



## POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DOS SUBPRODUTOS ORIUNDOS DA INDÚSTRIA AVÍCOLA E SUAS APLICAÇÕES: UMA MINI-REVISÃO

## POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE LOS SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA Y SUS APLICACIONES: UNA MINI-REVISIÓN

## BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF BY-PRODUCTS FROM THE POULTRY INDUSTRY AND ITS APPLICATIONS: A MINI-REVIEW

Nilson Fernando Barbosa da Silva<sup>1</sup>; Thiago Pajeú Nascimento<sup>2</sup>; Juanize Matias da Silva Batista<sup>3</sup> Ana Lúcia Figueiredo Porto<sup>4</sup>; Romero Marcos Pedrosa da Costa<sup>5</sup>

DOI: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0152>

### RESUMO

Resíduos avícolas são um dos maiores problemas da indústria pecuária e podem ser fontes promissoras de biomoléculas de interesse comercial, como a queratina, o colágeno, enzimas proteolíticas, hidroxiapatita, micro e macronutrientes. A partir de processos biotecnológicos, esses resíduos podem ser convertidos em coprodutos de forte interesse comercial devido às suas propriedades bioativas. A presente mini-revisão objetivou apresentar um panorama global da produção avícola assim como a geração de resíduos, seu potencial biotecnológico e as pesquisas referentes ao reaproveitamento desses resíduos. Os sites de buscas e banco de dados utilizados para o fomento da triagem foram o *Science Direct*, *Elsevier*, *Scopus*, *Springer*, *Google Scholar*, *PubMed*, *Tandfonline* e *While Online Library* e os termos condizentes ao objetivo principal da pesquisa, delimitando um tempo de 5 anos para utilização de referencial embasado em pesquisas mais recentes. Os resultados encontrados apresentaram uma gama de aplicabilidade aos resíduos avícolas, como a sua utilização na obtenção de biodiesel, como fonte de nutriente para bactérias produtoras de enzimas proteolíticas. Também houve efetividade dos resíduos como fontes de proteínas de grande interesse comercial como a queratina e o colágeno. Assim, foi comprovado a variabilidade da aplicação dos resíduos avícolas.

**Palavras-Chave:** resíduos avícolas, biomoléculas, queratina.

### RESUMEN

Los residuos avícolas son uno de los mayores problemas de la industria ganadera y pueden ser fuentes

<sup>1</sup> Graduando em Farmácia, Universidade Católica de Pernambuco, [nilsons.fernando@gmail.com](mailto:nilsons.fernando@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutor em Biologia Aplicada à Saúde, Universidade Federal do Piauí, [thiago\\_pajeu@hotmail.com](mailto:thiago_pajeu@hotmail.com)

<sup>3</sup> Doutora em Biociência Animal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [juanizematias@yahoo.com.br](mailto:juanizematias@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Professora Titular, Universidade Federal Rural de Pernambuco, [analuporto@yahoo.com.br](mailto:analuporto@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> Doutor em Ciências Biológicas, Universidade de Pernambuco, [romero.brandao@upe.br](mailto:romero.brandao@upe.br)

prometedoras de biomoléculas de interés comercial, como queratina, colágeno, enzimas proteolíticas, hidroxiapatita, micro y macronutrientes. A partir de procesos biotecnológicos, estos residuos pueden convertirse en coproductos de fuerte interés comercial debido a sus propiedades bioactivas. Esta mini-revisión tuvo como objetivo presentar una visión global de la producción avícola, así como la generación de residuos, su potencial biotecnológico y la investigación sobre la reutilización de estos residuos. Los motores de búsqueda y la base de datos utilizados para promover el cribado fueron Science Direct, Elsevier, Scopus, Springer, Google Scholar, PubMed, TandFonline y While Online Library y los términos coherentes con el objetivo principal de la búsqueda, delimitando un tiempo de 5 años para el uso de la referencia en base a búsquedas más recientes. Los resultados mostraron un rango de aplicabilidad a los residuos de aves de corral, como su uso en la obtención de biodiesel, como fuente de nutrientes para las bacterias que producen enzimas proteolíticas. Los residuos también fueron efectivos como fuentes de proteínas de gran interés comercial como la queratina y el colágeno. Por lo tanto, se ha demostrado la variabilidad de la aplicación de residuos de aves de corral.

**Palabras Clave:** residuos avícolas, biomoléculas, queratina.

## ABSTRACT

Poultry residues are one of the biggest problems of the livestock industry and can be promising sources of biomolecules of commercial interest, such as keratin, collagen, proteolytic enzymes, hydroxyapatite, micro and macronutrients. From biotechnological processes, these residues can be converted into co-products of strong commercial interest due to their bioactive properties. This mini-review aimed to present a global overview of poultry production as well as waste generation, its biotechnological potential and research on the reuse of these residues. The search engines and database used to promote screening were Science Direct, Elsevier, Scopus, Springer, Google Scholar, PubMed, TandFonline and While Online Library and the terms consistent with the main objective of the search, delimiting a time of 5 years for the use of reference based on more recent searches. The results showed a range of applicability to poultry residues, such as its use in obtaining biodiesel, as a nutrient source for bacteria producing proteolytic enzymes. Residues were also effective as sources of proteins of great commercial interest such as keratin and collagen. Thus, the variability of the application of poultry residues has been proven.

**Keywords:** poultry residues, biomolecules, keratin.

## INTRODUÇÃO

Resíduos gerados pela indústria e seus descartes são pautas recentes dentro das políticas ambientais dos últimos anos. O mal descarte desses resíduos podem gerar impactos ambientais de curto, médio e longo prazo (FAO, 2021). A indústria avícola é uma das que mais geram resíduos atualmente, uma vez que 70% do peso bruto é considerado subproduto após a etapa de processamento (MATOS *et al*, 2021; LIMA *et al*, 2021). Apenas em 2020, o Brasil foi responsável pela produção de aproximadamente 13,845 milhões de toneladas de carne de frango, o que resulta teoricamente no acúmulo de 29,074 milhões de toneladas de resíduos avícolas, o que se mal descartado, pode acarretar em grandes problemas ambientais (ABPA, 2021). Esses resíduos, entretanto, são fontes promissoras de partículas químicas e biológicas como enzimas, proteínas, minerais, macro e micronutrientes, o que os tornam passivos de processos de extração e isolamento dessas biomoléculas (BARUA *et al*, 2020; OLUBA *et al*,

2021; BEE, *et al*, 2019). Esses processos são denominados como processos biotecnológicos, os processos em questão podem ser pouco ou muito custosos a depender da demanda tecnológica e os reagentes necessários para obtenção do material final, não obstante, esses processos podem agregar valor comercial a um material outrora considerado como subproduto. Pesquisas recentes têm como intuito o reaproveitamento desses resíduos orgânicos a partir de diversos processos biotecnológicos, destinando-os para novos setores industriais como coproduto (YE *et al*, 2022). Com base nas informações assim descritas, a presente revisão tem como objetivo apresentar o vasto potencial biotecnológico dos resíduos provenientes da avicultura por meio de pesquisas recentes e afirmativas.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### **Avanço industrial da avicultura e o problema da geração de resíduos sólidos**

Os últimos anos tiveram seu avanço econômico impactado por consequência da pandemia causada pelo coronavírus. Esses entraves econômicos resultaram em aumentos na inflação e numa alta de preços de alimentos, principalmente os da agropecuária (FAO, 2021). Por conta disso, determinados alimentos tiveram seu consumo mais bem estabelecido em detrimento a outros devido à acessibilidade em seu preço comercial. Na pecuária, a indústria que teve esse estabelecimento foi a avicultura (ABPA, 2021).

A avicultura sempre esteve consolidada como fonte direta de proteína animal para o ser humano, entretanto, essa consolidação foi ainda mais expandida durante a pandemia, uma vez que seu preço em detrimento a outras fontes se tornou mais acessível. Segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (2021) o consumo per capita de carne de frango passou de 41,10 kg/hab em 2016 para 44,09 kg/hab em 2020. Além disso, quando comparado ao consumo per capita de outras fontes de proteína, esse número se torna ainda maior. A Companhia Nacional de Abastecimento (2021) constatou o consumo de carne bovina no Brasil em 29,03 kg/hab, valor 35% menor que o consumo de carne de frango do mesmo ano. A tabela 1 apresenta o consumo brasileiro de diferentes fontes de proteína animal no ano de 2020 em quilogramas por habitantes e unidades por habitantes quanto ao consumo de ovos.

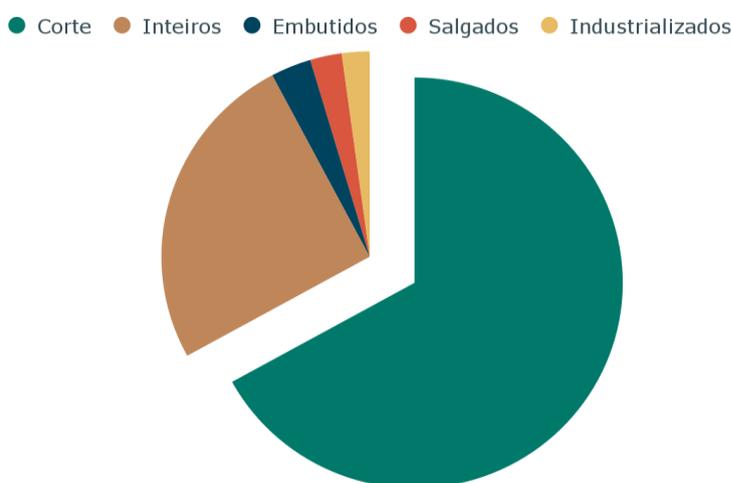
**Tabela 1:** Consumo brasileiro per capita de proteína animal em 2020

Fonte proteica	Valor	Unidade de medida
Frango	44,09	kg/hab
Bovina	29,03	kg/hab
Suína	16,00	kg/hab
Ovos	251	uni/hab
Peixe	9	kg/hab

**Fonte:** Adaptado a partir de dados fornecidos pela ABPA, Conab e FAO.

O aumento do consumo per capita também reflete no aumento da produção por parte da indústria. Apenas em 2020, o Brasil teve uma produção total de 13,845 milhões de toneladas de carne de frango, produção maior que a do ano anterior, que contou com 13,245 milhões de toneladas, onde cerca de 69% corresponde ao mercado interno e 31% a exportações (ABPA, 2021). A forma de exportação varia quanto a produção do estoque e pode ser classificada em: Corte, Inteiros, Salgados, Embutidos e Industrializados, onde o frango de corte corresponde a maior fatia do percentual total de exportações contabilizando mais de 66% do total, como constata o gráfico 1.

**Gráfico 1:** Exportações de frango quanto a forma de produção



**Fonte:** [ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal \(abpa-br.org\)](http://abpa-br.org), 2021

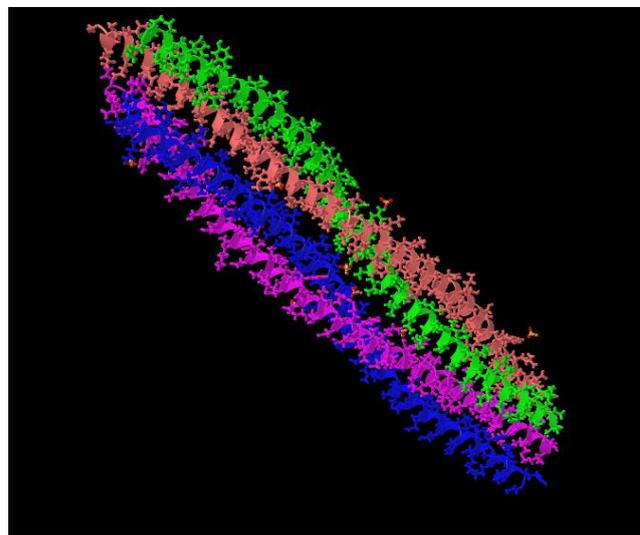
Tem-se como frango de corte a produção onde o produto final obtido será a carne de frango. A carne por sua vez corresponde aproximadamente a apenas 30% do peso bruto do frango de corte (MATOS *et al*, 2021). Esse percentual restante corresponde a: penas, pele, vísceras, pés, pescoço e cabeça (LIMA *et al*, 2021). Por não ter valor comercial direto, esse montante alheio à carne de frango é considerado como subproduto ou resíduo sólido agroindustrial, sendo portanto, tratado como material de descarte após a etapa de processamento. Algumas indústrias com maior aporte financeiro conseguem utilizar esses resíduos como formulações de compostos protéicos e óleos, entretanto, essa realidade não se aplica a comércios menores como abatedouros em fazendas e granjeiros (GARAY *et al*, 2022; BERMEJO & TEMELLI *et al*, 2021). Esses locais não contam com tecnologias sofisticadas voltadas à biotransformação e portanto esses resíduos são muitas vezes descartados em aterros ou no próprio ambiente, causando impactos de curto a longo prazo (OBIRI *et al*, 2020).

### **Composição bioquímica dos subprodutos provenientes da avicultura**

Considerado o maior componente do peso bruto total de frangos de corte, o material residual restante da etapa de processamento possui características bioquímicas bastante interessantes do ponto de vista biotecnológico (ORRICO *et al*, 2020). Galinhas são animais vertebrados pertencentes à classe das aves, cuja ordem é a dos *Galliformes*. Caracterizados pela presença de penas, esses animais são homeotérmicos e onívoros (GOU *et al*, 2021). A pele é um dos principais componentes teciduais dessas aves. Sua composição conta com proteínas estruturais, tais como o colágeno, que auxiliam na proteção, regeneração e retenção de líquido tecidual (NORIEGA *et al*, 2022). A coloração da pele de galinha pode variar entre branco e amarelo devido a presença de Xantofilas, compostos carotenóides que promovem a pigmentação (GOPI *et al*, 2020). As penas são ferramentas para retenção de líquido, mas também auxiliam na manutenção térmica e em alguns casos, na locomoção (OLUBA *et al*, 2021). Esses apêndices também possuem pigmentos naturais assim como a pele, o que fornece sua coloração específica, entretanto, sua maior característica é a estruturação por meio de queratina. (ZHANG *et al*, 2022). A queratina é uma macromolécula biológica pertencente ao grupo das escleroproteínas, ou proteínas fibrosas como mais comumente chamadas (FAGBEMI *et al*, 2020). Esta proteína é uma das mais abundantes em organismos vivos e têm como principal característica domínios intermediários de aminoácidos como a glicina, cisteína,

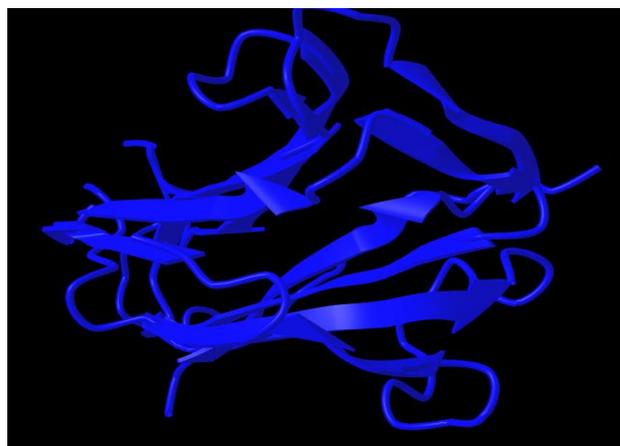
tirosina e valina interagindo entre si por meio de atrações químicas de íons, como as pontes de hidrogênio e interações dissulfeto (YE *et al*, 2022). A queratina pode ser dividida em dois grupos quanto a sua estruturação com base nas interações moleculares. As alfa-queratinas tem suas cadeias de aminoácido retorcendo-se entre elas, garantindo um caráter helicoidal enquanto nas beta-queratinas, essas cadeias unem-se em paralelo como folhas dobradas, como bem denota as imagens 1a e 1b (CHOI *et al*, 2021; PARRY *et al*, 2019).

**Imagem 1a:** Estrutura química da alfa-queratina de tipo II, assim como seus domínios intermediários e interações iônicas.



**Fonte:** National Center for Biotechnology Information, 2019

**Imagem 1b:** Estrutura química da beta-queratina de tipo IV, assim como seus domínios intermediários e interações iônicas.



**Fonte:** National Center for Biotechnology Information, 2019

Além da pele e das penas, um outro subproduto com grandes propriedades biológicas são as vísceras. O trato gastrointestinal de qualquer indivíduo é rico sobretudo em enzimas digestivas (ARBITA *et al*, 2022). Enzimas são proteínas moduladoras que catabolizam diversas reações químicas presentes no organismo, otimizando o processo de reação ou em alguns casos, servindo como agente específico de um processo maior (ARIAEENEJAD *et al*, 2022). As enzimas presentes no trato gastrointestinal são moléculas responsáveis por catabolizar reações de clivagem em macromoléculas como carboidratos, lipídios e proteínas, facilitando o seu metabolismo (TALHI *et al*, 2022; RYU *et al*, 2022; MARDONES *et al*, 2022). A interação dessas enzimas com as suas respectivas macromoléculas de interesse atraem diversos pesquisadores que por meio de processos biotecnológicos buscam destinar estes recursos para um ramo de áreas industriais.

## **METODOLOGIA**

Esta mini-revisão foi desenvolvida a partir de levantamento bibliográfico, fazendo uso de plataformas eletrônicas científicas, como: ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com/>), Elsevier (<https://www.elsevier.com/>), TandFonline (<https://www.tandfonline.com/>), Scopus (<https://www.scopus.com/>), Google Scholar (<https://scholar.google.com.br/>), Springer (<https://www.springer.com/>), PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) e Wiley Online Library (<https://onlinelibrary.wiley.com/>), utilizando como descritores as palavras-chave: Subprodutos da avicultura, Resíduos de aves de corte e Queratina. Para sintetizar o assunto de forma mais atual, foi estabelecido um intervalo de 5 anos para o requisito de pesquisas a serem utilizadas. Realizou-se a leitura dos títulos e resumos para seleção dos artigos, livros, capítulos de livro, notas científicas, entre outros, excluindo os que não estavam dentro do escopo da proposta ou mesmo que não detinham informações relevantes para nossa investigação. Foram incluídas publicações em inglês e português que atenderam aos critérios de busca.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## Utilização dos subprodutos da avicultura na formulação de óleo

O alto teor de triglicerídeos e outros lipídios presentes em resíduos de aves garantem a este a aplicação como material na produção de óleos. ODETOYE *et al* (2021) em uma de suas pesquisas mais recentes conseguiu converter cascas de ovos e gorduras de frango de corte em biodiesel a partir de um processo denominado transesterificação. Esse processo constituiu em esterificar a gordura de frango utilizando álcool e ácido sulfúrico e em seguida transesterificar utilizando o óxido de cálcio presente nas cascas de ovos. O biodiesel resultante atendeu às demandas do Padrão americano de amostras testes com uma densidade de 0.8971g/mL e uma viscosidade de 5.62 mPa. A cromatografia do material transesterificado mostrou a presença de ácido oleico, palmítico e linoléico, nas proporções 41.5%, 23.81% e 15.75% respectivamente. outras pesquisas referente a conversão de resíduos de aves em biodiesel apresentaram resultados diversos mas dentro da política padrão de amostras testes como esquematizado na tabela 2.

**Tabela 2:** Características físico-químicas do biodiesel oriundo dos resíduos avícolas

RESÍDUO	DENSIDADE (g/mL)	VISCOSIDADE (mPa)	AUTORES
Gordura	0.86	4.62	RAHMAN <i>et al</i> (2021)
Gordura	0.92	4.9	KIRUBAKARAM; SELVAN (2021)
Pele	0.82	3.3	BARUA <i>et al</i> (2020)
Gordura	0.86	2.74	SOEGIANTORO <i>et al</i> (2019)
Gordura	0.88	4.1	KIRUBAKARAM; SELVAN (2018)

**Fonte:** Adaptado de estudos científicos

O biodiesel é um combustível alternativo à gasolina comum que gera mais gases poluentes ao final do processo de combustão. Entretanto, o custo de produção do biodiesel é mais caro por demandar de processos mais tecnológicos, assim, a utilização de uma matéria prima mais barata por ser considerada subproduto como nos casos dos resíduos avícolas ajuda na redução do custo final de produção.

## Extração e caracterização de queratina a partir de resíduos avícolas

A partir de resíduos orgânicos também é possível extrair biomoléculas de grande interesse industrial e nesse quesito, pesquisas recentes conseguiram estabelecer os subprodutos avícolas como fontes promissoras de algumas dessas biomoléculas. O método de extração pode variar visando reduções de custo, coproduto final de maior qualidade estrutural e utilização de compostos não tóxicos para extração. KHUMALO *et al* (2020) conseguiram obter queratina a partir de penas de frango utilizando agentes redutores no processo de extração. O processo de extração foi significativamente efetivo e resultou na obtenção da queratina utilizando os agentes redutores: Bissulfito de sódio e Dodecil sulfato de sódio. Uma avaliação dos fatores independentes presentes no processo biotecnológico mostrou que os fatores preponderantes no processo de extração foram a temperatura da reação, a concentração da reação e a concentração do Bissulfito de sódio. A concentração de Dodecil sulfato de sódio não foi tão relevante quanto as demais acima citadas e portanto foi desconsiderada do processo. A ação do bissulfito de sódio ainda interferiu no tamanho dos compostos extraídos. A queratina extraída foi caracterizada quando as bandas espectrais pelo processo de FTIR (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier) e quanto ao peso molecular usando o SDS-PAGE. A análise FTIR apresentou as bandas Amida A, B, I, II, III e IV com picos em  $2919.88\text{ mc}^{-1}$ ,  $1633.74\text{ mc}^{-1}$ ,  $1532.24\text{ mc}^{-1}$ ,  $1212.05\text{ mc}^{-1}$ ,  $623\text{ mc}^{-1}$  e  $1000\text{ mc}^{-1}$ , respectivamente. A análise SDS-PAGE constatou a queratina extraída como de baixo a alto peso molecular pela presença de monômeros com pesos variados, o que pode ser atribuído às condições de extração. Assim então, a caracterização do material extraído mostrou a presença de queratina com características específicas presentes na literatura descrita e portanto têm o mesmo potencial da queratina convencional. OLUBA *et al* (2021) e POURJAVAHARI *et al* (2019) também conseguiram obter queratina a partir de resíduos avícolas utilizando diferentes métodos. OLUBA *et al* (2021) conseguiu obter queratina utilizando hidróxido de sódio como principal reagente, enquanto POURJAVAHARI *et al* (2019) utilizou o sulfeto de sódio e L-Cisteína. Em ambos os estudos houveram a caracterização do material extraído, encontrando similaridades com outros tipos de queratinas descritas na literatura, entretanto, por usar diferentes partes de penas de frango, POURJAVAHARI *et al* (2019) conseguiu extrair queratinas de dois grupos diferentes, queratinas de estrutura alfa-hélice e de estrutura beta-pregueadas, todas de forte interesse comercial. A tabela 3 apresenta outras obtenções de queratina residual assim como seus respectivos métodos de extração.

**Tabela 3:** Forma de obtenção de queratina residual a partir de resíduos de penas

MÉTODO	AUTOR
NaOH/NaHSO <sub>3</sub>	FAGBEMI <i>et al</i> (2020)
2-Mercaptoetanol/Cisteína	MI <i>et al</i> (2020)
2-Mercaptoetanol/Sulfito de sódio	ALAHYARIBEIK & ULLAH (2020)
Sulfeto de sódio	RAMAKRISHNAN <i>et al</i> (2018)
Bissulfito de sódio/Uréia	MUKHERJEE <i>et al</i> (2020)
Hidróxido de sódio	ALASHWAL <i>et al</i> (2020)

**Fonte:** Adaptado a partir de estudos científicos

### Obtenção de diferentes tipos de compostos a partir de resíduos avícolas

Além de proteínas estruturais como a queratina, os resíduos avícolas podem fornecer outros tipos de compostos biológicos de interesse comercial. BEE *et al* (2019) e BARUA *et al* (2018) em seus estudos com resíduos de frango de corte conseguiram obter Hidroxiapatita a partir de restos de ossos. Eles conseguiram obter o material final após submeter os resíduos de ossos ao processo de calcinação sob alta temperatura. BARUA *et al* (2018) em seu estudo caracterizou a Hidroxiapatita quanto as suas bandas espectrais por meio do FTIR enquanto BEE *et al* avaliou os efeitos da temperatura nas propriedades biológica da Hidroxidade, constatando que o material residual sofria uma otimização no processo de calcinação a partir de 900°C. ALAHYARIBEIK *et al* (2020) utilizou penas de frango como fonte de carbono e nitrogênio para o crescimento de 4 espécies de bactérias (*Rhodococcus erythropolis*, *Geobacillus stearothermophilus*, *Bacillus pumilis*, *Bacillus licheniformis*). Com essa fonte, ALAHYARIBEIK *et al* (2020) constatou um grande crescimento e uma boa atividade proteolítica por parte de enzimas queratinolíticas (50.41, 9.91, 35.41, 33.46 U/mL). AKRAM; ZHANG (2020) conseguiram extrair e caracterizar colágeno do tipo II a partir da cartilagem

severa de frangos pelo método pepsina-solúvel utilizando pepsina comercial e processos de ultrasonicação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em diferentes linhas de pesquisa os resíduos avícolas se mostraram fontes promissoras de biomoléculas e outros compostos bioativos, com bons rendimentos e a partir de processos pouco custosos. Com base nas constatações evidenciadas, é correto afirmar que o fomento de aplicações para os co-produtos provenientes de resíduos avícolas é benéfico à economia e à ciência agroindustrial. Os processos biotecnológicos responsáveis pela biotransformação dos resíduos são de fácil replicação e demandam compostos acessíveis, pouco danosos ao ambiente e de custo acessível à comunidade acadêmica.

Outro fator importante é a necessidade de soluções alternativas ao descarte de resíduos, que atualmente é um importante vetor de poluição e outros danos ambientais como eutrofização ecossistêmica, sobreposição de espécies exóticas por meio do fomento à produção primária em excesso, deposição de matéria orgânica morta e outros mais de médio a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

ABPA. Relatório anual de 2021. 2021 Disponível em: <<https://www.abpa-br.org>>.

AKRAM, A. N.; ZHANG, C.; Extraction of collagen-II with pepsin and ultrasound treatment from chicken sternal cartilage; physicochemical and functional properties. **Ultrasonics Sonochemistry**. v.64, 2020.

ARBITA, A. A.; PAUL, N. A.; COX, J.; ZHAO, J.; Amino acid sequence of two new milk-clotting proteases from the macroalga *Gracilaria edulis*. **International Journal of Biological Macromolecules**. v.211 9499-505, 2022.

ARIAEENEJAD, S.; KAVOUSI, K.; MAMAGHANI, A. S. A.; GHASEMITABESH, R.; SLALEKDEH G. H.; Simultaneous hydrolysis of various protein-rich industrial wastes by a naturally evolved protease from tannery wastewater microbiota. **Science of Total Environment**. v.815, 2022.

ALAHYARIBEIK, S.; SHARIFI, S. D.; TABANDEH, F.; HONARBAKHS, S.; GHAZANFARI, S.; Bioconversion of chicken feather wastes by keratinolytic bacteria. **Process Safety and Environmental Protection**. v.135 p171-178, 2020.

ALAHYARIBEIK, S.; ULLAH, A.; Methods of keratin extraction from poultry feathers and

their effects on antioxidant activity of extracted keratin. **International Journal of Biological Macromolecules**. v.148 p449-456, 2020.

ALASHWAL, B. Y.; BALA, M. S.; GUPTA, A.; SHARMA, S.; MISHRA, P.; Improved properties of keratin-based bioplastic film blended with microcrystalline cellulose: A comparative analysis. **Journal of King Saud University - Science**. v.32 p853-857, 2020.

BARUA, E.; DEOGHARE, A. B.; DEB, P.; LALA, S. D.; CHATTERJEE, S.; Effect of Pre-treatment and Calcination Process on Micro-Structural and Physico-Chemical Properties of Hydroxyapatite derived from Chicken Bone Bio-waste. **Materialtoday: Proceeding**. v.15 p188-198, 2019.

BARUA, P.; HOSSAIN, N.; CHOWDHURRY, T.; CHOWDHURRY, H.; Commercial diesel application scenario and potential of alternative biodiesel from waste chicken skin in Bangladesh. **Environmental Technology & Innovation**. v.20, 2020.

BEE, S. L.; MARIATTI, M.; AHMAD, N.; YAHAYA, B. H.; HAMID, Z. A. A.; Effect of the calcination temperature on the properties of natural hydroxyapatite derived from chicken bone wastes. **Materialstoday: Proceedings**. v.16 p1876-1885, 2019.

BERMEJO, D. V.; TEMELLI, F.; Extraction of oil rich in coenzyme Q10 from chicken by-products using supercritical CO<sub>2</sub>. **The Journal of Supercritical Fluids**. v.174, 2021.

CHOI, H.; MUN, S.; JOO, E. J.; LEE, K. Y.; KANG, H. G.; LEE, J.; Serum proteomic analysis of major depressive disorder patients and their remission status: Novel biomarker set of zinc-alpha-2-glycoprotein and keratin type II cytoskeletal 1. **International Journal of Biological Macromolecules**. v.183 p2001-2008, 2021.

CONAB. Portal De Informações Agropecuária. 2020 Disponível em: <<https://www.conab.gov.br>>.

FAGBEMI, O. D.; SITHOLE, B.; TESFAYE, T.; Optimization of keratin protein extraction from waste chicken feathers using hybrid pre-treatment techniques. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**. v.17, 2020.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. 2021 Disponível em: <<https://www.fao.org>>.

GARAY, M. G. R.; GONZÁLEZ, E. M.; GONZÁLEZ, C. H.; DOMÍNGUEZ, A. S.; VERDÍN, E. M. B.; MAGAÑA, M. L. G.; Bioactivity of peptides obtained from poultry by-products: A review. **Food Chemistry: X**. v.13, 2022.

GOU, Z.; ABOUELEZZ, K. F. M.; FAN, Q.; LI, L.; LIN, X.; WANG, Y.; CUI, X.; YE, J.; MASOUD, M. A.; JIANG, S.; MA, X.; Physiological effects of transport duration on stress biomarkers and meat quality of medium-growing Yellow broiler chickens. **Animal**. v.15, 2021.

GOPI, M.; DUTTA, N.; PATTANAIK, A. K.; JADHAV, S. E.; MADHUPRIYA, V.; TYAGI, P. K.; MOHAN, J.; Effect of polyphenol extract on performance, serum biochemistry, skin

pigmentation and carcass characteristics in broiler chickens fed with different cereal sources under hot-humid conditions. **Saudi Journal of Biological Sciences**. v.27 p2719-2726, 2020.

KIRUBAKARAM, M.; SELVAN, V. A. N.; A comprehensive review of low cost biodiesel production from waste chicken fat. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.82 p390-401, 2018.

KIRUBAKARAM, M.; SELVAN, V. A. M.; Experimental investigation on the effects of micro eggshell and nano-eggshell catalysts on biodiesel optimization from waste chicken fat. **Bioresource Technology Reports**. v.14, 2021.

KHUMALO, M.; SITHOLE, B.; TESFAYE, T.; Valorisation of waste chicken feathers: Optimisation of keratin extraction from waste chicken feathers by sodium bisulphite, sodium dodecyl sulphate and urea. **Journal of Environmental Management**. v.262, 2020.

LIMA, J. L.; ASSIS, B. B. T.; OLEGARIO, L. S.; GALVÃO, M. S.; SOARES, A. J.; ARCANJO, N. M. O.; GONZÁLEZ-MOHINO, A.; BEZERRA, T. K. A.; MADRUGA, M. S.; Effect of adding byproducts of chicken slaughter on the quality of sausage over storage. **Poultry Science**. v.100, 2021.

MATOS, A. F.; SILVA, N. F. B.; COSTA, B. A. M.; PORTO, A. L. F.; OLIVEIRA, V. M.; Agroindústria integrada à avicultura: uma mini-revisão focada na sustentabilidade. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 2021, Recife. Inovação, Gestão e Sustentabilidade na Agroindústria. RECIFE: Instituto internacional despertando vocações, 2021. v1.

MARDONES, O.; SALAZAR, R. O.; LABBÉ, B. S.; MIGUEZ, J. M.; CHACOFF, L. V.; MUÑOZ, J. L. P.; Intestinal variation of serotonin, melatonin, and digestive enzymes activities along food passage time through GIT in *Salmo salar* fed with supplemented diets with tryptophan and melatonin. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**. v.266, 2022.

MI, X.; XU, H.; MU, B.; CHANG, Y.; YANG, Y.; Transferring feather wastes to ductile keratin filaments towards a sustainable poultry industry. **Waste Management**. v.115 p65-73, 2020.

MUKHERJEE, A.; KABUTARE, Y. H.; GHOSH, P.; Dual crosslinked keratin-alginate fibers formed via ionic complexation of amide networks with improved toughness for assembling into braids. **Polymer Testing**. v.81, 2020.

NCBI. Crystal structure of the heterocomplex between human keratin 1 coil 1B containing S233L mutation and wild-type human keratin 10 coil 1B. 2021.

NCBI. Crystal Structure Of Keratin 4 Binding Domain Of Surface Adhesin Srr-1 Of *S.agalactiae*. 2021.

NORIEGA, J. A. G.; MELENDRES, M. V.; MENDONZA, A. H.; GARCÍA, H. A.; MANZANO, M. A. M.; RAMOS, E. A. P.; Hydrolysates and peptide fractions from pork and chicken skin collagen as pancreatic lipase inhibitors. **Food Chemistry: X**. v.13, 2022.

OBIRI, D. A.; MATTHEWS, L.; TAHERGORABI, R.; Chicken processing by-product: A source of protein for fat uptake reduction in deep-fried chicken. **Food Hydrocolloids**. v.101, 2020.

ODETOYE, T. E.; AGU, J. O.; AJALA, E. O.; Biodiesel production from poultry wastes: Waste chicken fat and eggshell. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v.9, 2021.

OLUBA, O. M.; OSAYAME, E.; SHOYOMBO, A. O.; Production and characterization of keratin-starch bio-composite film from chicken feather waste and turmeric starch. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. v.33, 2021.

ORRICO, A. C. A.; SCHWINGEL, A. W.; COSTA, M. S. S. M.; JUNIOR, M. A. P. O.; BORQUIS, R. R. A.; ALVES, G. P.; OLIVEIRA, J. D.; LEITE, B. K. V.; GARCIA, R. G.; VILELA, R. N. S.; Characterization and valuing of hatchery waste from the broiler chicken productive chain. **Waste Management**. v.105 p520-530, 2020.

PARRY, D. A. D.; FRASER, R. D. B.; ALIBARDI, L.; RUTHERFORD, K. M.; GEMMELL, N.; Molecular structure of sauropsid  $\beta$ -keratins from tuatara (*Sphenodon punctatus*). **Journal of Structural Biology**. v.207 p21-28, 2019.

POURJAVAHERI, F.; POUR, S. O.; JONES, O. A. H.; SMOOKER, P. M.; BRKLJACA, R.; SHERKAT, F.; BLANCH, E. W.; GUPTA, A.; SHANKS, R. A.; Extraction of keratin from waste chicken feathers using sodium sulfide and l-cysteine. *Process Biochemistry*. v.82 p205-2014, 2019.

RAHMAM, W. U.; YAHYA, S. M.; KHAN, Z. A.; KHAN, N. A.; HALDER, G.; DHAWANE, S. H.; Valorization of waste chicken egg shells towards synthesis of heterogeneous catalyst for biodiesel production: Optimization and statistical analysis. **Environmental Technology & Innovation**. v.22, 2021.

RAMAKRISHNAN, N.; SHARMA, S.; GUPTA, A.; ALASHWAL, B. Y.; Keratin based bioplastic film from chicken feathers and its characterization. **International Journal of Biological Macromolecules**. v.111 p352-358, 2018.

RYU, S. Y.; KIM, Y. H.; KIM, J. M.; KIM, B. Y.; LEE, K. S.; JIN, B. R.; Molecular cloning and characterization of a lipase from the honeybee *Apis mellifera*. **Journal of Asia-Pacific Entomology**. v.25, 2022.

SOEGANTORO, G. H.; CHANG, J.; RHAMAWATI, P.; CHRISTIANI, M. F.; MUFRODI, Z.; Home-Made Eco Green Biodiesel From Chicken Fat (CIAT) and Waste Cooking Oil (PAIL). **Energy Procedia**. v.158 p1105-1109, 2019.

TALHI, I.; DEHIMAT, L.; JAOUANI, A.; CHERFIA, R.; BERKANI, M.; ALMOMANI, F.; VASSEGHIAN, Y.; CHAOUICHE, N. K.; Optimization of thermostable proteases production under agro-wastes solid-state fermentation by a new thermophilic *Mycothermus thermophilus* isolated from a hydrothermal spring Hammam Debagh, Algeria. *Chemosphere*. v.286, 2022.

YE, W.; QIN, M.; QIU, R.; LI, J.; Keratin-based wound dressings: From waste to wealth. **International Journal of Macromolecules**. v.211 p183-197, 2022.

ZHANG, M.; RAMYA, G.; BRINDHADEVI, K.; ALSEHLI, M.; ELFASAKHANY, A.; XIA, C.; CHI, N. T. L.; PUGAZHENDHI, A.; Microwave assisted biodiesel production from chicken feather meal oil using Bio-Nano Calcium oxide derived from chicken egg shell. **Environmental Research**. v.205, 2022.