



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

USO DE FIBRA CAPILAR CANINA NO DESENVOLVIMENTO DE BIOCOMPÓSITO À BASE DE TERMOPLÁSTICO BIODEGRADÁVEL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.I-011>

Carolina de Almeida Foga (*), Renata Colombo, Bianca Chieregato Maniglia.

* Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo. E-mail: cafoga23@usp.br

RESUMO

A urgente necessidade de desenvolver produtos provenientes de fontes renováveis, aliada ao aproveitamento de resíduos, surge como uma abordagem essencial para promover a sustentabilidade ambiental e reduzir a pegada de carbono da indústria moderna. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um biocompósito, constituído por matriz de amido termoplástico associado a fibra capilar canina, com propriedades satisfatórias para ser empregado em diferentes aplicações. Nesta etapa, amidos de diferentes fontes (mandioca, milho e batata) juntamente com glicerina foram estudados para a produção da matriz termoplástica (TPS). Um processo de higienização com detergente e hipoclorito de sódio foi definido para os pelos. Três procedimentos distintos de incorporação dos pelos higienizado no TPS de mandioca foram avaliados para a fabricação de biocompósitos preliminares. Os resultados demonstraram que houve boa compatibilidade e aderência da fibra com a matriz polimérica de mandioca, independente do processo de incorporação no TPS. A cura total do compósito se demonstrou dependente da espessura e da proporção TPS/fibra capilar. O material desenvolvido mostra que há viabilidade de usar resíduos de pelo canino como matéria-prima no desenvolvimento de produto de valor agregado. O trabalho ainda se encontra em desenvolvimento e espera-se ao final, obter um compósito com propriedades físico-químicas e toxicológicas compatíveis com aplicações em diversos setores industriais.

PALAVRAS-CHAVE: biocompósito, amido termoplástico, fibras animais, pelo canino.

ABSTRACT

The urgent need to develop products from renewable sources, coupled with the utilization of waste, emerges as a critical approach to promote environmental sustainability and reduce the carbon footprint of modern industry. Within this context, the aim of this study is to develop a biocomposite consisting of a thermoplastic starch matrix associated with canine hair fiber, with satisfactory properties for various applications. In this stage, starches from different sources (cassava, corn, and potato) along with glycerin were studied for the production of the thermoplastic matrix (TPS). A sanitization process using detergent and sodium hypochlorite was established for the hair. Three distinct procedures for incorporating sanitized hair into the cassava TPS were evaluated for the manufacture of preliminary biocomposites. The results demonstrated good compatibility and adhesion of the fiber with the cassava polymer matrix, regardless of the incorporation process into the TPS. The complete curing of the composite was found to be dependent on the thickness and the TPS/hair fiber ratio. The developed material shows the feasibility of using canine hair waste as a raw material in the development of value-added products. The work is still ongoing, and it is expected that by the end, a composite with physicochemical and toxicological properties compatible with applications in various industrial sectors will be obtained.

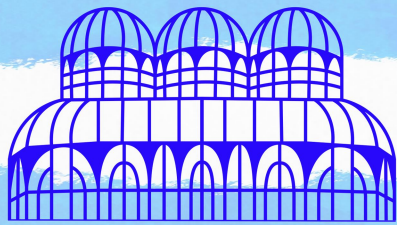
KEY WORDS: biocomposite, thermoplastic starch, animal fibers, canine hair.

INTRODUÇÃO

Estudos descritos na literatura demonstram que os bioplásticos podem ser produzidos a partir de proteínas animais e/ou vegetais ou de polissacarídeos como os amidos.

As proteínas possuem a desvantagem de serem altamente biodegradáveis, limitando a aplicação e o tempo de vida dos bioplásticos, e em alguns casos não são sustentáveis e/ou possuem alto custo (ABE, 2021). Desta forma, o amido, segundo biopolímero mais abundante no planeta, tem ganhado destaque nos desenvolvimentos de termoplásticos biodegradáveis (MARICHELVAM, 2019).

Os amidos podem ser obtidos de diversas fontes vegetais como arroz, batata, mandioca e milho. O amido de milho é o mais relatado nos estudos internacionais em virtude da predominância desta cultura nos Estados Unidos, Europa e Ásia e por possuir o maior teor de amilose (25-28 %), conferindo maior resistência ao TPS (CLIFTON, 2016).



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

No Brasil, a produção e consumo de batata e da mandioca se destacam e, apesar do teor de amilose nestes amidos (18%) ser ligeiramente mais baixos do que do milho, termoplásticos produzidos com amidos tratados destas culturas têm demonstrado resistência térmica e mecânica satisfatória para diversas aplicações (MARICHELVAM, 2019).

Independente do amido utilizado, para conferir maior resistência e/ou impermeabilidade aos amidos termoplásticos, são geralmente empregados reforçadores e plastificantes (MOHANTY, 2022). Dentre os materiais com atuação já comprovada, o glicerol é atualmente o mais empregado, sendo o plastificante utilizado em aproximadamente 50% dos bioplásticos comerciais fabricados (MOHANTY, 2022).

A diminuição da solubilidade do amido de TPS em água, bem como, a melhoria de suas propriedades térmicas e mecânicas também tem sido descrita através do desenvolvimento de compósitos. Estes materiais são desenvolvidos adicionando reforçadores que são polímeros compatíveis com o amido. Proteínas isoladas, como a quitosana e a queratina, e fibras animais (penas e pelos) na forma in natura ou tratada tem demonstrado resultados satisfatórios (OLUBA, 2021). Para alguns polímeros, como a fibra capilar, é necessário utilizar um agente de acoplamento (silano, fibras lignocelulosicas, anidrido maleico, outros) para melhorar a compatibilidade entre o reforçador e o amido, mas tratamentos modificando a superfície destas fibras podem viabilizar a sua dupla função no compósito, como reforçadores e como agente de acoplamento simultaneamente (XIE, 2010).

Os processos de modificações mais relatados até o momento são realizados pela desnaturação ou hidrólise das fibras capilares usando processos físicos, químicos ou biológicos. No processo químico, agentes oxidantes e/ou redutores como bases fortes e/ou peróxidos são utilizados visando aumentar a rugosidade da fibra e promover a quebra da ponte dissulfeto, expondo os grupos funcionais tióis e/ou convertendo-os em sulfonatos, permitindo a sua ligação com os polímeros do amido (MALDONADO, 2023).

Com base neste contexto, neste estudo a fibra capilar canina está sendo investigada para o desenvolvimento de um biocompósito à base de amido termoplástico. Os amidos testados no estudo foram os de mandioca, milho e batata. A partir dos resultados obtidos após a produção do amido termoplástico, foi decidido a utilização do amido de mandioca.

Os pelos caninos, por sua vez, são resíduos que contém alto teor de queratina, gerado em larga escala nos estabelecimentos de banho e tosa em diversos locais do mundo. Estes resíduos ainda não possuem uma direção de aproveitamento consolidada, constituindo uma proporção considerável dos resíduos sólidos produzidos globalmente (LIMA, 2022). De acordo com Murillo (2024) estima-se que o mercado de cuidados com animais de estimação aumente em 60% nos próximos anos, gerando conseqüentemente uma maior quantidade de resíduos de pelos de cães que serão encaminhados aos aterros sanitários. Estudos mostram a viabilidade de fazer o aproveitamento deste resíduo na forma de lã para confecções de roupas, acessórios, cobertores e para fabricação de compósitos verdes (GOMES 2024; HOWAY, 2024).

Diante da necessidade da mitigação dos impactos ambientais que são gerados com a produção, uso e descarte incorreto dos materiais proveniente de fontes não renováveis e de fibras animais, neste trabalho está sendo estudada a produção de um biocompósito de amido termoplástico associado a fibra capilar canina.

OBJETIVOS

Desenvolvimento de um biocompósito de amido termoplástico associado à fibra capilar canina.

METODOLOGIA

Processamento do pelo canino

Pelos dos cães de raças variadas foram obtidos a partir do descarte de distintos Pet Shops de Banho e Tosa da cidade de São Paulo. Os pelos foram submetidos ao processo de higienização e desinfecção, realizados em três etapas, de acordo com adaptações de metodologia descrita na literatura (MORIELLO, 2015).

Inicialmente os pelos foram agitados com água potável em agitador mecânico por 5 minutos e, posteriormente foram filtrados para eliminação do excesso de água. Os pelos foram então deixados de molho por 30 minutos em uma solução de limpeza composta por detergente neutro em água potável (0,8%). A lavagem foi realizada utilizando as proporções de 15 g de pelo para 500 mL de solução de limpeza. Em seguida, os pelos foram novamente filtrados, para eliminação da solução de limpeza, e deixados de molho por 10 minutos em banho de hipoclorito de sódio (0,1%).

Após a higienização e desinfecção, os pelos foram secos em temperatura ambiente durante 24 horas e cortados com tesoura cirúrgica no tamanho de 4 mm.

Processos de produção do termoplástico (TPS)

Para a fabricação do amido termoplástico foram testados amidos de diferentes culturas (mandioca, milho e batata). Os amidos de mandioca e milho foram obtidos em um mercado da cidade de São Paulo. A fécula de batata foi obtida na

zona cerealista de São Paulo. O procedimento foi empregado para a fabricação do TPS de mandioca e de milho baseado na metodologia descrita por Machado (2023), com adaptações.

Em ambos os casos, uma massa de 4,5 g de amido foi misturada com 50 ml de água destilada até sua dispersão. A mistura foi colocada em agitação magnética e foi aquecida até a temperatura de 50°C. Ao atingir a referida temperatura, 2,0 ml de glicerol (pureza 25%) e 0,24 ml de ácido acético foram adicionados à mistura que permaneceu sob aquecimento até a fervura. Após a finalização da fervura a mistura foi mantida sob aquecimento por mais 15 minutos a 30°C. A massa de TPS formado foi então vertida em placas de Petri, para a formação de filme, e mantidas em bancada à temperatura ambiente para o resfriamento. Após o resfriamento elas foram levadas para a estufa por 6 horas em uma temperatura de 50°C.

Para o desenvolvimento do TPS de mandioca foram empregadas também metodologias com tratamento térmico a seco do amido (MANIGLIA, 2020). Nesta metodologia, uma fina camada (aproximadamente 1 mm) de fécula de mandioca foi distribuída sobre uma folha de papel alumínio e vedado com outra folha de papel alumínio, fechando as laterais com fita adesiva. O amido foi então seco em estufa por 4 horas a 130°C. Posteriormente, o amido foi resfriado e utilizado na produção do TPS.

No caso da fécula de batata, foi utilizada a metodologia descrita por Silva (2023). Neste procedimento 5% de base seca foi misturada com 100 g de água destilada e submetida à agitação mecânica a 85°C por 30 minutos. Após este período, uma solução de plastificante contendo 2,5 g glicerol (pureza 25%) diluído em 7,5 ml de água destilada foi incorporada à de amido e a mistura foi mantida sob 85°C por mais 15 minutos. A suspensão final foi transferida para placas de Petri para formação de um filme de 0,15 g/cm² de espessura. As placas foram temporariamente tampadas para eliminação de bolhas e posteriormente colocadas em estufa a 40°C durante 12 horas.

Teste de permeabilidade do termoplástico de mandioca

O teste de permeabilidade foi realizado com o TPS de mandioca tratado e não tratado. Foi utilizado o método gravimétrico descrito por Maldonado (2023). Para esta metodologia, 2 g de cada uma das amostras de TPS foram secas em estufa durante 24 horas, deixadas esfriar até a temperatura ambiente e então pesadas (W_i). Em seguida, as amostras foram submersas em água destilada por 24 horas e após retirada do banho foram pesadas (W_f). Para a determinação da permeabilidade da água foi utilizado o cálculo conforme a Equação (Figura 1):

$$WA\% = \frac{W_f - W_i}{W_i} * 100$$

Figura 1: Equação de permeabilidade TPS mandioca

Desenvolvimento do Biocompósito

Amostras preliminares de biocompósitos foram fabricadas a partir da incorporação das fibras higienizadas e desinfetadas no amido termoplástico de mandioca. Para esta etapa foi utilizado o TPS proveniente do amido tratado termicamente e a incorporação da fibra ao TPS foi feita por três diferentes procedimentos. Em um deles uma quantidade de fibra capilar correspondente à 5% em massa do TPS foi adicionada à massa logo após a adição do glicerol e ácido acético e posteriormente a mistura foi vertida na placa de Petri para a formação do filme do biocompósito (Amostra A). No outro procedimento uma quantidade de fibra correspondente à 10% em massa do TPS foi inicialmente dispersa sobre a placa de petri e por cima foi adicionada a camada de TPS contendo 5% da fibra capilar (Amostra B). No terceiro procedimento uma camada de fibra correspondente à 20% em massa do TPS foi dispersa sobre a placa de Petri, por cima foi adicionada a camada de TPS contendo 5% da fibra capilar e por cima do TPS foi disposto mais uma camada de fibra correspondente à 5% da quantidade de TPS (Amostra C).

RESULTADOS

Processamento do pelo canino

A agitação dos pelos em agitador mecânico se demonstrou eficiente e adequada na eliminação de partículas sólidas, como poeira e ovos de pulga, e também na dispersão do enovelamento dos pelos para a realização das etapas posteriores. A etapa de higienização com detergente visou eliminar eventuais gorduras presentes na superfície da fibra para facilitar o ataque dos agentes oxi-redutores durante etapa de tratamento do pelo e visualmente se demonstrou adequada deixando as fibras com aparência menos sedosa.

O processo de desinfecção foi realizado utilizando concentração de hipoclorito de sódio usualmente descrita em protocolos de desinfecção de materiais. No entanto, a efetividade desta etapa será confirmada posteriormente com ensaios microbiológicos.

Propriedades preliminares do termoplástico

Testes preliminares (manuais e visuais) mostraram que o TPS formulado a partir do amido de milho apresentou baixa resistência e elasticidade, trincando durante o manuseio. O amido termoplástico produzido a partir do amido de mandioca sem tratamento térmico apresentou um maior tempo de secagem e uma menor resistência mecânica (em relação ao amido tratado), bem como, um aspecto gelatinoso. Com tratamento térmico a seco, o TPS de mandioca demonstrou propriedades físicas (firmeza e a elasticidade) adequadas para ser empregado como matriz para a produção de biocompósitos (Figura 2).



Figura 2. Matriz de TPS a partir da fécula de mandioca: a) tratado e b) sem tratamento

Em relação à permeabilidade os resultados obtidos são que o TPS tratado possui um índice de permeabilidade menor (49,93 %) do que o não tratado (52,37 %).

Apesar dos resultados de firmeza, elasticidade e permeabilidade do TPS de mandioca tratado aparentemente parecerem satisfatórios, houve a formação de bolhas e difícil remoção do filme, o que pode vir a comprometer o desempenho do compósito. Desta forma o amido de batata foi testado como alternativa para a produção do TPS, bem como amostras testes de biocompósitos foram produzidas. Com relação ao amido de batata, as mesmas propriedades físicas (firmeza e a elasticidade) observadas para o TPS de mandioca foram observadas também para o TPS de batata com a vantagem de não formação de bolhas e a secagem mais rápida do filme (Figura 3).



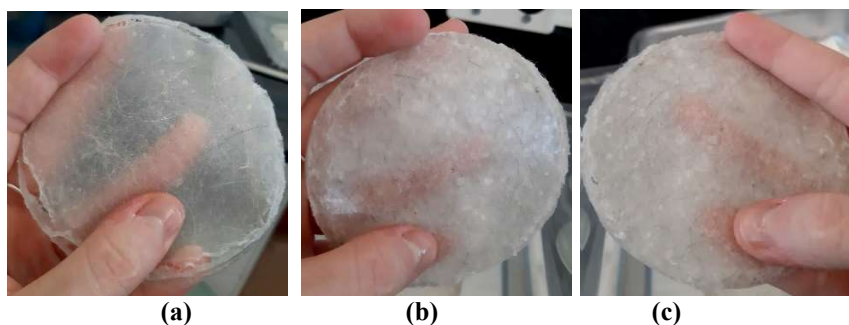
Figura 3. Matriz de TPS a partir da fécula de batata

Desenvolvimento do Biocompósito

Os resultados obtidos durante a fabricação dos biocompósitos mostrou que a fibra capilar possui boa compatibilidade de aderência com o TPS de mandioca, tanto quando incorporada durante a fabricação do biopolímero quanto se adicionada durante a formação do filme. No entanto, a completa aderência depende da relação TPS/fibra sendo que nas amostras B

e C foi observada a presença de fibras não incorporadas ao TPS com uma maior quantidade na amostra C, quando comparado com a amostra B.

O tempo de secagem depende da espessura e da proporção TPS/fibra capilar, sendo que, após 6 dias de secagem em temperatura ambiente: i) a superfície da amostra A apresentou-se seca, porém as regiões mais internas do filme apresentou umidade e presença de bolhas; nas amostras B e C ainda permaneceram úmidas. A completa secagem foi observada após 1 semana em temperatura ambiente (Figura 4).



(a) (b) (c)
Figura 4 Biocompósitos – TPS mandioca associado a fibra capilar canina.

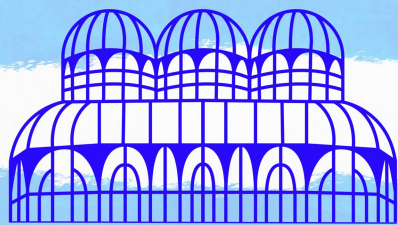
Testes manuais e visuais permitiram verificar que em relação à resistência e elasticidade, as amostras A e C tiveram maior resistência comparado com a amostra B e a amostra C teve maior elasticidade comparado com as amostras A e B.

CONCLUSÕES

Conclui-se que os pelos caninos provenientes de tosa são produzidos em grande volume em estabelecimentos de banho e tosa e não possuem rota de aproveitamento aplicáveis em larga escala no Brasil e no mundo. Desta forma, o material em desenvolvimento neste estudo poderá contribuir para a redução do descarte deste resíduo em aterros sanitários bem como direcioná-los para uma economia circular. Com base nos resultados preliminares obtidos, o amido de batata é o polissacarídeo mais promissor para a confecção de biocompósitos e será empregado nas próximas etapas deste estudo. Conclui-se também que a aderência entre o TSP e a fibra depende de algumas variáveis e, portanto, nas próximas etapas deste trabalho está prevista a avaliação de diferentes espessuras de filmes e proporções TPS/fibra, bem como, alterações no tamanho e na estrutura da fibra (agentes de acoplamento)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Marichelvam, M. K.; Jawaid, M.; Asim, M. **Corn and rice starch-based bioplastics as alternative packaging materials**. *Fibers*, v. 7, n. 4, 1 abr, (2019).; DOI:10.3390/fib7040032.
2. Abe, M.M.; Martins, J.R.; Sanvezzo, P.B.; Macedo, J.V.; Branciforti, M.C.; Halley, P.; Botaro, V.R.; Brienza, M. **Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components**. *Polymers*, (2021), 13, 2484. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13152484>.
3. Ab, S. A., Mohanty, A. K., Liu, Q., Misra, M. **Uma revisão dos amidos termoplásticos biodegradáveis, suas misturas e compósitos: desenvolvimentos recentes e oportunidades para alternativas de embalagens plásticas de uso único**. (2022) DOI: 10.1039/D2GC02169B.
4. Oluba, M. O.; Obi, F. C.; Akpor, B. O.; Ojeaburu, I. S.; Ogunrotimi, D. F.; Adediran, A. A.; Oki, M. **Fabrication and characterization of keratin starch biocomposite flm from chicken feather waste and ginger starch**. *Scientific Reports*, (2021) 11:8768. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88002-3>.
5. Xie, Y.; Hill, S. A. C.; Xiao, Z.; Militz, H.; Mai, C. **Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review**. *Elsevier/Composites: Part A* 41, (2010) 806–819. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.03.005.
6. Gomes, S. A.; Fiadeiro, T. P.; Vieira, C. A.; Vieira, C. J. **Viability Study of Serra da Estrela Dog Wool to Produce Green Composites**. *Polymers*, (2024), 16, 718. 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16050718>.



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

7. Howay, F. W. **The Dog's Hair Blankets of the Coast Salish**. The Washington Historical Quarterly 9, no. 2 (1918): 83–92. DOI: <http://www.jstor.org/stable/40474555>.
8. 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 α -queratina presente no pelo de cachorro**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, (2022) v.13, n.2, p.167-176. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.002.0015>.
9. Murillo, M.; Sánchez, A.; Gil, A.; Letelier, A. G.; Burbano-Garcia, C.; Silva, F. Y. **Use of animal fiber-reinforcement in construction materials: A review**. Case Studies in Construction Materials, (2024). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02812>.
10. Clifton, P.; Keogh, J. **Starch**. University of South Australia, Adelaide, SA, Australia. Encyclopedia of Food and Health, (2016). DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00661-9>.
11. Machado, S. D.; Araujo, D. C.; Novais, S. A. A.; Otaviano, J. D.; Bastos, P. G. E.; **Produção de um bioplástico a partir da Fécula da Mandioca com propriedades antifúngicas**. Brazilian Journal of Development, (2023) Curitiba, v.9, n.2, p.8106-8111, ISSN: 2525-8761. DOI:10.34117/bjdv9n2-128.
12. Maldonado, M. E. L.; Monje, E. A.; Gulzman, Z. R.; Perez, B. L. Sanchez, R. I.; Contreras, Z. A. E. et al. **Effect of a keratin coupling agent on the mechanical properties of a bovine hair-thermoplastic starch composite**. Materials Chemistry and Physics, v. 308, p. 3-10, (2023). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.128266>.
13. Maniglia, C. B.; Limad, C. D.; Junior, M. D. M.; Bail, L. P.; Bail, L. A.; Augusto, D. E. P.; **Preparation of cassava starch hydrogels for application in 3D printing using dry heating treatment (DHT): A prospective study on the effects of DHT and gelatinization conditions**. Food Research International, (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108803>.
14. Moriello, A. K. et al. **Kennel Disinfectants for Microsporum canis and Trichophyton sp**. Hindawi Publishing Corporation Veterinary Medicine International, (2015) ID 853937, p. 1-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/853937>.
15. Silva, S. L.; Melo, T. M.; Sponchiado, I. A. A. P.; Júnior, B. F.; Blacido, T. R. D.; Ciancaglini, P.; RAMOS, P. A.; Maniglia, C. B.; **Synthesis of composite corn starch/hydroxyapatite nanoparticle biomembranes and their effect on mineralization by osteoblastos**. J. Appl. Polym. Sci, (2023). DOI: <https://doi.org/10.1002/app.54579>.