

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**ANÁLISE DE DANOS NO DNA DA AVIFAUNA POR MEIO DA ELETROFORESE
EM GEL DE CÉLULA ÚNICA**

LARISSA EDRIENE MACHADO PEREIRA

**Rio Verde, GO
2025**

LARISSA EDRIENE MACHADO PEREIRA

**ANÁLISE DE DANOS NO DNA DA AVIFAUNA POR MEIO DA ELETROFORESE
EM GEL DE CÉLULA ÚNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal Goiano –
Campus Rio Verde, como requisito parcial
para obtenção do Grau de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Orientador: Lia Raquel de Souza Santos
Coorientador: Marcelino Benvindo-Souza

**Rio Verde, GO
2025**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

Pereira, Larissa Edriene Machado
P436a ANÁLISE DE DANOS NO DNA DA AVIFAUNA POR MEIO
DA ELETROFORESE EM GEL DE CÉLULA ÚNICA / Larissa
Edriene Machado Pereira. Rio Verde 2025.

43f. il.

Orientadora: Prof^a. Dra. Lia Raquel de Souza Santos.
Coorientador: Prof. Dr. Marcelino Benvindo-Souza.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0223053 -
Bacharelado em Ciências Biológicas - Integral - Rio Verde
(Campus Rio Verde).
1. Aves. 2. Bioindicadores. 3. Ensaio genotóxico. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem resarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- Tese (doutorado)
 Dissertação (mestrado)
 Monografia (especialização)
 TCC (graduação)
- Artigo científico
 Capítulo de livro
 Livro
 Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Larissa Edriene Machado Pereira

Matrícula:

2022102230540188

Título do trabalho:

ANÁLISE DE DANOS NO DNA DA AVIFAUNA POR MEIO DA ELETROFORESE EM GEL DE CÉLULA ÚNICA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

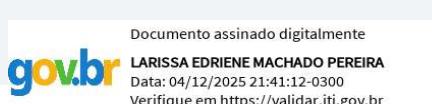
O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.



Rio Verde
Local

04 / 12 / 2025
Data

Ciente e de acordo:

Assinatura do autor e/o proprietário dos direitos autorais
Documento assinado digitalmente
gov.br LIA RAQUEL DE SOUZA SANTOS BORGES
Data: 05/12/2025 08:25:23-0300
Verifique em <https://validar.itg.gov.br>

Assinatura **Lia Raquel Souza Borges**



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÉNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 32/2025 - DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) dois dia(s) do mês de dezembro de dois mil e vinte e cinco, às 8 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Profa. Dra. Lia Raquel de Souza Santos Borges (orientador), Prof. Dr. Fernando Henrique Antonioli Farache (membro), Prof. Dr. Fábio Martins Vilar Carvalho (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “ANÁLISE DE DANOS NO DNA DA AVIFAUNA POR MEIO DA ELETROFORESE EM GEL DE CÉLULA ÚNICA” da estudante Larissa Edriene Machado Pereira, Matrícula nº 2022102230540188 do Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida a estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do(a) candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Lia Raquel de Souza Santos

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Fábio Martins Vilar Carvalho

Membro

(Assinado Eletronicamente)

Fernando Henrique Antonioli Farache

Membro

Observação:

O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Lia Raquel de Souza Santos Borges**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 02/12/2025 09:20:26.
- **Fernando Henrique Antoniolli Farache**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 02/12/2025 09:22:22.
- **Fabio Martins Vilar de Carvalho**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 02/12/2025 09:22:46.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 769274

Código de Autenticação: baff66070b



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

Às minhas duas mães, Rosilene e Valdeci, agradeço por sempre confiarem e sonharem por mim, pelos conselhos e principalmente, pelo amor que vocês nunca deixaram faltar. Agradeço também ao meu pai Ronner e irmã Anna Vitória, por todo o apoio e confiança. E agradeço aos meus tios e tias, que desde sempre me incentivaram a trilhar o caminho dos estudos e a nunca desistir. Hoje estou aqui porque cada um de vocês um dia acreditou em mim, e eu serei eternamente grata por isso.

À minha amiga, que encontrei durante essa jornada que foi a graduação, Salete, muito obrigado por ter me acompanhando durante esses quatro anos e ter me aguentado todos os dias, ter você do meu lado fez os momentos difíceis serem menos dolorosos. Agradeço as meninas, Isabel, Ana Carolina, Hevilly e Jessica, por todos os momentos divertidos e cansativos compartilhados.

À todas as professoras que já passaram na minha vida e me inspiraram a seguir estudando, para quem sabe um dia ser como elas. Vocês nunca leram isso, mas ainda lembro de cada professora, desde o fundamental ao médio até a faculdade, que acendeu uma luz em mim, que me inspirou de alguma forma. Em especial, agradeço a professora Simone, que me entendeu e me ensinou, e a professora Samylla, que me inspirou a tentar a Biologia.

À professora Lia Raquel, agradeço por ter me orientado por esses quatro anos. Começamos na monitoria, então veio a iniciação científica e agora estamos aqui, finalizando o curso. Obrigado por ter confiado em mim.

Ao pessoal do Laboratório de Ecotoxicologia e Sistemática Animal, em especial ao Marcelino e Cirley, agradeço por toda a ajuda que tive durante as minhas pesquisas. Serei sempre grata a vocês, por me receberem e me ensinarem.

À Mariany, agradeço por ter me escutado e me ajudado de tantas formas, você foi essencial para que eu chegassem até esse momento.

Ao Instituto Federal Goiano campus Rio Verde, que me apoiou financeiramente durante todos esses anos. Sem isso, não teria conseguido chegar até aqui, obrigado. Agradeço também aos professores da biologia, que me ensinaram tanto.

RESUMO

PEREIRA, LARISSA EDRIENE MACHADO. Análise dos danos no DNA da avifauna por meio da eletroforese em gel de célula única. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Bacharelado em Ciências Biológicas. Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde, Goiás, 2025.

O Ensaio Cometa é uma técnica sensível, rápida e de fácil aplicação, necessitando de pouca amostra biológica. Este ensaio tem sido utilizado como biomarcador para a avaliação de danos ao DNA por estressores ambientais tanto no ser humano quanto em animais silvestres, como as aves. Sendo um dos grupos de vertebrados mais diversificados, a avifauna fornece um conjunto de serviços ecossistêmicos, além de estar presente em quase todo o planeta e contribuir com as interações tróficas, tornando esses animais ótimos bioindicadores. Diante disso, esse trabalho teve como objetivo investigar estudos científicos globais que utilizaram o Ensaio Cometa para o biomonitoramento da avifauna. Foram encontrados 50 artigos entre os anos de 2001 e 2025, distribuídos por 17 países. A maioria dos trabalhos foram realizados em laboratório, com as espécies de aves mais analisadas sendo as domésticas. A ação de metais pesados e produtos químicos na avifauna foram os estressores ambientais mais investigados nas pesquisas. O delineamento do ensaio cometa variou entre os estudos, com o sangue sendo a principal amostra analisada. O ensaio cometa ainda é pouco utilizado na avifauna, principalmente em aves de vida livre. Além disso, é possível perceber que há uma falta de padronização em relação a aplicação do ensaio em diferentes etapas, como na duração da Lise e Eletroforese. Recomenda-se a realização de mais estudos com a eletroforese em gel de célula única na avifauna, uma vez que é uma técnica simples e não invasiva, podendo ser aplicada junto a outros biomarcadores.

Palavras-chave: avifauna, bioindicadores, conservação de espécies, ensaio genotóxico.

ABSTRACT

PEREIRA, LARISSA EDRIENE MACHADO. **Analysis of DNA damage in birds using single-cell gel electrophoresis.** 2025. Undergraduate Thesis - bachelor's degree Biological Sciences. Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde, Goiás. Rio Verde, Goiás, 2025.

The Comet Assay is a sensitive, rapid, and easy-to-apply technique that requires a small biological sample. This assay has been used as a biomarker to assess DNA damage caused by environmental stressors in both humans and wild animals, such as birds. As one of the most diverse groups of vertebrates, birds provide a range of ecosystem services, are present almost everywhere on the planet, and contribute to trophic interactions, making them excellent bioindicators. Therefore, this study aimed to investigate global scientific studies that used the Comet Assay for avifauna biomonitoring. Fifty articles were found between 2001 and 2025, distributed across 17 countries. Most of the studies were conducted in laboratories, with domestic birds being the most frequently analyzed bird species. The effects of heavy metals and chemicals on birds were the most frequently investigated environmental stressors in the research. The comet assay design varied between studies, with blood being the primary sample analyzed. The comet assay is still rarely used in avifauna, particularly in free-ranging birds. Furthermore, there is a lack of standardization regarding the assay's application at different stages, such as lysis and electrophoresis times. Further studies using single-cell gel electrophoresis in avifauna are recommended, as it is a simple and non-invasive technique that can be applied alongside other biomarkers.

Keywords: avifauna, bioindicators, speacies conservation, genotoxic assay.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS.....	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Coleta de dados.....	11
3.2 Análise dos dados	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

A avifauna é um dos grupos de vertebrados mais diversificados do mundo, apresentando mais de 11 mil espécies em todo o planeta (Lees *et al.*, 2022). No Brasil, a avifauna conta com 1971 espécies dispersas entre os variados biomas brasileiros, sendo 293 delas endêmicas, levando o Brasil a ocupar o terceiro lugar entre os países com maior índice de endemismo (Pacheco *et al.*, 2021). Ecologicamente diversas, as aves são essenciais na natureza, contribuindo com as interações tróficas e fornecendo um conjunto de serviços ecossistêmicos, como transporte de nutrientes, dispersão de sementes, criação de habitat e regulação de insetos (Scott; Korb, 2024). Além dessa importância ecológica, as aves possuem grande valor econômico, seja por meio da dieta humana (Kuo *et al.*, 2022) ou através do turismo (Schwoerer; Dawson, 2022).

No entanto, muitas espécies de aves estão em declínio em várias partes do mundo por fatores como a perda e degradação de habitat (Neate-Clegg, 2024; Woinarski *et al.*, 2024), mudanças climáticas (Ahmadi *et al.*, 2024), poluição (Kitowski *et al.*, 2024), espécies invasoras (Bird *et al.*, 2024), entre outros estressores ambientais. Assim, para avaliar o impacto antrópico sobre as espécies, surge os biomarcadores, que são ferramentas toxicológicas que ajudam a detectar o efeito de xenobióticos sobre os organismos (Torres-Bugarín *et al.*, 2014) e assim determinar alguns animais como bioindicadores de saúde dos ecossistemas. O aumento da poluição advinda das atividades antrópicas expõe cada vez mais os organismos vivos a agentes tóxicos, tornando a utilização de biomarcadores essencial para a determinação dos efeitos causados pós-exposição (Sommer; Buraczewska; Kruszewski, 2020). Os biomarcadores podem ser descritos como alterações que ocorrem na resposta biológica de um organismo após a exposição a contaminantes, possibilitando a detecção dos efeitos em diferentes escalas (molecular, celular e fisiológica) (Lionetto; Caricato; Giordano, 2019). Sendo assim, a escolha de um biomarcador é essencial na análise de animais expostos a ambientes poluídos (de Freitas *et al.*, 2024).

O Ensaio Cometa é um exemplo de biomarcador, sendo utilizado no biomonitoramento de danos genéticos tanto em humanos como animais silvestres (Gajski *et al.*, 2019). A quantificação de danos no DNA através da lise de células embebidas em gel de agarose sob condições alcalinas foi introduzida pela primeira vez por Rydberg e Johanson (1978). A técnica foi aperfeiçoada em 1984 por Ostling e Johanson, que descreveram um método de micro-eletroforese sobre condições neutras para detectar danos ao DNA em nível de célula única. Entretanto, não foi uma técnica muito aderida, sendo alguns anos depois modificada por Singh

et al. (1988), que adicionaram à técnica a solução alcalina ($\text{pH} < 13$). Sobre condição neutra, o teste proporcionava resultados apenas das quebras de fitas-dupla de DNA, enquanto em condição alcalina, foi possível observar quebras de fita simples e duplas de DNA (Andem *et al.*, 2013). Desde a adição da solução alcalina ao ensaio (Singh *et al.* 1988), muitas modificações têm surgido.

A eletroforese em gel de célula única é um método utilizado para analisar se há algum dano no DNA, funcionando de forma que a amostra é adicionada a uma solução de agarose de baixo ponto de fusão, que será sobreposta a uma lâmina microscópica que estará recoberta por gel de agarose de alto ponto de fusão; o próximo passo é levar a amostra para a eletroforese, onde vai ser possível observar a migração do DNA (Silva, 2022). Essa migração vai depender do quanto danificado está o material genético, sendo assim, ao observar o resultado obtido, é possível visualizar uma imagem onde terá uma “cabeça”, onde se encontra o DNA íntegro e a “cauda do cometa”, que será onde está o DNA danificado (Liao *et al.*, 2009). A avaliação e categorização do dano é dividida em cinco categorias, com base na extensão do DNA migrado, sendo 0 = sem danos; 1 = baixo nível de danos; 2 = médio nível de danos; 3 = alto nível de danos e 4 = totalmente danificados (Silva, 2022), além da utilização de parâmetros para a classificação referente ao dano sofrido, sendo eles o comprimento da cauda, o momento da cauda de Olive, a % de DNA da cauda e o momento da cauda (Xiao *et al.*, 2020).

Na área da ecotoxicologia, o ensaio cometa tem sido aplicado em vários estudos relacionados a danos de DNA causados por contaminantes químicos em variados espécimes, visando o biomonitoramento de áreas possivelmente poluídas. Alguns estudos com peixes (Khan *et al.*, 2025; Asllani *et al.*, 2025), anfíbios (Jayawardena *et al.*, 2021), répteis (Caliani *et al.*, 2014), aves (Beattie *et al.*, 2022) e mamíferos (Nagaraju *et al.*, 2022; Benvindo-Souza *et al.*, 2023) demonstraram a eficácia da técnica com diferentes organismos.

Os dados sobre o dano no DNA atribuído ao efeito da pressão ambiental na saúde das aves são importantes para gerar indicadores sobre a conservação das espécies da avifauna, muitas das quais estão ameaçadas. A utilização das aves como bioindicadoras tem sido relatada em vários estudos (Pinhatti *et al.*, 2006; Adam *et al.*, 2013; Baesse *et al.*, 2015; Hussain *et al.*, 2015; de Faria *et al.*, 2018; Anbazhagan *et al.*, 2021; Silveira *et al.*, 2022; Samaraweera *et al.*, 2022; Yao *et al.*, 2023; Oró-Nolla *et al.*, 2024; Nascimento *et al.*, 2025), o que torna esse grupo promissor para avaliação ecotoxicológica.

Dessa forma, esse trabalho objetiva investigar estudos globais que utilizaram o Ensaio Cometa nas aves para gerar uma discussão sobre os reais impactos dos xenobióticos no DNA

desses animais, além de contribuir com a descrição dos padrões e tendências dos estudos com o Ensaio Cometa como biomarcador da avifauna.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar e apresentar a produção científica global acerca do uso do Ensaio Cometa como biomarcador da saúde de aves.

2.2 Objetivos Específicos

- Conhecer os principais fatores de exposição estudados e as espécies de aves analisadas;
- Analisar se os estudos são mais frequentes in situ ou em laboratório;
- Conhecer a tendência temporal e a distribuição geográfica das pesquisas;
- Identificar as revistas que publicaram os artigos, incluindo o seu fator de impacto;
- Analisar o delineamento do ensaio cometa em aves.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta de dados

Os estudos foram rastreados nas bases de dados Web of Science e Scopus, com a sequência de palavras-chave sendo utilizadas: TS=(Bird*) AND TS=(comet assay* OR single cell gel electrophoresis* OR Single-Cell Gel* OR Alkaline Assay* OR Alkaline Comet* OR Genotoxicity*). Como resultado da pesquisa, 314 artigos foram encontrados. Como critério de inclusão, apenas estudos originais foram analisados, com artigos de revisão ou que não estivessem dentro do tema abordado sendo descartados. A busca abrangeu toda a literatura disponível até 17 de março de 2025. Após a leitura completa dos trabalhos e a remoção de duplicatas, apenas 50 artigos abordavam o ensaio cometa em aves. Desses artigos foram compilados o i) ano de publicação e país do autor correspondente; ii) Revista de publicação e o fator de impacto; iii) tipo de estudo (laboratório ou *in situ*); iv) espécies de aves estudadas; v) os principais tipos de exposições avaliados; vi) tipo de amostra utilizada e local de retirada; vii) delineamento do ensaio cometa (tempo de lise e eletroforese, corante, total de células analisadas e forma de análise do material).

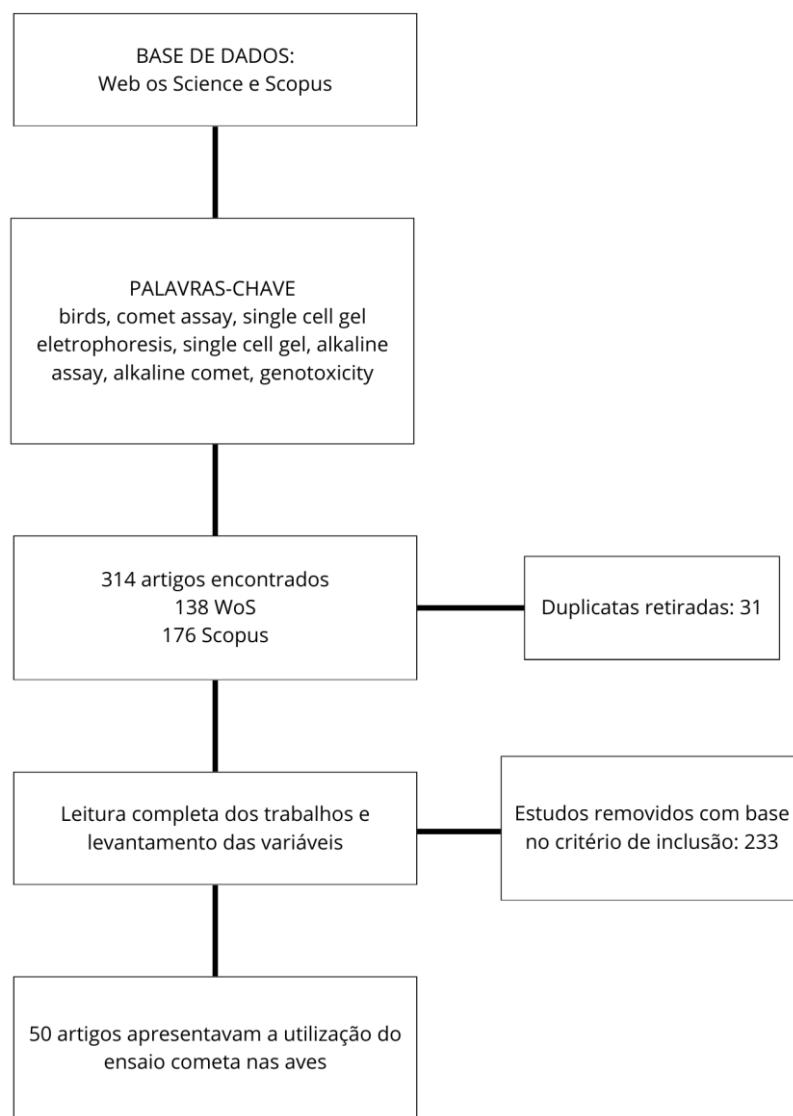


Figura 1. Esquema do delineamento do estudo. Fonte: Autora.

3.2 Análise dos dados

Os artigos foram compilados em uma planilha no Microsoft Excel, com os dados numéricos sendo analisados por meio de estatística descritiva (médias, desvios-padrão, frequências e porcentagens).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Número e distribuição geográfica dos estudos

Foram encontrados 50 artigos que utilizaram o ensaio cometa na avaliação da saúde das aves entre os anos de 2001 e março de 2025 (Tabela 1). Entre os anos de 2001 e 2008 poucos estudos com a técnica foram realizados. Nesse período, a maioria dos estudos avaliaram os danos genotóxicos causados em aves pelo derramamento de resíduos ácidos advindos de uma mineradora de pirita, ocorrido na Espanha, em 1998 (Pastor *et al.*, 2001; Pastor *et al.*, 2004; Baos *et al.*, 2006). Foi apenas no ano de 2010 que atingiram seu pico, apresentando seis artigos publicados, seguido de 2014 e 2016, com 5 artigos cada um (Figura 2). Em média, dois artigos foram publicados por ano, sendo possível notar o crescimento nesses estudos após o ano de 2010.

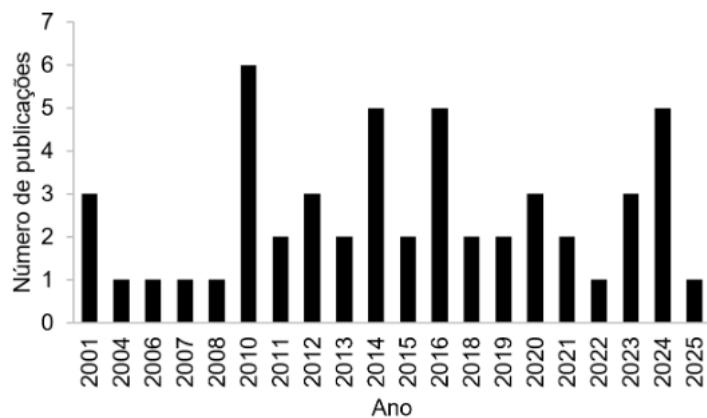


Figura 2. Número de artigos publicados sobre o ensaio cometa em aves entre os anos de 2001 e 2025.

Os cinquenta estudos foram produzidos por 17 países (Fig.3), cujos Estados Unidos (10), Paquistão (10) e Espanha (6) lideraram os trabalhos. Quando relacionado ao continente, a Ásia e a Europa foram os maiores produtores de pesquisas utilizando o ensaio cometa em aves, com 16 artigos publicados cada, com a América do Norte (11), África (4) e América do Sul (3) vindo em seguida. Entre os países da América do Sul, o Brasil apresentou a maior produção, com dois artigos publicados.

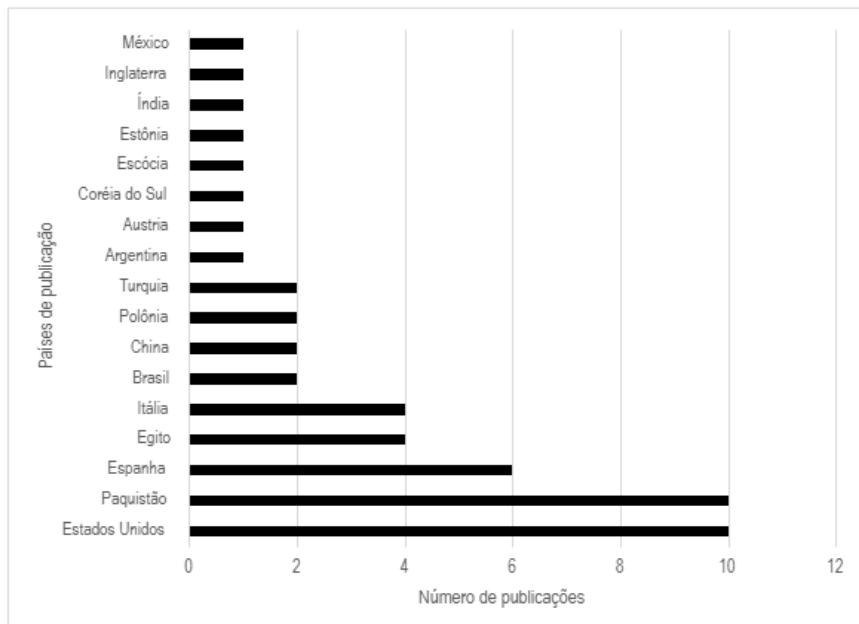


Figura 3. Países onde os estudos com o ensaio cometa em aves foram publicados entre 2001 e 2025.

Tabela 1. Artigos encontrados que utilizaram a eletroforese em gel de célula única em aves (títulos traduzidos do inglês). FI – Fator de Impacto.

Título do artigo	Autor (Ano)	Revista	
		Nome	FI ¹
Assessment of genotoxic damage by the comet assay in white storks (<i>Ciconia ciconia</i>) after the Donana ecological disaster.	Pastor <i>et al.</i> (2001)	Mutagenesis	4.3
An analysis of possible genotoxic exposure in adult and juvenile Royal Terns in North Carolina, USA. Waterbirds	Maness; Emslie <i>et al.</i> (2001)	Waterbirds	0.6
A 4 year follow-up analysis of genotoxic damage in birds of the Doñana area (south west Spain) in the wake of the 1998 mining waste spill	Pastor <i>et al.</i> (2004)	Mutagenesis	4.3
Evaluation of genotoxic effects of heavy metals and arsenic in wild nestling white storks (<i>Ciconia ciconia</i>) and black kites (<i>Milvus migrans</i>) from southwestern Spain after a mining accident	Baos <i>et al.</i> (2006)	Environmental Toxicology and Chemistry	2.8
Effects of liquid storage on amidase activity, DNA fragmentation and motility of turkey spermatozoa.	Kotłowska <i>et al.</i> (2007)	Theriogenology	2.5
The effects of short-term antioxidant supplementation on oxidative stress and flight	Larcombe <i>et al.</i> (2008)	Journal of Experimental Biology	2.6

performance in adult budgerigars *Melopsittacus undulatus*.

Sub-chronic effects of nitrate in drinking water on red-legged partridge (*Alectoris rufa*):
Oxidative stress and T-cell mediated immune function.

Oxidative stress-mediated cytotoxicity of cadmium in chicken splenic lymphocytes.

Differences in semen freezability and intracellular ATP content between the rooster (*Gallus gallus domesticus*) and the Barbary partridge (*Alectoris barbara*)

DNA damage in barn swallows (*Hirundo rustica*) from the Chernobyl region detected by use of the comet assay

Increased DNA damage and oxidative stress in chickens with natural Marek's disease.

Columba livia as a sentinel species for the assessment of urban air genotoxicity.

Pathological and genotoxic effects of atrazine in male Japanese quail (*Coturnix japonica*)

DNA damage in fetal liver cells of turkey and chicken eggs dosed with aflatoxin B 1

Telomeric DNA quantity, DNA damage, and heat shock protein gene expression as physiological stress markers in chickens.

Effects of oxidative stress on immunosuppression induced by selenium deficiency in chickens.

Furan induction of DNA cross-linking and strand breaks in turkey fetal liver in comparison to 1, 3-propanediol.

Virulence and molecular aspects of *Bordetella avium* isolated from cockatiel chicks (*Nymphicus hollandicus*) in Brazil.

On the methodological limitations of detecting oxidative stress: effects of paraquat on measures of oxidative status in greenfinches.

Rodríguez-Estival *et al.* (2010) Environmental Research 7.7

Li *et al.* (2010) Polish Journal of Environmental Studies 1.3

Madeddu *et al.* (2010) Theriogenology 2.5

Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology 4.3

Veterinary immunology and immunopathology 1.4

Archives of environmental contamination and toxicology 2.2

Hussain *et al.* (2011) Ecotoxicology 2.7

Williams *et al.* (2011) Archives of toxicology 6.9

Sohn *et al.* (2012) Poultry Science 4.2

Zhang *et al.* (2012) Biological trace element research 3.6

Jeffrey *et al.* (2012) Food and Chemical Toxicology 3.5

Grespan *et al.* (2012) Veterinary microbiology 2.7

Meitern *et al.* (2013) Journal of Experimental Biology 2.6

Testicular and genotoxic effects induced by subchronic oral administration of chlorpyrifos in Japanese quail (<i>Coturnix japonica</i>)	Auon <i>et al.</i> (2014)	Pakistan Journal of Agricultural Sciences	0.6
Single and combined effects of deoxynivalenol mycotoxin and a microbial feed additive on lymphocyte DNA damage and oxidative stress in broiler chickens	Awad <i>et al.</i> (2014)	PloS one	2.6
Chronic exposure to low-dose radiation at Chernobyl favours adaptation to oxidative stress in birds.	Galván <i>et al.</i> (2014)	Functional Ecology	5.1
Influence of dietary supplementation of mannanoligosaccharide (bio-Mos®) prebiotic on the genotoxic and antioxidant status in Japanese quail	El-Kader <i>et al.</i> (2014)	International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research	*
Cytogenetic assessment of pyrethroid on blue rock pigeon	Bhowmick <i>et al.</i> (2014)	Pollution Research	*
Oxidative stress, activity behaviour and body mass in captive parrots	Larcombe <i>et al.</i> (2015)	Conservation physiology	2.5
Abundance and genetic damage of barn swallows from Fukushima.	Bonisoli-Alquati <i>et al.</i> (2015)	Scientific Reports	3.9
DNA damage, total antioxidant and oxidant status in gunshot wounded Wild Falcons.	Yaprakci <i>et al.</i> (2016)	Pakistan Journal of Zoology	0.6
Expression of inflammatory and cell death program genes and comet DNA damage assay induced by <i>Escherichia coli</i> in layer hens.	Mehaisen <i>et al.</i> (2016)	PloS one	2.6
Assessment of the toxic impacts of acute exposure to fipronil insecticide on Japanese quails.	Mohammed <i>et al.</i> (2016)	The Japanese Journal of Veterinary Research	0.4 ²
Evaluation of environmental genotoxicity by comet assay in <i>Columba livia</i>	González-Acevedo <i>et al.</i> (2016)	Toxicology mechanisms and methods	2.7
Structure-activity relationships for DNA damage by alkenylbenzenes in Turkey egg fetal liver.	Kobets <i>et al.</i> (2016)	Toxicological Sciences	4.1
The interactive effect of dietary n-6: n-3 fatty acid ratio and vitamin E level on tissue lipid peroxidation, DNA damage in intestinal epithelial cells, and gut morphology in chickens of different ages	Konieczka <i>et al.</i> (2018)	Poultry Science	4.2

In ovo testing of flavor and fragrance materials in Turkey Egg Genotoxicity Assay (TEGA), comparison of results to in vitro and in vivo data	Kobets <i>et al.</i> (2018)	Food and Chemical Toxicology	3.5
Captivity stress influences the DNA damage of <i>Pavo cristatus</i> under environmental conditions of Faisalabad, Pakistan	Naz <i>et al.</i> (2020)	Environmental Science and Pollution Research	*
DNA damage as an indicator of chronic stress: correlations with corticosterone and uric acid.	Gormally <i>et al.</i> (2019)	Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology	2.2
Toxicity evaluation of pesticide chlorpyrifos in male Japanese quails (<i>Coturnix japonica</i>).	Suliman <i>et al.</i> (2020)	Environmental Science and Pollution Research	*
Beyond corticosterone: The acute stress response increases DNA damage in house sparrows.	Gormally <i>et al.</i> (2020)	Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology	1.4
DNA integrity estimated via the comet assay reflects oxidative stress and competitive disadvantage in developing birds.	Montoya <i>et al.</i> (2020)	Physiological and Biochemical Zoology	1.8
Tissue distribution and sublethal effects of imidacloprid in the South American grayish baywing (<i>Agelaioides badius</i>)	Poliserpi <i>et al.</i> (2021)	Chemosphere	8.1
Mitigating the growth, biochemical changes, genotoxic and pathological effects of copper toxicity in broiler chickens by supplementing vitamins C and E.	Hashem <i>et al.</i> (2021)	Animals	2.7
Background DNA damage is higher in summer than winter in both free-living and captive birds.	Beattie <i>et al.</i> (2022)	Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology	1.4
Feathers, eggs, and blood as bioindicators of heavy metals and their impact on DNA damage in captive <i>Pavo cristatus</i>	Naz <i>et al.</i> (2023)	Journal of Applied Animal Research	1.9
Ethoxysulfuron causes nuclear abnormalities in erythrocytes, DNA damage in some visceral organs, and oxidative stress in male Japanese quail.	Rani <i>et al.</i> (2023)	Asian Journal of Agriculture and Biology	1.26
Biomonitoring of heavy metals and their association with DNA damage in Indian peafowl (<i>Pavo cristatus</i>) under captivity.	Arooj <i>et al.</i> (2023)	Environmental Science and Pollution Research	*
Heavy metals mediated genotoxic effects on captive <i>pavo cristatus</i> from different sites of the Punjab, Pakistan	Qaisar <i>et al.</i> (2024)	Pakistan Journal of Zoology	0.5

Ecotoxicological consequences of urbanization: A multi-biomarker approach to assessing sewage treatment plant effects on free-living birds	de Freitas <i>et al.</i> (2024)	Environmental Research	7.7
Evaluation of biological selenium nanoparticles on growth performance, histopathology of vital organs and genotoxicity in Japanese quails (<i>coturnix coturnix japonica</i>).	Naz <i>et al.</i> (2024)	Veterinary Quarterly	5.2
House sparrows do not show a diel rhythm in double-strand DNA damage in erythrocytes	Rosen <i>et al.</i> (2024)	PeerJ	2.4
A blood-based multi-biomarker approach reveals different physiological responses of common kestrels to contrasting environments.	Giovanetti <i>et al.</i> (2024)	Environmental Research	7.7
Blood, feathers, and eggs as bioindicators of selenium sources and their impact on DNA damage in Japanese quails (<i>Coturnix japonica</i>)	Khalid <i>et al.</i> (2025)	Research in Veterinary Science	1.8

1.Dados retirados do Journal Citation Report referentes ao levantamento de 2024. 2. Dado fornecido pelo site da revista.

4.2 Revistas e fator de impacto

Os artigos analisados foram publicados em 38 revistas (Tab. 1), com a Environment Research e Environment Science and Pollution Research (ESPR) possuindo 3 artigos cada. Ambas as revistas são direcionadas para a comunidade científica global, com a Environment Research sendo uma revista de Ciências e Engenharia Ambiental focada em temas de relevância global que apresentem contextos ambientais na área da saúde, toxicologia e mutagênese (Science Direct, 2025), e a ESPR, é uma revista da área das Ciências Ambientais, com um eixo temático focado em estressores químicos e ambientais (Springer, 2025).

O fator de impacto (FI) é uma métrica bibliométrica que mede a frequência com a qual os artigos de uma revista são citados dentro de um período específico (Else, 2019), sendo calculado pela razão entre o número total de citações recebidas em um ano e o número de artigos publicados nos dois anos anteriores (Larivière; Sugimoto, 2019). A Chemosphere apresentou o maior FI entre as 38 revistas, com 8.1, seguida pela Environment Research (7.7) e Archives of Toxicology (6.9). Mesmo que haja certa discordância sobre o seu uso pelo mundo acadêmico, o FI ainda é métrica bastante utilizada por instituições e universidades como referencial de qualidade da revista (Else, 2019).

4.1.2 Tipo de estudo (Laboratório/*In situ*)

A maior parte dos estudos foram realizados em laboratório (36) e apenas 12 trabalhos *in situ*, enquanto dois artigos abordaram das duas formas (*in situ* e laboratório) (Fig.4).

A escolha do tipo de estudo é um dos passos mais importantes dentro da pesquisa, uma vez que ajuda a delimitar a metodologia do trabalho, como a escolha do estressor e dos animais que serão analisados. Com o laboratório proporcionando a realização de experimentos controlados, é possível pesquisar diferentes níveis ao qual o estressor pode afetar uma ave. Quanto aos estudos *in situ*, o pesquisador precisa se atentar aos diferentes tipos de estressores que podem vir a afetar o animal, porém essa abordagem possibilita o estudo das aves em seu ambiente natural.

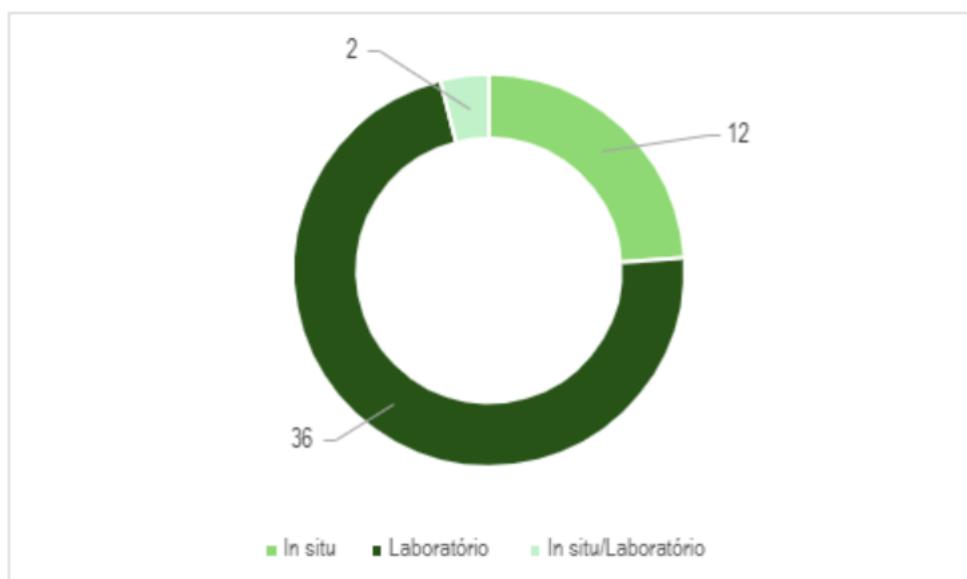


Figura 4. Tipos de estudos com aves utilizando o ensaio cometa.

4.3 Espécies estudadas

Foram estudadas 74 espécies de aves, de 13 ordens e 36 famílias (Tab.2), com as mais analisadas sendo a família Phasianidae, com o *Gallus gallus domesticus* (20%) e *Coturnix japonica* (16%) sendo as espécies predominantes. O *Gallus gallus domesticus* (Galinha doméstica) é uma ave com ampla distribuição pelo mundo, apresentando ciclo de desenvolvimento curto, alimentação onívora e baixo custo de manejo, além de possuírem uma anatomia e fisiologia bastante conhecida; essas características tornam essas aves um modelo animal promissor para estudos ecotoxicológicos (Marín *et al.*, 2023). Quanto a *Coturnix japonica* (Codorna-japonesa), com seu manejo simples e a necessidade de pouca alimentação, tornam-se ótimos modelos para as pesquisas (Khalid *et al.*, 2025).

Nas pesquisas com aves de vida livre, o *Passer domesticus* (Pardal-doméstico) foi o mais estudado, sendo 8% das espécies avaliadas. Pertencente a ordem Passeriformes, essa espécie convive em bandos e é amplamente distribuída em áreas urbanas. Seu modo de vida os expõe a diferentes tipos de estressores, tornando esses animais ótimos bioindicadores.

Tabela 2. Espécies de aves mais encontradas nos estudos com Ensaio Cometa.

Ordem / Família	Espécie	Número de publicações	Estudadas em Laboratório ou <i>In situ</i>
Accipitriformes			
Accipitridae	<i>Buteo spp.</i>	1	Laboratório
	<i>Milvus migrans</i>	2	<i>In situ</i>
Caprimulgiformes			
Caprimulgidae	<i>Hydropsalis torquata</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Nannochoordeiles pusillus</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Nyctidromus albicollis</i>	1	<i>In situ</i>
Charadriiformes			
Laridae	<i>Thalasseus maximus</i>	1	<i>In situ</i>
Ciconiiformes			
Ciconiidae	<i>Ciconia ciconia</i>	3	<i>In situ</i>
Columbiformes			
Columbidae	<i>Columba livia</i>	3	<i>In situ/Laboratório</i>
	<i>Columbina squammata</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Columbina talpacoti</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Leptotila verreauxi</i>	1	<i>In situ</i>
Coraciiformes			
Momotidae	<i>Baryphthengus ruficapillus</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Momotus momota</i>	1	<i>In situ</i>
Cuculiformes			

Cuculidae	<i>Crotophaga ani</i>	1	<i>In situ</i>
Falconiformes			
Falconidae	<i>Falco tinnunculus</i>	1	<i>In situ</i>
Galliformes			
Phasianidae	<i>Alectoris barbara</i>	1	Laboratório
	<i>Alectoris rufa</i>	1	Laboratório
	<i>Coturnix japonica</i>	8	Laboratório
	<i>Gallus gallus domesticus</i>	10	Laboratório
	<i>Meleagris gallopavo</i>	5	Laboratório
	<i>Pavo cristatus</i>	4	<i>In situ/Laboratório</i>
Passeriformes			
Coerebidae	<i>Coereba flaveola</i>	1	<i>In situ</i>
Fringillidae	<i>Carduelis chloris</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Fringilla coelebs</i>	1	<i>In situ</i>
Furnariidae	<i>Automolus leucophthalmus</i>	1	<i>In situ</i>
Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i>	3	<i>In situ</i>
Icteridae	<i>Agelaioides badius</i>	1	Laboratório
Laniidae	<i>Lanius collurio</i>	1	<i>In situ</i>
Motacillidae	<i>Anthus trivialis</i>	1	<i>In situ</i>
Muscicapidae	<i>Erithacus rubecula</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Luscinia luscinia</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Phoenicurus ochruros</i>	1	<i>In situ</i>
Paridae	<i>Parus major</i>	1	<i>In situ</i>
Parulidae	<i>Basileuterus culicivorus</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Myiothlypis flaveola</i>	1	<i>In situ</i>
Passerellidae	<i>Arremon taciturnus</i>	1	<i>In situ</i>
Passeridae	<i>Passer domesticus</i>	4	Laboratório

Phylloscopidae	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	1	<i>In situ</i>
Pipridae	<i>Antilophia galeata</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Neopelma pallescens</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Pipra fasciicauda</i>	1	<i>In situ</i>
Sturnidae	<i>Sturnus unicolor</i>	1	<i>In situ</i>
Sylviidae	<i>Sylvia atricapilla</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Sylvia communis</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Sylvia nisoria</i>	1	<i>In situ</i>
Thamnophilidae	<i>Thamnophilus doliatus</i>	1	<i>In situ</i>
Thraupidae	<i>Eucometis penicillata</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Saltator similis</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Sicalis flaveola</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Thraupis sayaca</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Volatinia jacarina</i>	1	<i>In situ</i>
Tityridae	<i>Schiffornis virescens</i>	1	<i>In situ</i>
Turdidae	<i>Turdus leucomelas</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Turdus merula</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Turdus philomelos</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Turdus viscivorus</i>	1	<i>In situ</i>
Tyrannidae	<i>Cnemotriccus fuscatus</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Corythopis delalandi</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Elaenia cristata</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Elaenia obscura</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Leptopogon amaurocephalus</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Megarynchus pitanguá</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Mionectes rufiventris</i>	1	<i>In situ</i>

	<i>Myiophobus fasciatus</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Sirystes sibilator</i>	1	<i>In situ</i>
	<i>Tolmomyias sulphurescens</i>	1	<i>In situ</i>
Piciformes			
Picidae	<i>Colaptes melanochloros</i>	1	<i>In situ</i>
Dendrocolaptidae	<i>Lepidocolaptes angustirostris</i>	1	<i>In situ</i>
Bucconidae	<i>Monasa nigrifrons</i>	1	<i>In situ</i>
Psittaciformes			
Psittaculidae	<i>Melopsittacus undulatus</i>	2	Laboratório
Cacatuidae	<i>Nymphicus hollandicus</i>	1	Laboratório
Strigiformes			
Strigidae	<i>Athene cunicularia</i>	1	<i>In situ</i>

4.4 Tipos de exposições avaliados pelos estudos

Diferentes tipos de exposições foram avaliados (Fig.5), com os principais sendo a exposição a metais pesados (8) e pesticidas (8). Houve a análise de diferentes tipos de estressores, como estressores sociais, fisiológicos e mecânicos. A exposição à poluição também foi analisada, tanto na forma difusa, quanto pontual.

Os metais avaliados/encontrados nos estudos consistiram no cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb), manganês (Mn), níquel (Ni), cobalto (Co) e zinco (Zn). Elementos como o cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) fazem parte dos processos biológicos no organismo, diferente do chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e arsênio (As), que não possuem qualquer função positiva no organismo, sendo agentes intoxicantes para os seres vivos (Santos *et al.*, 2021). Todos os oitos estudos que avaliaram a ação dos metais pesados nas aves encontraram danos genéticos, mostrando o potencial nocivo desses elementos para a avifauna.

Os pesticidas, utilizados extensivamente na agricultura visando a proteção das culturas contra pragas e doenças, causam impactos significativos em organismos não-alvo (da Silva *et al.*, 2025). Quando relacionado às aves, a exposição a esses agentes químicos pode ocorrer de múltiplas vias, como a ingestão de sementes, frutos e presas contaminadas, resultando em uma bioacumulação de agentes tóxicos, e a exposição direta através do ar, solo e água. Dos oito estudos revisados, três abordaram o efeito de herbicidas e cinco analisaram inseticidas.

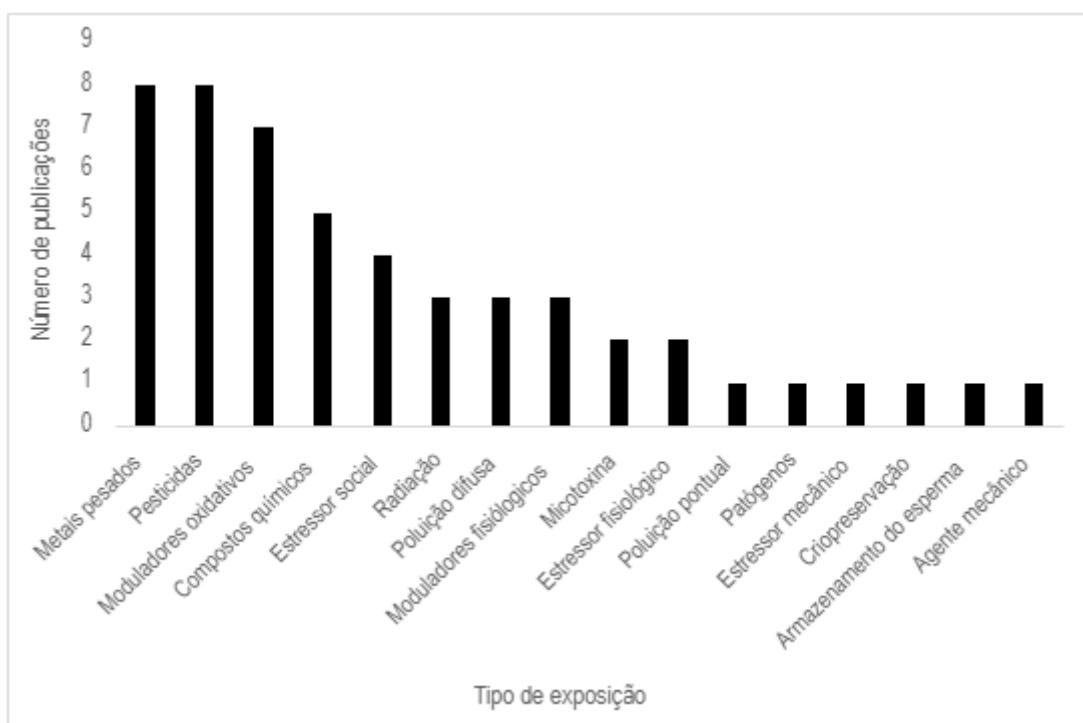


Figura 5. Exposições avaliadas pelos 50 estudos encontrados.

4.5 Amostras e local de obtenção

O ensaio em si pode ser aplicado em praticamente qualquer tipo de célula derivada de diferentes órgãos e tecidos de organismos eucarióticos (Gajski *et al.*, 2019). Em aves, amostras de sangue periférico dominaram 72% dos trabalhos (Fig. 6). Médula óssea (2), espermatozoides (2), fígado (2) e cérebro (1) também apareceram em alguns trabalhos. A retirada de sangue possibilita uma abordagem não invasiva, uma vez que não necessita que haja o sacrifício do animal.

A maioria dos pesquisadores utilizou a veia braquial das aves para a retirada de amostras (38%), sendo seguido por outros locais, como o fígado (18%) e a veia jugular (10%) (Tab. 3).

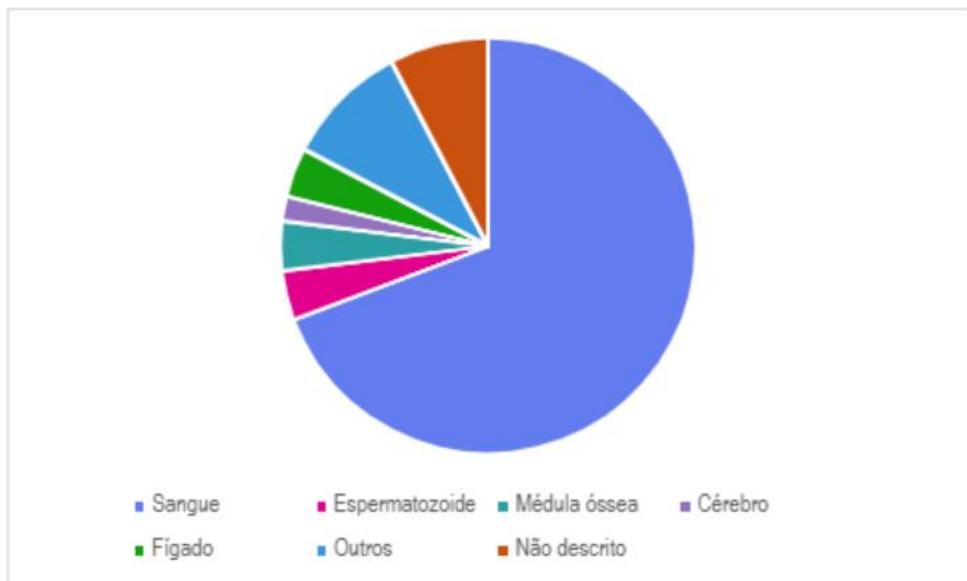


Figura 6. Amostras mais utilizadas pelos pesquisadores.

Tabela 3. Local de coleta utilizados pelos pesquisadores.

Coleta da amostra	Número de estudos
Veia braquial	19
Fígado	9
Veia jugular	5
Veia alar	4
Intestino	3
Baço	2
Cloaca	2
Coração	2
Artéria da asa	1
Bursa de Fabricius	1
Cérebro	1
Coana	1
Dedo do pé	1
Medula óssea	1
Ossos da coxa	1
Rins	1
Sacos aéreos	1
Timo	1
Traqueia	1
Veia cutânea ulnar	1
Veia metatarsiana	1
Veia tarsal	1

4.6 Delineamento experimental do Ensaio Cometa

Foi feita a análise da metodologia da eletroforese em gel de célula única utilizada pelos pesquisadores, uma vez que a descrição do delineamento experimental utilizado nos estudos se faz importante para a replicação e padronização da técnica.

4.6.1 Tempo de lise e eletroforese

O tempo de lise (Fig.7) apresentou certa variação nos estudos, com o processo indo de 15 min até 11h de duração. Entretanto, o tempo mais utilizado pelos pesquisadores foi de 1 hora (21). Em relação ao tempo de eletroforese (Fig.8), houve uma variação entre os estudos, porém, eles ficaram concentrados em três tempos específicos: 20 minutos (12), 30 minutos (11) e 10 minutos (5). Esses resultados sugerem que os processos de lise e eletroforese podem ocorrer em um amplo espaço de tempo, porém à um tempo padrão usado pela maioria.

Tanto o processo de lise quanto o de eletroforese são essenciais no ensaio cometa, visto que é durante essas etapas que ocorre a remoção das membranas e componentes citoplasmáticos e nucleares, ficando apenas o nucleoide (nóvelo de DNA enrolado), e a fragmentação do DNA danificado (Garcia, 2016). Dos cinquenta estudos revisados, 16 não descreveram o tempo de lise e 14 não descreveram o tempo de eletroforese. Segundo Moller *et al.* (2020), a descrição detalhada dessas etapas metodológicas é essencial, visto que a duração da lise pode influenciar nos resultados de maneiras diferentes em função do tipo de lesão sofrida pelo DNA, e o tempo de eletroforese é considerando um dos fatores de maior importância para a migração do DNA.

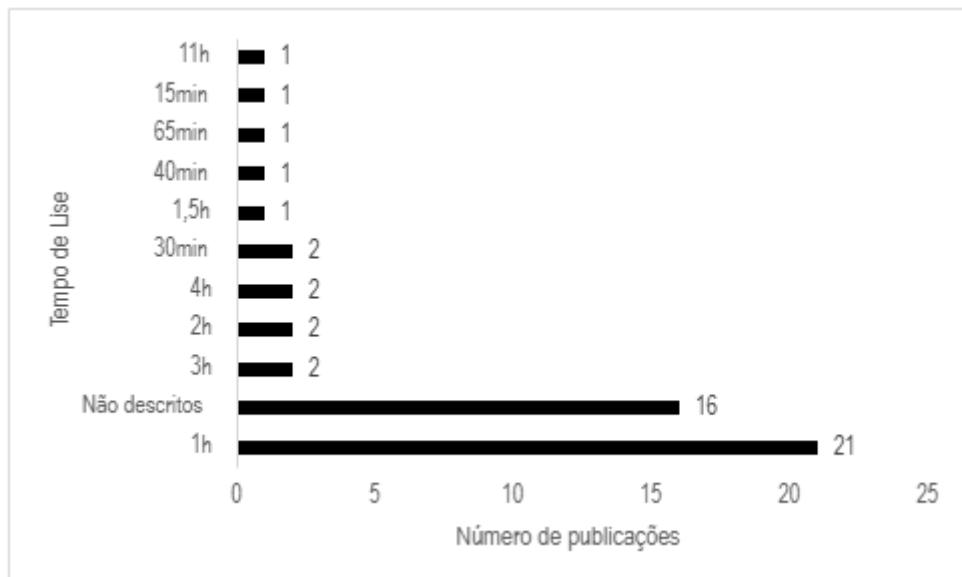


Figura 7. Tempo de lise do ensaio cometa seguido pelos pesquisadores.

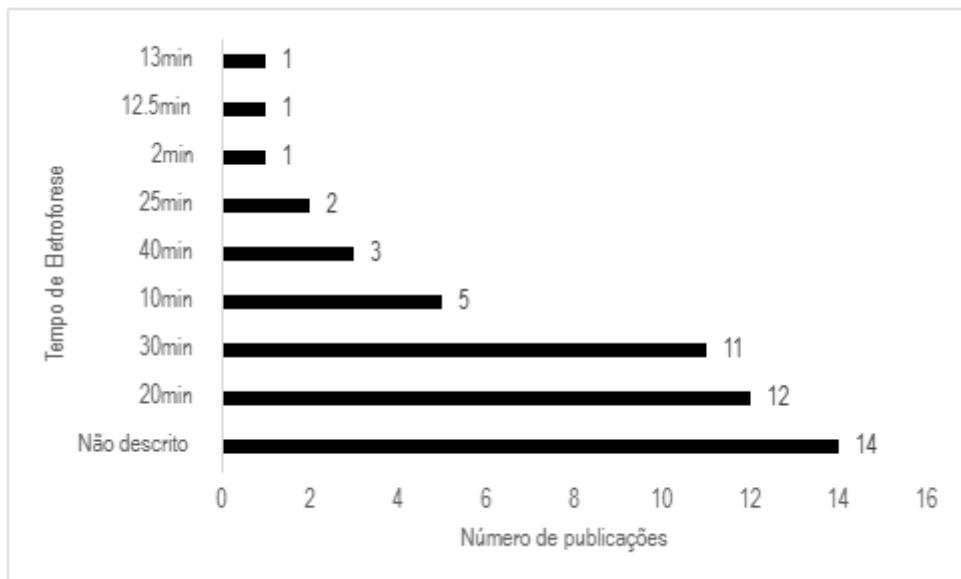


Figura 8. Tempo da eletroforese do ensaio cometa seguido pelos pesquisadores.

4.6.2 Corante

Os estudos apresentaram uma variedade de corantes, sendo o brometo de etídio o mais utilizado para a visualização do cometa (Fig.9). A extensa utilização do brometo de etídio pode ser atribuída a sua acessível aplicabilidade, uma vez que permite a análise do material em um microscópio padrão, diferente do SYBR Gold, que necessita de um microscópio de epifluorescência (Claro *et al.*, 2024).

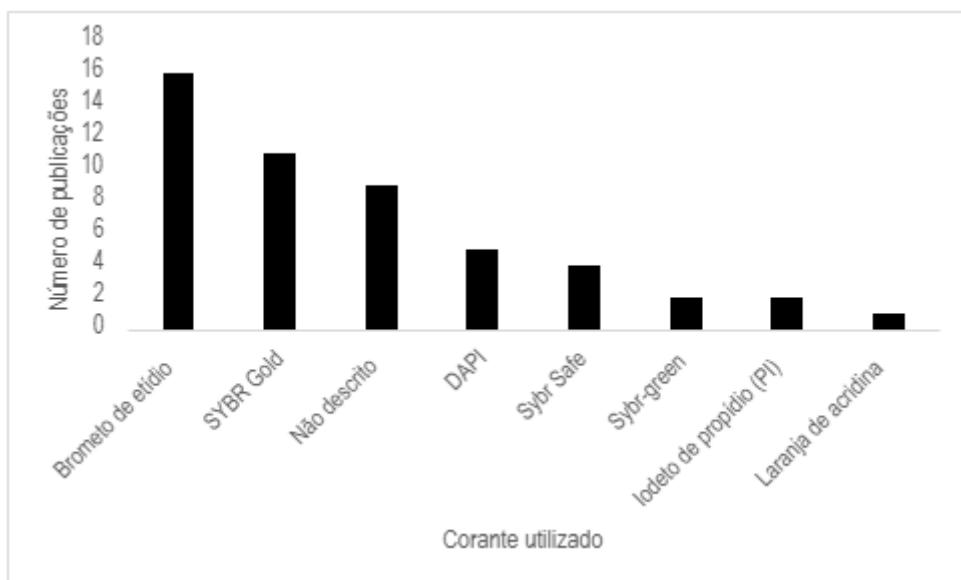


Figura 9. Corante utilizado para a coloração das lâminas para a visualização do material.

4.6.3 Total de células utilizadas

A quantidade de células analisadas por lâmina/animal apresentou variação (Tab.4), com 30% dos estudos avaliando 100 células. Segundo Claro *et al.* (2024), essa quantidade de nucleotídeos é o mais comum e recomendável, por apresentar dados mais precisos.

Tabela 4. Quantidade de células analisadas.

Células analisadas	Número de publicações
Não especificado	20
100	15
150	5
50	4
400	2
75	1
85	1
180	1
313	1

*Por lâmina/animal

4.6.4 Forma de análise

Os danos no DNA podem ser analisados e classificados de forma visual, através do tamanho da cauda do cometa, ou por meio da utilização de programas de análises (Claro *et al.*, 2024). Esses programas analisam o cometa por meio de parâmetros, como a porcentagem de DNA presente na cabeça (núcleo) ou na cauda, comprimento da cauda, momento da cauda (% de DNA na cauda x comprimento da cauda/100), e o momento da cauda de Olive.

Dos 50 estudos encontrados, 64% apresentaram o programa de análise utilizado (Tab.5), com o Comet Score (7) sendo o mais utilizado nos estudos. O Comet Score é um programa de análise gratuito, sendo possível utilizá-lo apenas no sistema Windows. Essa ferramenta possibilita a utilização de métodos de segmentação do cometa automáticos, semiautomáticos e manuais, com base nos limites de intensidade escolhido pelo pesquisador, além de possibilitar a visualização dos parâmetros de avaliação e classificação do cometa (Beleon *et al.*, 2022).

Tabela 5. Programas de computador utilizados para análise do cometa.

Forma de análise	Número de publicações
Não especificado	18
Comet Score (TriTek Corp.)	7
Komet (Kinetics Imaging)	5
CASP (Comet Assay Software Project 1.2.2)	4
CASys	4

OpenComet	4
Comet Assay Software 5 (Kinetic Imaging Ltd.)	3
Comet Imager	2
CometScan	1
HCSA Comet Analysis System	1
Sistema Metafer (Metasystems, Bethesda, MD)	1

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, a eletroforese em gel de célula única é um biomarcador capaz de detectar e quantificar danos no material genético induzidos por diferentes agentes tóxicos em diversas células, sendo bastante eficaz no biomonitoramento da avifauna. Entretanto, o levantamento encontrou poucos estudos ecotoxicológicos que aplicaram o método nas aves, principalmente em espécies selvagens.

Referente aos trabalhos que utilizaram o ensaio cometa, observou-se a inconsistência na descrição do método, visto que muitas pesquisas não descreveram elementos importantes da metodologia. Considerando as variadas possibilidades de modificações que o ensaio cometa permite, que podem variar a depender do dano que está sendo investigado, a descrição detalhada da metodologia é algo indispensável, pois permite que haja a reproduzibilidade do ensaio e a validade comparativa por outros pesquisadores em trabalhos futuros.

As aves são ótimas bioindicadoras para estudos ecotoxicológicos. Utilizar biomarcadores como o ensaio cometa para analisar a saúde desses animais é essencial, uma vez que auxilia na identificação precoce de estressores que impactam na sua sobrevivência, com os resultados gerados por esses estudos possibilitando o desenvolvimento e a implementação de ações mitigadoras e estratégias de conservação mais específicas e eficientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, M. L. *et al.* Assessment of genome damage in bird and mammal species as a tool for improvements in ex-situ conservation at zoos. **Natureza & Conservação**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 1–6, 2013.
- AHMADI, M. *et al.* Protecting alpine biodiversity in the Middle East from climate change: Implications for high-elevation birds. **Diversity and Distributions**, [S.l.], v. 30, n. 5, e13826, 2024.
- ANBAZHAGAN, V. *et al.* Avian feathers as a biomonitoring tool to assess heavy metal pollution in a wildlife and bird sanctuary from a tropical coastal ecosystem. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], v. 28, p. 38263–38273, 2021.
- ANDEM, A. B.; AGBOR, R. B.; EKPO, I. A. Review on comet assay: a reliable tool for assessing DNA damage in animal models. **Journal of Current Research in Science**, [S.l.], v. 1, n. 6, p. 405, 2013.
- AROOJ, Sajida *et al.* Biomonitoring of heavy metals and their association with DNA damage in Indian peafowl (*Pavo cristatus*) under captivity. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 13, p. 38306-38318, 2023.
- ASLLANI, F. H. *et al.* Genotoxicity evaluation in fish (*Rutilus rutilus*) collected from rivers Drenica and Sitnica in the Kosovo. **Toxicology Research**, [S.l.], v. 14, n. 2, p. tfaf032, 2025.
- AUON, Muhammad *et al.* Testicular and genotoxic effects induced by subchronic oral administration of chlorpyrifos in japanese quail (*Coturnix japonica*). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 51, n. 4, 2014.

AWAD, Wageha A. *et al.* Single and combined effects of deoxynivalenol mycotoxin and a microbial feed additive on lymphocyte DNA damage and oxidative stress in broiler chickens. **PloS one**, v. 9, n. 1, p. e88028, 2014.

BAESSE, C. Q. *et al.* Micronucleus as biomarker of genotoxicity in birds from Brazilian Cerrado. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S.l.], v. 115, p. 223–228, 2015.

BAOS, Raquel *et al.* Evaluation of genotoxic effects of heavy metals and arsenic in wild nestling white storks (*Ciconia ciconia*) and black kites (*Milvus migrans*) from southwestern Spain after a mining accident. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 25, n. 10, p. 2794-2803, 2006.

BEATTIE, U. K. *et al.* Background DNA damage is higher in summer than winter in both free-living and captive birds. **Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology**, [S.l.], v. 337, n. 8, p. 789–794, 2022.

BELEON, Attila et al. CometAnalyser: A user-friendly, open-source deep-learning microscopy tool for quantitative comet assay analysis. **Computational and Structural Biotechnology Journal**, v. 20, p. 4122-4130, 2022.

BENVINDO-SOUZA, M. *et al.* Genotoxic, mutagenic, and cytotoxic analysis in bats in mining area. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], v. 30, n. 40, p. 92095–92106, 2023.

BHOWMICK, S. O. M. A.; SINGH, V. K. Cytogenetic assessment of pyrethroid on blue rock pigeon. **Pollut. Res. Pap**, v. 33, p. 323-325, 2014.

BIRD, J. P.; FULLER, R. A.; SHAW, J. D. Patterns of recovery in extant and extirpated seabirds after the world's largest multipredator eradication. **Conservation Biology**, [S.l.], e14239, 2024.

BONISOLI-ALQUATI, A. *et al.* Abundance and genetic damage of barn swallows from Fukushima. **Scientific Reports**, v. 5, n. 1, p. 9432, 2015.

BONISOLI-ALQUATI, Andrea *et al.* DNA damage in barn swallows (*Hirundo rustica*) from the Chernobyl region detected by use of the comet assay. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 151, n. 3, p. 271-277, 2010.

CALIANI, I. *et al.* First application of comet assay in blood cells of Mediterranean loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). **Marine Environmental Research**, [S.l.], v. 96, p. 68–72, 2014.

CLARO, Hermes Willyan Parreira et al. The use of the micronucleus test and comet assay in wild rodents: a historical review and future perspectives. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 8, p. 773, 2024.

DA SILVA, D. V. S. et al. Estudos ecotoxicológicos com agrotóxicos: uma revisão sistemática da literatura. **OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA**, v. 23, n. 8, p. e11244-e11244, 2025.

DE FARIA, D. B. G. *et al.* Analysis of various effects of abamectin on erythrocyte morphology in Japanese quails (*Coturnix japonica*). **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], v. 25, n. 3, p. 2450–2456, 2018.

DE FREITAS, Renata Maria Pereira de *et al.* Ecotoxicological consequences of urbanization: A multi-biomarker approach to assessing sewage treatment plant effects on free-living birds. **Environmental Research**, v. 258, p. 119424, 2024.

DE LAPUENTE, J. *et al.* The comet assay and its applications in the field of ecotoxicology: a mature tool that continues to expand its perspectives. **Frontiers in Genetics**, [S.l.], v. 6, 103544, 2015.

DHAWAN, A.; BAJPAYEE, M.; PARMAR, D. Comet assay: a reliable tool for the assessment of DNA damage in different models. **Cell Biology and Toxicology**, [S.l.], v. 25, p. 5–32, 2009.

EL-KADER, H. A. *et al.* Influence of dietary supplementation of mannanoligosaccharide (bio-Mos®) prebiotic on the genotoxic and antioxidant status in Japanese quail. **Int J Pharm Sci Rev Res**, v. 27, p. 289-95, 2014.

ELSE, Holly. Impact factors are still widely used in academic evaluations. **Nature**, 2019.

GAJSKI, G. *et al.* The comet assay in animal models: from bugs to whales – (Part 2 Vertebrates). **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, [S.l.], v. 781, p. 130–164, 2019.

GALVÁN, Ismael *et al.* Chronic exposure to low-dose radiation at C hernobyl favours adaptation to oxidative stress in birds. **Functional Ecology**, v. 28, n. 6, p. 1387-1403, 2014.

GARCIA, Juliana Maia Rabêlo Nucci. Adaptação de Ensaio Cometa às células meristemáticas provenientes de raízes de propágulos de Rhizophora mangle para avaliar a genotoxicidade no ambiente marinho. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GIOVANETTI, Laura *et al.* A blood-based multi-biomarker approach reveals different physiological responses of common kestrels to contrasting environments. **Environmental Research**, v. 251, p. 118674, 2024.

GONZÁLEZ-ACEVEDO, Anahi *et al.* Evaluation of environmental genotoxicity by comet assay in *Columba livia*. **Toxicology mechanisms and methods**, v. 26, n. 1, p. 61-66, 2016.

GORMALLY, Brenna MG *et al.* Beyond corticosterone: the acute stress response increases DNA damage in house sparrows. **Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology**, v. 333, n. 8, p. 595-606, 2020.

GORMALLY, Brenna MG *et al.* DNA damage as an indicator of chronic stress: correlations with corticosterone and uric acid. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 227, p. 116-122, 2019.

GRESPAN, André *et al.* Virulence and molecular aspects of *Bordetella avium* isolated from cockatiel chicks (*Nymphicus hollandicus*) in Brazil. **Veterinary microbiology**, v. 160, n. 3-4, p. 530-534, 2012.

HASHEM, Mohamed A. *et al.* Mitigating the growth, biochemical changes, genotoxic and pathological effects of copper toxicity in broiler chickens by supplementing vitamins C and E. **Animals**, v. 11, n. 6, p. 1811, 2021.

HUSSAIN, R.; MAHMOOD, F.; KHAN, A. Genotoxic and pathological effects of malathion in male Japanese quail (*Coturnix japonica*). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, [S.l.], v. 52, n. 4, p. 1149–1156, 2015.

HUSSAIN, Riaz *et al.* Pathological and genotoxic effects of atrazine in male Japanese quail (*Coturnix japonica*). **Ecotoxicology**, v. 20, n. 1, p. 1-8, 2011.

JAYAWARDENA, U. A.; WICKRAMASINGHE, D. D.; UDAGAMA, P. V. Cytogenotoxicity evaluation of a heavy metal mixture, detected in a polluted urban wetland: Micronucleus and comet induction in the Indian green frog (*Euphlyctis hexadactylus*) erythrocytes and the Allium cepa bioassay. **Chemosphere**, [S.l.], v. 277, 130278, 2021.

JEFFREY, Alan M. *et al.* Furan induction of DNA cross-linking and strand breaks in turkey fetal liver in comparison to 1, 3-propanediol. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, n. 3-4, p. 675-678, 2012.

KELES, Hikmet *et al.* Increased DNA damage and oxidative stress in chickens with natural Marek's disease. **Veterinary immunology and immunopathology**, v. 133, n. 1, p. 51-58, 2010.

KHALID, Aimen *et al.* Blood, feathers, and eggs as bioindicators of selenium sources and their impact on DNA damage in Japanese quails (*Coturnix japonica*). **Research in Veterinary Science**, v. 185, p. 105556, 2025.

KHAN, J. *et al.* Comet Assay and Micronucleus Test in Circulating Erythrocytes of *Ctenopharyngodon idella* Exposed to Nickel Oxide Nanoparticles. **Biological Trace Element Research**, [S.l.], v. 203, n. 2, p. 1064–1074, 2025.

KITOWSKI, I. *et al.* Concentration of metals and metalloids in livers of birds of various foraging guilds collected during the autumn migration period in Poland. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], p. 1–22, 2024.

KOBETS, Tetyana *et al.* In ovo testing of flavor and fragrance materials in Turkey Egg Genotoxicity Assay (TEGA), comparison of results to in vitro and in vivo data. **Food and Chemical Toxicology**, v. 115, p. 228-243, 2018.

KOBETS, Tetyana *et al.* Structure-activity relationships for DNA damage by alkenylbenzenes in Turkey egg fetal liver. **Toxicological Sciences**, v. 150, n. 2, p. 301-311, 2016.

KONIECZKA, P. *et al.* The interactive effect of dietary n-6: n-3 fatty acid ratio and vitamin E level on tissue lipid peroxidation, DNA damage in intestinal epithelial cells, and gut morphology in chickens of different ages. **Poultry Science**, v. 97, n. 1, p. 149-158, 2018.

KOTŁOWSKA, M. *et al.* Effects of liquid storage on amidase activity, DNA fragmentation and motility of turkey spermatozoa. **Theriogenology**, v. 67, n. 2, p. 276-286, 2007.

KUO, D. T. *et al.* A critical review of bioaccumulation and biotransformation of organic chemicals in birds. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, [S.l.], v. 260, n. 1, p. 6, 2022.

LARIVIERE, Vincent; SUGIMOTO, Cassidy R. The journal impact factor: A brief history, critique, and discussion of adverse effects. In: **Springer handbook of science and technology indicators**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 3-24.

LARCOMBE, S. D. *et al.* Oxidative stress, activity behaviour and body mass in captive parrots. **Conservation physiology**, v. 3, n. 1, p. cov045, 2015.

LARCOMBE, S. D. *et al.* The effects of short-term antioxidant supplementation on oxidative stress and flight performance in adult budgerigars *Melopsittacus undulatus*. **Journal of Experimental Biology**, v. 211, n. 17, p. 2859-2864, 2008.

LEES, A. C. *et al.* State of the world's birds. **Annual Review of Environment and Resources**, [S.l.], v. 47, p. 231–260, 2022.

LI, Jin-Long *et al.* Oxidative stress-mediated cytotoxicity of cadmium in chicken splenic lymphocytes. **Pol. J. Environ. Stud.**, v. 19, n. 5, p. 947-956, 2010.

LIAO, W.; MCNUTT, M. A.; ZHU, W. G. The comet assay: a sensitive method for detecting DNA damage in individual cells. **Methods**, [S.l.], v. 48, n. 1, p. 46–53, 2009.

LIONETTO, Maria G.; CARICATO, Roberto; GIORDANO, Maria E. Pollution biomarkers in environmental and human biomonitoring. **The Open Biomarkers Journal**, v. 9, n. 1, 2019.

MADEDDU, Manuela *et al.* Differences in semen freezability and intracellular ATP content between the rooster (*Gallus gallus domesticus*) and the Barbary partridge (*Alectoris barbara*). **Theriogenology**, v. 74, n. 6, p. 1010-1018, 2010.

MANESS, Terri J.; EMSLIE, Steven D. An analysis of possible genotoxic exposure in adult and juvenile Royal Terns in North Carolina, USA. **Waterbirds**, p. 352-360, 2001.

MARÍN, O. M. et al. Study of ex-ovo Embryonic Development of *Gallus gallus domesticus*. **International Journal of Morphology**, v. 41, n. 2, 2023.

MEHAISEN, Gamal MK *et al.* Expression of inflammatory and cell death program genes and comet DNA damage assay induced by Escherichia coli in layer hens. **PLoS One**, v. 11, n. 6, p. e0158314, 2016.

MEITERN, Richard *et al.* On the methodological limitations of detecting oxidative stress: effects of paraquat on measures of oxidative status in greenfinches. **Journal of Experimental Biology**, v. 216, n. 14, p. 2713-2721, 2013.

MOHAMMED, Amany Tharwat *et al.* Assessment of the toxic impacts of acute exposure to fipronil insecticide on japanese quails. **Japanese Journal of Veterinary Research**, v. 64, n. Supplement 2, p. S243-S249, 2016.

MØLLER, Peter et al. Minimum Information for Reporting on the Comet Assay (MIRCA): recommendations for describing comet assay procedures and results. **Nature protocols**, v. 15, n. 12, p. 3817-3826, 2020.

MONTOYA, Bibiana *et al.* DNA integrity estimated via the comet assay reflects oxidative stress and competitive disadvantage in developing birds. **Physiological and Biochemical Zoology**, v. 93, n. 5, p. 384-395, 2020.

NAGARAJU, R. *et al.* Cadmium exposure and DNA damage (genotoxicity): a systematic review and meta-analysis. **Critical Reviews in Toxicology**, [S.l.], v. 52, n. 10, p. 786–798, 2022.

NASCIMENTO, M. E. M. *et al.* Genotoxic analysis of Blue-and-Yellow Macaw (*Ara ararauna*) nestlings in an urban environment in the Central-West region of Brazil. **Urban Ecosystems**, [S.l.], v. 28, n. 2, p. 8, 2025.

NAZ, Shabana *et al.* Captivity stress influences the DNA damage of *Pavo cristatus* under environmental conditions of Faisalabad, Pakistan. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 5, p. 5636-5639, 2020.

NAZ, Shabana *et al.* Evaluation of biological selenium nanoparticles on growth performance, histopathology of vital organs and genotoxicity in Japanese quails (*coturnix coturnix japonica*). **Veterinary Quarterly**, v. 44, n. 1, p. 1-10, 2024.

NAZ, Shabana *et al.* Feathers, eggs, and blood as bioindicators of heavy metals and their impact on DNA damage in captive *Pavo cristatus*. **Journal of Applied Animal Research**, v. 51, n. 1, p. 803-809, 2023.

NEATE-CLEGG, M. H. Bird vulnerability to forest loss. **Nature Ecology & Evolution**, [S.l.], p. 1–2, 2024.

ORÓ-NOLLA, B. *et al.* Exploring the use of gull eggs as bioindicators of phthalate esters exposure. **Environmental Research**, [S.l.], v. 263, 120244, 2024.

OSTLING, 6.; JOHANSON, K. J. Microelectrophoretic study of radiation-induced DNA damages in individual mammalian cells. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, [S.l.], v. 123, n. 1, p. 291–298, 1984.

PACHECO, José Fernando *et al.* Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee—second edition. **Ornithology Research**, v. 29, n. 2, p. 94-105, 2021.

PASTOR, Nuria *et al.* A 4 year follow-up analysis of genotoxic damage in birds of the Doñana area (south west Spain) in the wake of the 1998 mining waste spill. **Mutagenesis**, v. 19, n. 1, p. 61-65, 2004.

PASTOR, Nuria *et al.* Assessment of genotoxic damage by the comet assay in white storks (*Ciconia ciconia*) after the Donana ecological disaster. **Mutagenesis**, v. 16, n. 3, p. 219-223, 2001.

PINHATTI, V. R. *et al.* Determinação de danos basais no DNA de araras canindé (*Ara ararauna*) através do Teste de Micronúcleos: uma ferramenta na avaliação da saúde animal e seu uso no biomonitoramento da poluição ambiental. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 34, n. 3, p. 313–317, 2006.

POLISERPI, María Belén *et al.* Tissue distribution and sublethal effects of imidacloprid in the South American grayish baywing (*Agelaioides badius*). **Chemosphere**, v. 284, p. 131327, 2021.

QAISAR, Aniqa; NAZ, Shabana; AROOJ, Sajida. Heavy metals mediated genotoxic effects on captive pavo cristatus from different sites of the Punjab, Pakistan. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 56, n. 2, p. 879, 2024.

RANI, Amina *et al.* Ethoxysulfuron causes nuclear abnormalities in erythrocytes, DNA damage in some visceral organs, and oxidative stress in male Japanese quail. 2023.

RODRÍGUEZ-ESTIVAL, Jaime *et al.* Sub-chronic effects of nitrate in drinking water on red-legged partridge (*Alectoris rufa*): Oxidative stress and T-cell mediated immune function. **Environmental Research**, v. 110, n. 5, p. 469-475, 2010.

ROSEN, Emma *et al.* House sparrows do not show a diel rhythm in double-strand DNA damage in erythrocytes. **PeerJ**, v. 12, p. e18375, 2024.

RYDBERG, B.; JOHANSON, K. J. Estimation of DNA strand breaks in single mammalian cells. In: HANAWALT, P. C.; FRIEDBERG, E. C. (ed.). DNA Repair Mechanisms. **New York: Academic Press**, 1978. p. 465–468.

SANTOS, Cauane Borges *et al.* Intoxicação por metal pesado em periquito (*Brotogeris Chiriri*): relato de caso Heavy metal poisoning in periquito (*Brotogeris Chiriri*): case report. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 102570-102580, 2021.

SAMARAWEERA, M.; CHANDRAJITH, R.; JAYASENA, N. Birds of different feeding habits as biomonitor for trace elements in a wetland of the Central Asian Flyway, Sri Lanka. **Chemosphere**, [S.I.], v. 306, 135602, 2022.

SCHWOERER, T.; DAWSON, N. G. Small sight—Big might: Economic impact of bird tourism shows opportunities for rural communities and biodiversity conservation. **PLOS ONE**, [S.I.], v. 17, n. 7, e0268594, 2022.

SCOTT, L. A.; KORB, J. E. Birds of the Burn: Avian community and functional guild variation five years post-fire in warm-dry mixed conifer, Southwest Colorado. **Fire**, [S.I.], v. 7, n. 3, 62, 2024.

SICOLO, Matteo *et al.* *Columba livia* as a sentinel species for the assessment of urban air genotoxicity. **Archives of environmental contamination and toxicology**, v. 59, n. 3, p. 484-491, 2010.

SCIENCE DIRECT. About the Journal. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/journal/environmental-research>. Acesso em: 10, nov., 2025

SILVA, L. M. D. Análise de danos citogenéticos em linfócitos humanos expostos ao Radônio-222. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

SILVEIRA, E. D. R. *et al.* Micronucleus and different nuclear abnormalities in wild birds in the Cerrado, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], p. 1–9, 2022.

SINGH, N. P. *et al.* A simple technique for quantitation of low levels of DNA damage in individual cells. **Experimental Cell Research**, [S.l.], v. 175, n. 1, p. 184–191, 1988.

SOHN, S. H. *et al.* Telomeric DNA quantity, DNA damage, and heat shock protein gene expression as physiological stress markers in chickens. **Poultry Science**, v. 91, n. 4, p. 829–836, 2012.

SOMMER, Sylwester; BURACZEWSKA, Iwona; KRUSZEWSKI, Marcin. Micronucleus assay: the state of art, and future directions. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 4, p. 1534, 2020.

Springer Nature Link. Aims and Scope. Disponível em:
<https://link.springer.com/journal/11356/aims-and-scope>. Acesso em: 10, nov., 2025.

SULIMAN *et al.* Toxicity evaluation of pesticide chlorpyrifos in male Japanese quails (*Coturnix japonica*). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 20, p. 25353–25362, 2020.

TORRES-BUGARÍN, Olivia *et al.* Potential uses, limitations, and basic procedures of micronuclei and nuclear abnormalities in buccal cells. **Disease Markers**, v. 2014, n. 1, p. 956835, 2014.

WILLIAMS, J. G.; DESCHL, U.; WILLIAMS, G. M. DNA damage in fetal liver cells of turkey and chicken eggs dosed with aflatoxin B1. **Archives of toxicology**, v. 85, n. 9, p. 1167-1172, 2011.

WOINARSKI, J. C.; LEGGE, S. M.; GARNETT, S. T. Extinct Australian birds: Numbers, characteristics, lessons and prospects. **Emu - Austral Ornithology**, [S.l.], v. 124, n. 1, p. 8, 2024.

XIAO, Changyan *et al.* Research progress on biodosimeters of ionizing radiation damage. **Radiation Medicine and Protection**, v. 1, n. 3, p. 127-132, 2020.

YAO, T.; WANG, G.; LI, C. Bird's blood and feathers as bioindicators for the oxidative stress induced by metal(loid)s in polymetallic contaminated areas. **Ecological Indicators**, [S.l.], v. 146, 109909, 2023.

YAPRAKCI, Mustafa Volkan *et al.* DNA damage, total antioxidant and oxidant status in gunshot wounded Wild Falcons. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 48, n. 5, 2016.

ZHANG, Zi-wei *et al.* Effects of oxidative stress on immunosuppression induced by selenium deficiency in chickens. **Biological trace element research**, v. 149, n. 3, p. 352-361, 2012.