



## EFEITO DAS CONDIÇÕES FORÇADAS DE ARMAZENAMENTO EM OVOS DE CODORNA EMPREGANDO ESPECTROSCOPIA NIR

Karoline M. Silva<sup>1</sup>; David D. S. Fernandes<sup>2</sup>, Edilene D. T. Moreira<sup>3</sup>, Wellington S. Lyra<sup>4</sup>;  
Paulo H. G. D. Diniz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Oeste da Bahia, POSQUIPA, CEP 47810-059, Barreiras, BA, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Estadual da Paraíba, Departamento de Química, CEP 58429-500, Campina Grande, PB, Brasil.

<sup>3</sup> Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, CEP 58397-000, Areia, PB, Brasil.

<sup>4</sup> Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Química, CEP 58051-970, João Pessoa, PB, Brasil.

**Palavras-Chave:** Controle de qualidade, espectroscopia vibracional, quimiometria.

### Introdução

A codorna japonesa (*Coturnix coturnix japonica*), uma espécie aviária domesticada originária da Ásia Oriental, é amplamente criada na Ásia e na Europa tanto para fins recreativos quanto para a produção de carne e ovos. Essa espécie é um modelo animal importante em pesquisas biológicas e genéticas devido à sua resistência a doenças, rápido crescimento, maturidade sexual precoce (entre 39 e 50 dias), facilidade de manejo e possibilidade de manter grandes populações em espaços confinados. O interesse pela criação de codornas japonesas é especialmente relevante entre pequenos criadores, devido à sua alta eficiência reprodutiva e curto período de incubação de aproximadamente 17 dias (Nakaguchi et al., 2022; Northcutt et al., 2022). No Brasil, a criação comercial de codornas tem se destacado como uma indústria crescente. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), a produção de ovos de codorna no Brasil atingiu 229,194 milhões de dúzias, gerando um valor de produção de 431,537 milhões de reais em 2022.

Dado que o consumo de ovos proporciona uma fonte acessível de nutrientes essenciais, pesquisas adicionais sobre a composição e qualidade tecnológica dos ovos são necessárias. Muitas espécies de aves apresentam similaridades em termos de composição nutricional e potencial para uso alimentar. A indústria moderna de ovos adota critérios específicos para garantir a integridade dos ovos para comercialização, como a integridade e a cor da casca, que influenciam a percepção visual dos consumidores e a aceitação no mercado. No entanto, a avaliação da qualidade dos ovos é uma tarefa complexa, envolvendo parâmetros como tamanho, peso, cor, defeitos, deterioração, infecção bacteriana e frescor. O frescor, um critério chave de qualidade, depende de atributos bioquímicos e físicos. O envelhecimento afeta a qualidade dos ovos logo após a postura, causando perda de água e CO<sub>2</sub> através dos poros da casca, redução de peso, aumento do pH e liquefação da clara e da gema. As condições ambientais, como temperatura, umidade e exposição à luz, influenciam ainda mais a qualidade dos ovos durante o armazenamento, sendo associadas a alterações nas características de qualidade interna (Lanza et al., 2023; Brasil et al., 2022; Nakaguchi et al., 2022; Northcutt et al., 2022).

Há poucas pesquisas sobre as características de qualidade dos ovos de codorna, abrangendo análises espectroscópicas não destrutivas. Lanza et al. (2023) avaliaram a capacidade de espectrômetros VIS/NIR portáteis e NIR (de bancada e portáteis) de discriminar entre ovos de codorna de grupos alimentados com diferentes níveis de inclusão de farinha de pupa de bicho-da-seda. Modelos de classificação foram desenvolvidos utilizando análise discriminante por mínimos quadrados parciais (PLS-DA), K-vizinhos mais próximos (KNN) e

máquina de vetores de suporte (SVM). Os dispositivos NIR apresentaram boa precisão (>90%), especialmente nas regiões espectrais de 1350–1600 e 1850–2200 nm, demonstrando a eficácia de espectrômetros NIR portáteis no monitoramento em linha de ovos de codorna alimentados com SWM. Por outro lado, [Brasil et al. \(2022\)](#) estimaram o frescor dos ovos de codorna comparando unidades Haugh, índice de gema e índice de qualidade dos ovos como métodos de referência. Usando PLS e SVM para predição e PLS-DA e SVM para classificação, o estudo concluiu que o EQI foi o melhor indicador de frescor, com a regressão SVM atingindo um RPD de 2,0–2,5 e razão de erro (RER) >10, enquanto os modelos de classificação discriminaram corretamente mais de 80% das amostras. Embora tenha apresentado resultados razoáveis, o estudo utilizou análise discriminante em vez de classificação de uma classe (OCC), necessária para questões de autenticação. Nesse cenário, o DD-SIMCA (Modelagem Independente de Classe Suave Guiada por Dados) garante que as amostras da classe-alvo sejam caracterizadas independentemente de outras classes ([Rodionova et al., 2016](#)).

Neste estudo, o efeito de condições de degradação forçada — temperatura e exposição à radiação UV — durante o armazenamento foi avaliado para a autenticação não destrutiva de ovos frescos de codorna usando impressões digitais espectrais obtidas de um espectrômetro NIR portátil, combinado com DD-SIMCA. É essencial garantir que as condições de armazenamento mantenham a integridade dos ovos e assegurem a segurança do consumidor, de forma sensível, rápida e econômica, permitindo análise em tempo real ao longo da cadeia de suprimentos, alinhando-se aos princípios da Indústria de Ovos 4.0 ([Ahmed et al., 2023](#)).

## Material e Métodos

Para verificar o efeito das condições de temperatura e exposição à radiação UV em ovos de codorna, foram estudadas 50 amostras de ovos frescos armazenados em temperatura ambiente por até 7 dias e 40 amostras de ovos em diferentes condições simuladas de armazenamento:

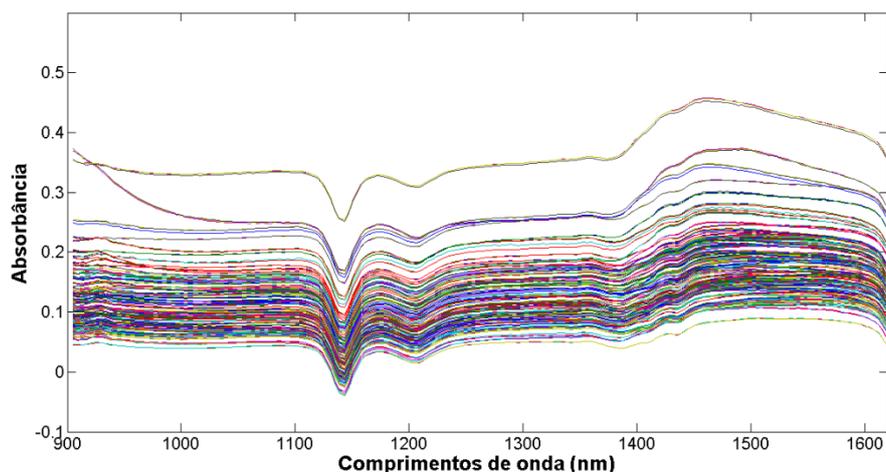
- UV por 4 h (10 amostras);
- 40 °C por 24 h (10 amostras);
- 40 °C por 48 h (10 amostras);
- UV por 2 h + 40 °C por 24 h (5 amostras);
- UV por 2 h + 40 °C por 24 h (5 amostras).

O armazenamento por temperatura foi realizado em uma estufa, marca Quimis®, com controle de temperatura a  $40,0 \pm 0,1$  °C, enquanto a incidência de radiação ultravioleta foi realizada em uma Expositora Fotolight UV - MD2-A4, da Carimbos Medeiros®.

As 88 amostras de ovos de codorna foram adquiridas no viveiro do Curso de Zootecnia, da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, localizado na cidade de Areia-PB. As medidas espectroscópicas foram realizadas em um espectrômetro NIR portátil, da Texas Instruments®, e o tratamento quimiométrico dos dados empregou o algoritmo DD-SIMCA, cuja interface está gratuitamente disponibilizada em <https://github.com/yzontov/dd-simca>.

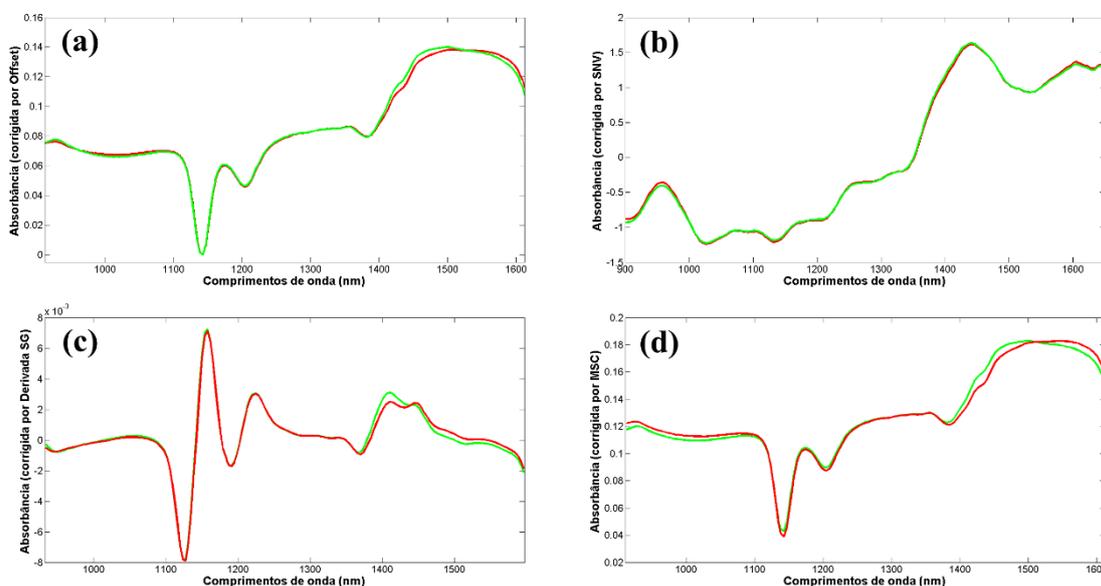
## Resultados e Discussão

Na [Figura 1](#) são apresentados os espectros NIR das amostras de ovos registradas em triplicata.



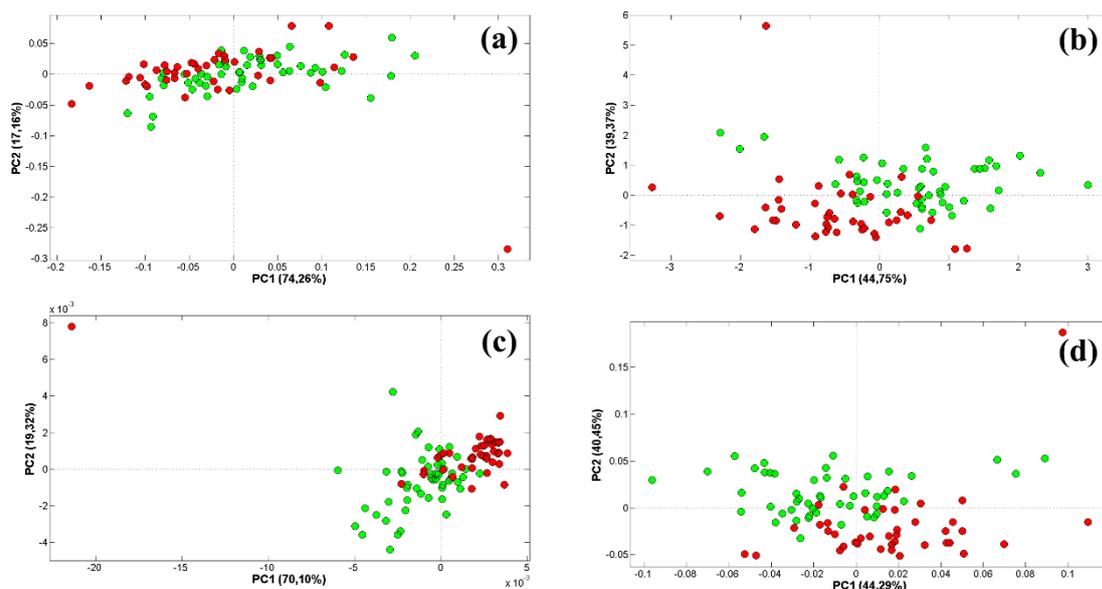
**Figura 1.** Espectros NIR das amostras de ovos de codorna frescos e armazenados inadequadamente.

Para corrigir os pequenos ruídos instrumentais, os espectros foram suavizados por média móvel com janela de 5 pontos e as médias das triplicatas de cada amostra foi calculada. Além disso, como os sinais analíticos apresentaram deslocamentos de linha de base, os espectros foram pré-processados empregando (a) correção de linha de base offset (OFF), (b) variação normal padrão (SNV), (c) 1ª derivada de Savitzky-Golay com polinômio de 2ª ordem e janela de 11 pontos (SG) e (d) correção de espalhamento multiplicativo (MSC), conforme ilustrado na **Figura 2**.



**Figura 2.** Espectros NIR médios das amostras de ovos de codorna frescos (em verde) e armazenados inadequadamente (em vermelho) pré-processados com (a) OFF, (b) SNV, (c) SG e (d) MSC.

Para investigar a possibilidade de diferenciação entre os ovos frescos e aqueles armazenados inadequadamente, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) para observar a tendência natural de agrupamento das amostras. Na **Figura 3** são apresentados os gráficos de escores de PCA utilizados para realizar a análise exploratória dos dados.



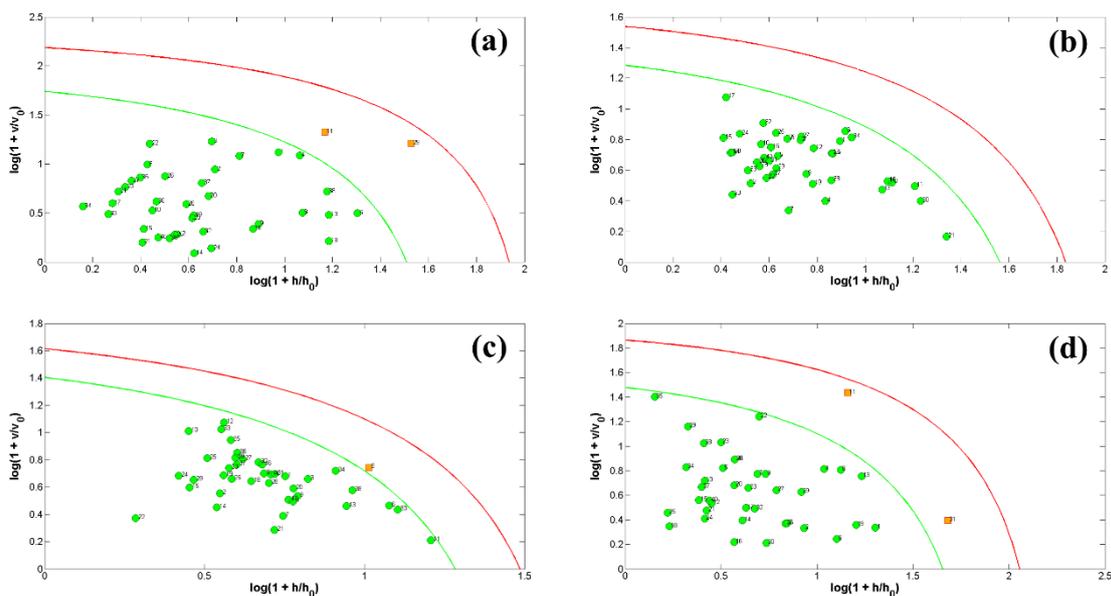
**Figura 3.** Gráficos de escores de PCA obtidos a partir dos espectros NIR das amostras de ovos de codorna frescos (círculos verdes) e armazenados inadequadamente (círculos vermelhos) pré-processados com (a) OFF, (b) SNV, (c) SG e (d) MSC.

Conforme pode ser observado na figura acima, apesar de algumas amostras apresentarem-se sobrepostas, há uma sutil tendência de separação entre as duas classes, o que justifica a necessidade de utilização de uma técnica de reconhecimento de padrões supervisionada para autenticar as amostras de ovos frescos. Para esta finalidade, foi empregada a modelagem DD-SIMCA, cujos resultados estão apresentados na **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Resultados obtidos para DD-SIMCA na autenticação de amostras de ovos de codorna frescos frente às suas degradações por temperatura e radiação UV.

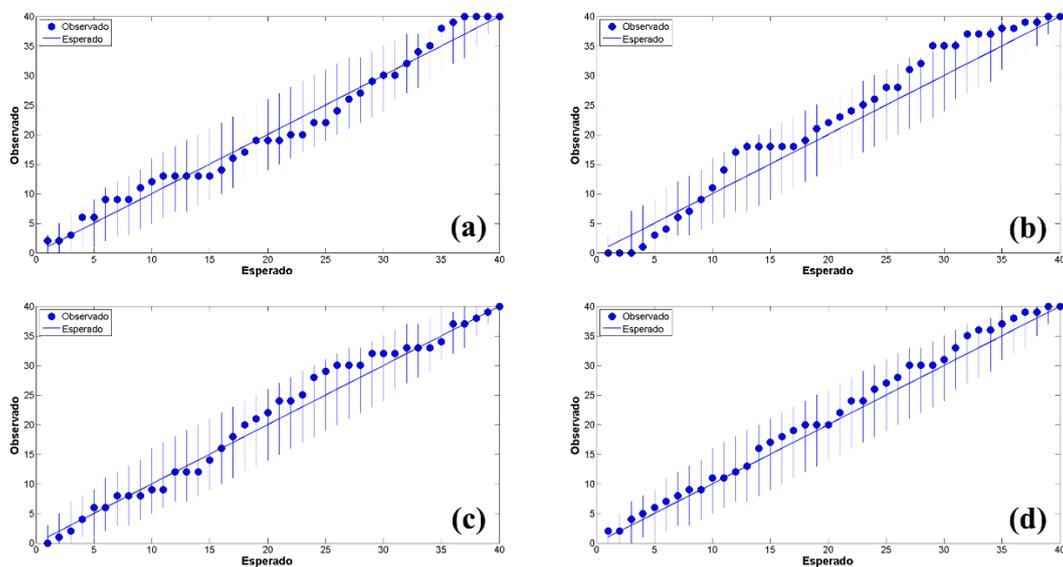
	OFF		SNV		SG		MSC	
	Modelo	Teste	Modelo	Teste	Modelo	Teste	Modelo	Teste
<b>DD-SIMCA (<math>\alpha = 0,05</math>)</b>								
<b>Componentes Principais</b>	6		13		14		7	
<b>Sensibilidade (%)</b>	95,0	100	100	40,0	97,5	50,0	95,0	90,0
<b>Especificidade (%)</b>	-	100	-	100	-	100	-	100
<b>Eficiência (%)</b>	98,3		73,7		78,7		94,9	

Analisando os modelos DD-SIMCA construídos com as amostras de treinamento não foram encontrados *outliers*, mas os modelos para OFF, SG e MSC apresentaram 2, 1 e 2 amostras extremas, respectivamente. As amostras da classe alvo que caem dentro da fronteira delimitada pela linha verde estabelecida considerando um valor de  $\alpha$  de 0,05 são apresentados como círculos verdes, enquanto objetos extremos são ilustrados em quadrados laranjas entre as linhas verde e vermelha, e os *outliers* como círculos vermelhos fora da linha vermelha, respectivamente, conforme pode ser visto nos gráficos de aceitação na **Figura 4**.



**Figura 4.** Gráficos de aceitação das amostras de treinamento obtidos por DD-SIMCA na construção dos modelos usando espectros NIR pré-processados com (a) OFF, (b) SNV, (c) SG e (d) MSC.

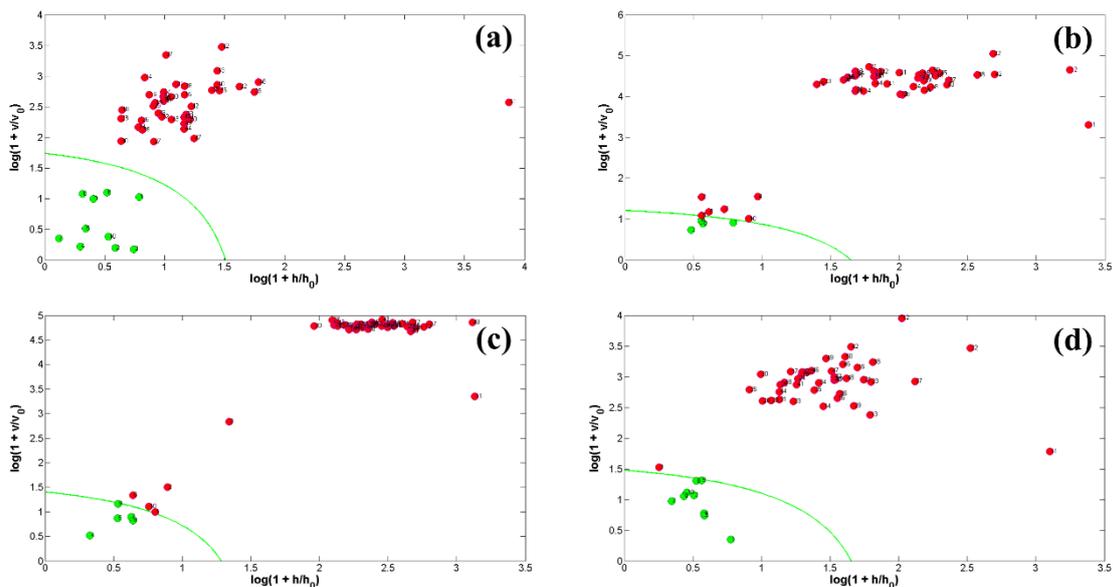
Os modelos construídos acima podem ser confirmados nos gráficos de extremos (**Figura 5**) construídos usando as amostras do conjunto de treinamento.



**Figura 5.** Gráficos de extremos obtidos para as amostras de treinamento por DD-SIMCA na construção dos modelos usando espectros NIR pré-processados com (a) OFF, (b) SNV, (c) SG e (d) MSC.

De acordo com as figuras 4 e 5, todos os modelos DD-SIMCA para os quatro pré-processamentos podem ser utilizados para fins de autenticação, uma vez que suas sensibilidades *a posteriori* (95,0, 100, 97,5 e 95,0%, respectivamente) foram maiores que as estimativas *a priori* (isto é, 95,0%) com um valor de  $\alpha$  de 0,05. Em outras palavras, o nível de corte é calculado assumindo que 5% dos objetos de treinamento são esperados ser extremos, ou seja, no máximo 2 das 40 amostras de treinamento.

Comparando a capacidade preditiva dos modelos construídos usando as amostras de teste, o modelo DD-SIMCA/OFF classificou corretamente todas as amostras de ovos frescos e armazenados incorretamente, alcançando 100% de sensibilidade e especificidade. Além disso, também é importante destacar que todos os modelos foram capazes de identificar corretamente todas as amostras degradadas (isto é, obtiveram 100% de especificidade), o que é muito vantajoso do ponto de vista do consumidor, que não irá adquirir ou ingerir ovos em condições inadequadas de armazenamento. Por outro lado, a baixa sensibilidade dos modelos SNV e SG impedem que estes pré-processamentos sejam empregados para fins de autenticação, sendo indicados, portanto, apenas a utilização de OFF e MSC. As predições dos modelos para as amostras de teste são ilustradas na **Figura 6**.



**Figura 6.** Gráficos de aceitação das amostras de teste obtidos por DD-SIMCA na construção dos modelos usando espectros NIR pré-processados com (a) OFF, (b) SNV, (c) SG e (d) MSC.

## Conclusões

A metodologia analítica proposta demonstra que é possível autenticar ovos frescos em condições adequadas de consumo daqueles que foram armazenados inadequadamente. Aqui, a principal vantagem é a rápida aquisição da informação analítica usando um equipamento portátil e de baixo custo, sem a necessidade de preparo de amostra, podendo ser aplicado diretamente no monitoramento de ovos de codorna diretamente no local de produção ou até mesmo nas gôndolas do supermercado. Além disso, por não invadir e não destruir a amostra, sem uso de reagentes e geração de resíduos, a metodologia proposta destaca-se, ainda, por estar de acordo com os princípios da Química Verde.

## Agradecimentos

UFOB, CAPES e FAPESB.

## Referências

AHMED, M. W.; HOSSAINY, S. J.; KHALIDUZZAMAN, A.; EMMERT, J. L.; KAMRUZZAMAN, M. Non-destructive optical sensing technologies for advancing the egg industry toward industry 4.0: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22, 4378–4403, 2023.



NAKAGUCHI, V. M.; AHAMED, T. Fast and non-destructive quail egg freshness assessment using a thermal camera and deep learning-based air cell detection algorithms for the revalidation of the expiration date of eggs. *Sensors*, 22, 7703, 2022.

BRASIL, Y. L.; CRUZ-TIRADO, J. P.; BARBIN, D. F. Fast online estimation of quail eggs freshness using portable NIR spectrometer and machine learning. *Food Control*, 131, 108418, 2022.

LANZA, I.; CURRÒ, S.; SEGATO, S.; SERVA, L.; CULLERE, M.; CATELLANI, P.; FASOLATO, L.; PASOTTO, D.; DALLE ZOTTE, A. Spectroscopic methods and machine learning modelling to differentiate table eggs from quails fed with different inclusion levels of silkworm meal. *Food Control*, 147, 109589, 2023.

NORTHCUTT, J. K.; BUYUKYAVUZ, A.; DAWSON, P. L. Quality of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs after extended refrigerated storage. *Journal of Applied Poultry Research*, 31(3), 100280, 2022.

RODIONOVA, O. Y.; TITOVA, A. V.; POMERANTSEV, A. L. Discriminant analysis is an inappropriate method of authentication. *Trends in Analytical Chemistry*, 78, 17–22, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Produção de ovos de codorna, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/ovos-de-codorna/br>. Acessado em 13 de setembro de 2024.