

## Estudo sobre a hidrólise da $\alpha$ -queratina presente no pelo de cachorro

Nos últimos anos tem sido observado um aumento elevado no número de cães de estimação e esse fato tem aumentando as atividades dos pet shops, como a tosa dos animais, contudo, este procedimento gera grande quantidade de pelos, classificados como resíduos queratinosos, com elevado potencial poluente. Pesquisadores têm investigado várias formas de tratamento e uso dos resíduos queratinosos, como penas de frango, lã e pelo bovino, contudo, pesquisas sobre a utilização de pelos de cachorros são escassas na literatura e, além disso, pautados na preocupação ambiental, alguns pesquisadores tem proposto o emprego de química verde no processo de hidrólise da  $\alpha$ -queratina usando papaína. Assim, o objetivo deste estudo foi estabelecer a melhor condição de hidrólise da  $\alpha$ -queratina presente no pelo de cachorro e caracterizar os níveis de nitrogênio (N) e enxofre (S) no material hidrolisado, empregando extrato de mamão verde como fonte de papaína. Os ensaios foram realizados no Laboratório Interdisciplinar de Análise Químicas e Biológicas/Unicesumar e foram utilizados 4 tipos de amostras de pelos de cães adultos: liso, enrolado, eriçado e pool de pelos, nas cores: preto, marrom e branco e pool de cores, submetidos à hidrólise com diferentes níveis de ureia, sulfato de sódio e fontes de papaína (extrato de mamão verde ou comercial), e tempos de hidrólise. Após a definição do melhor protocolo de hidrólise, o material hidrolisado foi analisado quanto às concentrações N e S. Os resultados mostraram quem o uso do extrato de mamão verde como fonte de papaína, independentemente do nível empregado e do tempo, resultou em baixo nível de hidrólise dos pelos. Contudo, foi possível hidrolisar os pelos, independentemente do tipo de pelo e/ou sua coloração, empregando-se papaína comercial. O material hidrolisado apresentou elevados níveis de N (15,15%), contudo, os níveis de S foram baixos (1,55%). Sugere-se que mais pesquisas sejam conduzidas a fim de se aprimorar, cada vez mais, o protocolo e testar o uso do material hidrolisado, sobretudo como biofertilizante, e assim, contribuir com a gestão dos resíduos queratinosos da cadeia pet.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos; Papaína; Resíduos Queratinosos; Tecnologias limpas.

## Study on the hydrolysis of $\alpha$ -keratin in dog fur

Currently, there is a high increase in the number of pet dogs and this fact has increased the activities of pet shops, such as the grooming of animals, however, this procedure generates a large amount of hair, classified as keratinous waste, with high polluting potential. Researchers have investigated various forms of treatment and use of keratinous residues, such as chicken feathers, wool and bovine hair, however, research on the use of dog hair is scarce in the literature and, in addition, based on environmental concerns, some researchers have proposed the use of green chemistry in the process of hydrolysis of  $\alpha$ -keratin using papain. Thus, the objective of this study was to establish the best condition for hydrolysis of  $\alpha$ -keratin present in dog hair and to characterize the levels of nitrogen (N) and sulfur (S) in the hydrolyzed material, using green papaya extract as a papain source. The tests were carried out at the Interdisciplinary Laboratory of Chemical and Biological Analysis/Unicesumar and 4 types of hair samples from adult dogs were used: smooth, curled, bristly and pooled hair, in colors: black, brown and white and color pool, subjected to hydrolysis with different levels of urea, sodium sulfite and papain sources (green or commercial papaya extract), and hydrolysis times. After defining the best hydrolysis protocol, the hydrolyzed material was analyzed for N and S concentrations. The results showed that the use of green papaya extract as a papain source, regardless of the level used and the time, resulted in a low level of hair hydrolysis. However, it was possible to hydrolyze the hairs, regardless of the hair type and/or color, using commercial papain. The hydrolyzed material showed high levels of N (15.15%), however, the levels of S were low (1.55%). It is suggested that more research be conducted in order to improve, more and more, the protocol and test the use of hydrolyzed material, especially as a biofertilizer, and thus, contribute to the management of keratinous waste from the pet chain.

**Keywords:** Clean Technologies; Keratinous Residues; Papain; Waste Management.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **06/02/2022**

Approved: **27/02/2022**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

**Douglas Fabiano Costa de Lima** 

Universidade Cesumar, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/9607355195749525>

<http://orcid.org/0000-0003-0842-103X>

[doug20pr@gmail.com](mailto:doug20pr@gmail.com)

**Márcia Aparecida Andreazzi** 

Universidade Cesumar, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/0356767742666814>

<http://orcid.org/0000-0002-4663-3837>

[marcia.andreazzi@unicesumar.edu.br](mailto:marcia.andreazzi@unicesumar.edu.br)

**José Eduardo Gonçalves** 

Universidade Cesumar, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/9921543756032859>

<http://orcid.org/0000-0002-2505-0536>

[jose.goncalves@unicesumar.edu.br](mailto:jose.goncalves@unicesumar.edu.br)

**José Roberto Bello** 

Universidade Cesumar, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7867191059659687>

<http://orcid.org/0000-0002-5823-1288>

[irbellobello@gmail.com](mailto:irbellobello@gmail.com)

**Laura Paulino Mardigan** 

Universidade Cesumar, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5208046092256685>

<http://orcid.org/0000-0002-4544-7362>

[laura.mardigan@unicesumar.edu.br](mailto:laura.mardigan@unicesumar.edu.br)

**Maria de Los Angeles Perez Lizama** 

Universidade Cesumar, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/7827450324471754>

<http://orcid.org/0000-0002-9714-9383>

[maria.lizama@unicesumar.edu.br](mailto:maria.lizama@unicesumar.edu.br)

**Anny Izumi Toma**

Universidade Cesumar, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/2661007808786166>

[izumianny@gmail.com](mailto:izumianny@gmail.com)

**Hellen Valéria de Souza**

Universidade Cesumar, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/3954325650961055>

[hellenvaleria8@hotmail.com](mailto:hellenvaleria8@hotmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0015

### Referencing this:

LIMA, D. F. C.; ANDREAZZI, M. A.; GONÇALVES, J. E.; BELLO, J. R.; MARDIGAN, L. P.; LIZAMA, M. L. A. P.; TOMA, A. I.; SOUZA, H. V..  
Estudo sobre a hidrólise da  $\alpha$ -queratina presente no pelo de cachorro.  
**Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.2, p.167-176, 2022. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0015>

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos ocorreu um elevado crescimento mundial na quantidade de animais de estimação (MAZON et al., 2017), por isso, investimentos em setores de cuidados, nutrição, tratamento médico e aumento da longevidade de cães e gatos têm expandido em diversos países, inclusive no Brasil (MAZON et al., 2017). Como consequência, a quantidade de lojas de comércio e prestação de serviços para animais de estimação, denominadas pet shops, tem aumentado (PEINADO et al., 2012; MAPA, 2019).

Porém, os vários serviços oferecidos por essas empresas podem gerar um grande volume de resíduos, incluindo os pelos oriundos da tosa, tanto a geral quanto a higiênica. Os pelos compõem o grupo de resíduos denominados resíduos queratinosos, e constituem uma proporção considerável dos resíduos sólidos produzidos globalmente, e quando descartados de forma incorreta, impactam diretamente o ambiente (ONIFADE et al., 1998).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010) aponta que é responsabilidade da empresa realizar o descarte e a gestão correta dos resíduos produzidos e, por isso, empresários e pesquisadores buscam diferentes formas de gestão e destinação dos resíduos, porém, estudos sobre gestão e destinação de resíduos queratinosos como os pelos de cachorros, ainda são escassos na literatura.

Alguns trabalhos têm sugerido diferentes formas de destinação e uso dos resíduos queratinosos a fim de reduzir seus impactos ambientais, como a biotransformação (NUMPAQUE et al., 2016), compostagem (PULIT et al., 2019), uso na fabricação de rações (MORITZ et al., 2001; PANDEY et al., 2019) ou como biofertilizante em diferentes culturas (SUZUKI et al., 2006; GURAV et al., 2013; SHAH et al., 2018; MARIANO et al., 2021), mas, alguns estudos têm demonstrado a necessidade de tratamento prévio, como a hidrólise desse resíduo, a fim de se alcançar melhores resultados com seu uso (MARIANO et al., 2021).

De fato, esses resíduos podem apresentar várias aplicações biotecnológicas, químicas e farmacêuticas, contudo, em comparação com outros polímeros naturais, sua extração e hidrólise é um processo complexo em função das ligações dissulfeto e das ligações peptídicas (HASSAN et al., 2020; MENEZES et al., 2021). De fato, Onifade et al. (1998) apontaram que a resistência à degradação dos pelos é consequência do empacotamento rígido das cadeias de  $\alpha$ -queratina. Assim, algumas opções são submeter os resíduos queratinosos a tratamento físico, químico, biológico (HASSAN et al., 2020; MENEZES et al., 2021), tratamento microbiano (MENEZES et al., 2021) ou hidrólise (MORITZ et al., 2001; MARTINS et al., 2014).

Mas, pautados na preocupação ambiental e fomentando o uso de química verde e de tecnologias limpas (LENARDÃO et al., 2003), pesquisadores buscaram hidrolisar a  $\alpha$ -queratina usando extrato de mamão (*Carica papaya* L), como fonte de papaína, uma protease sulfidril (SANTOS et al., 2017).

A papaína tem sido utilizada em processos de hidrólise em diferentes estudos. Damrongsakkul et al. (2008) avaliaram a hidrólise de couro *in natura* empregando papaína. Dhakal et al. (2018), promoveram a extração e a hidrólise de colágeno contido em pés de frango com papaína e Singh et al. (2019) utilizaram papaína para realizar a hidrólise de farelo de arroz.

E com relação aos resíduos queratinosos, Arruda et al. (2008) extraíram e fragmentaram a queratina presente na pena de frango, empregando combinações de diferentes concentrações de sulfito de sódio, ureia e papaína e observaram uma hidrólise adequada e Surek et al. (2018) avaliaram a hidrólise de penas de frango, empregando extrato de mamão verde, sulfito de sódio e ureia, e observaram que a degradação das penas foi efetiva, mostrando que a técnica empregada apresentou elevado potencial para aplicação a campo. Realmente, o material hidrolisado oriundo dos resíduos queratinosos pode apresentar várias aplicações, sendo um recurso atraente, pois contém carbono, enxofre e nitrogênio que podem ser convertidos em outros produtos (BHARI et al., 2021).

Considerando a grande geração de pelos de cães nos pet shop, a demanda por uma gestão e destinação ambientalmente correta para esses resíduos, a necessidade de hidrólise desse resíduo a fim de melhorar seu uso como biomaterial para diversas aplicações e a escassez de pesquisas sobre a gestão, destinação e hidrólise desse resíduo, o objetivo deste estudo foi estabelecer a melhor condição de hidrólise da  $\alpha$ -queratina presente no pelo de cachorro e caracterizar os níveis de nitrogênio (N) e enxofre (S) no material hidrolisado, pautado em química verde, empregando papaína.

## METODOLOGIA

Os ensaios de hidrólise enzimática dos pelos de cachorro foram realizados no Laboratório Interdisciplinar de Análise Químicas e Biológicas (LIABQ), da Universidade Cesumar/ Unicesumar, Maringá/ PR, no período de 2021 e início de 2022.

As amostras de pelo foram coletadas em pet shops da cidade de Maringá/ PR, e foram separadas quanto ao tipo e coloração do pelo e, lavadas em água corrente 3 vezes e após, foram secadas em estufa a 40°C durante 72 horas, revolvendo a cada 4 a 6 horas.

Após a secagem, amostras de 1 grama de pelo foram transferidas para erlenmeyers de 125 mL (em triplicata), devidamente identificados. Em seguida, foram adicionados 60 mL de água destilada, sulfito de sódio (Acs Científica®), ureia (Acs Científica®) e a papaína comercial (Merck®) ou o extrato de mamão, que foi obtido triturando-se em liquidificador a porção mais externa e a casca do mamão verde (*Carica papaya*).

O protocolo experimental foi adaptado de Surek et al. (2018). Foram utilizadas diferentes combinações de composição, empregando-se 4 tipos de amostras de tipos de pelos de cães adultos, 4 colorações de pelos diferentes, 12 níveis de ureia, 8 níveis de sulfito de sódio, 2 fontes de papaína (extrato ou comercial) sendo 3 níveis de extrato de mamão verde ou 7 níveis de papaína comercial, e 3 tempos de hidrólise (Tabela 1). Na primeira etapa do experimento, foram usados os maiores níveis de reagentes, os quais, de acordo com os resultados obtidos, foram sendo reduzidos e as combinações sendo adequadas (Anexo 1).

Os erlenmeyers, em triplicata, foram colocados em incubadora shacker com movimento recíproco com 100 rotações por minuto (RPM) e temperatura de 40°C durante. Após os tempos definidos, foram retirados da incubadora e a matéria sólida foi peneirada em papel de filtro e o resíduo sólido foi seco em estufa a 65°C durante 72 horas. Após a secagem, o material foi avaliado, visualmente, quanto ao grau de

hidrólise: hidrolisado, não hidrolisado ou parcialmente hidrolisado.

**Tabela 1:** Tipos e coloração de pelo de cachorro, fonte de papaína (tipo e níveis), níveis de sulfito de sódio e ureia e tempo de hidrólise empregados nos protocolos experimentais.

Tipos de pelo	Coloração dos pelos	Fonte de papaína		Sulfito de sódio (g/L)	Ureia (g/L)	Tempo de hidrólise (horas)
		Extrato de mamão verde (g/L)	Comercial (g/L)			
Liso	Preto	15	2,0	4,3	33	8
Enrolado	Marrom	20	2,6	4,6	35	16
Eriçado	Branco	30	2,8	4,8	36	24
Pool de pelos	Pool de cores		3,0	5,1	38	
			3,1	5,5	40	
			3,5	6,5	41	
			4,1	7,5	43	
				9,5	44	
					50	
					67	
			70			
			94			

De posse do melhor resultado de condição de hidrólise, foi hidrolisado um volume maior de pelos e o material hidrolisado, assim como amostras de pelo *in natura*, foram analisadas quanto às concentrações de nitrogênio (N).

A quantificação de N foi realizada empregando-se o processo de digestão Kjeldahl, adaptado de Teixeira et al. (2017). Foram analisadas 4 amostras, sendo 2 do material hidrolisado e 2 de pelo *in natura* e, ao final, as amostras destiladas foram tituladas através da adição de hidróxido de sódio (NaOH 0,1 mol) e o volume utilizado na titulação foi utilizado para realização da determinação do nitrogênio presente na amostra.

A determinação de enxofre (S) foi realizada somente nas amostras hidrolisadas, empregando como princípio o ataque da amostra com HCl 1:1, seguido de precipitação com BaCl<sub>2</sub>, calcinação do BaSO<sub>4</sub> e determinação gravimétrica do precipitado, conforme descrito por Teixeira et al. (2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tipo de pelo e/ou sua coloração não influenciaram o resultado dos processos de hidrólise empregados neste estudo.

Sabe-se que existem diferenças no comprimento, cor, diâmetro do fio entre as raças de cães e entre indivíduos da mesma raça, além disso, os pelos caninos podem ser classificados como lisos, eriçados, ondulados, ondulados e eriçados, grandes ondulados e ondulados finos e quanto à cor, podem ser classificados como simples, compostos e mistos (HERMANSON et al., 2018). O pelo do cão é formado por três unidades estruturais básicas: cutícula, córtex e medula (YU et al., 2017; HOU et al., 2020) sendo que o córtex é abundante em  $\alpha$ -queratina (KOCH et al., 2019). Em cada pelo, milhares de cadeias de  $\alpha$ -queratina estão entrelaçadas e interagem fortemente entre si, devido às pontes dissulfeto formadas entre os resíduos de cisteína das cadeias adjacentes de queratina, assim, as diferentes interações entre as cadeias resultam em diferentes formas de pelo, sendo liso, enrolado ou ondulado (KOCH et al., 2019). Assim, acreditava-se que o

tipo de pelo, em função da variação na quantidade de pontes dissulfeto, pudesse influenciar a hidrólise, fato não observado nesta pesquisa.

A melhor condição de hidrólise da  $\alpha$ -queratina presente no pelo de cachorro foi obtida empregando-se 3,5 g/L de papaína comercial, 7,5 g/L de sulfito de sódio e 67 g/L de ureia, no tempo de 24 horas. Não foi possível obter a hidrólise, em qualquer combinação dos protocolos, com os tempos de 8 e 16 horas, bem como, o uso do extrato de mamão verde como fonte de papaína, independentemente do nível empregado e do tempo de hidrólise, não gerou resultados satisfatórios, resultando, no máximo, em hidrólise parcial dos pelos.

Com relação ao uso do extrato de mamão verde como fonte de papaína, atribui-se o resultado deste achado às variações nos teores de papaína nos frutos utilizados, visto que, não foi analisada a concentração de papaína no extrato. Assim, nossos achados diferem dos reportados por alguns autores que empregaram extrato de mamão verde como fonte de papaína, mas, na hidrólise de pena de frango. Arruda et al. (2008) avaliaram o emprego da combinação de diferentes concentrações de sulfito de sódio, ureia e papaína, oriunda de extrato de mamão verde, a 80°C, na fragmentação da queratina da pena de frango e afirmaram que a hidrólise foi adequada. Surek et al. (2018) avaliaram as condições de hidrólise das penas de frango, empregando mamão verde (*Carica papaya*), sulfito de sódio e ureia em 40 mL de água destilada, a 60°C por 6 e 24 horas, e também relataram que, de acordo com os resultados obtidos em escala laboratorial, a degradação das penas de frango demonstrou ser efetiva e mostrou elevado potencial para aplicação a campo, tendo como resultado um produto com valor agregado.

Mesmo que não tenham sido encontrados resultados positivos de hidrólise empregando a papaína presente no extrato de mamão verde, mas sim, a papaína comercial, infere-se que a condição de melhor hidrólise encontrada neste estudo ainda se constitui uma alternativa relevante e pode ser considerada um processo verde.

Lenardão et al. (2003) afirmou que a química verde ou química limpa contempla o desenvolvimento e a implementação de processos que reduzem ou eliminam o uso ou geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente, fato observado neste estudo, sobretudo quando comparamos ao protocolo de hidrólise empregado por Surek et al. (2018), no qual esse estudo foi baseado, que obtiveram a máxima resposta para matéria fragmentada de 68,57%, para penas de frango no tempo de 24 horas, usando 20,92 g/L de extrato de mamão, 9,90 g/L de sulfito de sódio e 64,47 g/L de ureia, ou seja, valores semelhantes aos empregados neste estudo, em que foi obtido 100% de material hidrolisado. Acrescentando, apontamos que o protocolo alcançado não é oneroso, considerando que os reagentes, com exceção da papaína, são de baixo custo e a quantidade empregada é pequena.

A análise do teor de N nas amostras de pelo hidrolisado revelou um teor médio de N total de 151,55 mg g<sup>-1</sup> (151,55 g kg<sup>-1</sup>/15,15%) e no pelo *in natura* (não hidrolisado) de 213,7 mg g<sup>-1</sup> (213,7 g kg<sup>-1</sup>/21,37 %).

Não foram encontrados dados da literatura sobre o teor de N no pelo de cachorro *in natura* ou hidrolisado, contudo, algumas referências mostram níveis de N no cabelo humano em torno de 165 g kg<sup>-1</sup> (16,5%) (ZHELJAZKOV et al., 2008b) e na lã de ovinos variando de 114 g kg<sup>-1</sup> (11,4%) (GRACE, 1983) a 158 g

$\text{kg}^{-1}$  (15,8%) (BURNS et al., 1964), demonstrando que os níveis obtidos em neste experimento são semelhantes aos de outras espécies, sobretudo com relação ao material hidrolisado.

Com o objetivo de avaliar o uso de lã de ovelha e de cabelo humano não compostado, ou seja, *in natura*, como fonte de nutrientes para plantas não comestíveis de alto valor, sendo calêndula (*Calendula officinalis* L.) e valeriana (*Valeriana officinalis* L.) e dedaleira roxa (*Digitalis purpurea* L.), Zheljzakov et al. (2008a) reportaram níveis de N ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas amostras de resíduos de cabelo humano de  $132 \pm 11$  e de lã de ovinos de  $110 \pm 9$  e verificaram que a adição de resíduos de lã ou cabelo ao solo aumentou os teores de  $\text{NH}_4\text{-N}$  e  $\text{NO}_3\text{-N}$  no solo bem como, aumentou a concentração de N total e proteína no tecido vegetal e estimulou a biomassa microbiana do solo, evidenciando os benefícios nitrogenados dos resíduos empregados como biofertilizante.

Em outro estudo, Zheljzakov et al. (2009) conduziram um experimento usando resíduos de lã de ovinos não compostados (*in natura*) no cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L.) e manjerição (*Ocimum basilicum* L.) e definiram o teor de C e N da lã por meio da recuperação de N aparente nas plantas cultivadas. Os autores afirmaram que a adição de resíduos de lã no meio de crescimento aumentou os níveis de N na acelga e no manjerição, e de  $\text{NO}_3\text{-N}$  e  $\text{NH}_4\text{-N}$  nos meios de crescimento. Mais uma vez os autores demonstram o benefício do uso desses resíduos como biofertilizante, pautados nos níveis de N, contudo, nesse estudo, os autores não apontaram os valores e avaliaram o material *in natura*, ou seja, não hidrolisado.

Visando comparar os teores de N em 3 substratos agrícolas comerciais para cultivo de mudas de alface cv. Regina, Trani et al. (2007) encontraram, após análises químicas segundo metodologia específica para substratos, valores de N de 1,08, 1,17 e 1,22%, assim, inferimos que o material hidrolisado obtido neste estudo, em função de seu teor de N, demonstrou ser uma opção viável para a composição de substratos para os cultivos de hortaliças, já que apresentou 15,15% de N.

De fato, são os teores de N que despertam um maior interesse para o aproveitamento de resíduos orgânicos como biofertilizante (ABREU JUNIOR et al., 2012) e, de modo geral, os teores de N nos materiais orgânicos variam entre 1 a 7 %, dependendo de sua origem (PAULA et al., 2013; BOECHAT et al., 2014), mas conforme observado nesse estudo, o material hidrolisado apresentou teores elevados, fato que justifica seu uso no cultivo de vegetais. Em uma revisão de literatura sobre a gestão sustentável da biomassa de resíduos de queratina, que abordou sobre suas aplicações e perspectivas futuras, Sharma et al. (2016) apontaram que os subprodutos da queratina, possuem de 15 a 18% de N, ou seja, valores semelhantes aos observados neste estudo.

Com relação aos níveis de S, este estudo revelou níveis de 15,53 mg/g ( $15,53 \text{ g kg}^{-1}/1,55\%$ ) no material hidrolisado.

Sabe-se que a queratina é uma família de proteínas caracterizadas por um elevado teor de enxofre, em função da abundante presença do aminoácido cisteína e, conseqüentemente, cistina, que são aminoácidos sulfurados, comuns na epiderme de mamíferos, aves, peixes e répteis, bem como em anexos cutâneos tais como pelos, penas, escamas, chifres e unhas (SUZUKI et al., 2006; SHAH et al., 2018). De fato, as proteínas do pelo contêm altos níveis de cisteína e a quantidade de cisteína é maior em animais com pelo

denso e longo (HENDRIKS, 2003).

Pelos são compostos por queratina do tipo dura (hard), com elevado percentual de pontes dissulfeto e são formados por córtex, medula e cutícula. A cutícula é composta por camadas de  $\beta$ -queratina cujo objetivo é envolver o córtex (matriz) e proteger o pelo de danos físicos e químicos, por isto também possui uma camada lipídica que confere hidrofobicidade (EL BABA et al., 2000).

No córtex estão presentes os filamentos intermediários (FI) e as proteínas associadas aos filamentos intermediários, que compõem a matriz. A medula pode ocorrer em pelos mais espessos e é formada por uma coluna central de proteínas frouxamente ligadas. As queratinas que constituem a matriz possuem um maior teor de enxofre, cujo objetivo é dar coesão à estrutura, já as proteínas que formam os FI possuem um menor teor de enxofre e possuem conformação de hélice para dar suporte a estrutura (ROUSE et al., 2010).

Não foram encontrados na literatura relatos sobre os níveis de S em pelo de cachorro *in natura* ou hidrolisado, contudo, verificou-se ampla variação nos dados reportados referente aos teores de S no cabelo, em que Nowak (1998) apontou níveis de 34 mg kg<sup>-1</sup> e Zheljzakov et al. (2008), níveis de 23 mg kg<sup>-1</sup>. Com relação aos teores médios de S na lã, Burns et al. (1964) encontraram valores de 32,10 mg kg<sup>-1</sup>. No estudo de Zheljzakov et al. (2008), que avaliaram o uso de lã de ovelha e de cabelo humano não compostado como fonte de nutrientes para o cultivo de calêndula (*Calendula officinalis* L.), valeriana (*Valeriana officinalis* L.) e dedaleira roxa (*Digitalis purpurea* L.), os autores reportaram níveis médios de S nas amostras de resíduos de cabelo humano de 88,137 mg kg<sup>-1</sup> e de lã de 51,278 mg kg<sup>-1</sup>. Portanto, verifica-se que os níveis encontrados nas amostras de pelo hidrolisado deste estudo estão abaixo dos valores reportados na literatura, para outras espécies animais.

Sharma et al. (2016) reportaram em uma revisão de literatura sobre a gestão sustentável de resíduos de queratina, que os subprodutos da queratina possuem de 15 a 18% de N, 2 a 5% de S, 3,20% de elementos minerais e 1,27% de gordura e 90% de proteínas. Ou seja, níveis de S ligeiramente próximos aos encontrados neste estudo (1,55%).

Assim, considerando que Trani et al. (2007) reportaram, após análises químicas de 3 substratos agrícolas comerciais utilizados no cultivo de mudas de alface cv. Regina, teores de S que variaram entre 29 a 37 mg/dm<sup>3</sup>, de fato, os resíduos queratinosos como o cabelo humano ou a lã, poderiam ser substratos promissores. Contudo, como os teores de S nas amostras de pelo de cachorro hidrolisado, objeto deste estudo, são baixos, aponta-se que seu uso como biofertilizante deve ser associado a outras fontes de S.

## CONCLUSÕES

O uso do extrato de mamão verde como fonte de papaína resultou em baixo nível de hidrólise dos pelos de cachorro. Contudo, foi possível hidrolisar os pelos, independentemente do tipo de pelo ou sua coloração, empregando-se papaína comercial.

Mesmo com o uso de papaína comercial no processo de hidrólise, o protocolo alcançado segue ao encontro das premissas da química verde, se constituindo em uma tecnologia limpa em função do reduzido volume de reagentes utilizados.

O material hidrolisado apresentou elevados níveis de N, contudo, os níveis de S foram baixos, assim, sua aplicação em outras áreas, como por exemplo, seu uso como biofertilizante, demandaria a associação com outros tipos de fertilizantes.

Sugere-se que mais pesquisas sejam conduzidas a fim de se aprimorar, cada vez mais, o protocolo e testar o uso do material hidrolisado, sobretudo como biofertilizante, e assim, contribuir com a gestão dos resíduos queratinosos da cadeia pet.

## REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F. C.. Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.769-780, 2012. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300022>
- ARRUDA, M. N.; MELLO, K. G. P. C.; POLAKIEWICZ, B.. Estudo comparativo da queratina proveniente de fontes renováveis obtidas por diferentes protocolos de solubilização. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.44, p.39, 2008.
- BHARI, R.; KAUR, M.; SINGH, R. S.. Optimization and validation of keratinase production by *Bacillus aerius* NSMk2 in a stirred tank reactor using response surface methodology. **SN Applied Sciences**, v.3, p.641, 2021.
- BOECHAT, C. L.; RIBEIRO, M. O.; RIBEIRO, L. O.; SANTOS, J. A. G.; ACCIOLY, A. M. A.. Lodos de esgoto doméstico e industrial no crescimento inicial e qualidade de mudas de pinhão-manso. **Bioscience Journal**, v.30, n.3, p.782-791, 2014.
- BRASIL. **Lei Nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Brasília: DOU, 2010.
- BURNS, R. H.; JOHNSTON, A.; HAMILTON, J. W.; MCCOLLOCH, R. J.; DUNCAN, W. E.; FISK, H. G.. Minerals in domestic wools. **Journal of Animal Science**, v.23, p.511, 1964. DOI: <http://doi.org/10.2527/jas1964.2315>
- DAMRONGSAKKUL, S.; RATANATHAMMAPAN, K.; KOMOLPIS, K.; TANTHAPANICHAKOON, W.. Enzymatic hydrolysis of rawhide using papain and neutrase. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.14, n.2, p.202-206, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jiec.2007.09.010>
- DHAKAL, D.; KOOMSAP, P.; LAMICHHANE, A.; SADIQ, M. B.; ANAL, A. K.. Optimization of collagen extraction from chicken feet by papain hydrolysis and synthesis of chicken feet collagen based biopolymeric fibres. **Food bioscience**, v.23, p.23-30, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.03.003>
- EL BABA, H. A. M.; COVINGTON, A. D.; DAVIGHI, D... The effects of hair shaving on unhairing reactions part 2: A new mechanism of unhairing. **Journal of the Society of Leather Technologies and Chemists**, v.84, n.1, p.48-53, 2000. DOI: <http://doi.org/10.1007/BF02359209>
- GRACE, N. D.. **The determination of mineral requirements**. The mineral requirements of grazing ruminants. New Zealand Society of Animal Production. Occasional Publication, 1983.
- GURAV, R. G.; JADHAV, J. P.. A novel source of biofertilizer from feather biomass for banana cultivation. **Environmental Science and Pollution Research**, v.20, p.4532-4539, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-012-1405-z>
- HASSAN, M. A.; ABOL-FOTOUH, D.; OMER, A. M.; TAMER, T. M.; ABBAS, E.. Comprehensive insights into microbial keratinases and their implication in various biotechnological and industrial sectors: a review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.154, p.567-583, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.116>
- HENDRIKS, W. H.. Canine and Feline Amino Acid Requirements for Different Physiological Functions. In: D'MELLO J. P. F.. **Amino Acids in Animal Nutrition**. 2 ed. 2003. p.411-426.
- HERMANSON, J.; LAHUNTA, A.. **Miller's anatomy of the dog**. 5 ed. 2018.
- HOU, S. W.; ELE, S. Y.; XIE, J.; LI, M. Y.; HONG, M. S.; GUAN, F. L.; HU, Y. L.; HUANG, Y. L.; XU, C. H.. Integral characterization of normal and alopecic hair at different degeneration stages by in-situ visible and chemical imaging. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v.235, p.118315, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118315>
- KOCH, S. L.; SHRIVER, M. D.; JABLONSKI, N. G.. Variation in human hair ultrastructure among three biogeographic populations. **Journal of Structural Biology**, v.205, n.1, p.60-66, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jsb.2018.11.008>
- LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. D. C.. "Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v.26, n.1, p.123-129, 2003. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100020>
- MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agenda Estratégica Pet Brasil**. 3 ed. Brasília: MAPA, 2019.
- MARIANO, C. E. P.; ANDREAZZI, M.; GUASTALA, F. A. M.; GASPAROTTO, F.; SANTOS, J. M. G.; MACHADO, A. A.; SILVA, V. E. G.. Estudo sobre o uso de resíduos queratinosos como biofertilizante. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.7, 2021.
- MARTINS, V. G.; PALEZI, S. C.; COSTA, J. A. V.; PRENTICE, C.. Hydrolysis of insoluble fish protein residue from whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) by fungi. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.57, n.1, p.96-102, 2014. DOI:



<http://doi.org/10.1590/S1516-89132014000100014>

MAZON, M. S.; MOURA, W. G.. Cachorros e humanos: Mercado de rações pet em perspectiva sociológica. **Civitas, Revista de Ciências Sociais**, v.17, n.1, p.138-158, 2017. DOI: <http://doi.org/10.15448/1984-7289.2017.1.25292>

MENEZES, C. L. A.; SANTOS, R. D. C.; SANTOS, M. V.; BOSCOLO, M.; SILVA, R.; GOMES, E.. Industrial sustainability of microbial keratinases: production and potential applications. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.37, p.86, 2021.

MORITZ, J. S.; LATSHAW, J. D.. Indicators of nutritional value of hydrolyzed feather meal. **Poultry Science**, v.80, n.1, p.79-86, 2001.

NOWAK, B.. Contents and relationship of elements in human hair for a nonindustrialised population in Poland. **Science of the Total Environment**, v.209, p.59-68, 1998.

NUMPAQUE, R.; VITERI, S.. Biotransformación del pelo residual de curtiembres. **Revista de Ciências Agrárias**, v.33, n.2, p.95-105, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.56>

ONIFADE, A. A.; AL-SANE, A. A.; AL-MUSALLAM, A. A.; AL-ZARBAN, S.. A review: potentials for biotechnological applications of keratin-degrading microorganisms and their enzymes for nutritional improvement of feathers and other keratins as livestock feed resources. **Bioresource technology**, v.66, n.1, p.1-11, 1998. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00033-9](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00033-9)

PANDEY, S. C, PANDE V.; SATI D.; GANGOLA S.; KUMAR S.; PANDEY, A.; SAMANT, M.. Microbial keratinase: a tool for bioremediation of feather waste. In: **Smart Bioremediation Technologies**. Academic Press, 2019. p.217-253.

PAULA, J. R.; MATOS, A. T.; PEREIRA, M. S.; ANDRADE, C. A.. Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados o solo em campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1729-1741, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600029>

PEINADO, J.; FERNANDES, B. H. R.. Estratégia, competências e desempenho em empresas de pet shop: evidências de um levantamento em Curitiba. **Revista de Administração**, v.47, n.4, p.609-623, 2012. DOI: <http://doi.org/10.5700/rausp1062>

PULIT, A. C.; ŁABA, W.; RODZIEWICZ, A.. Enhancement of pig bristles waste bioconversion by inoculum of keratinolytic bacteria during composting. **Waste Management**, v.84, p.269-276, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.052>

ROUSE, J. G.; DYKE, M. E. V.. A Review of Keratin-Based Biomaterials for Biomedical Applications. **Materials Science and Engineering C**, v.3, p.16, 2010. DOI: <http://doi.org/10.3390/ma3020999>

SANTOS, F. K.; SABATKE, B. F. S.; CUNHA, L. S.; BERTOLAZO, M. A.; MATTANNA, P.. Extração da papaína e produção de bioplástico para tratamento alternativo de feridas. **Revista Eletrônica Biotecnologia e Saúde**, v.9, n.18, p.51-59, 2017.

SHAH, A.; TYAGI, S.; BHARAGAVA, R. N.; BELHAJ, D.; KUMAR, K.; SAXENA, G.; SARATALE, G. D.; MULLA, S. I.. Keratin Production and Its Applications: Current and Future Perspective. In: **Keratin as a Protein Biopolymer**. Springer: Cham, 2018. p.19-34.

SHARMA, S.; GUPTA, A.. Sustainable Management of Keratin Waste Biomass: Applications and Future Perspectives. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.59, e16150684, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-4324-2016150684>

SINGH, T. P.; SIDDIQI, R. A.; SOGI, D. S.. Statistical optimization of enzymatic hydrolysis of rice bran protein concentrate for enhanced hydrolysate production by papain. **LWT**, v.99, p.77-83, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.014>

SUREK, D.; BEDENDO, G. C.; KRABBE, E. L.. Otimização da hidrólise de penas de frango com utilização de mamão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 47. **Anais**. Brasília: SBEA, 2018.

SUZUKI, Y.; TSUJIMOTO Y.; MATSUI, H.; WATANABE, K.. Decomposition of extremely hard-to-degrade animal proteins by thermophilic bacteria. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.102, n.2, p.73-81, 2006. DOI: <http://doi.org/10.1263/jbb.102.73>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G.. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017.

TRANI, P. E.; FELTRIN, D. M.; POTT, C. A.; SCHWINGEL, M.. Avaliação de substratos para produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**, v.25, n.2, p.256-260, 2007. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0102-05362007000200025>

YU, Y.; YANG, W.; MEYERS, M. A.. Structure and mechanical behavior of human hair. **Materials Science and Engineering: C**, v.73, p.152-163, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.msec.2016.12.008>

ZHELJAZKOV, V. D.. Assessment of wool-waste and hair waste as soil amend-ment and nutrient source. **Journal of Environmental Quality**, v.34, p.2310-2317, 2005. DOI: <http://doi.org/10.2134/jeq2004.0332>

ZHELJAZKOV, V. D.; SILVA, J. L.; PATEL, M.; STOJANOVIC, J.; LU, Y.; KIM, T.; HORGAN, T.. Human Hair as a Nutrient Source for Horticultural Crops. **HortTechnology**, v.18, p.549-745,. 2008a. DOI: <http://doi.org/10.21273/HORTTECH.18.4.592>

ZHELJAZKOV, V. D.; SILVA, J. L.; PATEL, M.; STOJANOVIC, J.; LU, Y.; KIM, T.; HORGAN, T.. Non composted human hair as a nutrient source for horticultural crops. **HortTechnology**, v.18, n.4, p.592-596,2008b.

ZHELJAZKOV, V. D.; STRATTON, G. W.; PINCOCK, J.; BUTLER, S.; JELIAZKOVA, E. A.; NEDKOV, N. K.; GERARD, P. D.. Wool-waste as organic nutrient source for container-grown plants. **Waste Management**, v.29, n.7, p.2160-2164, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.009>

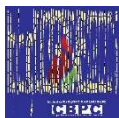
ZHELJAZKOV, V. D.; STRATTON, G. W.; STURZ, T..

Uncomposted wool and hair-wastes as soil amendments for high-value crops. **Agronomy Journal**, v.100, n.6, 2008. DOI:

<http://doi.org/10.2134/agronj2007.0214>

Os **autores** detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A **CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03)** detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.

Todas as obras (artigos) publicadas serão tokenizadas, ou seja, terão um NFT equivalente armazenado e comercializado livremente na rede OpenSea ([https://opensea.io/HUB\\_CBPC](https://opensea.io/HUB_CBPC)), onde a CBPC irá operacionalizar a transferência dos direitos materiais das publicações para os próprios autores ou quaisquer interessados em adquiri-los e fazer o uso que lhe for de interesse.



Os direitos comerciais deste artigo podem ser adquiridos pelos autores ou quaisquer interessados através da aquisição, para posterior comercialização ou guarda, do NFT (Non-Fungible Token) equivalente através do seguinte link na OpenSea (Ethereum).

*The commercial rights of this article can be acquired by the authors or any interested parties through the acquisition, for later commercialization or storage, of the equivalent NFT (Non-Fungible Token) through the following link on OpenSea (Ethereum).*



<https://opensea.io/assets/ethereum/0x495f947276749ce646f68ac8c248420045cb7b5e/44951876800440915849902480545070078646674086961356520679561157626282429644801/>