

Main biopolymers derived from food by-products: a brief review

Principais biopolímeros derivados de subprodutos alimentares: uma breve revisão

Article Info:

Article history: Received 2022-06-20 / Accepted 2022-09-29/ Available online 2022-09-29

doi: 10.18540/jcecvl8iss7pp14711-01e

Heloisa de Fátima Mendes Justino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9575-9460>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: heloisa.justino@ufv.br

Jeferson Silva Cunha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6722-9051>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: jeferson.cunha@ufv.br

Caio Cesar Nemer Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-6514>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: caionemer13@hotmail.com

Bruno Ricardo de Castro Leite Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9030-2819>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: bruno.leitejr@ufv.br

Resumo

As indústrias de alimentos produzem diariamente grandes quantidades de subprodutos provenientes do processamento de leite, carne, cerveja, vinho, cana-de-açúcar, café, hortaliças e frutas, entre outros produtos. Os subprodutos alimentares gerados incluem cascas, sementes, caules, raízes, bagaço, resíduo de polpa e soro de leite. A falta de gestão sustentável associada aos baixos estímulos de aproveitamento desses subprodutos por meio da legislação vigente, estimula o descarte desses materiais em aterros sanitários. No entanto, estudos apontam grande potencial no desenvolvimento de biomateriais utilizando subprodutos como fonte de matéria-prima, instigando o meio acadêmico e industrial na busca por novos materiais de caráter sustentável, possibilitando o aumento da receita, além de reduzir possíveis agentes poluidores. Diante disso, essa revisão tem como objetivo destacar a aptidão de subprodutos alimentares na formulação de biomateriais.

Palavras-chave: Biomaterial. Economia circular. Gestão Ambiental. Resíduo agroindustrial.

Abstract

The food industries daily produce large amounts of by-products from the processing of milk, meat, beer, wine, sugar cane, coffee, vegetables and fruits, among other products. The food by-products generated include husks, seeds, stems, roots, pomace, pulp residue and whey. The lack of sustainable management associated with the low incentives to use these by-products through current legislation, encourages the disposal of these materials in sanitary landfills. However, studies point to great potential in the development of biomaterials using by-products as a source of raw material, instigating the academic and industrial environment in the search for new materials of a sustainable nature, enabling an increase in revenue, in addition to reducing possible polluting agents. Therefore, this review aims to highlight the aptitude of food by-products in the formulation of biomaterials.

Keywords: Biomaterial. Circular economy. Environmental management. Agro-industrial waste.

1. Introdução

Antes dos alimentos chegarem à mesa do consumidor, passam por operações unitárias que geram diferentes subprodutos, como por exemplo, os subprodutos sólidos. Com o intuito de evitar danos ao meio ambiente e à saúde humana, esses resíduos devem ser gerenciados da melhor forma possível, atendendo a legislação vigente.

O descarte inapropriado dos subprodutos ocasiona sérios problemas ambientais, tais como odor desagradável, emissão de gases tóxicos e contaminação de lençóis freáticos devido ao elevado teor de matéria orgânica e umidade. A destinação para aterros sanitários e incineração também possuem desvantagens, como emissão de gases de efeito estufa e liberação de gás metano na atmosfera (Avagyan, 2017; Kannah et al., 2018).

Além disso, o acúmulo de materiais não renováveis no ambiente é um fato preocupante, visto que grande parte das embalagens utilizadas são constituídas de materiais não biodegradáveis como plástico, metal, alumínio, dentre outros (Das & Tiwari, 2018). No contexto atual, onde o foco é a sustentabilidade, a utilização de matérias-primas derivadas de fontes renováveis é de grande relevância, uma vez que une aspectos sociais, ambientais e econômicos.

Diante disso, os subprodutos alimentares são alternativas promissoras para atender a demanda de biopolímeros e, possivelmente, substituir polímeros sintéticos à base de petróleo (Cecchini, 2017). Os biopolímeros podem ser empregados em diversos campos da ciência e tecnologia, como entrega de compostos ativos, engenharia de tecidos, tecnologia de células-tronco, material de embalagem e absorventes, entre outros (Mondal et al., 2016). Desta forma, este trabalho apresenta uma revisão sobre os principais biopolímeros obtidos de subprodutos do processamento de alimentos.

2. Biopolímeros

Biopolímeros são polissacarídeos produzidos a partir de recursos renováveis por ação de microorganismos, plantas, animais, além da síntese química utilizando açúcares, óleos, amido e gordura. Grande parte desses elementos, apresentam natureza renovável, sendo uma fonte sustentável com vasta aplicabilidade em indústrias (Ferfera-harrar & Dairi, 2014; De Souza et al., 2021). Diversas pesquisas estão sendo realizadas com o objetivo de obter novos biopolímeros, principalmente biopolímeros obtidos de subprodutos agroindustriais pois o aproveitamento desses recursos contribui para o desenvolvimento de medidas sustentáveis (Maraveas, 2020).

Os biopolímeros podem ser divididos em três categorias: os extraídos de biomassa, os sintetizados artificialmente e os produzidos por microrganismos selvagens ou geneticamente modificados (Fabra et al., 2014). Com base nas fontes de obtenção, eles podem ser classificados em biopolímeros de origem vegetal, animal e microbiana. Os biopolímeros à base de plantas são encontrados em espécies vegetais e são obtidos de diferentes partes de plantas terrestres ou aquáticas, como folha, caule, tronco, raízes, tubérculos ou mesmo sementes e frutos. Os biopolímeros de origem animal são derivados das espécies animais ou dos produtos obtidos pelo processamento. Já os biopolímeros microbianos são produzidos por microrganismos, geralmente como secreções extracelulares em meios de cultura (Priyadarshi et al., 2021). A Figura 1 apresenta as principais fontes de extração de biopolímeros de origem natural.

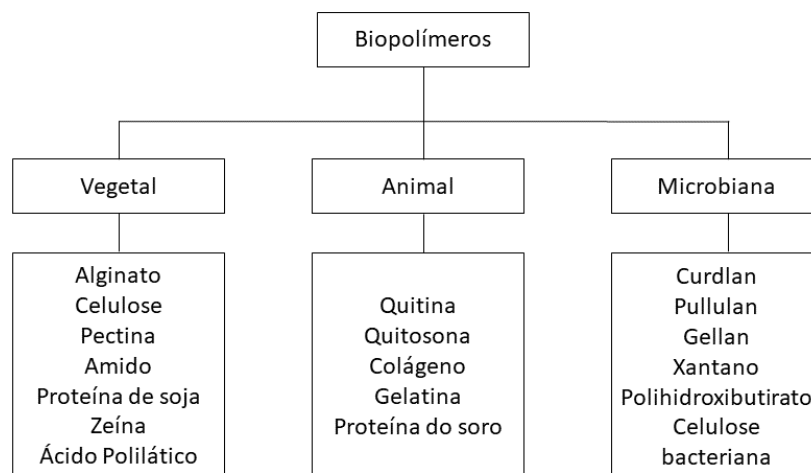


Figura 1 - Principais biopolímeros obtidos de fonte vegetal, animal e microbiana.
Fonte: Adaptada de Priyadarshi (2021)

3. Potencial de subprodutos alimentares como fonte de biopolímeros

O processamento de alimentos gera quantidade significativa de subprodutos, como cascas, sementes, caules, raízes, restos de polpa e bagaço. A gestão inadequada desses subprodutos pode ocasionar danos ambientais, como contaminação de lençóis freáticos, odor desagradável, produção de gases tóxicos, entre outros.

Diferentes estratégias ligadas às questões ambientais, sociais e econômicas têm sido exploradas para a utilização dos subprodutos em diversas áreas. Dentro desse segmento, eles têm forte potencial para atender a crescente demanda de biopolímeros e substituir polímeros sintéticos à base de petróleo (Cecchini, 2017). Os polímeros sintéticos possuem como vantagens serem estáveis, práticos e mais baratos. Por outro lado, estão espalhados por todo o mundo, desde à Antártica até os leitos profundos do Oceano Pacífico, provocando danos no ecossistema, pois não são biodegradáveis (Gaur et al., 2021).

Com o objetivo de atender a demanda de bioplásticos, uma variedade de subprodutos de origem vegetal e animal estão sendo utilizados para sintetizar biopolímeros e biocompósitos à base de polímeros. Alguns biopolímeros como polihidroxialcanoatos, polihidroxitirano, polissacarídeos, polinucleotídeos, ácido polilático e polipeptídeos são recuperados de subprodutos como um substituto dos plásticos tradicionais derivados do petróleo (Sirohi et al., 2021; Kosseva et al., 2020).

Os polihidroxialcanoatos (PHAs) são compostos biodegradáveis e podem substituir o polipropileno ou poliéster (Chong et al., 2021). Resíduos do processamento de cenoura e de animais, como os peixes marinhos, já foram explorados e constatado que são excelentes fontes de matéria-prima renovável para produção de PHAs (Kumar et al., 2020).

O Polihidroxitirato (PHB) é um biopolímero produzido intracelularmente e acumulado como reserva de energia por muitos microrganismos (Coutinho et al., 2004). Ele possui diversas aplicações, como, substituto biodegradável de polímeros olefínicos em embalagens, componentes estruturais e pode ser usado internamente em seres humanos, visto que, não é tóxico e compatível com tecidos vivos. Na área biomédica, é usado em cápsulas gelatinosas para a ingestão de medicamentos, pinos, fios de sutura, enxertos ósseos, escovas cirúrgicas, tecidos cirúrgicos e como talco de lubrificação para luvas cirúrgicas (Quental et al., 2010).

Como principais aplicações, os biopolímeros podem ser empregados em indústrias alimentícias, médicas, biossensores, tecidos, itens de bioplásticos, cosméticos, reagentes de tratamento de água, produtos farmacêuticos e até dispositivos de armazenamento de dados (Ranganathan et al., 2020, Sanchez-Vazquez et al., 2013). Ademais, apesar de apresentar como uma

alternativa promissora na engenharia de materiais, ainda existem lacunas a serem preenchidas, como por exemplo, melhor caracterização dos materiais para destiná-los corretamente de acordo com as propriedades exigidas pelo produto em questão (Martins et al., 2022).

4. Fontes de subprodutos para produção de biopolímeros

Os subprodutos alimentares possuem macronutrientes, como carboidratos e proteínas. Alguns estudos já exploraram a utilização desses compostos para diversas finalidades, dado que, polissacarídeos e proteínas oferecem muitas possibilidades para fins alimentares e biomédicos. Em indústrias alimentícias, proteínas e carboidratos podem ser usados como agentes encapsulantes de aromas, agentes texturizantes ou espessantes, e podem ser utilizados em embalagem de alimentos ou entrega de compostos bioativos. Na área de biomedicina, eles podem ser usados na regeneração tecidual ou atuar como carreadores de drogas (Bealer et al., 2020; Haghghi et al., 2020).

Os polissacarídeos são os biopolímeros mais abundantes na natureza, sendo moléculas de alto peso molecular compostas por unidades repetidas de monossacarídeos ligadas por ligações glicosídicas (Singh et al., 2021). Os biopolímeros de polissacarídeos mais comuns são os de amido, celulose, quitosana e quitina (Verma et al., 2016).

O amido é um biopolímero semicristalino composto principalmente de dois polissacarídeos, amilose e amilopectina. A amilopectina é formada por cadeias longas e curtas com ligações α -(1,4) e ramificações do tipo α -(1,6). A amilose, por sua vez, é caracterizada por cadeias de ligações α -(1,4), lineares ou com poucas ramificações (Pfister & Zeeman, 2016; Tappiban et al., 2018), como pode ser observado na Figura 2.

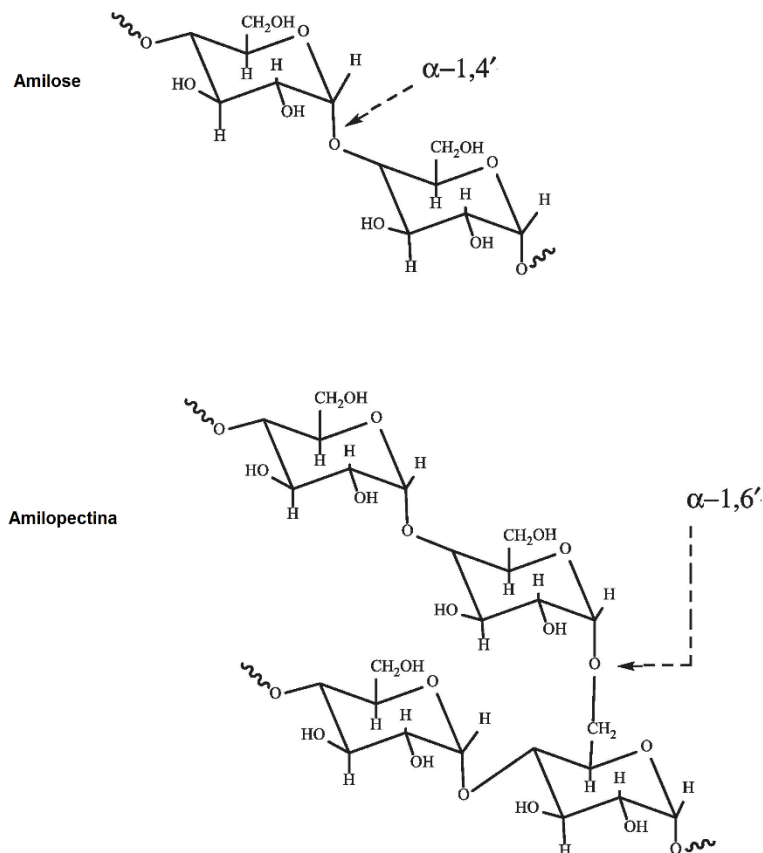


Figura 2 – Estrutura de amilose e amilopectina.
Fonte: Adaptada de Agarwal (2021)

Devido a sua estrutura, o amido é considerado um material promissor para a fabricação de filmes de biopolímeros, devido sua cristalinidade induzida por ligações de hidrogênio, facilitando sua transformação em material termoplástico (Jimenez et al., 2012).

A celulose é amplamente encontrada na natureza, podendo ser obtida por meio de plantas, madeiras ou microorganismos (Zhu et al., 2022; Yang et al., 2021). Nos vegetais, ela representa de 20 a 40% do peso seco da parede celular, e sua produção anual é de mais de 50 bilhões de toneladas (Pereira et al., 2019). É constituída por três grupos OH, sendo que as ligações de hidrogênio intermoleculares produzem estrutura fibrosa e acúmulo semicristalino, gerando alta resistência e flexibilidade ao material (Figura 3). Além disso, os grupos OH primários podem ser facilmente modificados, viabilizando a sua aplicação em diferentes matrizes (Yang et al., 2021).

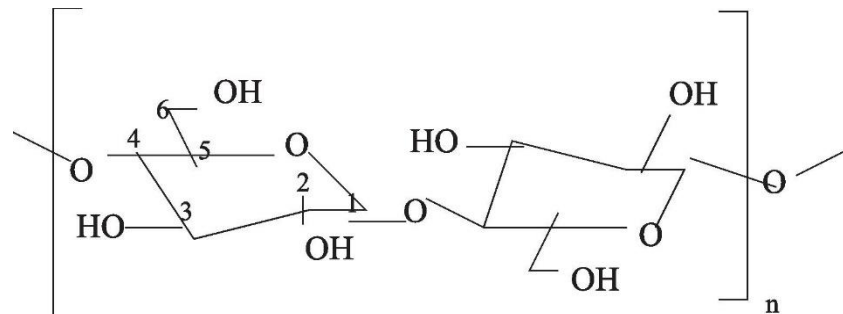


Figura 3 – Estrutura molecular do polímero de celulose.

Fonte: Han et al. (2022)

A casca de batata contém quantidades significativas de amido, celulose, hemiceluloses e açúcares fermentescíveis. Borah et al. (2017) desenvolveram filmes de polímeros à base de casca de batata e bagaço de limão doce tratados por ultrassom por 45 e 60 minutos. O ultrassom foi aplicado com o objetivo de reduzir o tamanho das partículas, facilitando a formação do filme. Os autores constataram que o aumento dos tempos de tratamento com ultrassom melhorou as propriedades do filme e que a proporção de 0,5:1 de casca de batata para bagaço de limão doce apresentou melhores características entre todos os outros filmes analisados.

Luchese et al. (2019) avaliaram o efeito da inclusão de subprodutos do processamento de mirtilo, jaboticaba, pinhão, gergelim e linhaça nas propriedades mecânicas e de barreira ao vapor de água de biofilmes produzidos a partir de amido de mandioca. Os resultados encontrados revelaram que o filme contendo bagaço de jaboticaba apresentou o maior percentual de alongação de ruptura, enquanto os filmes com subproduto de mirtilo e linhaça apresentaram maiores valores de tensão de ruptura, semelhantes às do filme de polietileno de baixa densidade comercial. Concluíram a partir dos resultados que as formulações contendo mirtilo, jaboticaba e linhaça podem ser consideradas alternativas promissoras para o desenvolvimento de embalagens para alimentos, uma vez que apresentaram propriedades mecânicas comparáveis aos filmes atualmente comercializados.

Croche (2018) caracterizou celulose da casca de arroz e, posteriormente, utilizou esse material como carga de reforço em materiais compósitos. Análises para avaliação da eficiência da obtenção da celulose foram realizadas e observou-se que as técnicas de difração de raio-X confirmaram a eficiência dos métodos utilizados na obtenção de celulose a partir da casca de arroz. Além disso, a espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier indicou que não houve formação de novas ligações no material, e que a calorimetria exploratória diferencial demonstrou que não houve mudanças significativas na temperatura de fusão cristalina da matriz polimérica após a adição da celulose.

Furckel et al. (2021) desenvolveram um biopolímero pela técnica de *casting* a partir de amido de milho e glicerol com adição de subprodutos do processamento de uva e maçã. Foram realizadas análises das propriedades físico-químicas (umidade, solubilidade em água, tampão pH 7,0, em ácido clorídrico e hidróxido de sódio 0,1 N, capacidade de absorção de água e biodegradabilidade) e

concluiu-se que a adição de 10% de farinha desses subprodutos forneceu propriedades físico-químicas adequadas para aplicação em embalagens alimentícias.

A quitina é um polímero natural que pode ser extraído de exoesqueleto de crustáceos e insetos, por exemplo. Já a quitosana é formada pela desacetilação da quitina em meio alcalino (Figura 4). A quitosana é de ampla aplicação devido à não toxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, alta resistência mecânica e propriedades físico-químicas (Fouda-Mbanga et al., 2021). Comumente, ela é empregada como adsorvente para eliminação de íons de metais pesados em águas residuais (Salehi et al., 2016).

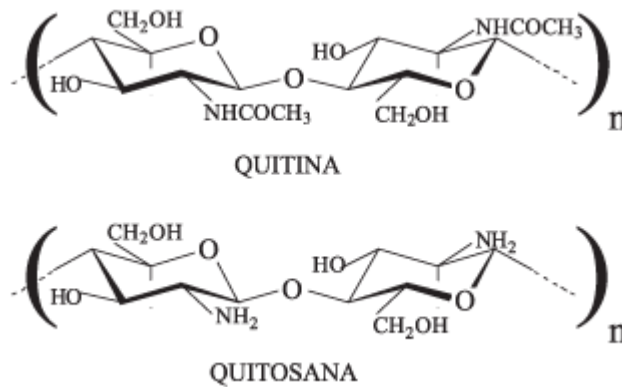


Figura 4 – Estruturas primárias de quitina e quitosana.
Fonte: Battisti (2008)

Youcefi et al. (2022) analisaram a eficiência de remoção de metais pesados e atividade antimicrobiana de esferas de quitosana preparadas de subprodutos do processamento de camarão. Observaram uma redução superior a 50% da carga microbiana, podendo chegar a 80 % para *E. coli* e superior a 60% para *B. Subtilis*. Além disso, as esferas desempenharam papel quelante em certos metais pesados poluentes, com quelação total após cerca de duas horas.

Os biopolímeros à base de proteínas também possuem biodegradabilidade e biocompatibilidade, o que os tornam favoráveis para diferentes aplicações. Além disso, eles possuem boa resistência mecânica, térmica e resistência à água, tornando-os adequados para uso como filmes (Gautam et al., 2022).

O colágeno é a principal proteína fibrilar na maioria dos organismos vivos, exercendo papel vital nos tecidos conjuntivos. A estrutura molecular desse biopolímero consiste em três cadeias polipeptídicas α entrelaçadas entre si formando uma tripla hélice, com aproximadamente 300 nm de comprimento e peso molecular de 105 kDa (Feyzi et al., 2015). O colágeno pode ser obtido de subprodutos do abatedouro como couros, ossos, tendões e cartilagens (Gómez-Guillén et al., 2011). A fonte principal de colágeno industrial usado em medicina, cosméticos e outras aplicações não biomédicas é o colágeno bovino. Além do bovino, o colágeno suíno pode ser utilizado pois apresenta propriedades semelhantes ao colágeno humano (Senadheera et al., 2020). Os subprodutos de frutos do mar também são uma alternativa promissora como fonte de colágeno, ademais, podem ser usados para formulação de ração, biodiesel, biogás, pigmentos naturais e fertilizante natural do solo (Blanco et al., 2017).

5. Conclusão

A utilização dos recursos naturais para sobrevivência humana é essencial, porém é necessário utilizar esses recursos de forma equilibrada e sustentável para não comprometer as futuras gerações. Por outro lado, em muitos casos, a conservação ambiental não é prioridade por parte das empresas, gerando conflitos de interesse ambiental e econômico. Diante disso, pesquisas envolvendo o uso sustentável desses recursos vêm sendo intensificadas, de modo que a utilização de biopolímeros obtidos de subprodutos tem despertado interesse do meio acadêmico. Os biopolímeros apresentam

potencial para inúmeras aplicações, demonstrando ser uma estratégia para diminuir impactos ambientais e contribuir para a economia circular. Todavia, sabe-se que ainda existem lacunas no conhecimento técnico-científico para melhor compreensão e desenvolvimento de materiais a base biopolímeros, sendo necessário maior apoio à pesquisas científicas para levar esse conhecimento à sociedade e empresas.

References

- Agarwal, S. (2021). Major factors affecting the characteristics of starch based biopolymer films. *European Polymer Journal*, 160, 110788.
- Avagyan, A. B. (2017). Environmental building policy by the use of microalgae and decreasing of risks for Canadian oil sand sector development. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(25), 20241-20253.
- Battisti, M. V., & Campana-Filho, S. P. (2008). Obtenção e caracterização de α -quitina e quitosanas de cascas de *Macrobrachium rosenbergii*. *Química Nova*, 31, 2014-2019.
- Bealer, E. J., Onissema-Karimu, S., Rivera-Galletti, A., Francis, M., Wilkowski, J., Salas-de la Cruz, D., & Hu, X. (2020). Protein-polysaccharide composite materials: Fabrication and applications. *Polymers*, 12(2), 464.
- Blanco, M., Vázquez, J. A., Pérez-Martín, R. I., & Sotelo, C. G. (2017). Hydrolysates of fish skin collagen: An opportunity for valorizing fish industry byproducts. *Marine drugs*, 15(5), 131.
- Borah, P. P., Das, P., & Badwaik, L. S. (2017). Ultrasound treated potato peel and sweet lime pomace based biopolymer film development. *Ultrasonics sonochemistry*, 36, 11-19.
- Cecchini, C. (2017). Bioplastics made from upcycled food waste. Prospects for their use in the field of design. *The Design Journal*, 20(sup1), S1596-S1610.
- Chong, J. W. R., Yew, G. Y., Khoo, K. S., Ho, S. H., & Show, P. L. (2021). Recent advances on food waste pretreatment technology via microalgae for source of polyhydroxyalkanoates. *Journal of Environmental Management*, 293, 112782.
- Coutinho, B. C., Miranda, G. B., Sampaio, G. R., De Souza, L. B. S., Santana, W. J., & Coutinho, H. D. M. (2004). A importância e as vantagens do polihidroxibutirato (plástico biodegradável). *Holos*, 3, 76-81.
- Croche, S. R. C. (2018). *Obtenção de celulose a partir da casca de arroz para aplicação em materiais compósitos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, Brasil.
- Das, P., & Tiwari, P. (2018). Valorization of packaging plastic waste by slow pyrolysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 69-77.
- De Souza, F. R. A., De Oliveira, J. S. T., Da Silva, D. P., De Oliveira, M. G., Neves, D. D., Da Silva, W. E., & Stamford, T. C. M. (2021). Biopolímeros na indústria de alimentos: do aproveitamento de resíduos agroindustriais a produção de biopolímeros. *Verruck S, organizador. Avanços em ciência e tecnologia de alimentos*, 4, 370-88.
- Fabra, M. J., López-Rubio, A., & Lagaron, J. M. (2014). Biopolymers for food packaging applications. *Smart polymers and their applications*, 476-509.
- Feig, V. R., Tran, H., & Bao, Z. (2018). Biodegradable polymeric materials in degradable electronic devices. *ACS central science*, 4(3), 337-348.
- Feyzi, S., Varidi, M., Zare, F., & Varidi, M. J. (2015). Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) seed protein isolate: extraction optimization, amino acid composition, thermo and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(15), 3165-3176.
- Fouda-Mbanga, B. G., Prabakaran, E., & Pillay, K. (2021). Carbohydrate biopolymers, lignin based adsorbents for removal of heavy metals (Cd²⁺, Pb²⁺, Zn²⁺) from wastewater, regeneration and reuse for spent adsorbents including latent fingerprint detection: A review. *Biotechnology Reports*, 30, e00609.
- Furckel, M., Souza, E. L., & Soares, F. A. S. D. M. (2021). Produção e caracterização de biopolímero à base de amido e glicerol com resíduos agroindustriais. *Seminário de Iniciação Científica e Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão*, e28646-e28646.

- Gaur, V. K., Gautam, K., Sharma, P., Gupta, S., Pandey, A., You, S., & Varjani, S. (2022). Carbon-based catalyst for environmental bioremediation and sustainability: Updates and perspectives on techno-economics and life cycle assessment. *Environmental Research*, 209, 112793.
- Gautam, K., Vishvakarma, R., Sharma, P., Singh, A., Gaur, V. K., Varjani, S., & Srivastava, J. K. (2022). Production of biopolymers from food waste: Constrains and perspectives. *Bioresource Technology*, 127650.
- Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. A., & Montero, M. P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. *Food hydrocolloids*, 25(8), 1813-1827.
- Haghighi, H., Licciardello, F., Fava, P., Siesler, H. W., & Pulvirenti, A. (2020). Recent advances on chitosan-based films for sustainable food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100551.
- Han, Z., Zhu, H., & Cheng, J. H. (2022). Structure modification and property improvement of plant cellulose: based on emerging and sustainable nonthermal processing technologies. *Food Research International*, 111300.
- Jimenez, A., Fabra, M. J., Talens, P., & Chiralt, A. (2012). Edible and biodegradable starch films: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2058-2076.
- Kannah, R. Y., Velu, C., Rajesh Banu, J., Heimann, K., & Karthikeyan, O. P. (2018). Food waste valorization by microalgae. In *Waste to Wealth* (pp. 319-342). Springer, Singapore.
- Kosseva, M. R. (2013). Sources, characterization, and composition of food industry wastes. In *Food industry wastes* (pp. 37-60). Academic Press.
- Kumar, S., & Pandey, A. (2019). Current developments in biotechnology and bioengineering and waste treatment processes for energy generation: an introduction. In *Current developments in biotechnology and bioengineering* (pp. 1-9). Elsevier.
- Luchese, C. L., Pavoni, J. M. F., Spada, J. C., & Tessaro, I. C. (2019). Avaliação da influência da incorporação de diferentes resíduos agroindustriais em filmes à base de amido de mandioca. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 2(2), 802-812.
- Maraveas, C. (2020). Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste. *Polymers*, 2 (5), 1127
- Martins, CCN, Cunha, JS, Furtini, ACC, dos Santos, CA, de Novais Miranda, EH, de Souza Silva, RC, ... & Paiva, PHC (2022). Uso de biopolímeros no recobrimento de papéis para embalagens alimentícias: uma revisão breve. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 11 (7), e26511729844-e26511729844.
- Mondal, D., Griffith, M., & Venkatraman, S. S. (2016). Polycaprolactone-based biomaterials for tissue engineering and drug delivery: Current scenario and challenges. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, 65(5), 255-265.
- Pereira, N. R. L., Anjos, F. E., & Magnago, R. F. (2019). Resíduos lignocelulósicos da bananicultura: uma revisão sobre os processos químicos de extração da celulose. *Revista Virtual de Química*, 11(4), 1165-1179.
- Pfister, B., & Zeeman, S. C. (2016). Formation of starch in plant cells. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 73(14), 2781-2807.
- Priyadarshi, R., Roy, S., Ghosh, T., Biswas, D., & Rhim, J. W. (2021). Antimicrobial nanofillers reinforced biopolymer composite films for active food packaging applications-a review. *Sustainable Materials and Technologies*, e00353.
- Quental, A.C., Carvalho, F.P.D., Tada, E.D.S., & Felisberti, M.I. (2010). Blendas de PHB e seus copolímeros: miscibilidade e compatibilidade. *Química Nova*, 33, 438-446.
- Ranganathan, S., Dutta, S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2020). Utilization of food waste streams for the production of biopolymers. *Heliyon*, 6(9), e04891.
- Salehi, E., Daraei, P., & Shamsabadi, A. A. (2016). A review on chitosan-based adsorptive membranes. *Carbohydrate polymers*, 152, 419-432.
- Sanchez-Vazquez, S. A., Hailes, H. C., & Evans, J. R. G. (2013). Hydrophobic polymers from food waste: Resources and synthesis. *Polymer Reviews*, 53(4), 627-694.

- Senadheera, T. R., Dave, D., & Shahidi, F. (2020). Sea cucumber derived type I collagen: A comprehensive review. *Marine Drugs*, 18(9), 471.
- Singh, V., Indoria, S., Jisha, K. J., & Gardas, R. L. (2021). Structure and Solubility of Polysaccharides. *Polysaccharides: Properties and Applications*, 325-336.
- Sirohi, R., Gaur, V. K., Pandey, A. K., Sim, S. J., & Kumar, S. (2021). Harnessing fruit waste for poly-3-hydroxybutyrate production: a review. *Bioresource technology*, 326, 124734.
- Tappiban, P., Smith, D. R., Triwitayakorn, K., Bao, J. (2018). Recent understanding of starch biosynthesis in cassava for quality improvement: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 83, 167-180.
- Verma, S., Manjubala, I., & Narendrakumar, U. (2016). Protein and carbohydrate biopolymers for biomedical applications. *Int J PharmTech Res*, 9(8), 408-421.
- Yang, G., Kong, H., Chen, Y., Liu, B., Zhu, D., Guo, L., & Wei, G. (2022). Recent advances in the hybridization of cellulose and carbon nanomaterials: Interactions, structural design, functional tailoring, and applications. *Carbohydrate Polymers*, 279, 118947.
- Youcefi, F., Ouahab, L. W., Borsali, L., & Bengherbi, S. E. I. (2022). Heavy metal removal efficiency and antibacterial activity of chitosan beads prepared from crustacean waste. *Materials Today: Proceedings*, 53, 265-268.
- Zhu, H., Han, Z., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2022). Modification of cellulose from sugarcane (*Saccharum officinarum*) bagasse pulp by cold plasma: Dissolution, structure and surface chemistry analysis. *Food chemistry*, 374, 131675.