos. Tais resultados podem ser vistos nas Figuras 39 e 40 e parecem indicar tanto que a faixa de cores representada pelo leque colorímetro utilizada como padrão para a realização das classificações é imprecisa e insuficiente para descrever a variedade das ocorrências de colorações distintas nas cascas dos ovos, em especial nas faixas intermediárias de coloração, assim como uma possível variação na sensibilidade de cada avaliador a uma faixa de cores. Não houve repetibilidade razoável entre a avaliação individual de cada ovo pelo mesmo avaliador e nitidamente não houve taxa de reprodutibilidade dos resultados coerente entre ambos.

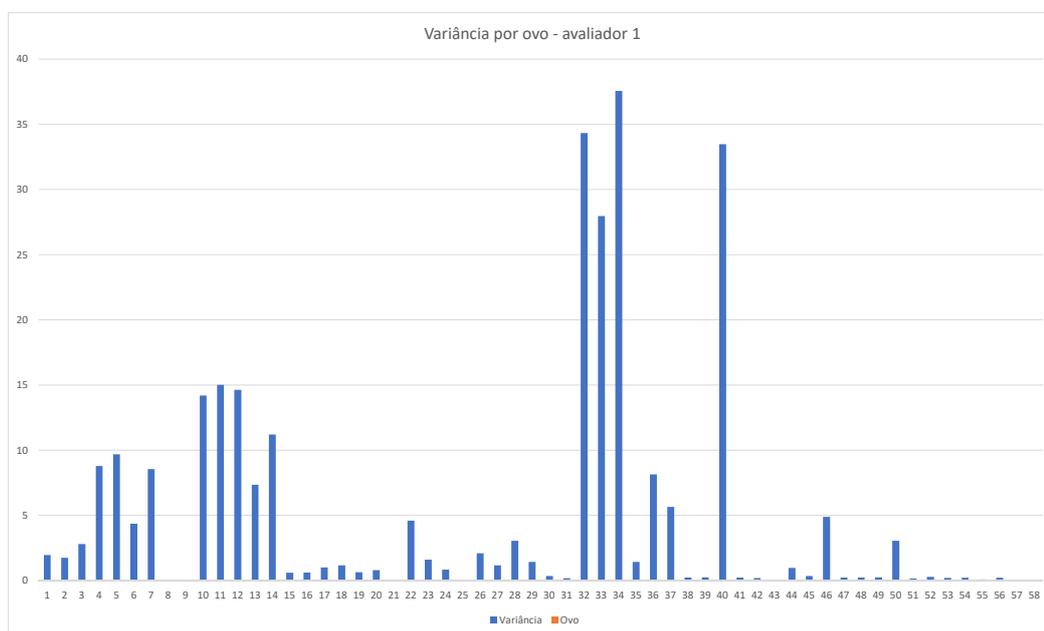


Figura 39 – Variância do teste de repetibilidade na análise visual pelo Avaliador 1.

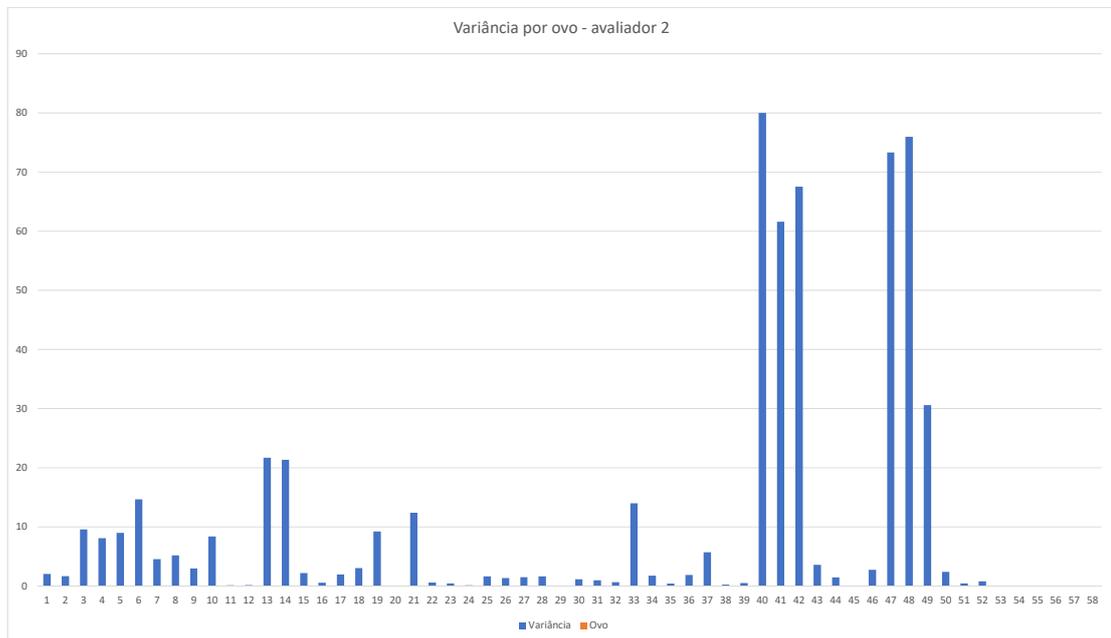


Figura 40 – Variância do teste de repetibilidade na análise visual pelo Avaliador 2.

Apesar dos resultados obtidos nos testes de repetibilidade e reprodutibilidade a que os avaliadores humanos foram submetidos não terem apresentado resultado satisfatório para utilização como base de avaliação dos resultados, o teste de repetibilidade do sistema ainda foi realizado. A metodologia para obtenção destes resultados segue o que foi apresentado na Seção 4.3, com a diferença essencial sendo que aqui foram utilizados os 194 ovos escolhidos originalmente para os testes e não apenas 58. Os resultados obtidos demonstram uma taxa de repetibilidade bastante alta para quase a totalidade dos ovos, porém foi observada a existência de alguns *outliers* ocorrendo em média em duas das dez leituras realizadas para cinco ovos distintos. Nestes cinco ovos, houve a ocorrência de uma ou duas leituras que destoaram de maneira mais significativa das outras; provavelmente devido a alguma falha no sistema de processamento ou manipulação de dados, o que elevou a taxa de variância de maneira aguda. A Figura 41 ilustra o destoamento agudo destes pontos fora de série no âmbito geral dos resultados. Quando estes pontos são excluídos da análise, porém, pode-se observar taxas de variância bastante baixas, como pode ser visto na Figura 42 com taxas de variância atingindo seu valor máximo em 0,06, demonstrando que o sistema possui ampla precisão na aferição deste resultado pelo método proposto apesar de sua acurácia não poder ser confiavelmente estabelecida dada a impossibilidade de se utilizar do método anteriormente testado como base de comparação dos resultados,

fato que prejudicou a existência dos testes de reprodutibilidade dos resultados entre os avaliadores humanos e o sistema *EggScale*.

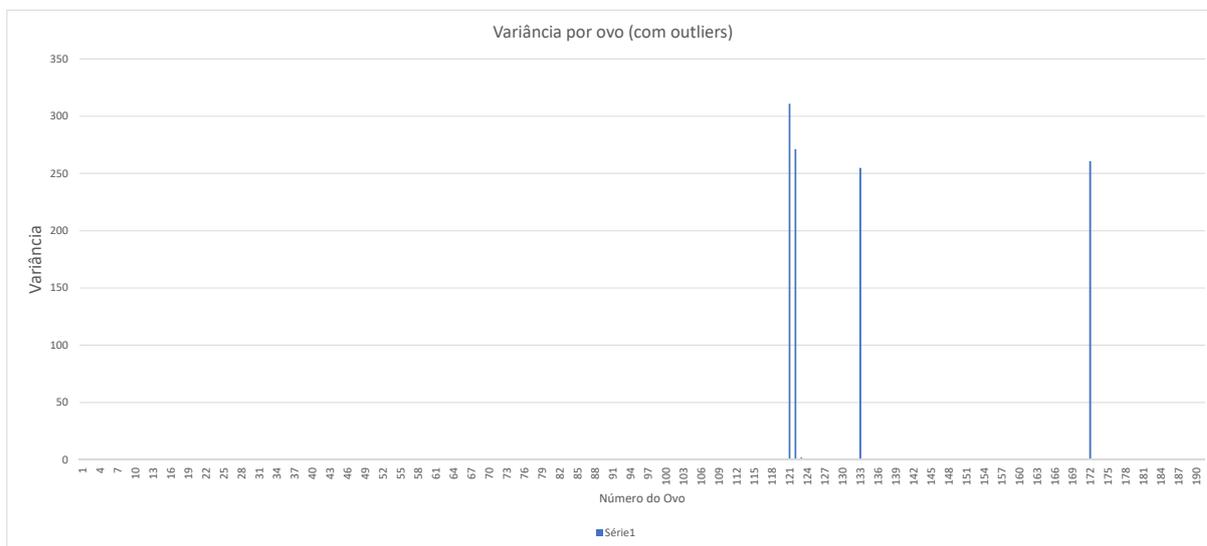


Figura 41 – Variância por ovo com a inclusão dos outliers *EggScale*.

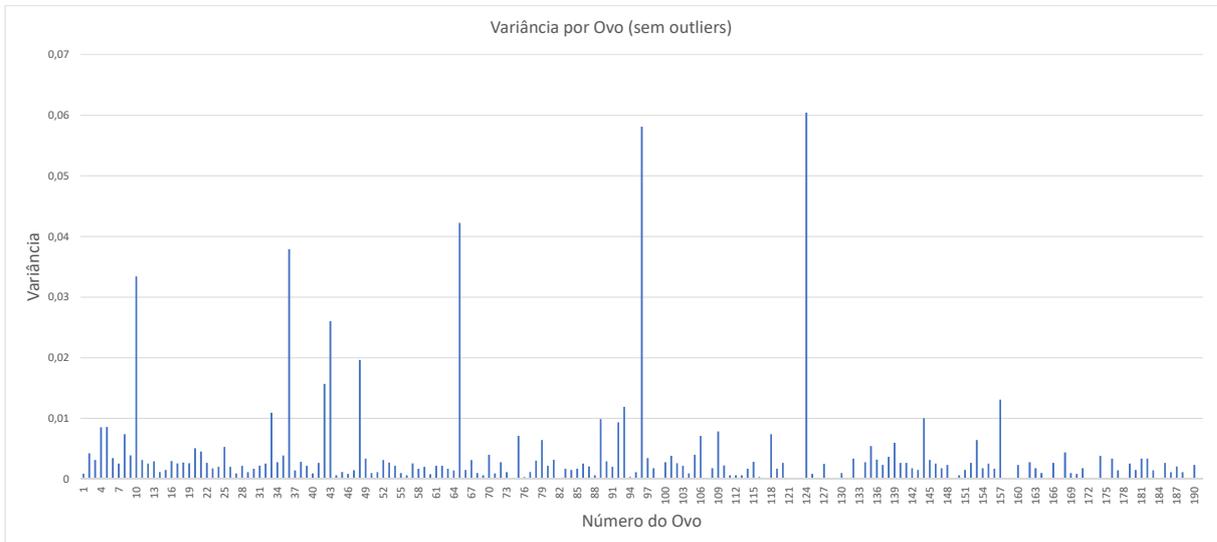


Figura 42 – Variância por ovo excluindo-se os outliers *EggScale*.

A ampla diferença entre as taxas de variação da classificação humana e a impossibilidade de se estabelecer uma taxa de repetibilidade razoável na avaliação de um mesmo ovo em momentos distintos, demonstra que o impacto da subjetividade nas avaliações visuais é considerável. Os dados também parecem sugerir que a avaliação visual está amplamente condicionada às diferenças de sensibilidade para cada faixa de cor entre os avaliadores humanos.

A análise realizada pelo sistema computacional pôde demonstrar, ainda, resultados que colocaram as imagens dos ovos analisados ocupando uma faixa do espectro de luz visível compreendida entre os comprimentos de onda de 484,8 nm a 598,9 nm e distribuídas em faixas amplamente mais diversas enquanto as cores representadas pela paleta estavam compreendidas na faixa de 487,48 nm a 600 nm (Figura 43) e consideravelmente mais agrupadas em regiões mais compactas do espectro.

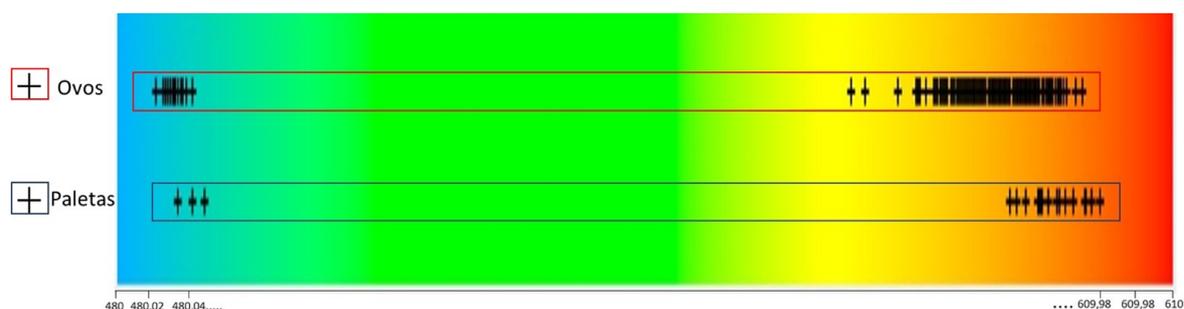


Figura 43 – Distribuição dos valores de comprimento de onda no levantamento do *EggScale* para cada cor de casca dos ovos e para cada cor da paleta.

A análise da cor da casca do ovo mostrou-se uma tarefa complexa. Na Figura 43 pode-se observar que a distribuição de cores identificadas pelo sistema na avaliação física da casca dos ovos foi consideravelmente mais diversa do que as classes de cores apresentadas na paleta de cores utilizada como referência, o que dificulta o estabelecimento de um padrão comparativo basilar a partir do qual seria possível avaliar a acurácia das análises. Ademais, a validação dos dados obtidos indicou baixa confiabilidade para as classificações de referência realizadas com o olho humano e sujeitas a alto grau de subjetividade, incluindo a indicação de regiões do espectro de cores visíveis pelo ser humano em que a análise visual sofre mais oscilações e uma possível suscetibilidade de cada indivíduo a uma maior ou menor sensibilidade dentro dessa faixa. Também houve discrepância entre os valores de referência dados pela paleta e os valores obtidos pela análise efetiva das cascas o que indica que um novo modelo de referência é necessário para o desenvolvimento de um método que possa fornecer um grau razoável de confiabilidade na análise de amostras.

Conclusão

A tarefa da automação do processo de inspeção de características de cascas de ovos tem sido objeto de estudos na ciência da computação há algumas décadas. Diversas proposições foram apresentadas ao longo deste tempo abordando diferentes aspectos de análise para as cascas e diferentes técnicas para a obtenção dos resultados almejados. Este trabalho teve como proposta a persecução de uma linha investigativa já muito abordada envolvendo o propósito de se utilizar de tecnologias de visão computacional e processamento de imagem para a asserção de características de ovos de automatizada, não destrutiva e menos sujeita à parcialidade humana advinda de uma demanda da indústria para a identificação de ovos adequados para a destinação comercial e de ovos adequados para a destinação reprodutiva nas cadeias produtivas de indústrias granjeiras.

De um amplo conjunto de características das cascas de ovos potencialmente interessantes para estes estudos, no contexto da evolução das propostas de automação de processos, o qual inclui o grau de manchamento das cascas, sua espessura e porosidade, sua coloração e seu índice de formato em relação ao volume, decidiu-se aqui pela proposição de um método de levantamento automatizado de características que contemplasse estes três últimos aspectos dada sua comprovada relevância na determinação do seu potencial de eclodibilidade e adequabilidade para comercialização.

Nossa proposta inclui não apenas um método para levantamento destas características de maneira automatizada como também a proposição de um projeto de aparato de aquisição de baixo custo que viabilizasse a coleta de dados de maneira confiável. Neste aspecto, consideramos que a proposta foi bem atendida, apresentando resultados bastante satisfatórios na eliminação de fatores do ambiente, como as diferenças de iluminação, que pudessem influenciar as análises. A construção da câmara foi possível com baixíssimo investimento de recursos e seu funcionamento cumpriu adequadamente às expectativas. Há, porém, espaço para aperfeiçoamento eminentemente no aspecto da disposição espacial das lâmpadas dentro da câmara com o intuito de criar uma iluminação indireta incidente sobre cada um dos ovos componentes das bandejas analisadas a fim de evitar que os ovos, em especial os de coloração mais clara, apresentem pontos de reflexão em sua região cen-

tral onde a luz seja mais intensa do que em suas outras regiões a tal ponto de distorcer o registro fidedigno da coloração de sua casca pelo sensor acoplado, naquelas regiões.

Com relação ao algoritmo proposto para o levantamento das características físicas da casca do ovo, em particular seu comprimento e largura máxima (fatores componentes do seu índice de formato), além de seu volume, também obtivemos resultados bastante expressivos tendo os testes demonstrado uma melhoria marginal de resultados em relação ao método de referência, a utilização de uma das fórmulas proposta em (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b), trabalho este em que os autores destacam sua crença de que uma melhora de precisão em relação às fórmulas propostas seria dificilmente factível. Os resultados aqui obtidos, nesta seara, parecem ainda mais expressivos quando se considera que as análises foram realizadas utilizando-se de medições reais para a validação dos resultados em contraposição com o trabalho realizado em (NARUSHIN; ROMANOV; GRIFFIN, 2021b), em cujas análises foram baseadas num modelo simulatório. Ainda assim, acreditamos que a investigação aqui realizada poderia se beneficiar de um método de validação de resultados que contemplasse um processo de medição física das dimensões reais utilizadas de referência que fosse indiscutivelmente preciso e menos dependente da manipulação manual dos ovos e inspeção visual dos instrumentos de medição aqui realizados pela indisponibilidade de outros métodos.

Por fim, é preciso destacar que na análise da última das características da casca do ovo elencadas neste trabalho para análise, a coloração das cascas, nos deparamos com um desafio maior representado pela imprecisão do método de análise tomado como referência originalmente impossibilitando o estabelecimento de um padrão confiável de validação dos resultados. A utilização do leque colorímetro padrão como tal instrumento de validação se provou equivocado, uma vez que foi possível demonstrar que, apesar de sua utilização ser amplamente difundida nas análises visuais praticadas em indústrias granjeiras, sua adequação à tarefa de descrição da ampla gama de colorações ocorrentes naturalmente na pigmentação das cascas é muito falha, tendo sido demonstrado que, mesmo se considerando apenas a gama de coloração representada pela amostra trabalhada aqui, foi possível estabelecer uma variedade muito maior do que aquelas representadas pelo leque colorímetro. A utilização deste instrumento como balizador de referência prejudicou a avaliação da adequabilidade e precisão do método aqui proposto, uma vez que, nos testes de repetibilidade e reprodutibilidade envolvendo avaliadores humanos, que deveriam funcionar como balizadores de referência para os resultados obtidos pelo sistema, foi impossível estabelecer taxas de repetibilidade aceitáveis nas suas análises.

Em suma, podemos afirmar que os experimentos deste trabalho indicam que a proposta aqui apresentada oferece um elevado grau de adequação à finalidade pretendida no aspecto do levantamento das características físicas do ovo, em especial a de eliminação do processo mecânico manual de avaliação de dimensões de ovos para sua segmentação em indústrias granjeiras, possibilitando, assim, sua utilização em linhas de produção para

conferir celeridade e precisão aos processos e abdicando, portanto, das limitações a que a utilização de avaliadores humanos nas cadeias produtivas pode levar, em especial aquelas ligadas à estafa física e à subjetividade nas avaliações. Assim sendo, consideramos que a proposta obteve um grau satisfatório de adequação à resolução do problema abordado no que tange a sua aplicabilidade à avaliação de características físicas da casca de ovos. Já no aspecto da avaliação de coloração da casca, não se obteve o mesmo sucesso, tendo sido demonstrado que uma proposta mais robusta é necessária de forma a estabelecer um padrão de avaliação mais concreto e confiável para o desenvolvimento das análises aqui engendradas, uma vez que aquela aqui utilizada provou-se insuficientemente precisa para validação da proposta.

6.1 Trabalhos Futuros

Propostas de trabalhos futuros incluem:

- ❑ Automação do processo de aquisição de subimagens a partir da imagem capturada original, tornando o processo ainda mais célere.
- ❑ Implementação de testes utilizando um fator de redimensionamento das sub-imagens extraídas da imagem capturada com fins de aferição do impacto do redimensionamento no tempo de processamento.
- ❑ Implementação de um algoritmo de suavização/adequação de curva a partir da utilização do método dos mínimos quadrados para incrementar a precisão do cálculo do volume dos troncos de cone a partir da adequação das curvas representativas da borda da casca do ovo identificada nas imagens eliminando, assim, a influência que erros na identificação de pontos de borda podem oferecer ao cálculo do volume final (erros estes que, apesar de raros, são suspeitos de influenciar na precisão geral do resultado final)
- ❑ Proposição de um método de aferição de coloração da casca de ovos que possa substituir a paleta padrão de cores como padrão de avaliação desta característica de forma a poder-se auferir a precisão do método de avaliação de cor proposto.

Referências

- ALIKHANOV, J.; PENCHEV, S. M.; GEORGIEVA, T. D.; MOLDAZHANOV, A.; KULMAKHAMBETOVA, A.; SHYNYBAY, Z.; STEFANOV, E.; DASKALOV, P. I. Design and performance of an automatic egg sorting system based on computer vision. **TEM Journal**, UIKTEN-Association for Information Communication Technology Education and . . . , v. 8, n. 4, p. 1319, 2019.
- BURGER, W.; BURGE, M. J.; BURGE, M. J.; BURGE, M. J. **Principles of digital image processing**. [S.l.]: Springer, 2009. v. 111.
- CARNEIRO, J. S.; TRAVENçOLO, B. A. N.; ESCARPINATI, M. C.; JACOMINI, J. O.; GONZALES, E.; CAFE, M. B.; FIORAVANTI, M. C. S. Computational evaluation of yolk egg color of laying hens: an alternative to the traditional colorimetric fan method. In: **Proceedings of the XII Workshop de Visão Computacional**. [s.n.], 2016. p. 255–259. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wvc/2016/015.pdf>>.
- CAVERO, D.; SCHMUTZ, M.; ICKEN, W.; PREISINGER, R. Attractive eggshell color as a breeding goal. **Lohmann Inf**, v. 47, p. 15–21, 2012.
- EDUCACAO, M. **Espectro eletromagnético**. 2023. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>>. Acesso em: 27 out 2023.
- GARCÍA-ALEGRE, M.; ENCISO, J.; RIBEIRO, A.; GUINEA, D. To an automatic visual inspection of egg-shell defects. In: CITESEER. **International Workshop on Robotics & Automated Machinery for Bio-Robotics**. [S.l.], 1997. p. 255–260.
- GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital de Imagens**. [S.l.]: Pearson, 2009. v. 3ª edição.
- GROCHOWSKA, E.; KINAL, A.; SOBEK, Z.; SIATKOWSKI, I.; BEDNARCZYK, M. Field study on the factors affecting egg weight loss, early embryonic mortality, hatchability, and chick mortality with the use of classification tree technique. **Poultry Science**, Elsevier, v. 98, n. 9, p. 3626–3636, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps/pez180>>.
- HANISCH, F. Marching square. In: **CGEMS: Computer graphics educational materials source**. [S.l.: s.n.], 2004. p. 1–1.

- KING'ORI, A. et al. Review of the factors that influence egg fertility and hatchability in poultry. **International Journal of poultry science**, ANSInet, Asian Network for Scientific Information, v. 10, n. 6, p. 483–492, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.3923/ijps.2011.483.492>>.
- LORENSEN, W. E.; CLINE, H. E. Marching cubes: A high resolution 3d surface construction algorithm. In: **Seminal graphics: pioneering efforts that shaped the field**. [s.n.], 1998. p. 347–353. Disponível em: <<https://doi.org/10.1515/9783110978346.347>>.
- MARCHING Squares. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Marching_squares>. Acesso em: 24 Jan 2024.
- MILOVANOVIC, B.; TOMOVIC, V.; DJEKIC, I.; SOLOWIEJ, B. G.; LORENZO, J. M.; BARBA, F. J.; TOMASEVIC, I. Color assessment of the eggs using computer vision system and minolta colorimeter. **Journal of Food Measurement and Characterization**, Springer, p. 1–16, 2021.
- MUELLER, C. D.; SCOTT, H. The porosity of the egg-shell in relation to hatchability. **Poultry Science**, Elsevier, v. 19, n. 3, p. 163–166, 1940. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0190163>>.
- NARUSHIN, V. G.; ROMANOV, M. N. Egg physical characteristics and hatchability. **World's Poultry Science Journal**, Cambridge University Press on behalf of World's Poultry Science Association, v. 58, n. 3, p. 297–303, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1079/WPS20020023>>.
- NARUSHIN, V. G.; ROMANOV, M. N.; GRIFFIN, D. K. Egg and math: introducing a universal formula for egg shape. **Annals of the New York Academy of Sciences**, Wiley Online Library, v. 1505, n. 1, p. 169–177, 2021.
- _____. Non-destructive measurement of chicken egg characteristics: Improved formulae for calculating egg volume and surface area. **Biosystems Engineering**, Elsevier, v. 201, p. 42–49, 2021.
- NARUSHIN, V. G.; ROMANOV, M. N.; LU, G.; CUGLEY, J.; GRIFFIN, D. K. Digital imaging assisted geometry of chicken eggs using hügelshäffer's model. **Biosystems Engineering**, Elsevier, v. 197, p. 45–55, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.06.008>>.
- NYALALA, I.; OKINDA, C.; KUNJIE, C.; KOROHOU, T.; NYALALA, L.; CHAO, Q. Weight and volume estimation of poultry and products based on computer vision systems: a review. **Poultry Science**, Elsevier, v. 100, n. 5, p. 101072, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101072>>.
- ORELLANA, L.; NEVES, D.; KREHLING, J.; BURIN, R.; SOSTER, P.; ALMEIDA, L.; URRUTIA, A.; MUNOZ, L.; ESCOBAR, C.; BAILEY, M. et al. Effect of translucency and eggshell color on broiler breeder egg hatchability and hatch chick weight. **Poultry Science**, Elsevier, p. 102866, 2023.
- RACHMAWANTO, E. H.; SARI, C. A.; VILLADELFIYA, R.; RIJATI, N.; KARTIKADARMA, E.; DOHEIR, M.; ASTUTI, S. et al. Eggs classification based on egg shell image using k-nearest neighbors classifier. In: **IEEE**. 2020

International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic). 2020. p. 50–54. Disponível em: <<https://doi.org/10.1097/01.BMSAS.0000659736.56433.74>>.

ROMANOFF, A. L.; ROMANOFF, A. J. et al. The avian egg. **The avian egg**, New York: John Wiley & Sons, Inc.: London: Chapman & Hall, Ltd., 1949.

SCHMIDBAUER, H. Eine exakte eierkurvenkonstruktion mit technischen anwendungen (an exact egg curve construction with technical applications). **Elemente der Mathematik eine Zeitschrift der Schweizerischen Mathematischen (Elements of Mathematics—a Journal of the Swiss Mathematical Society)**, v. 3, p. 68–71, 1948.

SOLOMON, C.; BRECKON, T. **Fundamentals of Digital Image Processing: A practical approach with examples in Matlab**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.

VASILEVA, A.; GORBUNOVA, E.; VASILEV, A.; PERETYAGIN, V.; CHERTOV, A.; KOROTAEV, V. Assessing exterior egg quality indicators using machine vision. **British poultry science**, Taylor & Francis, v. 59, n. 6, p. 636–645, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1523535>>.

YANG, H.; WANG, Z.; LU, J. Study on the relationship between eggshell colors and egg quality as well as shell ultrastructure in yangzhou chicken. **African Journal of Biotechnology**, Academic Journals, v. 8, n. 12, p. 2898–2902, 2009.