

Automação na avicultura de corte: Desenvolvimento de um sistema de identificação, monitoramento e predição do peso de aves com uso de visão computacional

André E.P. Freitas¹, Lucas D. Fonseca¹, Thiago M.R. Dias¹

¹*Dept. Eng. Mecatrônica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
R. Álvares de Azevedo, 35503-822, Divinópolis/MG, Brasil
aeduardofreitas@gmail.com, lucas.diasfonseca@hotmail.com, thiago@div.cefetmg.br*

Resumo. Na última década, o setor agroeconômico avícola brasileiro cresceu 112%, posicionando o Brasil como líder em produção e comercialização da carne de frango, sendo hoje o maior exportador e o segundo maior produtor mundial. A implementação de tecnologias que possibilitem melhor organização, capacidade gerencial e inovações no processo se fazem necessárias para aprimorar a produtividade, controle e qualidade do produto fornecido pelas plantas avícolas brasileiras, disponibilizando ao setor melhores condições para atender a demanda mundial. No contexto tecnológico, a Visão Computacional já se estabelece como importante e abrangente tecnologia de sensoriamento aplicado a sistemas de automação, buscando reproduzir a visão humana e podendo ser implementada em diversas áreas e processos produtivos. Desta forma, imagens podem ser utilizadas para gerar fluxos de execuções em sistemas computacionais. A observação desses dois fatores motivou o desenvolvimento deste projeto, que resultará em um sistema capaz de detectar, identificar e monitorar o desenvolvimento de lotes de aves presentes em um aviário, integrando conceitos de Modelagem e Controle de Processos e de Programação de Computadores e Computação Aplicada, para o processamento das imagens e para a análise, armazenamento e exibição dos dados, respectivamente. O sistema será desenvolvido em linguagem Python, implementando técnicas de visão computacional, com auxílio da biblioteca OpenCV, utilizando a plataforma Raspberry Pi, com o objetivo de processar imagens obtidas por uma câmera de vídeo in loco afim de monitorar através de uma aplicação web a distribuição do perfil de peso dos lotes de aves presentes em um aviário, de forma não invasiva, autônoma e de baixo custo.

Palavras-chave: Visão Computacional, Processamento de Imagens, Avicultura, Monitoramento avícola

1 Introdução

O monitoramento da produção é um procedimento que rende ganhos produtivos em diversos setores, facilitando o acompanhamento, possibilitando a predição e otimizando o processo através da análise de dados. A avicultura, segundo Segato et al. [1], é um dos principais setores econômicos do Brasil, possuindo grande produtividade e competitividade no mercado interno e externo. A aplicação de tecnologias baseadas em análise de imagens é largamente aplicada para monitoramento de produções aviárias gerando dados que permitem o produtor um melhor controle sobre a qualidade e crescimento de suas aves.

Objetivando melhorar o controle de produção de um mercado tão amplo, este trabalho se dedica ao desenvolvimento de um software capaz de monitorar e predizer a produtividade de lotes aviários. Desta forma, são definidos como requisitos mínimos do algoritmo ser capaz de reconhecer aves em imagens e, através destas, realizar medições de área superficial, tamanho e peso além de calcular a curva de crescimento do animal.

Considera-se ainda a relevância mundial do Brasil na produção avícola, dado ao fato de que o país obtém sucesso nos mercados interno e externo. Em 2019, conforme divulgado pela EMBRAPA [2], entre produtores, colaboradores locais e industriais direta e indiretamente envolvidos com a atividade avícola, o setor reúne mais de 3,5 milhões de trabalhadores (equivalente à 5 % da população brasileira). Em campo são mais de 130 mil famílias proprietárias de aviários. Com estes elos, se destaca a grandeza da avicultura no país, dispoendo de disciplina, de tradição e eficiência que permitiram a esse setor a presença do produto brasileiro na mesa de consumidores em todos os continentes.

Assim, utilizando-se de tecnologias e métodos de processamento de imagens, é desenvolvido um software capaz de, em tempo real, identificar as aves presentes em um aviário através de imagens, bem como calcular os

parâmetros relativos ao seu crescimento corporal.

2 Metodologia

O desenvolvimento do presente trabalho se inicia com a reunião de bibliografias necessárias para compreensão do problema e elaboração de estratégias para a abordagem deste. Nessa etapa são definidos os materiais, métodos e ferramentas utilizados no desenvolvimento do software proposto.

É definido, com base na experiência dos desenvolvedores, a utilização da linguagem de programação Python para o desenvolvimento do software, auxiliado pela biblioteca OpenCV, para tratamento e processamento das imagens para posterior armazenamento e exibição das informações em um dashboard de fácil compreensão. A partir dessas definições é possível esquematizar e organizar a elaboração do algoritmo. A Figura 1 apresenta o fluxo de dados elaborado para o desenvolvimento do programa.

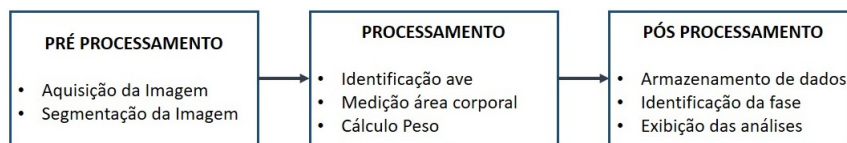


Figura 1. Fluxo de dados programa

O software é dividido em três etapas de processamento, conforme mostrado na Figura 1. A primeira etapa, o pré processamento, é responsável pela preparação da imagem adquirida para a análise de dados. O processamento é responsável pela interpretação dos dados da imagem afim de extrair as informações de relevância para a próxima etapa. Na última etapa, o pós processamento, o algoritmo utiliza as informações levantadas na etapa anterior para gerar um banco de dados, fazer a análise temporal destas informações e exibir as informações ao usuário.

A etapa de pré processamento é caracterizada pela aquisição de uma imagem em padrão RGB e o tratamento desta afim de tornar os dados compreensíveis para o computador, conforme RUSS, 1995 [3]. Para tal, são aplicados métodos para tratamento e segmentação da imagem que ressaltam as informações consideradas relevantes para o monitoramento aviário. Ao final dessa etapa é gerada uma imagem binarizada em preto e branco contendo apenas as informações das aves analisadas.

Durante o processamento, o software utiliza a imagem gerada na etapa anterior para realizar a medição corporal das aves em questão e, consecutivamente, estimar o peso destas. Com estas informações é possível a aplicação de modelos matemáticos afim de garantir um monitoramento eficiente da área superficial e, conseqüentemente do peso das aves.

No pós processamento, os dados gerados anteriormente são armazenados em um banco de dados. A partir de uma série de dados armazenados ao longo do tempo é possível a utilização de modelos que descrevem e predizem o crescimento das aves monitoradas. Também é realizada nessa etapa a exibição dos dados medidos e calculados para o usuário.

Definido cada etapa do processamento do algoritmo, é possível a implementação deste de forma modular e padronizada. Desta forma, são realizados testes e ajustes afim de validar o uso do software desenvolvido.

2.1 Desenvolvimento

A atual seção aborda os conceitos teóricos e suas respectivas etapas de implementação no desenvolvimento do software. São apresentados os princípios de processamento de imagens e modelos matemáticos utilizados para construção e validação do trabalho.

Correção de Distorções

Imagens digitais geradas por câmeras são sujeitas ao efeito de distorção que ocorre devido o uso de lentes para captação da imagem, conforme visto na biblioteca OpenCV [4]. Como resultado, as proporções presentes na imagem gerada não correspondem às proporções reais dos elementos presentes nesta. A Figura 2 exemplifica como as lentes podem afetar a aquisição das imagens.

Na Figura 2 (a) é apresentada a imagem real sem distorções. Em (b) e (c) são mostradas as distorções que podem ser causadas devido o tipo de lente usada. Cada câmera distorce a imagem em um grau diferente sendo necessário um processo de calibração para a correção deste efeito.

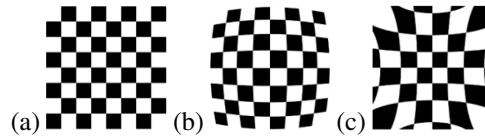


Figura 2. Exemplo distorções em imagens

Neste trabalho é utilizado o método de Zhang para correção das distorções da câmera. Conforme descrito pela documentação da biblioteca OpenCV [4], este método permite a conversão da imagem adquirida em uma nova imagem com as distorções removidas, através de uma transformação geométrica. Para essa transformação é necessário o cálculo da matriz de conversão apresentada pela equação 1.

$$\tilde{x} = PX = K[R \ t]X \quad (1)$$

Na equação 1, a imagem gerada \tilde{x} é resultado da multiplicação da matriz de transformação P pela imagem original X . A matriz de transformação é calculada através do método de Zhang e pode ser dividida em fatores intrínsecos (K) e fatores extrínsecos ($[R \ t]$). O primeiro fator é responsável pela correção das características ópticas da câmera, enquanto o segundo correlaciona as coordenadas do sistema físico com as do plano 2D da imagem.

Por conseguinte, a aplicação de correção das distorções permite que as medições sejam realizadas de maneira mais precisa, independente da posição da ave na imagem. O uso deste método afere maior precisão e confiabilidade do sistema evitando erros de medições.

2.2 Segmentação de Imagens

O processo de segmentação de imagens consiste na remoção de todas as informações irrelevantes ao objeto, afim de gerar dados a serem analisados pelo software. Em resumo, esta etapa do processamento consiste em gerar uma imagem em preto e branco contendo apenas as galinhas a serem analisadas.

Para imagens com grande número de informações é necessário a aplicação de diversas transformações para a simplificação e binarização desta. A Figura 3 apresenta as etapas de preparação da imagem.



Figura 3. Etapas de pré processamento da imagem

A primeira etapa de tratamento da imagem consiste na conversão da mesma para escala de cinza, isso permite a simplificação das três matrizes RGB para apenas uma matriz. Feito isso, é possível a aplicação da suavização da imagem, através do método Blur, afim de reduzir os ruídos da imagem. O resultado dessas transformações é apresentado na Figura 4.

Conforme descrito pela documentação da biblioteca OpenCV [5], a suavização da imagem pelo método Blur ajuda na identificação de bordas e remoção de ruídos. Este método é descrito pela equação 2 onde $m \times m$ representa o tamanho da área suavizada e K o fator de suavização aplicado à imagem.

$$I = I_O \frac{1}{K} [1]_{m \times m} \quad (2)$$

Na equação 2, I e I_O correspondem, respectivamente, à imagem tratada e à imagem original. Após a aplicação do borrão na imagem é realizada a subtração do fundo. Como o chão onde as aves se encontram é estático, não variante com o tempo, é possível a criação de uma máscara para subtração deste fundo. A sub imagem resultante desse processo é binarizada pelo método de limiarização. As imagens resultantes da aplicação destas etapas são apresentadas pela Figura 5.

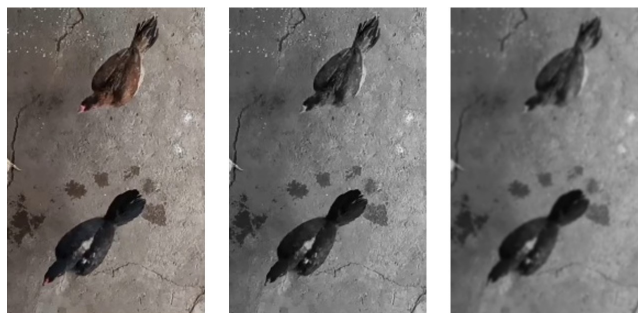


Figura 4. Imagem capturada, conversão para escala de cinza e suavização

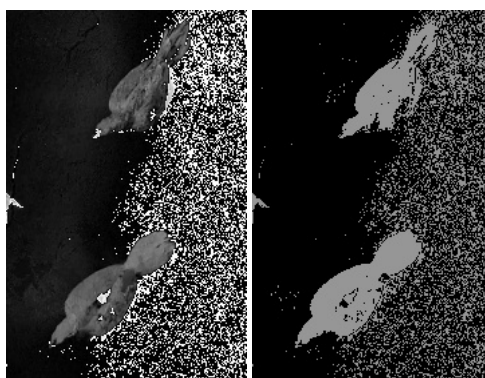


Figura 5. Remoção de fundo e binarização da imagem

Com a definição dos parâmetros usados no pré processamento, são feitos testes em diversas imagens e vídeos capturados do aviário em questão, para aferir o funcionamento desta etapa. Com as transformações da imagem, é possível a elaboração de métodos afim de identificar as aves e realizar a extração dos dados relevantes para o software.

2.3 Identificação das aves

A partir das imagens binarizadas é elaborado um método para a identificação das aves na imagem. Este método consiste em encontrar os contornos na imagem e verificar se esses contornos correspondem a uma ave.

De acordo com a documentação da biblioteca OpenCV [5], contornos são um conjunto de pontos que descrevem uma borda na imagem. Para esta abordagem, serão interpretados como contornos da imagem todas os pontos que apresentam transição de branco para preto na imagem binarizada obtida. A aplicação deste método resulta nos padrões reconhecidos e mostrados pela Figura 6.



Figura 6. Detecção de contornos presentes na imagem

Como pode ser observado na Figura 6, são detectados contornos que não retratam a região de interesse, logo, não correspondendo ao contorno de uma ave. Para o software identificar se este contorno pertence ou não a uma galinha, é realizada a medição da área desses contornos, com posterior filtragem com base em uma faixa de valores (min,max) obtidos empiricamente, até que a os contornos retornados sejam correspondentes apenas aos dorsos das aves. A Figura 7 apresenta o resultado final da identificação das aves após o processo de filtragem e seleção dos contornos de relevância, sendo analisados pelo método de mínima área retangular que sinaliza o objeto encontrado com um retângulo sobre a área na qual estes contornos estão contidos.



Figura 7. Detecção das aves na imagem

Feita a identificação da ave é possível a implementação de métodos para medição de tamanho e peso das mesmas. Para o tamanho, são medidas as arestas dos retângulos mostrados pela Figura 7. O peso por sua vez é calculado contando o número de pixels brancos dentro de cada um dos retângulos a partir da imagem binarizada. Estas medições são feitas em pixels, sendo necessária a calibração do software para conversão dessas medidas para centímetros e gramas.

2.4 Modelo Preditivo

Esta seção explora os métodos de predição usados para análises do crescimento da galinha empregados no software. Após realizar as devidas medições abordadas anteriormente, é criado um banco de dados contendo os valores aferidos e a data desta aferição, o que possibilita o acompanhamento diário do desenvolvimento da ave.

De acordo com Neme et al. 2006 [6], podemos descrever a curva do crescimento de aves de postura por uma função quadrática logarítmica que é solucionada computacionalmente com apenas uma interação. A equação 3 apresenta o modelo usado para prever o crescimento de uma galinha em função de um intervalo de tempo diário.

$$P(t) = \frac{3135,4}{1 + e^{0,1026(35,22-t)}} \quad (3)$$

A equação 3 apresenta a curva de peso da galinha (P) em função do tempo em dias (t). Para ajustar a equação de acordo com cada galinha multiplica-se $P(t)$ por um fator que corresponde à razão entre o peso calculado pelo modelo e o peso medido pelo software, de forma a obter a equação 4.

$$P_a(t) = P(t) \frac{P(t-1)}{P_r(t-1)} \quad (4)$$

Na equação 4, P_a apresenta a previsão futura do peso ajustado conforme o demonstrado e P_r o peso real medido. A partir deste modelo é possível utilizar o software para acompanhar o crescimento da galinha e comparar os resultados com o modelo previsto. Desta forma, é possível prever e informar ao produtor o tempo necessário para que a ave se encontre em condições ótimas de abate.

2.5 Linearização do Sistema

A calibração do sistema objetiva a obtenção de uma função que relacione as medidas das aves realizadas pelo software com os valores reais de peso e tamanho medidos. A Tabela 1 mostra as relações entre o peso da galinha obtido via software, dado em pixels, e a pesagem real da ave, feita com auxílio de uma balança e dada em gramas.

Tabela 1. Tabela de calibração do software

$Peso_{medido}(g)$	$Pixels(px)$	F_C	$Peso_{calculado}(g)$	$erro\%$
3550	19107	0,1858	3283	7,51
2800	16696	0,1677	2869	2,47
2350	13560	0,1733	2330	0,84
2100	12720	0,1651	2186	4,08
1500	8966	0,1673	1541	2,71
Média		0,17184		3,52

É mostrado na Tabela 1 o peso real medido pela balança dado em gramas e o peso medido pelo *software* em pixels, com isso é calculado o fator de conversão F_C , o qual converte o peso de pixels para quilogramas. Esta tabela também apresenta a média entre os fatores de conversão encontrados e o peso medido pelo algoritmo, que faz uso desta média obtida. Também é apresentado o erro percentual calculado entre o peso real medido e o peso calculado.

A partir dos resultados apresentados pela Tabela 1 é possível realizar a linearização, como demonstrado por Doebelin [7], afim de obter a função de conversão linearizada para o sistema. A equação 5 descreve a função obtida com a linearização do sistema.

$$P = ap + b \quad (5)$$

Na equação 5, P é o peso da ave dado em gramas e p o peso calculado dado em pixels. Com a implementação desta equação no algoritmo desenvolvido, é possível o acompanhamento do crescimento da galinha em tempo real, com base na adequação em relação às curvas de crescimento obtidas. É possível também a implementação do método de predição de crescimento como descrito anteriormente no texto.

O fator de conversão a da equação 5 é definido como a média dos fatores de conversões encontrados (F_C), desta forma $a = 0,1718$. Também conforme Doebelin [7], o fator linear b pode ser desconsiderado, devido sua pouca influência neste sistema.

3 Resultados e Discussões

Para a validação do sistema é realizado o acompanhamento de 3 galinhas durante um período de 60 dias. A Figura 8 apresenta os dados calculados da predição no 20º dia de monitoramento das galinhas.

A Figura 8 apresenta a curva do modelo preditivo elaborada e as medições, discretas, realizadas pelo software em cada um dos dias de monitoramento. Os erros encontrados entre a predição realizada e o peso final da galinha foram de $e_1 = 16,7\%$, $e_2 = 2,3\%$ e $e_3 = 3,5\%$ respectivamente para cada uma das aves analisadas.

Em adição ao gráfico de curvas apresentado na Figura 8, são comparados os dados de erros calculados e apresentados na Tabela 1. Na tabela onde é apresentado o erro médio de 3,52%, é notado que este erro apresenta um alto desvio padrão de $\sigma = 2,24$, ou seja, os valores variam muito em torno da média. Como diagnóstico para este problema, tem-se que o erro torna-se maior nos extremos da curva de crescimento, devido à dificuldade de exatidão dos cálculos de medição dos pixels quando a ave se encontra no início ou no fim de seu ciclo de vida. Percebe-se então que o software possui melhor atuação em determinadas faixas de peso do que em outras. Estipulada uma faixa de erro aceitável, como $e_{adm\%} = 4\%$, a faixa de desempenho ótima do software para o cálculo do peso é dada por $1,25Kg < P < 3,15Kg$.

Em conclusão, o software desenvolvido apresenta desempenho dentro do esperado para a detecção, monitoramento e predição do peso das aves presentes em um aviário, tendo precisão superior aos métodos visuais

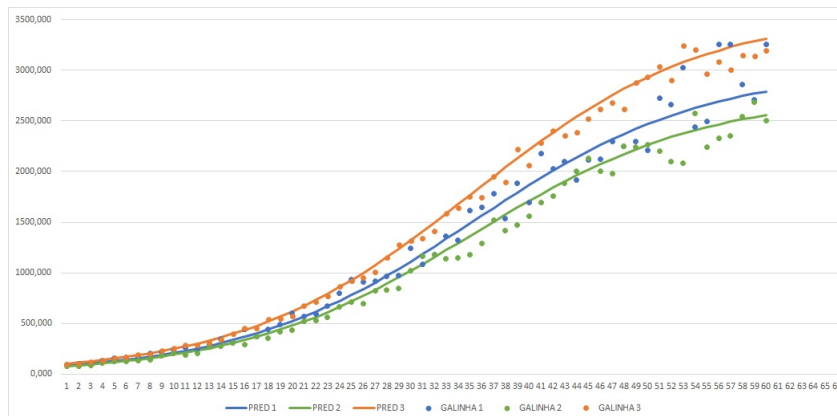


Figura 8. Validação modelo de predição

tradicionais de monitoramento, além de possuir baixo custo de implementação e manutenção, também apresentando baixo índice de erros e variância na realização das medições de tamanho e peso das aves. Por outro lado, a estimativa do peso final da galinha apresenta considerável variância relativa de erro. Mesmo esta possuindo valores absolutos baixos, ao final do ciclo de crescimento da ave, pode-se haver medições com índices de erro superiores ao recomendado. Deve-se então, estipular uma faixa segura de monitoramento, conforme requisitos do aviário.

Referências

- [1] Segato, A., Meneguzzi, R., Setti, A., & Ruffatto, J., 07 Dez 2018. As condições de trabalho humano na avicultura: inovação em ergonomia. *VII Congresso brasileiro de engenharia de produção*.
- [2] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Ministério da Agricultura, P. e. A., Dez 2019. Produção avícola brasileira. <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-de-aves/producao-de-aves>.
- [3] RUSS, J. C., 1995. *The image processing handbook. 2nd Edition, CRC*.
- [4] OpenCV, D., 16 Mai. 2020a. Camera calibration with opencv. https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/calib3d/camera_calibration/camera_calibration.html.
- [5] OpenCV, D., 17 Mai. 2020b. Sobel derivatives. <https://docs.opencv.org/2.4/doc/sobels>.
- [6] Neme, R., Sakomura, N. K., Fukayama, E. H., Freitas, E. R., Fialho, F. B., de Resende, K. T., & Fernandes, J. B. K., R. Bras. Zootec., v.35, n.3, p.1091-1100, 2006 (supl.). Curvas de crescimento e de deposição dos componentes corporais em aves de postura de diferentes linhagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*.
- [7] Doebelin, E. O., 4 ed, 1990. *Measurement Systems - Application and Design*. McGraw-Hill Publishing Company, New York, United States of America.