

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**FREQUÊNCIA RESSONANTE E QUALIDADE EXTERNA E
INTERNA DO OVO**

João Paulo Martins Chiquini

Médico Veterinário

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**FREQUÊNCIA RESSONANTE E QUALIDADE EXTERNA E
INTERNA DO OVO**

Discente: João Paulo Martins Chiquini
Orientador: Prof. Dr. Edney Pereira da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Nelson Jose Peruzzi

**Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para a
obtenção do título de Mestre em Zootecnia.**

C541f	Chiquini, João Paulo Frequência rressonante e qualidade externa e interna do ovo / João Paulo Chiquini. – Jaboticabal, 2022 39 p. : tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Edney Pereira da Silva Coorientador: Nelson Jose Peruzzi 1. Tecnologia. 2. Postura. 3. Som. 4. Avicultura. 5. Zootecnia. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

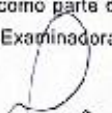
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: FREQUÊNCIA RESSONANTE E QUALIDADE EXTERNA E INTERNA DO OVO

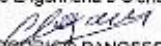
AUTOR: JOÃO PAULO MARTINS CHIQUNI

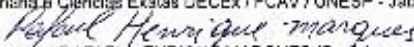
ORIENTADOR: EDNEY PEREIRA DA SILVA

COORDENADOR: NELSON JOSÉ PERUZZI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ZOOTECNIA, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. NELSON JOSÉ PERUZZI (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV - UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO (Participação Presencial)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas DECEX / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Nutricionista Técnica Comercial RAFAEL HENRIQUE MARQUES (Participação Presencial)
Agroceres Multimix Nutrição Animal / Rio Claro/SP

Jaboticabal, 01 de julho de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

João Paulo Martins Chiquini, Orlândia – SP, 15/03/1994. Iniciou seus estudos acadêmicos em medicina veterinária pela FCAV- Unesp Câmpus de Jaboticabal no ano de 2013. Realizou 3 iniciações científicas durante a faculdade sendo a primeira com frangos de corte (orientado pela Profa. Dra. Silvana Martinez Baraldi) e as duas seguintes com codornas japonesas (orientado pelo Prof. Dr. Edney Pereira da Silva). Foi cofundador do grupo de estudos de aves Poultry Education Group. Foi coordenador da XLII Semana da Ciência e Tecnologia Agropecuária UNESP Jaboticabal. Foi monitor da disciplina de Zootecnia II – Avicultura sob a orientação do Prof. Dr. Edney Pereira da Silva. Realizou seu estágio curricular na empresa Hendrix Genetics na cidade de Bastos -SP. Terminou sua graduação em 2019. No mesmo ano ingressou como representante comercial na empresa Basi Representações, com foco em produtos para aves de postura. Em 2020 ingressou como consultor técnico especialista em aves de postura na empresa Agrocerec Multimix Nutrição Animal, atendendo a produtores em todo território nacional. No mesmo ano, ingressou no mestrado em zootecnia pelo programa de pós-graduação da UNESP Jaboticabal sob orientação do Prof. Dr. Edney Pereira da Silva. Em 2021 foi promovido a consultor técnico comercial, realizando a supervisão de vendas e demandas técnicas dos clientes de postura comercial do estado de São Paulo pela empresa Agrocerec Multimix Nutrição Animal.

“As pessoas consideram desafios como problemas. Mas pelo contrário, problema é quando não há desafio. Todo desafio tem uma recompensa.” Caio Carneiro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e ao meu santo intercessor Francisco de Assis, por sempre me guiarem pelo caminho correto, abrindo portas e abençoando meus passos e de minha família. Por terem colocado em meu caminho pessoas especiais que fizeram toda a diferença até aqui, ter guiado minhas escolhas e me dado o discernimento e a paz de espírito para aceitar as consequências delas.

À FCAV – UNESP Jaboticabal, funcionários e professores, pela excelência e dedicação ao ensino. O que torna possível a realização do sonho de muitos alunos.

À empresa Agrocere Multimix por ter aberto as suas portas e me dado a grande oportunidade de realizar o trabalho com todo apoio necessário. Agradeço a toda equipe da linha aves e do centro de pesquisas que contribuíram com o trabalho. Em especial menciono: Diretor Ricardo Araujo Ribeiral, Gestor Nacional Marcelo Torreta, Gestor Regional Diogo Gambaro, Gestora Técnica Patricia Marchizelli, Nutricionista Livya Queiroz, Supervisor Fernando Augusto de Souza, Lider Leonardo Fonseca, Lider Thaliane Silveira. Sem vocês nada aconteceria.

À toda equipe do Poultry Education Group, pelos momentos de aprendizado, descontração e trabalho vividos que foram muito importantes para o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço à minha família, em especial meu pai (Marco), minha mãe (Ângela) por terem me dado a vida e todo apoio em minhas escolhas. Vocês são a minha maior inspiração. Sem vocês, com toda certeza, eu não teria conseguido chegar até aqui. Muito obrigado pela honra de ser seu filho.

Agradeço à minha esposa Samara por todos os anos de amor e carinho dedicados, pelo apoio e compreensão durante os anos de graduação e pós que se passaram. Sem você ao meu lado eu não teria conseguido. Te amo eternamente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Edney Pereira da Silva, por todo aprendizado profissional e pessoal, por toda confiança e responsabilidade que o senhor me depositou nesses anos de orientação, levarei seus ensinamentos comigo por toda minha vida.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Nelson Peruzzi, pela oportunidade de poder fazer parte desse projeto tão especial, por todo aprendizado pessoal, profissional e técnico. Muito obrigado pela confiança em mim depositada. Espero que juntos, eu, o s.r. e Edney, possamos alcançar grandes feitos e fazer a diferença na avicultura comercial.

À estagiária Anna Raísa pela dedicação e empenho durante os períodos de coleta. Por toda organização, preocupação e responsabilidade inferida em todos os processos que tangiam a coleta dos dados.

.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
1. Objetivos	2
2. Revisão de literatura	2
2.1. Qualidade de ovos de postura comercial.	2
2.1.1. Parâmetros internos	2
2.1.2. Parâmetros Externos	3
2.1.3. Tecnologia envolvendo qualidade de ovos comerciais.	4
2.2. Frequência ressonante na avaliação de qualidade de ovos.	5
3. Material e Métodos	6
3.1. Local e data	6
3.2. Aves, alojamento e delineamento experimental	7
3.3. Padronização geral	7
3.4. Experimento 1: Determinar a frequência ressonante e as variáveis de qualidade externa de ovos frescos	8
3.4.1. Coleta amostral	8
3.4.2. Identificação dos ovos	8
3.4.3. Avaliação da frequência ressonante	8
3.4.4. Mensuração dos parâmetros qualidade	9
3.5. Experimento 2: Determinar a frequência ressonante e as variáveis de qualidade interna de ovos armazenados	9
3.5.1. Coleta amostral	9
3.5.2. Identificação dos ovos	9
3.5.3. Avaliação da frequência ressonante	10
3.5.4. Mensuração dos parâmetros qualidade	10
4. Resultados e Discussão	10
4.1. Experimento 1: Determinar a frequência ressonante e variáveis de qualidade externa de ovos frescos	10
4.1.1. Resistência de casca (kgf)	10
4.1.2. Frequência ressonante	13
4.1.3. Peso dos ovos (g)	14
4.1.4. Shape index	15
4.1.5. Espessura de casca (mm)	15
4.1.7. Modelos matemáticos	16
5.2. Experimento 2: Avaliação da frequência ressonante e as variáveis de qualidade interna de ovos armazenados	17

5.2.1. Unidades Haugh (UH).....	17
5.2.2. Índice gema (IG).....	17
5.2.3. Frequência Ressonante.....	18
6. Conclusão	20
7. Referências.....	21
CAPÍTULO 2 - Modelos matemáticos para predição da resistência da casca do ovo de poedeiras comerciais	25
RESUMO	26
INTRODUÇÃO.....	27
MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
RESULTADOS.....	29
DISCUSSÃO.....	30
CONCLUSÃO.....	32
AGRADECIMENTOS	32
REFERÊNCIAS.....	32

PARECER CONSUBSTANCIADO DE PROJETO DE PESQUISA

Projeto de Pesquisa nº EXP.CP.AVE.PO.57.21
Protocolo nº 09.21
Título do Projeto VALIDAÇÃO DO PXFÓS COMO SUBSTITUTO ÀS
FONTES SUPLEMENTARES DE FÓSFORO NAS
RAÇÕES
Pesquisador Responsável Leonardo Fonseca Faria
Patrocinador Agrocere's Multimix
Instituição onde se realizará Centro de pesquisa -Agrocere's Multimix
Data de recebimento na CEUA-AGROCERES 15/02/2021
Data de encaminhamento ao Parecerista 17/02/2021

Documentos analisados:
Formulário de encaminhamento.

Data da homologação pela CEUA:
23/02/22

Sumário do Projeto (avaliação do Parecerista)

Espécie animal estudada, gênero e origem	Dekalb White H&N Nick Chick
Quantidade e sexo dos animais utilizados na pesquisa	960F
Condições de alojamento	As aves serão alojadas em 96 boxes (cada box é composto por duas gaiolas com capacidade de 10 aves/box), com as dimensões 1,0 x 0,45 x 0,45 m, sendo serão alojadas 5 aves/gaiola totalizando 10 aves por box. A densidade animal total será de 450 cm ² /ave. A densidade indicada pelos manuais de criação é de 350 cm ² /ave, a proposta do nosso experimento é de 450 cm ² /ave, ou seja, temos 100cm ² a mais para a aves dentro das gaiolas.
Condições de estresse e manipulação animal	Pesagem quinzenal
Procedimentos invasivos feitos no animal	Não
Duração da pesquisa	16 semanas
Destino dos animais após a pesquisa	Após o período experimental as aves continuaram no galpão de produção durante o ciclo produtivo.

Comentários:
Projeto aprovado para início.

Atenciosamente,

Marcella B. da Costa
Marcella Borsonello da Costa

Fevereiro/2021

Assinatura parecerista

Comissão de Ética no Uso de Animais – Agrocere's Multimix

FREQUÊNCIA RESSONANTE E A QUALIDADE EXTERNA E INTERNA DO OVO

RESUMO – A pesquisa foi definida tendo como objetivo avaliar o uso da frequência ressonante na avaliação dos parâmetros de qualidade interna e externa de ovos de poedeiras comerciais. Foram realizados dois experimentos utilizando o total 960 aves de duas linhagens comerciais diferentes (A e B), sendo 480 aves de cada. No primeiro experimento as aves foram submetidas, por um período de quatro meses, às dietas com três níveis diferentes de fósforo sendo: T1 (0,105%), T2 (0,200%) e T3 (0,394%). Consistindo T3 o atendimento nutricional, T1 e T2 tratamentos com níveis deficientes de fósforo. Após o período de adaptação os ovos foram coletados e analisados no mesmo dia em que foram produzidos. No segundo experimento foi realizada uma coleta 800 ovos produzidos no mesmo dia, esses ovos foram mantidos armazenados à temperatura controlada (23° C) e analisados semanalmente por um período de dez semanas. Todos os ovos foram submetidos a análise da frequência ressonante. Logo após foram analisados quanto aos parâmetros de qualidade interna e externa por meio do uso de equipamentos automatizados, balança digital e micrometro de precisão. No primeiro experimento houve a diminuição da resistência de casca no decorrer do tempo, sendo significativa a interação dos níveis de fósforo e resistência para a linhagem B (T1:3,36 kgf e T3:3,72 kgf). A frequência ressonante, ao decorrer do período, aumentou significativamente ($p < 0,05$) para o tratamento T1 e não se modificou para o tratamento T3 (T1: 5317,02 Hz – 6041,17 Hz; T3: 5404,72 Hz – 5362,64 Hz). No segundo experimento os parâmetros de qualidade interna de unidade Haugh (UH) e índice gema (IG) diminuíram 27 % ao longo do tempo (UH: 79,1 – 57,5; IG: 0,399 – 0,225) enquanto a frequência subiu 14,9 % (4585 Hz – 5267 Hz). Com os dados obtidos foi possível estruturar os seguintes modelos matemáticos para predição de resistência (a) de casca e índice de unidade Haugh (b) via o uso da frequência ressonante. (a) $RS = -0,01820 (\pm 0,0324) Kdin + 0,00054694 (\pm 0,00008053) FR + 0,03117 (\pm 0,0410) PO$; $RMSE = 0,86951$, $R^2 = 0,94$. (b) $UH = 2E - 0,5 FR^2 - 0,2507 FR + 762,73$, $R^2 = 0,97$.

Palavras-chave: Tecnologia, postura, som, avicultura, zootecnia.

RESONANT FREQUENCY AND THE EXTERNAL AND INTERNAL EGG'S QUALITY

ABSTRACT – The research was defined with the objective of evaluating the use of resonant frequency in the evaluation of internal and external quality parameters of eggs from commercial laying hens. Two experiments were carried out using a total of 960 birds of two different commercial lineages (A and B), with 480 birds each. In the first experiment, the birds were subjected, for a period of four months, to diets with three different levels of phosphorus being: T1 (0.105%), T2 (0.200%) and T3 (0.394%). Consisting of T3 nutritional care, T1 and T2 treatments with deficient levels of phosphorus. After the adaptation period, the eggs were collected and analyzed on the same day they were produced. In the second experiment, 800 eggs at the same day of production were carried out, the eggs were kept stored at controlled temperature (23° C) and analyzed weekly for a period of ten weeks. All eggs were subjected to resonant frequency analysis. Soon after, they were analyzed for internal and external quality parameters using automated equipment, digital scale and precision micrometer. In the first experiment there was a decrease in bark resistance over time, with significant the interaction of phosphorus levels and resistance for lineage B (T1:3.36 kgf and T3:3.72 kgf). The resonant frequency, over the course of the period, increased significantly ($p < 0.05$) for treatment T1 and did not change for treatment T3 (T1: 5317.02 Hz - 6041.17 Hz; T3: 5404.72 Hz - 5362.64 Hz). In the second experiment, the internal quality parameters of Haugh unit (UH) and yolk index (YI) decreased by 27 % over time UH : 79.1 - 57.5; YI: 0.399 - 0.225) while the frequency rose 14.9% (4585 Hz - 5267 Hz). With the data obtained it was possible to structure the following mathematical models for predicting shell resistance (a) and Haugh unit index (b) via the use of resonant frequency. (a) $RS = -0.01820 (\pm 0.0324) K_{din} + 0.00054694 (+0.00008053) FR + 0.03117 (+0.0410) PO$; RMSE = 0.86951, $R^2 = 0,94$. (b) $HU = 2E - 0.5 FR^2 - 0.2507 FR + 762.73$, $R^2 = 0,97\%$

Key words: Technology, posture, sound, poultry, zootechnics.

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

O ovo ocupa o 5º lugar no ranking de proteínas de origem animal produzidas no mundo e o Brasil se encontra na 5ª posição dentre os maiores produtores. A produção de ovos brasileira está, quase que na sua totalidade, voltada ao mercado interno, sendo que somente 0,26% do que é produzido é destinado à exportação (ABPA, 2020). A evolução no consumo de ovos pelo brasileiro tem sido um propulsor para o crescimento da atividade nos últimos anos, que em 2020 chegou a 251 ovos por hab/ano (ABPA, 2020). Devido aos fatos recentes no cenário econômico brasileiro resultantes dos impactos da pandemia do coronavírus, que acarretaram na perda de poder aquisitivo das famílias brasileiras, e sendo o ovo uma opção acessível de fonte proteica, observou-se um aumento de 9% do consumo per capita em relação ao ano anterior.

Porém, a procura aquecida pelo produto no mercado acabou por não se reverter em bons números para a cadeia produtiva. Haja visto os problemas causados pela instabilidade econômica acima mencionada, os custos para se produzir 1 kg de ovos nunca esteve tão alto desde a criação da atividade. A inflação monetária, a especulação no entorno da pandemia e a disparada do preço de cambio do dólar aumentaram significativamente os preços de insumos e matérias primas, o que acabou por gerar prejuízos a cada ovo produzido.

Hoje para cada caixa de ovos produzida é despendido a média de 10 a 15 reais do capital de giro da propriedade, pois, assim como mencionado acima, o mercado avícola da postura é quase que em sua totalidade inserido e balizado no mercado interno, porém a maioria massiva dos insumos necessários para produção são inseridos e balizados no mercado externo. O que significa que o produto é vendido em real, mas os insumos são comprados em dólar.

Portanto, podemos afirmar que nunca foi tão imprescindível o trabalho técnico voltado para o máximo desempenho produtivo e econômico da atividade, principalmente voltado à mitigação das perdas produtivas com base na mensuração de parâmetros qualitativos, a fim de traçar estratégias voltadas para a melhoria de qualidade interna e externa, visando a diminuição do percentual de perdas produtivas de um produto que despende de tanto investimento como acima mencionado.

1. Objetivos

1.1. Geral

Avaliar se a frequência ressonante pode ser utilizada como indicador de qualidade interna e externa de ovos de aves de postura comercial

1.2. Específicos

1) Determinar a frequência ressonante e variáveis de qualidade interna e externa de ovos frescos e armazenados.

2) Estruturar um modelo matemático para uso da frequência ressonante como medida preditiva da qualidade externa e interna de ovos frescos e armazenados.

2. Revisão de literatura

2.1. Qualidade de ovos de postura comercial.

O ovo é um dos alimentos mais completos para o consumo humano com alto valor biológico (Mota et al., 2017). Haja visto a problemática acima descrita, manter, avaliar e assegurar a qualidade e a integridade do produto, se demonstra como um processo indispensável para a continuidade da cadeia e escalada do consumo com segurança.

Problemas que incidem na qualidade de ovos geram prejuízos à cadeia produtiva de milhões de dólares por ano (Roberts et al., 2004). Os fatores que afetam a qualidade interna e externa dos ovos de poedeiras comerciais são vários como: Idade, genética, ambiência, sanidade, processos de coletas, condições de armazenamento e transporte e nutrição (Lacerda., 2011). Dada a complexidade do fenômeno, poder mensurar os parâmetros de qualidade e avaliá-los torna-se uma importante ferramenta na tomada de decisões dentro do sistema da unidade produtiva.

2.1.1. Parâmetros internos

Os parâmetros internos estão relacionados com a qualidade do conteúdo dos ovos e seus componentes, mensurados pela qualidade de gema e de albúmen. A qualidade da gema pode ser mensurada por meio de sua da coloração (subjetiva ao mercado no qual o produto será destinado) e da rigidez da membrana perivitelínica

(Kirunda e McKee, 2000). O qual é parametrizado pelo índice gema (IG), que é a razão entre a altura (HG) e diâmetro (DG) de gema. Equação 1.

$$IG = \frac{HG}{DG} \quad (1)$$

A qualidade do albúmen é usualmente mensurada pela unidade Haugh (UH). Índice desenvolvido pelo pesquisador Raymound Haugh em 1937. Calculada por meio da função logarítmica da altura do albúmen denso (H) próximo a gema (1 cm) e peso do ovo (PO) (Lacerda, 2011). Equação 2.

$$UH = 100 \log(H - 1,7PO^{0,37} + 7,6) \quad (2)$$

Um dos fatores, já mencionado, que interfere diretamente nos parâmetros descritos é o armazenamento dos ovos. Com o aumento do tempo de armazenagem, ocorre a perda de umidade e dióxido de carbono pelos poros do ovo, o que acarreta a diminuição do pH dos componentes internos (albúmen e gema), diminuindo o percentual de albúmen e consequente diminuição do índice UH (Eke et al., 2003). O mesmo processo oxidativo incide na estrutura das moléculas que compõe a membrana vitelínica que acabam por perder suas propriedades estruturais e seletividade, ocasionando em um deslocamento de água do albúmen para a gema, o que acaba por gerar um aumento do tamanho da membrana, maior fragilização da mesma e diminuição do IG (Sarcinelli et al., 2007).

2.1.2. Parâmetros Externos

Os parâmetros de avaliação da qualidade externa dos ovos são mensurados por meio da avaliação da qualidade da casca, podendo ser mensurada por métodos diretos e indiretos (Hamilton, 1982). Métodos diretos incluem resistência de casca ao impacto por meio da compressão. Métodos indiretos incluem gravidade específica, peso e espessura de casca (Hammerle, 1969).

Um dos fatores que incide diretamente na formação da estrutura e qualidade da casca e, que está totalmente inserido no âmbito zootécnico, é a nutrição. A casca dos ovos é composta basicamente por carbonato de cálcio (CaCO_3), o que pressupõe que o cálcio (Ca) seja o mineral responsável pela sua boa formação. Porém o fósforo (P) também desempenha um papel crucial para boa formação da estrutura e mineralização da casca dos ovos. Este mineral está presente em níveis muito baixos na composição

da casca, porém é necessário para a assimilação de cálcio na matriz óssea e, portanto, o nível de ingestão nutricional via ração é fundamental para a qualidade da formação da casca dos ovos (Hopkinson et al., 1984).

Ademais, o fósforo possui fundamental importância como constituinte de tecidos ósseos e é um componente essencial de compostos orgânicos envolvidos em processos metabólicos como: metabolismo energético, de carboidratos, de aminoácidos, de tecidos neuromusculares, e participação como constituinte de membranas celulares e do ATP (adenosina trifosfato) (Macari e Mendes, 2005). Devido a importância do fósforo é possível encontrar relatos na literatura sobre recomendações e exigências nutricionais. Hartel (1990), estimou o nível mínimo de requerimento de fósforo disponível para o bom desempenho de aves de postura de $0,36 \text{ g ave}^{-1}\text{dia}^{-1}$. Rodrigues et al. (1998), verificaram o requerimento de 0,35 % de fósforo disponível para aves durante o pico de produção. Rostagno et al. (2011), realizaram uma série de experimentos dose-resposta para estabelecimento da exigência nutricional de aves de postura, e estabeleceram que, para galinhas poedeiras em fase de produção com consumo de ração de 100g/dia, a exigência de fósforo disponível de 0,3 % ou $0,3 \text{ g ave}^{-1}\text{dia}^{-1}$. No mesmo sentido Rostagno et al. (2017), estabeleceram para aves de postura submetidas a temperatura média de 26°C com consumo de ração de $93,2 \text{ g dia}^{-1}$ uma exigência de fósforo disponível de 0,399% ou $0,372 \text{ g ave}^{-1}\text{dia}^{-1}$.

2.1.3. Tecnologia envolvendo qualidade de ovos comerciais

Para a avaliação dos parâmetros acima descritos são utilizados comercialmente equipamentos laboratoriais manuais e automáticos. Dentre os manuais se encontram: balança digital, paquímetros e micrometros de precisão. Dentre os automáticos se encontram: digital egg tester e medidores de resistência de casca via compressão.

Com base no exposto ressalta-se que a avaliação dos parâmetros de qualidade de ovos comerciais é uma ferramenta de extrema importância para a cadeia produtiva. Porém o ponto de congruência e dificultoso no emprego dos métodos utilizados na atualidade é a destrutividade dos ovos e a necessidade de altos investimentos no caso de aquisição de aparelhos automatizados.

2.2. Frequência ressonante na avaliação de qualidade de ovos.

Qualquer corpo sólido possui uma vibração natural, que vibra numa frequência característica ou timbre. Isso ocorre porque os átomos possuem uma energia de agitação, que está associada à sua temperatura e estruturação molecular. Porém, para que um corpo emita um som é preciso excitá-lo externamente, isto é, deve-se aplicar uma força no corpo para que o elemento vibrante seja colocado em movimento. Quando excitamos um objeto, o movimento da estrutura comprime e empurra o ar com a mesma frequência com que a estrutura vibra. A combinação das frequências de todos os átomos cria um padrão de vibração que caracteriza os corpos, ou timbre. O timbre se caracteriza pela superposição de vários harmônicos produzidos no momento da resposta do corpo à excitação externa, e a frequência gerada pelo harmônico dominante se caracteriza como frequência ressonante (FR) (Halliday et al., 2016).

A frequência ressonante se apresenta como característica e específica de cada corpo sólido. Pois a onda sonora, por ser uma onda mecânica, necessita de um meio de propagação, e possui suas características físicas como amplitude, comprimento, período, e frequência dependentes das características moleculares do meio propagativo (Embleton, 1996).

O mesmo pode ser aplicado à ovos de postura comercial. O ovo, por ser um conglomerado de estruturas não homogêneas e passíveis de variação via interferência de fatores externos, possui um padrão de FR que varia conforme o meio interno e externo é modificado, além do tamanho, forma e geometria.

Coucke et al. (2003), realizaram um estudo com ferramentas de análise modal visando compreender a deformação elástica e o padrão de vibração de ovos quando excitados à uma força externa, no qual estabeleceu que a maior deformação e amplitude de ressonância dos ovos se encontra na faixa equatorial. A deformação de um ovo excitado por impacto, depende do valor da frequência ressonante, que por sua vez depende da geometria, da densidade e das propriedades elásticas do ovo. Sendo este comportamento passível de ser modelado pela equação onde a frequência ressonante (FR) e a massa do ovo (m) podem ser usadas para determinar a constante de rigidez dinâmica (k_{din}) de ovos intactos (Coucke et al., 2003). Equação 3.

$$k_{din} = (2\pi FR)^{2m} \quad (3)$$

De fato, Wang et al. (2014), estabeleceram a relação entre a frequência ressonante e as propriedades físicas do ovo, tais como a força de resistência global do

ovo e integridade da casca. Os autores descobriram que a excitação dinâmica e análise de resposta foram um método aceitável para determinação das propriedades físicas e para avaliação da qualidade de ovos de postura comercial. Sinha et al. (1992), usou o teste da frequência ressonante para detecção de *Salmonella enteritidis* em ovos. Bliss (1973) analisou o sinal de frequência emitido por ovos quando impactados para avaliar a presença de trincas. Yang et al. (1995), analisaram o comportamento vibracional para avaliação de qualidade de ovos tratados quimicamente.

Desta forma a constante de rigidez dinâmica (k_{din}) e a frequência ressonante podem ser utilizadas para avaliações não destrutivas de qualidade interna e externa de ovos comerciais e, conseqüentemente, ser usada como indicativo para tomada de decisões estratégicas no que tange ao processo produtivo. Além disso, tendo por principal vantagem a não destrutividade, agilidade de processo e baixo custo (Bain et al., 2006).

3. Material e Métodos

Todos os procedimentos experimentais foram submetidos para apreciação da Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da instituição sendo aprovados conforme o processo nº 09.21.

Foram realizados dois experimentos a fim de estabelecer e avaliar a frequência ressonante e os parâmetros de qualidade dos ovos.

Para avaliar o comportamento da frequência ressonante e as variáveis de qualidade externa do ovo, foram estabelecidas dietas com níveis experimentais de fósforo definidos para provocar modificação na qualidade da casca do ovo.

Para avaliar o comportamento da frequência ressonante e as variáveis de qualidade interna do ovo, foi feita uma coleta total de 800 ovos cada, a partir da qual os ovos foram armazenados à temperatura controlada e foram analisados em períodos espaçados visando provocar alteração da qualidade interna via avanço do processo oxidativo natural.

3.1. Local e data

O ensaio foi realizado no Centro de Pesquisas “Professor José Maria Lamas da Silva”, Patrocínio, MG, Brasil, pertencente da Empresa Agrocereis Multimix Nutrição

Animal. O experimento, coleta e compilação dos dados foram executados de maio a julho de 2021.

3.2. Aves, alojamento e delineamento experimental

Foram utilizadas 800 aves de postura comercial, sendo 400 aves da linhagem A e 400 aves da linhagem B com idade de 75 semanas. As aves foram alojadas em galpão californiano com sistema de ambiência de pressão positiva. A unidade experimental foi composta por uma gaiola com dimensões de 1.0×0.45×0.45 m, capacidade de 10 aves, equipada com bebedouro nipple e comedouro linear. A densidade praticada foi de 450 cm² por ave. Foi utilizado 16h de luz (natural+artificial). O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com três tratamentos e 20 repetições. A repetição foi composta por uma gaiola com 10 aves. Os tratamentos consistiram em três níveis fósforo, sendo: T1 (0,105%), T2 (0,200%) e T3 (0,394%). Consistindo T3 o atendimento nutricional segundo Rostagno et al. (2017), e T1 e T2 tratamentos com níveis deficientes de fósforo. As coletas foram realizadas após o período de adaptação das aves às dietas experimentais, suficiente para provocar alteração na casca do ovo. O ensaio teve a duração de 16 semanas

3.3. Padronização geral

Para o presente estudo foram selecionados somente ovos intactos, ou seja, sem nenhuma avaria de casca. Uma vez que se deseja avaliar o comportamento da frequência com as variáveis de qualidade interna e externa e não com a presença ou ausência de trincas. Está seleção foi feita pela avaliação visual com o auxílio de uma lanterna, assim como representado na Figura 1.



Figura 1. Avaliação externa visual.

3.4. Experimento 1: Determinar a frequência ressonante e as variáveis de qualidade externa de ovos frescos

3.4.1. Coleta amostral.

Foram realizadas seis coletas quinzenais durante 3 meses, amostrando-se 280 ovos por coleta, sendo coletados três ovos por repetição em cada coleta. Os ovos coletados foram analisados no mesmo dia da coleta, de modo que a variável tempo de armazenamento tenha a mínima interferência. Ao final para avaliar o comportamento da frequência ressonante frente às demais variáveis de qualidade externa foram produzidas 1.080 observações.

3.4.2. Identificação dos ovos.

Após a seleção, os ovos foram identificados na casca por meio de caneta permanente, sendo atribuído a cada ovo um número exclusivo, concomitante o número foi atribuído à repetição e ao tratamento específico por meio do uso da ficha de controle.

3.4.3. Avaliação da frequência ressonante

Após o processo de identificação foi feita a medida do diâmetro e altura do ovo por meio de um paquímetro de precisão.

Os ovos foram analisados um a um quanto a constante de reflexão, onde foi feita a captação da frequência sonora via excitação. O ovo foi colocado horizontalmente e apoiado no ponto onde observaram linhas nodais do modo elíptico, de forma a não se abafar a reverberação do som emitido.

No teste de vibração o ovo foi excitado no seu equador por um impulso mecânico feito de modo manual a partir do uso do martelo de excitação com força máxima de 3N.

Os ovos foram excitados em quatro diferentes pontos por todo o equador, sendo usado uma rosca fixada em um dos roletes do suporte para girar o ovo, de modo a expor os pontos de excitação sem retirar o ovo de seu eixo estacionário.

O sinal acústico foi captado por um microfone condensador unidirecional com faixa de captação de 30hz a 16khz, inicialmente amplificado e depois analisado em um analisador dinâmico de sinais, sendo escolhido o software Audacity ® versão 3.0.0. (2021) que possui interface simplificada e com todos os filtros e softwares necessários.

Este analisador converte o sinal de tempo em sinal de frequência por meio da série rápida de Fourier (FFT). Equação 4.

$$Som = A_1 \cos(\omega_1 t) + A_2 \cos(2\omega_1 t) + A_3 \cos(3\omega_1 t) + A_4 \cos(4\omega_1 t) + \dots \quad (4)$$

O espectro de frequências do sinal acústico contém vários picos que representam as frequências naturais ou frequências ressonantes do ovo medido. A frequência ressonante do ovo foi estabelecida por meio da média das frequências captadas pelas quatro excitações realizadas.

3.4.4. Mensuração dos parâmetros qualidade.

Os ovos foram avaliados quanto ao peso (g), altura de albúmen (mm), coloração de gema, resistência de casca por meio da compressão (kgf), espessura da casca (mm) e shape index (SI). Todas as variáveis foram analisadas utilizando os equipamentos Digital Egg Tester Nabel DET- 6500, balança digital e micrometro de precisão.

O equipamento em questão se utiliza dos dados de peso de ovo e altura de albúmen (h) para estabelecer o índice de unidade Haugh (UH), além do diâmetro e altura de gema para estabelecer o Índice Gema (IG).

3.5. Experimento 2: Determinar a frequência ressonante e as variáveis de qualidade interna de ovos armazenados

3.5.1. Coleta amostral.

Foi feita a coleta de 800 ovos produzidos no mesmo dia. Os ovos coletados, após serem selecionados e identificados, foram armazenados à temperatura controlada com climatização a 23° C. As análises foram feitas semanalmente por um período de 40 dias.

3.5.2. Identificação dos ovos.

Haja visto que o experimento em questão não se propõe a avaliar o comportamento da frequência frente ao tratamento nutricional empregado às aves. A identificação foi feita em série, conforme a ordem de seleção, nos dois polos dos ovos, por meio de caneta permanente.

3.5.3. Avaliação da frequência ressonante

A frequência ressonante de cada ovo foi avaliada seguindo o mesmo protocolo descrito no item 4.4.3.

3.5.4. Mensuração dos parâmetros qualidade

A avaliação dos parâmetros de qualidade foi realizada seguindo o mesmo protocolo descrito no item 4.4.4.

3.6. Análises estatísticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio da análise fatorial 3x5x2 entre a mensuração da frequência ressonante e os parâmetros obtidos no aparelho convencional (Digital Egg Tester Nabel) via linguagem R (2021). Para as análises os ovos foram segregados por tamanho (conforme classificação do MAPA) e somente foram utilizados ovos de tamanho grande (55 a 60g). Uma vez que esta categoria consistia no maior volume dos ovos amostrados.

4. Resultados e Discussão

4.1. Experimento 1: Determinar a frequência ressonante e variáveis de qualidade externa de ovos frescos

4.1.1. Resistência de casca (kgf)

O teste F da ANOVA a 0,05 de significância foi significativo para o fator simples período e para a interação do nível de fósforo da ração e linhagem indicando que estes não são fatores independentes (Tabela 2). Analisando os efeitos simples do fator dia pelo teste de Tukey a 0,05 de significância na Tabela 2 observa-se que a menor média (3,38 kgf) da resistência foi obtida no sexagésimo dia. Fato esperado uma vez que a resposta à interferência nutricional e acumulativa. Portanto, com o passar do tempo, a ave priorizou a utilização do fósforo disponível (em deficiência) para funções vitais e basais, o que refletiu na piora da função reprodutiva, interferindo na formação dos componentes e da resistência da casca (Hopkinson et al., 1984). Além do que, com o passar do tempo, o metabolismo da ave fica mais deficiente no que se tange a deposição de minerais na casca, o que acarreta a diminuição da resistência da mesma. (Mateos, 1991)

Tabela 2. Efeito da qualidade externa e interno de ovos em dietas com três níveis de fósforo, em cinco períodos diferentes e duas linhagens de poedeiras comerciais, em esquema fatorial (3 x 5 x 2).

Tratamento	Variáveis							
	RS (kgf)	FR (Hz)	PO (g)	SI	AA (mm)	UH	IG	ESP (mm)
Nível de fósforo (%)								
0,105	3,52	5482,25	63,04 ^b	75,06	6,84	79,53	0,401	0,365
0,200	3,59	5356,05	63,14 ^b	74,67	6,44	78,13	0,392	0,359
0,391	3,61	5358,19	64,30 ^a	75,06	6,43	79,18	0,393	0,362
Linhagem								
A	3,67	5407,38	62,29 ^b	75,93 ^a	6,49 ^b	79,96	0,385 ^b	0,358 ^b
B	3,48	5392,34	64,61 ^a	73,96 ^b	6,66 ^a	77,93	0,406 ^a	0,366 ^a
Tempo (dias)								
1	3,79 ^a	5341,00 ^c	64,70 ^a	75,47	6,57 ^{ab}	78,44 ^{ab}	0,394 ^b	0,367 ^a
15	3,58 ^{ab}	5235,12 ^c	63,30 ^b	75,09	6,39 ^b	77,70 ^b	0,392 ^b	0,360 ^{ab}
30	3,58 ^{ab}	5286,64 ^c	62,73 ^b	74,85	6,80 ^a	80,83 ^a	0,397 ^{ab}	0,362 ^{ab}
45	3,57 ^{ab}	5504,06 ^{ab}	63,82 ^{ab}	75,09	6,40 ^b	77,71 ^b	0,389 ^b	0,364 ^{ab}
60	3,38 ^b	5621,20 ^a	62,83 ^b	75,47	6,69 ^{ab}	79,93 ^a	0,408 ^a	0,357 ^b
Média geral	3,58	5402,43	63,47	75,19	6,57	78,92	0,395	0,362
Erro	0,032	24,732	0,182	0,113	0,047	0,330	0,001	0,001
p-valor								
Nível de fósforo	0,4166	0,0498	0,0114	0,1751	0,1621	0,1907	0,0549	0,1479
Linhagem	0,4150	0,7542	0,0000	0,0000	0,0469	0,4714	0,0000	0,0004
Tempo	0,0064	0,0000	0,0024	0,0540	0,0198	0,0054	0,0029	0,0417
P x L	0,0055	0,6958	0,2501	0,9142	0,0018	0,0000	0,0224	0,1407
P x T	0,9927	0,0017	0,3990	0,7565	0,5194	0,3887	0,8295	0,6656
P x T	0,9017	0,5798	0,4519	0,9865	0,1458	0,4112	0,0014	0,3585
P x L x T	0,4222	0,1443	0,6345	0,3296	0,6894	0,8063	0,4271	0,5377

RS, resistência; FR, frequência; PO, peso do ovo; SI, shape index; AA, altura de albúmen; UH, unidade haugh; IG, índice gema; ESP, espessura de casca; P, nível de fósforo; L, linhagem; T, tempo. ^{a,b,c} médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A Tabela 3 mostra o desdobramento do fósforo entre as linhagens. Observa-se que a menor média da resistência e que se diferiu das demais foi observada no tratamento deficiente em fósforo (0,105 %) somente na linhagem B (3,36 kgf). Fato que nos leva a conclusão de que a linhagem em questão foi mais sensível à interferência nutricional.

Tabela 3. Desdobramento entre três níveis de fósforo e duas linhagens para efeito na resistência de casca (RS), altura de albúmen (AA), unidades Haugh (UH) e índice gema (IG) de ovos de poedeiras comerciais.

Nível de fósforo (%)	Variáveis							
	RS (kgf)		AA (mm)		UH		IG	
	A	B	A	B	A	B	A	B
0,105	3,69	3,36 ^b	6,35 ^b	6,93 ^a	77,71 ^b	81,36 ^a	0,38	0,42 ^a
0,200	3,61	3,58 ^{ab}	6,35 ^b	6,55 ^b	78,22 ^{ab}	78,06 ^b	0,38	0,40 ^b
0,391	3,51	3,72 ^a	6,77 ^a	6,51 ^b	80,34 ^a	78,04 ^b	0,38	0,40 ^b

^{a,b} médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O impacto dos níveis de fósforo disponível sobre a variável resistência de casca da linhagem B, em função do tempo, é mostrado na figura 2. O comportamento do gráfico de linhas demonstra uma tendência de queda nas médias da resistência do ovo para os 3 níveis estudados, o que é esperado uma vez que a idade das aves avança com o tempo e consequentemente a eficiência de formação dos componentes para a integridade de casca cai (Ferreira, 2008). Porém observa-se uma queda de resistência mais acentuada no tratamento deficiente em fósforo.

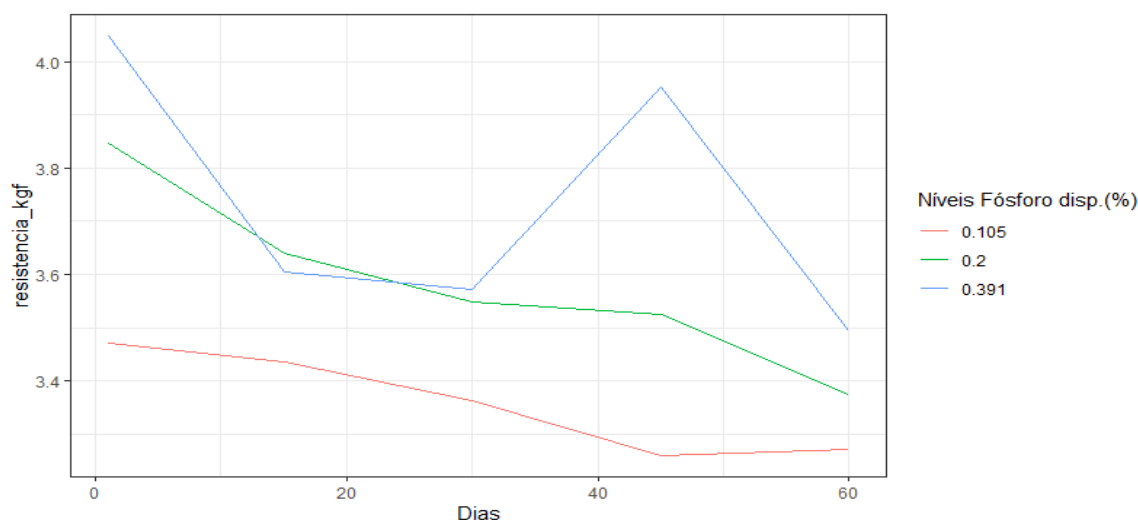


Figura 2 Evolução no tempo da variável resistência(kgf) para linhagem B.

5.1.2. Frequência ressonante

O teste F da ANOVA a 0,05 de significância foi significativa para o fator simples período e para a interação do nível de fósforo da ração e o período indicando que estes não são fatores independentes. Analisando os efeitos simples do fator período pelo teste de Tukey a 0,05 de significância na Tabela 2 observa-se que a maior média (5621,20 Hz) da frequência foi obtida no sexagésimo dia. Para o fator dia dentro de cada nível de fósforo houve diferença significativa dentro dos níveis 0,105% e 0,200%. Para o nível de fósforo 0,391% não houve diferença significativa entre as análises de frequência ressonante. No nível de fósforo 0,105% a maior média da frequência ressonante (6041 Hz) foi observada no dia 60 e este dia difere dos demais (tabela 4). Para o nível de fósforo 0,200% as maiores médias da frequência ressonante (5502 Hz) foram observadas nos dias 45 (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento entre três níveis de fósforo e cinco períodos para efeito de frequência ressonante em ovos de poedeiras comerciais.

Tempo (dias)	Níveis de fósforo (%)		
	0,105	0,200	0,391
1	5317,02 ^b	5300,62 ^{ab}	5404,72 ^a
15	5234,90 ^b	5173,73 ^b	5300,82 ^a
30	5297,50 ^b	5301,56 ^{ab}	5260,84 ^a
45	5520,71 ^b	5502,42 ^a	5461,96 ^a
60	6041,17 ^a	5501,98 ^a	5362,64 ^a

^{a,b} médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O desdobramento do fósforo dentro de cada período foi significativo somente para o dia 60 (Tabela 5). Observa-se que no último dia do experimento (dia 60) a maior média da frequência ressonante é observada no nível de fósforo 0.105% (6041 Hz). Fato esperado uma vez que o nível em questão corresponde a deficiência nutricional do mineral e a resposta à interferência nutricional é cumulativa, ou seja, a maior resposta ao tratamento foi observada no último dia do experimento (Sakomura e Rostagno, 2016).

Tabela 5. Teste de *Tukey* do desdobramento dos níveis de fósforo dentro do dia 60.

Níveis de fósforo	0,391	0,200	0,105
Médias Frequência (hz)	5363 ^b	5502 ^b	6041 ^a

^{a,b} médias seguidas pela mesma letra, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A influência dos níveis de fósforo na frequência ressonante dos ovos é mostrada na figura 3.

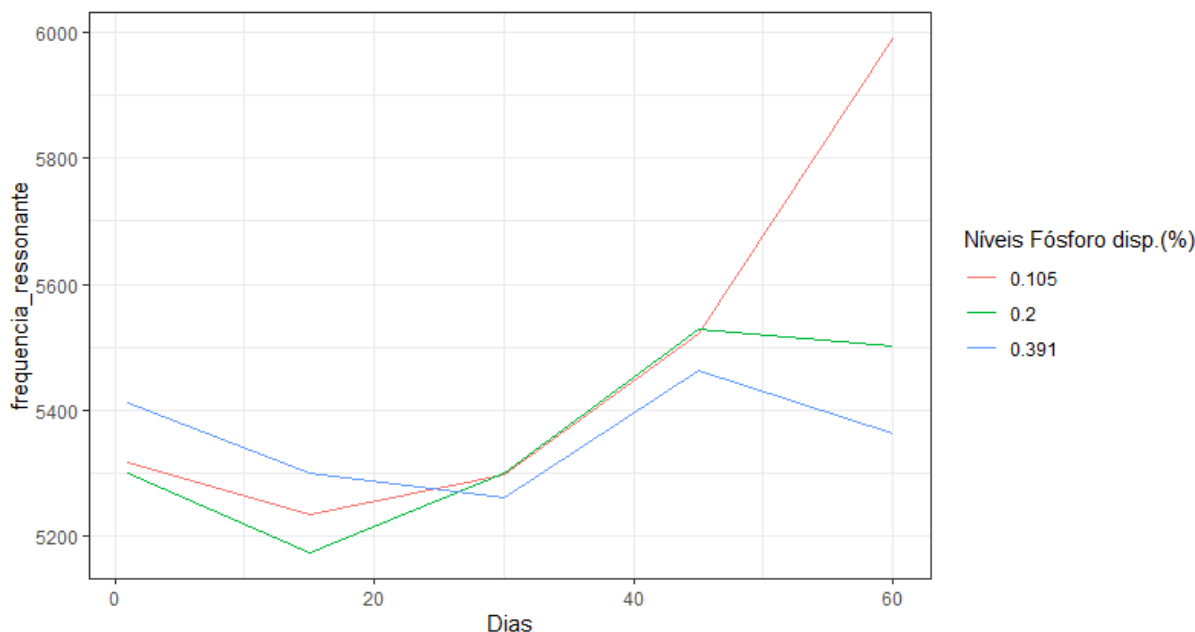


Figura 3. Evolução no tempo da variável frequência ressonante (hz) em relação ao fator fósforo.

Com a representação gráfica acima pode-se notar que a resposta da variável frequência ressonante à interferência nutricional na dieta das aves se demonstrou mais sensível do que o obtido na resposta da variável resistência de casca (Figura 2). Uma vez que o intervalo entre as respostas obtidas pela variável frequência para os tratamentos T1 e T3 é bem mais expressivo do que as respostas obtidas pela variável resistência.

5.1.3. Peso dos ovos (g)

O teste F da ANOVA a 0,05 de significância foi significativa com interação para o fator simples período e linhagem (Tabela 2). Fato esperado uma vez que, com o passar da idade das aves o tamanho e peso dos ovos aumentam. Devido ao aumento da quantidade de sólidos totais dos componentes internos, oriundo majoritariamente

do aumento da gema (Silva et al., 2004). As duas linhagens se apresentaram distintas quanto ao tamanho dos ovos haja visto as suas diferenças físicas e genéticas naturais.

5.1.4. Shape index

Quanto ao formato dos ovos o teste F da ANOVA a 0,05 de significância foi significativa com interação para o fator simples linhagem. Demonstrando que esta é uma variável distinta para genéticas diferentes.

5.1.5. Espessura de casca (mm)

O teste F da ANOVA a 0,05 de significância foi significativa com interação para o fator simples dia e linhagem. Para o fator dia a menor média foi observada no último dia do experimento, (Tabela 2). Fato esperado, pois, com o avanço da idade das aves, a espessura de casca dos ovos se comporta análoga ao que ocorre com a variável resistência, uma vez que o tamanho dos ovos aumenta significativamente e a ave passa a ser menos eficiente na absorção e deposição de cálcio na superfície da casca do ovo (Ferreira, 2008). Para o fator simples linhagem foi observada a menor média para a linhagem A, fato não correlato ao encontrado na variável resistência de casca.

5.1.6. Demais variáveis

Para as demais análises avaliadas (Unidade Haugh, altura de albúmen, índice gema) foi observado que o teste F da ANOVA a 0,05 de significância foi significativo para os fatores simples linhagem e período para as variáveis altura de albúmen e índice gema; significativa para o fator simples período para a variável unidade Haugh; significativo para a interação nível de fósforo e linhagem para as três variáveis; e significativo para a interação linhagem e período para a variável índice gema (Tabela 2). A Tabela 3 apresenta os desdobramentos entre os níveis de fósforo e as duas linhagens para as três variáveis e a Tabela 6 apresenta o desdobramento entre as duas linhagens e o período para a variável índice gema

Tabela 6. Desdobramento entre duas linhagens e cinco períodos para efeito de índice gema em ovos de poedeiras comerciais.

Tempo (dias)	Índice de gema	
	A	B
1	0,379 ^{bc}	0,409 ^a
15	0,378 ^c	0,405 ^a
30	0,396 ^{ab}	0,398 ^a
45	0,371 ^c	0,407 ^a
60	0,404 ^a	0,411 ^a

^{a,b} médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância

Analisando os dados descritos e suas disposições não podemos concluir que os tratamentos de fósforo inferiram de modo positivo ou negativo nas variáveis descritas, haja visto que são variáveis de qualidade interna e que são mais bem avaliadas quando analisadas com o efeito do tempo de armazenamento (Eke et al., 2003), tal qual foi realizado no experimento 2.

5.1.7. Modelos matemáticos

A partir da base de dados obtidos no experimento foi possível estruturar dois modelos matemáticos para predição da resistência da casca (RS). O modelo 1 foi estabelecido por meio da análise Stepwise e se utilizou das variáveis shape index (SI) e peso do ovo (PO). O modelo 2 foi estabelecido por meio da análise Backward e se utilizou das variáveis constante de rigidez dinâmica (k_{din}), peso do ovo e frequência ressonante (FR).

Modelo 1

$$RS(Kgf) = 0,02842(\pm 0,00497) SI + 0,02289(\pm 0,00586) PO(g); RMS = 0,87717, R^2_{adj} = 94,35\%$$

Modelo 2

$$RS(Kgf) = -0,01820 (\pm 0,0324) K_{din} + 0,00054694 (\pm 0,00008053) FR(Hz) 0,03117 (\pm 0,0410) PO(g); \\ RMSE = 0,86951, R^2_{adj} = 94,45\%$$

5.2. Experimento 2: Avaliação da frequência ressonante e as variáveis de qualidade interna de ovos armazenados.

Todos os resultados obtidos a partir dos dados analisados do experimento 2 estão descritos na Tabela 7.

5.2.1. Unidades Haugh (UH)

Foi observado que a unidade Haugh reduz com o avanço dos dias de armazenagem. A média dos ovos com 1 dia de armazenados foi de 79,1 e a média dos ovos com 40 dias de armazenados foi de 58,5. Assim como todos os parâmetros que envolvem o cálculo do UH: A média do peso dos ovos com 1 dia de armazenados foi de 64,5 g e com 40 dias de 58,5 g; e a média de altura de albúmen denso de ovos com 1 dia de armazenados foi de 6,6mm e com 40 dias de 4,0 mm.

5.2.2. Índice gema (IG)

Foi observado que o índice gema decai com o avanço dos dias de armazenagem. A média dos ovos com 1 dia de armazenados foi de 0,399 e a média dos ovos com 40 dias de armazenados de 0,225l. Quando nos referimos aos parâmetros que envolvem o cálculo do IG, a altura da gema apresentou o mesmo comportamento sendo a média de ovos com 1 dia de armazenados de 17,6 mm e com 40 dias de 10,2 mm. Porém o diâmetro da gema se comportou de modo inversamente proporcional, sendo a média de ovos com 1 dia de armazenados de 44,0 mm e com 40 dias de 46,4 mm.

A redução dos UH e IG e de todos os parâmetros que os envolvem se deve ao processo oxidativo natural dos componentes internos do ovo, de modo que, com o avanço do tempo de armazenagem ocorre a perda de umidade e dióxido de carbono pelos poros do ovo, o que acarreta a diminuição do pH dos componentes internos (albúmen e gema), diminuído o percentual de albúmen e consequente perda de peso do ovo e qualidade interna (Eke et al., 2003).

Já o aumento do diâmetro da gema se justifica pelo mesmo processo oxidativo. Pois, com a perda de umidade e diminuição do pH interno, as moléculas que compõe a membrana vitelínica acabam por perder suas propriedades estruturais e seletividade, ocasionando em um deslocamento de água do albúmen para a gema, o

que acaba por gerar um aumento do tamanho da membrana e maior fragilização da mesma (Sarcinelli et al., 2007).

Tabela 7 Efeito do tempo de armazenamento sobre a qualidade do ovo, mantidos em temperatura controlada.

Tempo (dias)	FR	P (g)	AA (mm)	UH	RS (kgf)	ESP (mm)	AG (mm)	DG (mm)	IG
1	4585	64,5	6,6	79,1	3,8	0,362	17,6	44,0	0,399
8	4842	62,8	4,9	64,4	3,8	0,360	14,6	45,0	0,331
18	5166	61,2	4,1	57,2	3,9	0,356	12,5	45,9	0,273
22	5201	61,2	4,0	55,4	3,6	0,359	11,9	45,6	0,262
31	5836	59,9	3,5	51,7	3,7	0,364	10,9	47,9	0,233
36	5378	59,6	3,8	54,1	3,7	0,362	10,4	47,9	0,217
40	5267	58,5	4,0	57,5	3,8	0,362	10,2	46,4	0,225
Média	5182	61,1	4,4	59,9	3,8	0,361	12,6	46,1	0,277
Erro	162	0,8	0,4	3,8	0,0	0,001	1,1	0,6	0,027

FR, frequência; P, peso; AA, altura de albúmen; UH, unidade haugh; RS, resistência de casca; ESP, espessura de casca; AG, altura de gema; DG, diâmetro de gema; IG, índice gema.

5.2.3. Frequência Ressonante

Foi observado que a frequência ressonante sobe na mesma proporção que os parâmetros de qualidade interna dos ovos caem (tabela 7). Sendo que o valor de frequência mais grave (4584 Hz) correspondente ao valor do parâmetro de UH e IG mais altos, e o valor de frequência mais agudo (5836 Hz) correspondente ao valor dos parâmetros de qualidade UH e IG mais baixos.

Esse fato está relacionado com a modificação das moléculas do conteúdo interno do ovo devido ao processo oxidativo já acima mencionado, pois a onda sonora é uma onda mecânica e como tal necessita de um meio de propagação. Possuindo suas características físicas como amplitude, comprimento, período e frequência dependentes das características moleculares do meio propagativo (Embleton, 1996).

A figura 4 apresenta graficamente a relação entre a frequência ressonante e a variável unidade Haugh.

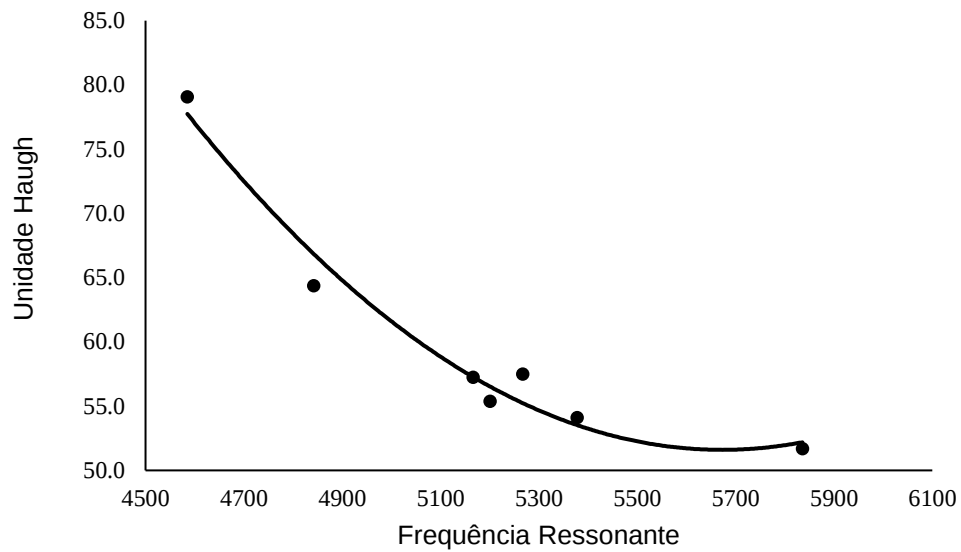


Figura 4. Relação entre Unidade Haugh e frequência ressonante, obtidos em ovos armazenados em temperatura controlada.

5.2.4. Modelos matemáticos

A partir da base de dados obtidos no experimento foi possível estruturar dois modelos matemáticos para predição de unidades haugh (UH) a partir da frequência ressonante (FR).

Modelo 3

$$UH = 2E \text{ (mm)} - 05 \times FR(\text{Hz})^2 - 0,2507 \times FR(\text{Hz}) + 752,73, R^2 = 97,14 \%$$

Modelo 4

$$UH = e^{-1,73 \ln (FR \text{ (Hz)}) + 18,8887}, R^2 = 85,60 \%$$

6. Conclusão

Pode-se concluir, com os dados apresentados acima, que a frequência ressonante se demonstra como uma variável promissora na medida dos parâmetros de qualidade externa e interna de ovos.

7. Referências

ABPA. 2020. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2020**. 8: 124-144.

Audacity Team (2021). Audacity(R): **Free Audio Editor and Recorder [Computer application]**. Versão 3.0.0 recuperado 17 de março de 2021 de <https://audacityteam.org/> [1].

Bain MM, Dunn IC, Wilson PW, Joseph BN, De Ketelaere J, De Baerdemaeker, Waddington D (2006) Probability of an egg cracking during packing can be predicted using a simple non-destructive acoustic test. **British Poultry Science**, 47:4, 462-469

Bliss GN (1973) Crack detector, **U.S. Patent 3744299**.1973.

Coucke P, Dewil E, Decuypere E, De Baerdemaeker J (1999) Measuring the mechanical stiffness of an eggshell using resonant frequency analysis, **British Poultry Science**, 40:2, 227-232, DOI: 10.1080/00071669987647

Coucke P, Dewil E, Decuypere E, De Baerdemaeker J (2003) Experimental analysis of the dynamic, mechanical behaviour of a chicken egg, **Journal of Sound and Vibration** 266 711–721

Eke MO, Olaitan NI, Ochefu JH (2013) Effect of Storage Conditions on the Quality Attributes of Shell (Table) Eggs. **Nigerian Food Journal**, 31(2): 18-24.

Embleton TFW (1996) Tutorial on sound propagation outdoors, **The journal of the Acoustical Society of America**, 100, 31.

EMBRAPA (2004) **Manual de Segurança e Qualidade para Avicultura de Postura**. 48-53.

Ferreira KF (2008) **Alterações da casca e conteúdo interno de ovos de consumo em função da idade de galinhas** 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal de Uberlândia.

Halliday D, Resnick R, Walker J (2016) **Fundamentos da Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi. – 10. ed. – Rio de Janeiro: LTC. 643 p.

Hartel H (1990) Evaluation of the dietary interaction of calcium and phosphorus in the high producing laying hen. **British Poultry Science**; 31(3):473-494

Hamilton RMG (19812) Methods and factors that affect the measurement of egg shell quality. **Poultry Science** 61: 2002-2039.

Hammerle JR (1969) An engineering appraisal of egg shell strength evaluation techniques. **Poultry Science** 48: 1708-1717.

Hopkinson WI, Williams W, Griffiths GL, Jessop D, Peters SM (1984) Indução dietética da síndrome de morte súbita em reprodutores de frangos de corte. **Avian Dis.** 28:352-357.

Kirunda DFK e McKee SR (2000) Relating quality characteristics of aged eggs and fresh eggs to vitelline membrane strength as determined by a texture analyzer. **Poultry Science** 79: 1189-1193.

Lacerda MJR (2011) **Sanitização e refrigeração de ovos de codornas comerciais contaminados experimentalmente por Salmonella Typhimurium**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Animais) Universidade Federal de Goiás, Goiânia,

Macari M e Mendes AA (2005) Manejo de Matrizes de Corte. **Facta**, Campinas, 2005. p. 421.

Mateos,GG (1991) Factores que influyen en la calidad del huevo. In: **Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras**. 9ª ed. Madrid: Mundi-Prensa, p. 227-248.

Moayer A (1997) Probe, device and method for testing eggs, **U.S. Patent 5728939**, 1997.

Mota ASB, Lima PMS, Silva DS, Abreu VKG, Freitas ER, Pereira ALF (2017) Internal quality of eggs coated with cassava and yam starches. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.1, p.47-50.

R Core Team (2021). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing.

Rao GV, Saheb KM, Janardhan GR (2008) Simple Formula to Study the Large Amplitude Free Vibrations of Beams and Plates. **J. Appl. Mech.** 75(1): 0104505.

Roberts JR, Souillard R, Bertin J (2011) Avian diseases which affect egg production and quality. **Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition**, p.376-393.

Rodrigues PB, et al. (1998) Fatores nutricionais que influenciam a qualidade do ovo no segundo ciclo de produção. 2. Níveis de fósforo disponível. **Revista Brasileira de Zootecnia** 1998; 27(1):143-149.

Roland (1998) Econometric Feeding and Management. **J. Appl. Poultry Res.** 7:403-411.

Rostagno HS, Albino LFT, et al. (2011) **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3 edição.** UFV, Viçosa, MG, Brasil. 2011, 252p.

Rostagno HS, Albino LFT, et al (2017) **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 4 edição.** UFV, Viçosa, MG, Brasil. 2017, 299p.

Sakomura NK, Rostagno HS. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos.** 2. Jaboticabal: FUNEP, 2016. 262.

Sarcinelli MF, Venturini KS, Silva LC (2007) Características dos ovos. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. **Boletim Técnico** - PIE-UFES: 00707

Silva FHA, Rombola LG, Deponti BJ, Rizzo MF, Araujo LF, Junqueira OM (2004). Rendimento de gema e albúmen em função da linhagem/variedade, idade e tipo de ovo de poedeiras. In: CONFERÊNCIA APINCO 2004 DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS AVÍCOLAS, **Anais...** Santos: FACTA, V.6, p. 136.

Sinha DN, Johnston RG, Grace WK, Lemanski CL (1992) Acoustic Resonances in Chicken Eggs. **Biotechnol. Prog.** 8, 240-243.

Tony F (1996). Sounds propagation outdoors, **J. Acoust. Soc. Am.**, Vol. 100, No.1, July 1996.

Wang J, Jiang RS, Yu Y (2014) Relationship between dynamic resonance frequency and egg physical properties. **International Journal of Biophysics** 2014, 4(1): 9-15

Yang SH, Hsi-lung C, Chunghwa W (1995) Quality control on thousand year egg by vibration identification, in: **Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference**, Nashville, TN, 1995, pp. 1242–1247.

Capítulo 2 - Modelos matemáticos para predição da resistência da casca do ovo de poedeiras comerciais

João Paulo Martins Chiquini[§], Jose Nelson Peruzzi[§], Alan Rodrigo Panosso[§], Edney Pereira da Silva ^{§*}

¹Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal-SP.

*Corresponding author.

UNESP, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castelane, s/n, 14883-900, SP, Brazil.

RESUMO - Esta pesquisa foi definida com objetivo de prever a resistência da casca do ovo utilizando medida destrutivas e não destrutivas utilizadas na avaliação da qualidade externa de ovos de poedeiras comerciais. Foram utilizados 683 ovos intactos de poedeiras comerciais criadas em sistema convencional. Inicialmente, os ovos foram submetidos a excitação para coleta da frequência ressonante (κ) e, em seguida os valores de comprimento, largura, peso ovo (λ), peso da casca (δ), resistência da casca (τ) e espessura da casca (ξ) foram determinados individualmente. Com base nas informações de largura e comprimento foram obtidos o índice forma (Q), diâmetro geométrico médio (Θ), esfericidade (Φ) e superfície (π) e foram adicionadas na base de dados, que em seguida foi submetida à análise das pressuposições de normalidade dos erros e, após atendida as pressuposições, os dados foram submetidos à análise de correlação e regressão linear múltipla, considerando como variável dependente a resistência da casca do ovo (τ) e as demais foram declaradas como variáveis independentes. A proximidade entre os valores de média, moda e mediana obtidos para variáveis relacionadas ao formato do ovo (Q , θ , Φ e π) indica uniformidade na amostragem, enquanto, as variáveis τ , κ , λ e δ apresentaram maior variabilidade, entre 7 e 24% de coeficiente de variação. A regressão gerou quatro modelos e as variáveis de entrada foram κ , Φ , π , η e λ e. O modelo ajustado foi o seguinte: $\tau = -0.113\kappa + 0.042\Phi - 0.0006\pi - 0.018\lambda + 0.948\delta$, $\epsilon = 0.000006$, obtido com base nas estatísticas de ajuste ($R^2_{\text{adjt}} = 95.9\%$) e de seleção ($AIC = -391.3$). A regressão entre o ϵ e os valores preditos para τ mostraram que não houve viés de predição. O modelo ajustado considera medidas destrutivas e não destrutivas como variáveis de entrada e, portanto, estudos futuros com maior variabilidade na base de dados devem ser realizados com objetivo de obter um método não destrutivo para predição da resistência da casca.

Palavras chaves: frequência ressonante, modelagem, resistência da casca.

INTRODUÇÃO

A avaliação da qualidade da casca do ovo tem sido objeto de pesquisa a quase um século (Romanoff, 1929). Comumente, assume-se que a casca do ovo deve ser resistente suficientemente para preservar as condições internas e suportar o desenvolvimento do embrião até o momento da eclosão (Altuntaş and Şekeroğlu, 2008), ou para evitar danos durante o manuseio e transporte para o mercado consumidor.

O aumento na escala da produção de ovos ocorreu concomitante aos avanços na mecanização e automação dos sistemas de produção, especialmente no processamento do ovo, que também aumentou o número de ovos danificados em função da maior exposição da casca aos choques mecânicos (Hamilton, 1982; Hamilton and Bryden, 2021), saltando de 1.5% de ovos quebrados no sistema manual para próximo de 7% do total de ovos quebrados em sistemas mecanizados. Os relatos mais recentes indicam que as perdas por ovos danificados e quebrados podem representar de 8 a 11% da produção total de ovos (Fathi et al., 2019). O impacto econômico dos danos causados na casca dos ovos foi estimado US\$ 247 milhões anualmente, que corresponde aproximadamente US\$ 20,6 milhões mensais Hamilton and Bryden (2021).

Portanto, o controle de qualidade da casca deve ser uma monitoria constante dentro da granja e pode ser avaliada por métodos direto e indireto (Hamilton, 1982). O método direto avalia a resistência da casca ao impacto por meio da compressão, enquanto métodos indiretos incluem gravidade específica do ovo, peso da casca e espessura de casca (Hammerle, 1969) e variáveis ligadas ao formato do ovo (Altuntaş and Şekeroğlu, 2008). O custo da análise de resistência da casca e exequibilidade ainda persiste com um desafio a ser equalizado entre demanda pela monitoria por parte das granjas para controle de qualidade e acesso aos equipamentos para mensurar como análise de rotina. Esta análise tem sido feita utilizando equipamento de bancada, o que demanda infraestrutura laboratorial e, por esse motivo, parte dos produtores são assistidos por meio de laboratórios móveis via de prestação de serviço especializado. Portanto, é necessária uma ferramenta que possa auxiliar os técnicos na tomada de decisão em tempo real para dimensionar os índices de quebra de ovo da granja, assim como diagnosticar as causas que estão atuando para aumentar os

índices fora da normalidade (Fathi et al., 2019). Portanto, esta pesquisa foi definida com objetivo de prever a resistência da casca do ovo por meio de medidas destrutivas e não destrutivas utilizadas na avaliação da qualidade externa de ovos de poedeiras comerciais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada no Centro de Pesquisas “Professor José Maria Lamas da Silva”, Patrocínio, MG, Brasil, pertencente da Empresa Agrocere Multimix Nutrição Animal. Um total de 683 ovos intactos foram selecionados, identificados e analisados no mesmo dia. Inicialmente, os ovos foram submetidos a excitação para coleta da frequência ressonante (κ , MHz), em seguida os valores de comprimento, largura, peso ovo (λ), peso da casca (δ), resistência da casca (τ , kgf) e espessura da casca (ξ , μm) foram determinados. Com base nas informações de largura e comprimento foram obtidos o índice forma (Q), diâmetro geométrico médio (Θ), esfericidade (Φ) e superfície (π , cm^2) foram calculadas de acordo com Altuntaş and Şekeroğlu (2008). A largura e o comprimento de cada ovo foram medidos com auxílio de um paquímetro digital. As variáveis resistência e espessura da casca foram analisadas utilizando os equipamentos Digital Egg Tester Nabel DET- 6500, balança digital e micrometro de precisão, pertencente ao Centro de Pesquisas “Professor José Maria Lamas da Silva”, Patrocínio, MG, Brasil.

A frequência ressonante foi medida captando a frequência sonora emitida mediante excitação em quatro pontos na região do equador da casca por um impulso mecânico manual utilizando-se de um martelo de excitação com força máxima de 3N. O sinal acústico foi captado por um microfone condensador unidirecional com faixa de captação de 30hz a 16khz, amplificado e analisado pelo software Audacity® versão 3.0.0. (2021), e, em seguida foi convertido em sinal acústico em frequência através da série de Fourier. A frequência ressonante de cada ovo foi estabelecida considerando a média das frequências captadas pelas quatro excitações realizadas.

As variáveis foram submetidas às análises de pressuposição de normalidade dos erros e após atendida foram submetidos à análise de correlação e regressão linear múltipla, considerando como variável dependente a resistência da casca do ovo (τ). As demais variáveis foram declaradas como variáveis independentes, considerando o

modelo linear múltiplo com e sem intercepto, de acordo com procedimento de Beal (2005).

Os modelos foram submetidos à análise de resíduo assim como descrito por St-Pierre, 2003. Os resíduos (observados e preditos) foram regredidos de acordo com o valores preditos segundo o seguinte modelo: $r_i = b_0 + b_1 (\tau - \mu) + e_i$, onde r_i é o valor residual para todas as i^{th} observações, b_0 e b_1 são os parâmetros estimados, τ_i é o valor previsto para todas as i^{th} observações, μ é o valor médio para todos os y valores previstos e e_i é o erro da regressão dos resíduos para todos os valores previstos. A regra de decisão assumiu que o modelo de decisão foi imparcial a medida que a correlação se aproximou de 1 e quando R^2_{adj} aproximou-se de 0, os resíduos não estão correlacionados com as previsões (St-Pierre, 2003; Silva et al., 2020). O valor da inclinação, b_1 , como a função de τ_i , deve tender a zero para que o modelo seja imparcial (St-Pierre, 2003; Silva et al., 2020). Portanto, o valor de $b_1 \neq 0$ indica o viés de predição do modelo (St-Pierre, 2003; Silva et al., 2020). O valor b_0 indica o erro geral e está relacionado com a escala de diferença (St-Pierre, 2003; Silva et al., 2020). O valor de precisão do modelo foi calculado considerando o $1 - R^2_{\text{adj}}$ (St-Pierre, 2003; Silva et al., 2020).

RESULTADOS

A proximidade entre os valores de média, moda e mediana obtidos para variáveis relacionadas ao formato do ovo (Q , Θ , Φ e π) indicaram uniformidade na amostragem e essa pouca variabilidade pode ter contribuído para que variáveis destrutivas como λ e ξ fossem adicionadas no modelo por apresentaram maior variabilidade, entre 7 e 24% de coeficiente de variação (Tabela 1).

Quando analisada individualmente, não houve correlação entre as variáveis não destrutivas com a resistência da casa ($P > 0.05$). As variáveis peso e espessura da casca foram as únicas que individualmente apresentaram correlação significativa ($P < 0.05$) com a resistência da casca do ovo (Tabela 2). Quando realizada a análise de regressão desconsiderando o intercepto da equação o ajuste entre observado e predito foi melhorado. Desta forma foram ajustados quatro modelo (Tabela 3), sendo os dois melhores, de acordo com as estatísticas de ajuste (ϵ , R^2_{adj} e RMSE) e seleção de modelos (AIC, b_0 e b_1) foram: M1, $\tau = -0.120\kappa + 0.046\Phi - 0.0008\pi + 0.919\delta$,

($\epsilon = 0.362$, $R^2_{adjt} = 95.9\%$, $RMSE = 0.7485$, $AIC = -391.8$, $b_0 = 0.333^{ns}$ e $b_1 = 0.009^{ns}$), e M3, $\tau = -0.113\kappa + 0.042\Phi - 0.0006\pi - 0.018\lambda + 0.948\delta$, ($\epsilon = 0.000006$, $R^2_{adjt} = 95.9\%$, $RMSE = 0.7482$, $AIC = -391.3$, $b_0 = 0.007^{ns}$ e $b_1 = 0.002^{ns}$). A diferença entre M1 e M3 foi adição da variável peso do ovo (η), e no ranking apresentado na Tabela 3, foi considerando o AIC para segregação entre M1 e M3, entretanto, quando avaliado o erro da predição, verifica-se uma inversão no aspecto qualidade desses modelos M1 e M3. A avaliação do erro da predição (Tabela 3) obtido pela regressão entre o ϵ e os valores preditos para τ mostrou que ambos não possuem erro escalar (b_0) e viés de predição (b_1) significativo ($P > 0.05$), sendo o modelo o M3 com menor valor para erro escalar e para o viés de predição, enquanto o modelo M1 o erro escalar obtido foi próximo de 10%.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos permitiram atender o objetivo desta pesquisa que consistiu em prever a resistência da casca do ovo. Entretanto, foi necessário utilizar medidas destrutivas como variáveis de entrada no modelo para minimizar o erro. Esperava-se estruturar um modelo baseado apenas em variáveis de entrada não destrutivas para ser usado como ferramenta de análise de rotina dentro da granja viabilizando o aumento no n-amostal para aumentar o poder analítico sem impactar a receita da granja.

A expectativa de modelar a resistência da casca do ovo usando medidas não destrutivas, baseia-se essencialmente, na física da deformação do ovo, que quando excitado ressoa em frequência que dependerá de sua geometria, densidade e propriedades elásticas (Coucke et al., 1999; Coucke et al., 2003; Wang et al., 2004). Esta concepção é sustentada nos achados desta pesquisa, uma vez que a frequência ressonante (κ) foi a única variável presente em todos os modelos ajustados. De modo geral os valores de κ obtidos estavam na faixa de som agudo, entretanto, sons graves não foram amostrados devido associação com trincas e fissuras, sendo retirados na seleção dos ovos para uso nesta experimentação.

De acordo com os modelos ajustados, a variável κ apresentou uma relação inversa a τ , de modo que para 1 MHz de medido em κ espera-se uma diminuição aproximada de -0.120 kgf na resistência da casca (Tabela 3). Ovos com menor resistência de casca

possuem características físicas distintas daqueles que apresentam maior resistência, fato que explica a mudança nos valores de κ , uma vez que a onda sonora necessita de um meio para sua propagação.

De acordo com os modelos, a variável π apresentou uma relação inversa a τ , de modo que quanto maior o valor de π menor será sua resistência (Tabela 3). Esta relação pode ser explicada pela independência da deposição de carbonato de cálcio (CaCO_3) em relação ao tamanho do ovo, logo ovos com maior π possuem uma menor deposição do mineral por unidade de área, conferindo uma menor τ (Altuntaş and Şekeroğlu, 2008).

No presente estudo variável Φ apresentou uma relação direta a τ , de modo que quanto maior a esfericidade do ovo maior será sua resistência (Tabela 3). Esta relação é apoiada pelos resultados encontrado pelos pesquisadores Altuntaş and Şekeroğlu (2008), que identificaram que ovos com índice de formato acima de 76 e esfericidade mais uniformes são resistentes.

As variáveis δ e τ estão diretamente relacionadas, de modo que quanto maior o peso da casca do ovo maior é a sua resistência (Tabela 3). Esse resultado vai ao encontro do que se tem relatado na literatura, conforme explicado por Harms *et al.* (1990), que ovos com maior peso de casca possuem uma maior gravidade específica, indicando uma maior eficiência pela ave na deposição de cálcio por área de casca, gerando melhor qualidade e resistência. Esta característica tem relação com a estruturação do modelo M3, que difere do modelo M1 devido a inclusão da variável peso do ovo, que resultou em melhores estatísticas de avaliação do erro da predição.

Outro aspecto importante, nesta pesquisa foi uso de métodos alternativos para avaliação de modelos, uma vez que, as estatísticas tradicionais (C , R^2_{adjt} , RMSE e AIC) não segregaram os modelos ajustados, ratificando a necessidade da avaliação do erro da predição (St-Pierre, 2003; Silva et al., 2020). Os modelos M1 e M3 são semelhantes na capacidade preditiva, diferindo apenas no número de variáveis a serem consideradas no modelo e ambos precisam da informação do peso da casca do ovo para predição da resistência da casca, muito embora, seja uma relação que tem sustentação teórica, limita a utilização dos modelos como uma ferramenta de rotina dentro de granjas comerciais. Por outro lado, pode ser uma alternativa como ferramenta em amostras menores.

CONCLUSÃO

O modelo recomendado para predição da resistência da casca do foi o seguinte: $\tau = 0.113\kappa + 0.042\Phi - 0.0006\pi - 0.018\lambda + 0.948\delta$, $\epsilon = \pm 0.000006$. O modelo ajustado considera medidas destrutivas e não destrutivas como variáveis de entrada e, portanto, estudos futuros devem ser realizados com objetivo de obter um método não destrutivo para predição da resistência da casca.

AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias UNESP, campus de Jaboticabal e a empresa Agrocres Multimix Nutrição Animal pelo apoio para realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Unknown article. doi: 10.3390/ani12212953
- Altuntaş, E., and A. Şekeroğlu. 2008. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *Journal of Food Engineering* 85(4):606–612. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.022>
- Beal, D. J. 2005. SAS Code to Select the Best Multiple Linear Regression Model for Multivariate Data Using Information Criteria
- Coucke, P., B. De Ketelaere, and J. De Baerdemaeker. 2003. Experimental analysis of the dynamic, mechanical behaviour of a chicken egg. *Journal of Sound and Vibration* 266(3):711–721. doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(03\)00596-0](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(03)00596-0)
- Coucke, P., E. Dewil, E. Decuyper, and J. De Baerdemaeker. 1999. Measuring the mechanical stiffness of an eggshell using resonant frequency analysis. *British Poultry Science* 40(2):227–232. doi: 10.1080/00071669987647
- Fathi, M. M., A. Galal, U. M. Ali, and O. K. Abou-Emera. 2019. Physical and mechanical properties of eggshell as affected by chicken breed and flock age. *British Poultry Science* 60(5):506–512. doi: 10.1080/00071668.2019.1621992
- Hamilton, R. M. G. 1982. Methods and factors that affect the measurement of egg shell quality1,2. *Poultry Science* 61(10):2022–2039. doi: <https://doi.org/10.3382/ps.0612022>
- Hamilton, R. M. G., and W. L. Bryden. 2021. Relationship between egg shell breakage and laying hen housing systems – an overview. *World's Poultry Science Journal* 77(2):249–266. doi: 10.1080/00439339.2021.1878480
- Romanoff, A. L. 1929. Study of the physical properties of the hen's eggshell in relation to

- the function of shell-secretory glands. *The Biological Bulletin* 56(5):351–356. doi: 10.2307/1537075
- Silva, E. P., M. B. Lima, N. K. Sakomura, L. E. Moraes, and N. J. Peruzzi. 2020. Weight gain responses of laying-type pullets to methionine plus cystine intake. *animal* 14(S2):s294–s302. doi: 10.1017/S1751731120001093
- St-Pierre, N. R. 2003. Reassessment of biases in predicted nitrogen flows to the duodenum by NRC 2001. *Journal of Dairy Science* 86(1):344–350. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73612-1
- Wang, J., R. S. Jiang, and Y. Yu. 2004. Relationship between dynamic resonance frequency and egg physical properties. *Food Research International* 37(1):45–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.09.004>

Tabela

Tabela 1 Estatísticas descritivas para variáveis frequência ressonante (κ , MHz), índice forma (Q), diâmetro geométrico médio (Θ), esfericidade (Φ), superfície (π , cm²), peso do ovo (λ , g), peso da casca (δ , g), espessura da casca (ξ , μ m) e resistência da casca (τ , kgf)

Variable	Mean	Mode	Median	SD ¹	Maximum	Minimum	CV ²
κ	5.39	4.94	5.29	0.65	8.76	4.06	12.05
Q	0.75	0.75	0.75	0.03	0.94	0.63	4.04
Θ	53.18	53.29	53.15	1.59	57.68	43.52	2.98
Φ	120.84	120.39	120.89	3.24	135.28	103.86	2.68
π	8891.00	8922.04	8873.42	526.97	10452.96	5949.20	5.93
λ	63.44	60.70	63.50	4.78	78.50	49.60	7.54
δ	5.90	5.76	5.91	0.59	7.77	4.06	10.03
ξ	362.52	360.00	360.00	27.52	440.00	260.00	7.59
τ	3.59	3.54	3.62	0.87	6.23	0.89	24.17

¹Desvio padrão da média

²Coefficiente de variação, %.

Tabela 2 Coeficientes de correlação para frequência ressonante (κ , MHz), índice forma (Q), diâmetro geométrico médio (Θ), esfericidade (Φ) e superfície (π , cm²), peso do ovo (λ , g), peso da casca (δ , g), espessura da casca (ξ , μ m) e resistência da casca (τ , kgf)

Variable	κ	Q	Θ	Φ	π	λ	δ	ξ	τ
κ	1	0.084*	-0.147**	-0.073*	-0.141**	-0.123**	0.011 ^{NS}	0.071 ^{NS}	-0.024 ^{NS}
Q		1	-0.541**	-0.998**	-0.540**	-0.140**	-0.147**	-0.149**	-0.053 ^{NS}
Θ			1	0.535**	1.000**	0.863**	0.566**	0.248**	0.013 ^{NS}
Φ				1	0.534**	0.137**	0.149**	0.149**	0.055 ^{NS}
π					1	0.865**	0.570**	0.248**	0.014 ^{NS}
λ						1	0.654**	0.276**	0.041 ^{NS}
δ							1	0.761**	0.398**
ξ								1	0.418**
τ									1

^{NS}, não significativo;

*, P -valor <0.05;

*, P -valor <0.01

Tabela 3 Parâmetros estimados para frequência ressonante (κ , MHz), esfericidade (Φ), superfície (π , cm²), peso do ovo (λ , g), peso da casca (δ , g), espessura da casca (ξ , μ m), estatísticas de ajuste e seleção de modelos para predição da resistência da casca (τ , kgf)

Model s	κ	Φ	π	λ	δ	ξ	RMS E	R ² a dj	AIC	b_0	b_1
M1	-	0.04	-		0.91		0.748	95.9	-	0.333 ⁿ	0.009 ⁿ
M2	-	0.04	-		0.80	0.00	0.748	95.9	-	0.469*	0.143 ⁿ
M3	-	0.04	-	-	0.94		0.748	95.9	-	0.007 ⁿ	0.002 ⁿ
M4	-	0.03	-	-	0.83	0.00	0.748	95.9	-	0.901*	0.120 ⁿ

^{ns}, não significativo;

*, P -valor <0.05;

**, P -valor <0.01;

RMSE, root mean squared error

R²adj, adjusted coefficient of determination

AIC, Akaike Information Criterion

b_0 , erro escalar

b_1 , viés de predição

