

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS - ICF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS - PPGCF

EMANUELLY CAROLYNE MARQUES DE FARIAS NANES

**DESENVOLVIMENTO DE BIOMATERIAIS PCL/RESÍDUO DE PRÓPOLIS –
APROVEITAMENTO E VALORIZAÇÃO DE DESCARTES DA APICULTURA**

MACEIÓ-AL
2024

EMANUELLY CAROLYNE MARQUES DE FARIAS NANES

**DESENVOLVIMENTO DE BIOMATERIAIS PCL/RESÍDUO DE PRÓPOLIS –
APROVEITAMENTO E VALORIZAÇÃO DE DESCARTES DA APICULTURA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Federal de Alagoas, para a obtenção do título de Mestra em Ciências Farmacêuticas.

Orientadora: Profa. Dra. Camila Braga Dornelas

Coorientadora: Profa. Dra. Ligia Maria Manzine Costa

MACEIÓ-AL

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

N177d Nanes, Emanuely Carlyne Marques de Farias.

Desenvolvimento de biomateriais PCL/resíduo de própolis – aproveitamento e valorização de descartes da apicultura / Emanuely Carlyne Marques de Farias Nanes. – 2024.

68 f. : il. color.

Orientadora: Camila Braga Dornelas.

Co-orientadora: Ligia Maria Manzine Costa.

Dissertação (Mestrado em Farmácia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Farmacêuticas. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 50-68.

1. Resíduo de própolis. 2. Miscibilidade. 3. Poli(ε-caprolactona). I. Título.

CDU: 638.135

Dedico este trabalho a todos os alunos que deixam suas famílias e amigos e se deslocam do interior à capital buscando realizar o sonho da formação acadêmica, a fim de alcançar um futuro melhor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Mãe Rainha pela oportunidade de continuar meus estudos, por toda proteção, cuidado e zelo para que tivesse paciência e força para a conclusão deste trabalho, sendo meu ponto de apoio e esconderijo em todas as desventuras, trazendo sempre conforto e felicidade em tudo o que sempre sonhei.

Agradeço a Jesus Cristo, meu grande amigo, por ter estado comigo em todos os momentos na realização deste mestrado, por nunca ter me abandonado e permitido que este trabalho fosse finalizado.

Agradeço à minha família, principalmente aos meus pais, Dayan Nanes e Patrícia Lanne, por terem acreditado e me apoiado nesta imensa batalha para a finalização deste trabalho, por toda torcida e orações.

Agradeço aos meus irmãos, Marcela, Gabriela e William por ter me consolado, acalmado e torcido por mim, sempre motivando para que o resultado fosse alcançado.

Agradeço imensamente ao meu noivo, Gabriel, por ter acreditado em mim, motivando-me sempre que o cansaço e a falta de ânimo abateram meu corpo e espírito, estando presente em todos os momentos de alegria e angústia durante este mestrado.

Agradeço a minha tia Sylvia, por todos os conselhos e ajuda na realização deste trabalho.

Agradeço à Universidade Federal de Alagoas por ter sido minha casa durante estes 8 anos sendo aluna de graduação e mestrado, pelas imensas oportunidades de crescimento que foram disponibilizadas a mim.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa, nestes quatro últimos meses para a conclusão da pós-graduação.

Agradeço às professoras Camila Braga Dornelas e Lígia Maria Manzine Costa pela orientação e paciência para a conclusão deste trabalho.

Obrigada!

***“Ainda que meu corpo e
minha mente enfraqueçam,
Deus é a minha força, Ele é
tudo o que sempre preciso.”***

— Salmo 73:26

RESUMO

Os resíduos extrativos de origem natural, como o resíduo extrativo de própolis, estão cada vez mais presentes no desenvolvimento e melhoramento de polímeros já conhecidos, principalmente para a área da saúde e embalagens. A incorporação de propriedades ativas é um fator essencial na busca destes resíduos, pois na medida em que empregam utilidade a um recurso muitas vezes descartado oferece rentabilidade financeira aos detentores de tal material, uma vez que o descarte passa a opção. Este estudo teve por objetivo principal produzir filmes contendo resíduo extrativo de própolis, vermelha e verde, na concentração de 10, 25 e 50% em associação ao polímero Poli(ϵ -caprolactona). O método utilizado para a confecção foi mistura simples a quente com incorporação do resíduo, seguido de prensagem simples. Os resíduos foram caracterizados por FTIR e HPLC. Os filmes, por sua vez, foram caracterizados por TG, MEV, FTIR e teste de degradabilidade. Como resultado, percebeu-se que os resíduos, de acordo com a análise de FTIR e HPLC, ainda continham compostos relativamente importantes nas amostras, como muitos isoflavonoides com características relevantes na medicina. Os filmes apresentaram picos de degradação equivalentes ao passo em que analisaram-se horas, dias e semanas. O resultado de MEV mostrou que, aparentemente, os filmes conseguiram ser miscíveis, indicando certa miscibilidade entre o polímero base e os resíduos. Assim, foi possível preparar filmes contendo PCL cuja liberação de compostos flavonóides é facilitada, demonstrando assim a possibilidade de novas aplicações, agregando valor a um resíduo da indústria de própolis.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de própolis, Miscibilidade, Poli(ϵ -caprolactona)

ABSTRACT

Extractive residues of natural origin, such as the extractive disposal of propolis, are increasingly used in the development and improvement of already known polymers, mainly for the health and packaging sectors. The incorporation of active properties is an essential factor in the search for this waste, as they provide usefulness to a resource that is often discarded, offering financial profitability to the holders of this material, as disposal becomes an option. The main objective of this study was to produce membranes containing propolis extractive residue, red and green, at concentrations of 10, 25 and 50% in association with the Poly(ϵ -caprolactone) polymer. The method used for preparation was simple hot mixing with incorporation of the residue, followed by simple pressing. The residues were characterized by FTIR and HPLC. The membranes, in turn, were characterized by TG, SEM, FTIR and degradability. As a result, it was noticed that the residues, according to FTIR and HPLC analyses, still contained relatively important compounds in the samples, such as many isoflavonoids with characteristics relevant in medicine. The membranes showed degradation peaks equivalent to the hours, days and weeks analyzed. The SEM result showed that, apparently, the membranes managed to be miscible, indicating some miscibility between the base polymer and the residues. Thus, it was possible to prepare films containing PCL whose release of flavonoid compounds is facilitated, thus demonstrating the possibility of new applications, adding value to a residue from the propolis industry.

KEY-WORDS: Propolis, Miscibility, Poly(ϵ -caprolactone)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Objetivos do desenvolvimento sustentável.	7.
Figura 2 – Descarte irregular de resíduos sólidos a céu aberto.....	10
Figura 3 – Coleta de exsudatos vegetais por <i>Apis Mellifera</i> para a produção de própolis	12
Figura 4 –. Figura representativa do selo de origem da Própolis Vermelha de Alagoas	14
Figura 5 - Resina proveniente da planta na <i>Dalbergia ecastophyllum</i> (L) Taub	15
Figura 6 - Própolis Vermelha	17
Figura 7 – Própolis Verde	18
Figura 8 - Os vasos da oficina de embalsamamento encontrados no sítio arqueológico de Saqqara/Egito, contendo componentes utilizados no processo de mumificação de corpos, dentre eles própolis.	19
Figura 9 – Própolis.....	22
Figura 10 - Primeiro extrato de própolis e primeiro mel contendo extrato de própolis comercializado no Brasil	23
Figura 11 - Estrutura química da Poli (ϵ -caprolactona)	28
Figura 12 - Gráfico espectrofométrico de transmitância por número de onda do resíduo de própolis verde e vermelha.....	36
Figura 13 - Caracterização por FTIR dos filmes confeccionados.....	38

Figura 14 - Coloração característica dos filmes elaborados	41
Figura 15 - Fotomicrografia superficial dos filmes reveladas contendo resíduo de própolis com aumento de 10µm. A) PRvermelha10PCL90 B) PRvermelha25PCL75, C) PRvermelha50PCL50, D) RPverde10PCL90, E) RPverde25PCL70, F) RPverde50PCL50.....	42
Figura 16 - Avaliação das propriedades Termogravimétricas	42
Figura 17 – Avaliação das propriedades Termogravimétricas – Derivada da TG	44
Figura 18 – Efeito da temperatura de degradação T0 e T50 dos filmes	44
Figura 19 - Cromatogramas de resíduo de própolis. A) Verde, B) Vermelha.....	47
Figura 20 - Determinação da degradação dos filmes de PrVerde e PrVermelha.....	48
Figura 21- Degradação da membrana contendo 25% de resíduo de própolis vermelha em associação a Poli(ε-caprolactona) após 7 dias.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela	1	–	Classificação	dos	tipos	de	própolis	
brasileiras.....								14

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

(AFFs) Agências Financeiras de Fomento

(APL) Arranjo Produtivo Local

(ANVISA) Agência Nacional de Vigilância Sanitária

(BNDES) Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Sustentável

(C₁₅H₁₂O₅) Naringenina

(FAO) Food and Agriculture Organization of the United Nations

(Finep) Financiadora de Estudos e Projetos

(FTIR) Fourier Transform Infrared

(HPLC) High Performance Liquid Chromatography

(IBAMA) Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

(INPI) Instituto Nacional de propriedade Industrial

(ONU) Organização das Nações Unidas

(MAPA) Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

(MEV) Microscopia Eletrônica de Varredura

(PCL) Poli (ϵ -caprolactona)

(RPVerde) Resíduo de própolis verde

(RPVermelha) Resíduo de própolis vermelha

(SEBRAE) Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

(SEST) Empresas Estatais do Brasil

(SPSD) Desenvolvimento Sustentável de Produtos e/ou Serviços

(TG) Análise termogravimétrica

(UFAL) Universidade Federal de Alagoas

(UNIC) do inglês World Alliance for Nature

(WFFN) World Wide Fund Four Nature

($\lambda_{\text{máx}}$) Amplitude máxima

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Sustentabilidade	4
2.2 Órgãos de fomento em sustentabilidade.....	6
2.3 Resíduos	8
2.4 Aproveitamento de resíduos.	10
2.5 Própolis.....	11
2.6 Indústria e Comércio de própolis.	19
2.7 Aproveitamento de resíduo de própolis.....	24
2.8 Biomateriais.	26
3. OBJETIVO.....	30
I. Objetivo geral.....	30
II. Objetivos específicos.	30
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1 Material	31
4.2. Métodos	31
I. Obtenção do resíduo extrativo de própolis vermelha de Alagoas e própolis verde e tratamento destes resíduos.....	31
II. Caracterização do resíduo extrativo de própolis.	32
a) Análise termogravimétrica	32
b) Cromatografia líquida de alta eficiência.....	32
c) Análise de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier	34
III. Obtenção de filmes contendo resíduo de própolis.	35
IV. Caracterização dos filmes elaborados	35
a) Análise de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier dos filmes.....	35
b) Caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	36
c) Determinação de biodegradabilidade das amostras.	36
V. Análise Estatística.	36

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
I. Obtenção do resíduo extrativo de própolis vermelha de Alagoas (RPVermelha) e própolis verde (RPVerde) tratamento destes resíduos.....	40
II. FTIR dos filmes confeccionados	41
III. Coloração dos filmes produzidos	46
IV. Fotomicrografias resultantes da técnica de MEV	47
V. Avaliação da termogravimetria TG dos filmes sintetizados	47
VI. Análise de HPLC dos resíduos de própolis	48
VII. Avaliação da degradação dos filmes confeccionados	49
VIII. Efeito da temperatura de degradação T0 e T50 dos filmes em função da composição	49
6. CONCLUSÃO	49
7. REFERÊNCIAS	50

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade é o grande desafio do século XXI, pois visa a criação de práticas que priorizam o uso de recursos naturais renováveis com o objetivo de atender as demandas do mercado sem provocar danos para as gerações futuras. O rápido crescimento industrial, aliado a constante necessidade de aumento de produção e consumo, gerou prejuízos significativos ao meio ambiente, tornando cada vez mais necessário entender e repensar sobre descarte de resíduos (European Environment Agency, 2024). De acordo com García-Monleón e colaboradores, 2024, a sustentabilidade está intimamente relacionada ao desenvolvimento econômico, e o crescimento financeiro e sustentável são simultaneamente alcançáveis.

O termo Desenvolvimento Sustentável de Produtos, foi mencionado pela primeira vez no ano de 1995 por Weenen, e apesar de ser um termo antigo está cada vez mais presente na fala das novas gerações, considerando sempre a disponibilidade de recursos ambientais e distribuição dos mesmos para a geração de bens (Weenen, 1995). Hoje, o termo é expandido e abrange também os Serviços, sendo então modificado para Desenvolvimento Sustentável de Produtos e/ou Serviços (SPSD), considerando o processo de fabricação de produtos que atendam a critérios de custo e qualidade de modo mais sustentável, e que equilibre economia, questões ambientais e sociais (Guttermann, 2023). De acordo com a literatura, as empresas manufatureiras, cuja transformação de matéria-prima em bens de consumo acontece de modo primordial, modificam a sociedade trazendo bem-estar para a população na medida em que há geração de renda. No entanto, os impactos negativos relacionados à produção destes bens de consumo preocupam cada vez mais o cenário mundial (Sutherland et al., 2020).

Assim, a indústria está a cada dia mais fiscalizada pela sociedade e entende que sua função para promover o desenvolvimento sustentável deve adotar medidas sociais e ambientais que instiguem a busca de produtos com maior capacidade de renovação e reutilização, melhorando o seu próprio desenvolvimento econômico (Vilochani et al., 2024). Esse novo nível de consciência ambiental aumentou a busca por substitutos ecológicos pelo fato de não serem poluentes, serem de fácil renovação e promoverem o desenvolvimento sustentável. Essa forma de pensamento desaprova

o uso de derivados petroquímicos e instiga a busca por plásticos ecológicos biodegradáveis na medida em que propõe estratégias para a gestão de resíduos (Iwata, 2015).

Os materiais plásticos têm impacto severo na poluição ambiental pelo fato de não serem facilmente degradados por decompositores microbianos, tornando-se presentes por longas décadas no cenário ambiental. Então, há uma crescente procura por substitutos poliméricos ecológicos, de origem renovável, sustentável, que visem o reaproveitamento de materiais, até então descartados pela indústria, respeitando o meio ambiente (Xie, 2023; Iwata, 2015). De acordo com Hussain e colaboradores, 2024, os resíduos poliméricos naturais estão categorizados em vários tipos, destacando-se bastão (como juta, algodão e fibra de coco), palhas de plantas (como trigo, milho e arroz), fibras de folhas (como sisal e abacaxi), fibras de madeira e fibras vegetais (como seda, lã e caxemira). Assim, os resíduos poliméricos de origem natural ao serem transformados em plásticos, com base na “neutralidade carbônica”, ao serem decompostos liberam dióxido de carbono, sendo este gás convertido em biomassa através de mecanismos fotossintetizantes, retornando para a natureza não gerando poluentes (Iwata, 2015).

A produção mundial anual de plásticos ultrapassa a marca de 335 milhões de toneladas e projeta-se que atinja 1,2 bilhão de toneladas até 2050 (Nureen et al., 2022). Aliado a isto, o aumento exponencial de produção de plásticos e seu descarte após o primeiro uso acarretam um aumento considerável do volume de resíduo, que pelo fato de possuírem uma decomposição lenta tornam-se cada vez mais uma chave importante para a poluição ambiental, levando a alterações climáticas mundiais (Bielawski & Grubbs, 2007). De acordo com Purohit e colaboradores (2020) foi relatado que das 250 milhões de toneladas de resíduos plásticos gerados mundialmente, 50 milhões de toneladas foram incineradas, 50 milhões recicladas, 75 milhões foram descartadas em aterros, 62 milhões foram descartados em lugares indevidos e 13 milhões retornaram para a natureza como não poluentes. Esse grande volume de material, que possivelmente poderia ser reaproveitado, descartado de forma indevida torna-se cada vez mais preocupante na sociedade.

Os bioplásticos foram desenvolvidos com base na sua biodegradabilidade, e a união polimérica com macromoléculas tornou-se uma estratégia para melhorar as características físico-químicas de produtos já estabelecidos (Censi et al., 2022). A

criação de bioplásticos leva em conta que as misturas poliméricas com materiais naturais afetam diretamente as propriedades mecânicas, morfológicas, de permeação e degradação do material. A mistura entre biopolímeros e polímeros sintéticos são importantes na busca de materiais biomédicos e biodegradáveis (Agrawal et al., 2023) e numerosos estudos sobre miscibilidade em multicomponentes de sistemas poliméricos estão sendo feitos a cada dia (Cho et al., 2024). Portanto, compreender a miscibilidade e interação entre polímeros naturais e artificiais possibilitará melhores campos viáveis de aplicação.

Apesar da capacidade de modificar algumas de suas características físico-químicas com a união de outros polímeros biodegradáveis algumas características devem ser consideradas, como a alteração de cristalinidade, espessura lamelar e conformação molecular. O controle da taxa de biodegradação é de alta relevância, pois quando um polímero não biodegradável é misturado com um biodegradável, apenas os componentes biodegradáveis serão dissipados no ambiente, resultando em água e dióxido de carbono (Puppi et al., 2010). Em contrapartida, os plásticos não biodegradáveis serão divididos em partículas menores difundindo-se no meio ambiente e causando poluição ambiental, o que muitas vezes é chamado por “microplástico”.

Na indústria de própolis, é notável o grande desperdício de resíduo extrativo, proveniente da matéria-prima. A partir do produto base, própolis, é obtido o extrato hidroalcolólico para comercialização, restando 30 a 40% da matéria-prima, popularmente conhecida como “Borra”. Alguns estudos indicam que esse resíduo é um promissor material farmacológico e estruturador (Rodrigues et al., 2020) e a utilização deste reduziria o descarte e geraria renda, indicando uma forma de uso para um produto desprezado pela indústria. Considerando o resíduo extrativo de própolis como um polímero, em comparação a sintéticos, por ser natural, apresenta menor toxicidade (Sforcin et al., 2017) e tendem a ser incorporados em uniões poliméricas com maior facilidade, sendo então denominados biocompatíveis (Purohit et al., 2020).

Assim, este trabalho visa o aproveitamento do resíduo extrativo da própolis, vermelha e verde, em associação ao polímero Poli (ϵ -caprolactona), gerando filmes com atividades ativas relevantes em âmbito científico, reutilizando e destinando este subproduto da indústria de própolis em um material utilizável, trazendo uma oportunidade para algo desprezado.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Sustentabilidade

O termo Desenvolvimento Sustentável surge na década de 1980 em um cenário conhecido na literatura como “Era do Desenvolvimentismo”, caracterizado pela urbanização, modernismo e crescimento industrial (Filho, 2023). O nascimento deu-se em parceria com o World Alliance for Nature (UNIC) e com World Wide Fund Four Nature (WWFN), que juntos lançaram um documento intitulado World Conservation Strategy, objetivando estratégias para a preservação dos recursos naturais de modo mais assertivo, em escala mundial. Então, o novo jeito de pensar acreditava que os fatores econômicos não seriam suficientes para o desenvolvimento da sociedade, mas também a cultura, a biologia, e a existência social dos seres.

No Brasil, em razão da crise econômica, iniciada nos anos setenta ocasionada pelo aumento dos juros internacionais (Dias Carneiro & Modiano, 2014) a política estatal interveio na economia, modificando o modelo agroexportador e instigando a fixação industrial no país (De Jesus Santos, 2018). Então, por muito tempo o modelo industrial foi voltado somente para a exploração e geração de renda. Podemos entender também que a geração de renda e riqueza sempre estiveram presentes na formação do ser humano, influenciando suas ações sociais e éticas. De acordo com a literatura, o homem foi moldado pela natureza, e extraía dela os recursos essenciais para sua existência, adaptando-se a lugares e culturas, de modo a não prejudicar o ambiente ao seu redor. Na contemporaneidade, a exploração dos recursos naturais finda sempre em malefícios e são voltados sempre ao lucro, subordinados às lógicas globais exploratórias (Milton Santos, 2002).

Assim, o cenário industrial brasileiro, em união ao meio empresarial e as telecomunicações, propagou a ideia de que a maneira ideal para o crescimento econômico deveria acontecer por meio de projetos sustentáveis, educando a população leiga brasileira, principalmente por meio de programas televisivos infantis. Esse novo jeito de educar a sociedade trouxe a temática da sustentabilidade para dentro dos lares, com a ideia de que o desenvolvimento sustentável era ético em relação ao meio ambiente e promissor para a sociedade, tornando as crianças como um dos principais veículos de propagação (Do & Pereira De Almeida, 2022).

Por outro lado, alguns novos pesquisadores afirmam que o discurso da sustentabilidade é infundável, pois a sociedade pós-moderna é conhecida por

“sociedade do descarte” (Queiroz, 2014). Essa percepção, maléfica, a respeito da nova temática afirma que em uma sociedade consumista como a atual, com crescimento exponencial e com acesso a bens e consumo, não há preocupação em diminuir o consumo para preservar os recursos para as novas gerações, tornando a sustentabilidade apenas como uma ideia não concretizada. Pode ser percebido que o discurso sobre o desenvolvimento sustentável existe, mas as práticas que cercam toda a sociedade não condizem com tal temática (Do & Pereira De Almeida, 2022). Além disso, a sociedade é segmentada em classes de consumo, em que a maior parcela é considerada pobre e sem acesso a bens e sustenta, por meio do seu trabalho, o desenvolvimento de bens e serviços que serão utilizados e depois descartados pelas classes mais abastardas.

Por outro lado, principalmente no Brasil, pelo fato de sofrer pressões internacionais para manter seus recursos naturais e instigar a energia limpa entre a população, as empresas têm mostrado interesse em adotar prática voltadas para sustentabilidade, seja por meio do descarte correto de seus resíduos ou treinamento entre funcionários (Nureen et al., 2022). Essas ações voltam-se principalmente para a exploração de recursos renováveis, demandas de clientes por proteção ambiental, ações governamentais de fiscalização e isenção de impostos, de modo que a temática da “Natureza como bem de consumo” seja alterada.

A conferência de Estocolmo, realizada na cidade de mesmo nome na Suécia, em 1972 foi considerada por muitos como a primeira reunião efetiva sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente. Organizada pela Assembleia Geral das Nações Unidas, esta conferência abordou temas importantes, como a preservação ambiental e uso de recursos renováveis (Rockenbach de Avila, 2024). Dentre o discutido, pode ser destacado o apoio à luta contra a poluição, preservação dos mares, descarte de resíduos tóxicos, gestão de recursos naturais, investimento financeiro em pesquisa e educação em países em desenvolvimento e melhoria nas políticas estatais dos estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU) para a preservação ambiental. Em resultado a isso, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, que consistia em setores responsáveis pelo direcionamento de normas e condutas coordenados por um fundo financeiro para as atividades ambientais, um órgão de governo intergovernamental e uma secretaria (Organização das Nações Unidas, 2024).

1.2 Órgãos de fomento em sustentabilidade

No Brasil, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, chamada cordialmente de Cúpula da Terra, foi realizada na cidade do Rio de Janeiro/RJ em 1992. Esse grande evento mostrou para a sociedade brasileira que os valores sociais, econômicos e ambientais precisam caminhar em associação, na finalidade de preservar os recursos naturais e gerar menos danos para o país. Esta imensa convenção culminou com a assinatura da Agenda 21 da ONU, e teve por seu principal objetivo ensinar a população sobre meios sustentáveis de subsistência, abordando manejo sustentável de modo a facilitar a geração de renda (Conferência das Nações Unidas sobre Meio ambiente e Desenvolvimento, 2023). Segundo o Making Peace with Nature da ONU, o bem-estar dos jovens da geração atual e das posteriores depende de uma rápida suspensão de ações que levem a um declínio ambiental, sendo o tempo característica primordial para tal qualidade de vida (Organização das Nações Unidas, 2024).

Hoje, os financiamentos de projetos voltados para a sustentabilidade e preservação de recursos naturais estão em pauta, principalmente aqueles veiculados à órgãos federais. Segundo a lei n. 12.349/2010, que permitiu a alteração do art. 3º da Lei 8.666/1993 e findou na regulamentação do Decreto n. 7.746, de 05 de junho de 2012, a função fomentadora do Estado brasileiro deve incentivar a sustentabilidade ambiental nas contratações públicas (Lei n. 8.666, de 21 de Junho de 1993). Então os projetos que recebem este tipo de financiamento deverão ser aqueles que instiguem a preservação ambiental e tragam uma boa visão do investimento feito pelo governo.

Segundo a Cartilha Política de Aplicação das Agências Financeiras Oficiais de Fomento, divulgada em abril de 2023 pela Secretaria de Coordenação e Governança das Empresas Estatais do Brasil (SEST), as Agências Financeiras de Fomento (AFFs) tem por objetivo propagar o desenvolvimento da economia e da sociedade de modo a garantir sustentabilidade e redução das desigualdades regionais (SEST, 2023). Ainda segundo o mesmo documento, são consideradas agências oficiais o Banco do Brasil, Banco da Amazônia, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, o Banco do Nordeste do Brasil S.A., Caixa Econômica Federal, Financiadora de Estudos e Projetos e a Agência Especial de Financiamento Industrial. Essas agências de fomento são responsáveis pelo financiamento e empréstimos para a realização de projetos, muitos deles de cunho sustentável.

A ONU, em 2015, propôs 17 objetivos a serem alcançados ao longo de 15 anos, na esperança de que em 2030 o mundo seja um lugar melhor. Os objetivos estão voltados para a resolução de adversidades, podendo ser destacadas ações voltadas para a erradicação da pobreza, redução da fome, aumento da saúde populacional, melhora no acesso à educação, respeito pela igualdade de gênero, acesso a água potável e saneamento, energia limpa e renovável, crescimento econômico, melhora nos processos industriais, redução das desigualdades, ações para a preservação da água e vida terrestre. Outro ponto a ser de alta relevância dentre os 17 objetivos da ONU para 2023 encontra-se no consumo e produção responsável, motivando as indústrias a uma adequação de seus processos, por meio de parcerias e incentivos financeiros (Organização das Nações Unidas, 2023).

Figura 1 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU, 2023

Recentemente, em novembro de 2023, o governo brasileiro lançou cinco editais de financiamento de inovação e sustentabilidade, totalizando R\$ 20,85 bilhões de reais, fornecidos pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Sustentável (BNDES) e pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). Os projetos são voltados para bioeconomia, infraestrutura, mobilidade e energias renováveis, sendo estes participantes do Programa Mais Inovação Brasil. Segundo o ministro Geraldo Alckmin, estes editais devem concretizar o novo ideal da indústria brasileira, que deverá ser voltada para ideias inovadoras que possibilitem avanços econômicos

não agredindo o meio ambiente. Na área de bioeconomia, pode ser destacada a linha “Mais Inovação Resíduos Urbanos e Industriais”, que contempla, dentre tantas áreas, o aproveitamento de resíduos urbanos e industriais.

1.3 Resíduos

Na etimologia da palavra, do latim “Residuum”, é tudo aquilo que sobra, resta e remanesce (Aurélio, 2024). De acordo com a Instrução Normativa, nº13, de 18 de dezembro de 2012, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), resíduo sólido é “Todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

Outra definição sobre resíduos, mais simples, pode ser encontrada no Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), informando que “São partes que sobram de atividades humanas e animais e de processos produtivos como a matéria orgânica, o lixo doméstico, os efluentes industriais e os gases liberados em processos industriais ou por motores” (SEBRAE, 2022). De acordo com o estudo de (Firmansyah et al., 2024), a geração de resíduos sólidos decaiu no período compreendido de 2004 a 2017, impulsionado pela temática do desenvolvimento sustentável, sendo um ótimo indicativo. Foi revelado também, que a maior geração de descarte de resíduos acontece aos finais de semana, visto que nas cidades há um maior fluxo de pessoas, movimentando o setor econômico e gerando uma maior concentração de resíduo de bares e restaurantes.

A educação da população e a concentração de renda, juntamente com algumas características étnicas, influenciam diretamente na geração e também no descarte de resíduos (Firmansyah et al., 2024). Em âmbito industrial, principalmente em indústrias com alta tecnologia, conhecidas como “Indústria 5.0”, o desafio do reaproveitamento de resíduos enfrenta problemas. Essa dificuldade, em demasia, é ocasionada pela alta geração de lixo eletrônico, pois com o processo de digitalização e robotização das empresas há uma crescente renovação de equipamentos eletrônicos, e a renovação

dos equipamentos e os consequentes descartes dos antigos é categoria de resíduos que mais cresce mundialmente (Mesjasz-Lech, 2023).

Na indústria alimentícia, o descarte de resíduos alcançou níveis extremos nos últimos anos, provocado pelo aumento populacional e a constante produção de alimentos, e a transformação do “Lixo em Ouro” foi vista como uma excelente saída para o desenvolvimento sustentável (Kaur et al., 2023). Devemos compreender que o descarte de alimentos em indústrias acarreta em diversos problemas, principalmente alimentícios, porque esse descarte é composto por inúmeros carboidratos, vitaminas, lipídeos e também proteínas, fontes vitais para os seres humanos. Esse uso de resíduos alimentícios pode ser empregado na produção de biocombustíveis, uma vez que os resíduos alimentícios contêm grandes quantidades de carboidratos e proteínas, que quando metabolizados podem ser transformados em biocombustíveis (Kumar Sarangi et al., 2023). Quando pensamos em desperdícios da indústria alimentícia não podemos considerar ração animal ou partes não consumíveis de produtos, como ossos (Sil, 2019). O primeiro passo para evitar a geração de resíduos na indústria alimentícia inicia no processo de aquisição e armazenamento do produto, controle de logística e até o consumidor final reduz os níveis de desperdício (Wu et al., 2021).

Os lixões a céu aberto para descarte de resíduos são inadequados pois propiciam a proliferação e aparecimento de vetores ou agentes transmissores de doenças, como ratos, baratas e mosquitos. Em associação a isto, a poluição gerada pelo desprendimento de partículas poluentes acarreta maiores danos ao meio ambiente, além de poluir o solo das cidades (Nascimento & Pinto Filho, 2021). Então, os aterros sanitários surgem como uma alternativa para o controle e deposição de resíduos sólidos. No entanto, o grande número de aterros sanitários tornou-se um desafio a ser enfrentado a longo prazo, pois a lixiviação do aterro, resultante da decomposição, é altamente tóxica, que se acumula no solo e na água gerando danos ambientais severos (Dagwar & Dutta, 2024). Assim, a reciclagem e a remodelação dos materiais a serem descartados é a melhor estratégia para romper com o impacto ambiental, quando comparado à incineração e deposição em aterro sanitário (Xiong et al., 2023).

Figura 2 – Descarte irregular de resíduos sólidos a céu aberto



Fonte: Jovem Pan, 2018.

1.4 Aproveitamento de resíduos

Um dos desafios na atual gestão de resíduos é a geração de grandes volumes de descartes (Ambaye et al., 2023). É esperado que em 2025 o volume de resíduos sólidos urbanos alcance a marca de 3,4 bilhões de toneladas (Brasil, 2022) sendo esta estimativa cada vez mais crescente. Na China, o país gera 30 milhões de toneladas de resíduos de embalagens alimentícias ao ano, e a maioria deste resíduo é tratada com incineração e aterros sanitários, restando apenas 20% para a taxa de reciclagem (Tian et al., 2023). É correto afirmar que o desenvolvimento de políticas verdes e de tecnologias possam instigar a gestão de resíduos a reduzir o volume de material descartado e assim destinar adequadamente os materiais, evitando sua deposição nos recursos naturais prejudicando o meio ambiente contaminam os cursos d'água. Alguns autores relatam que uma das formas de destinar os descartes adequadamente é fazer misturas destes resíduos com outros materiais, criando um produto reciclado (Zanelli et al., 2021).

Na temática de resíduos alimentícios, a questão torna-se mais complexa, pois cerca de 30% do alimento produzido é perdido ou desperdiçado. De modo geral, o desperdício de alimentos pode ser considerado o descarte de partes comestíveis e não comestíveis de alimentos para consumo humano, incluindo cascas e sementes, é o que revela a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), já em 2019. Assim, a maximização de uso de resíduos e redução de matérias-primas é essencial (Ravindran et al., 2022) e muitos estudos são feitos diariamente para que isto aconteça. Então, o reaproveitamento torna-se essencial. Dentre estudos, um grande destaque, é o uso de fibras de coco utilizadas como adsorvente para tratamento com flúor e purificação de água para consumo (Hussain et al., 2024). Outro exemplo, é a temática de Muhamad e colaboradores, em 2023, que destinaram as cascas de banana para gente biorremediador na descoloração de corantes têxteis para manejo de águas residuárias.

De acordo com Lavelli, 2021, a agregação de valor a produtos descartados na indústria alimentícia ocasiona um aumento na complexidade dos novos produtos gerados e traz como desafio a perda de identificação devido à dispersão dos lotes, sendo necessário tecnologias que garantam segurança ao consumidor. Então, os subprodutos alimentares, podem ser reciclados e reutilizados mediante técnicas que agreguem e proporcionem valor ao produto. No entanto, não há muitos estudos que indiquem a aceitação dos consumidores frente a produtos feitos com componentes reciclados, o que implica no desenvolvimento de estratégias para rotulagem e políticas que instiguem ao consumidor a aceitar estes produtos (Grasso & Asioli, 2020).

1.5 Própolis

Própolis é um material opoterápico produzido por abelhas a partir de exsudatos vegetais unidos a secreções glandulares das próprias abelhas. Essa resina é utilizada como barreira física contra predadores, impedindo que eles entrem na colmeia ao tempo em que mantém a homeostase no ninho (Simone-Finstrom et al., 2017). De acordo com Irigoiti, 2021, a própolis é utilizada na atualidade como suplemento alimentar, produto para fortalecimento do sistema imunológico e prevenção de doenças e como componente de cosméticos e biofármacos. Essa ampla diversidade de aplicações da própolis é conferida de acordo com sua constituição química,

atribuídas pelo alto teor de compostos polifenólicos, que apresentam dentre suas propriedades farmacológicas, a atividade antioxidante comprovada (da Silva et al., 2015).

É relatado em literatura que a composição química da própolis sofre influência direta da sazonalidade em virtude das mudanças ambientais e fitogeográficas do ambiente (Irigoiti, 2021). Assim, com essas modificações ambientais alterando o perfil químico dos organismos vegetais – como maior ou menor incidência de luz solar, umidade, regime de chuvas, salinidade do solo, temperatura e fertilidade – teremos uma maior ou menor produção de alguns compostos nas plantas (Luo et al., 2024). Então, podemos compreender que uma mesma colmeia poderá produzir própolis com características mais ou menos acentuadas a depender destas variações, visto que a origem botânica dos exsudatos que participam da composição da própolis tem esta variação (Bankova et al., 2021). A espécie da abelha produtora também influencia diretamente na própolis, e dentre as espécies destaca-se a *Apis mellifera*, pela sua alta produção de mel e própolis com alto valor comercial (Marcucci, 2018).

Figura 3- Coleta de exsudatos vegetais por *Apis mellifera* para produção de própolis



Fonte: Apis, 2018

A própolis é um dos produtos naturais provenientes do Brasil com maior destaque mundial (Ribeiro et al., 2023). De acordo com a literatura, sua composição é de aproximadamente 50% de resinas vegetais, 30% de compostos cerosos, 10% de

óleos essenciais, 5% de pólen extraído de flores e 5% de substâncias orgânicas e minerais (Salatino et al., 2021). Quanto aos minerais, pode ser evidenciada a presença de cálcio, vanádio, ferro, manganês e cobre (Ferreira & Negri, 2018). São relatados na própolis mais de 800 compostos diferentes (Irigoiti et al., 2021), e essa diversificada composição possibilita características únicas que distinguem as própolis em variedades diversas.

Dos fitoconstituintes encontrados, os flavonoides e os ácidos fenólicos como ácido cumárico, ácido cinâmico e ácido caféico destacam-se no meio científico em razão de sua capacidade antioxidante, sendo característica primordial na constituição da própolis (Ferreira & Negri, 2018). Por serem comuns na própolis, os flavonoides são utilizados como indicador analítico para padrão de qualidade enquanto os terpenos podem ser utilizados para diferenciar as variedades de própolis quando o odor é levado em consideração (Bhargava et al., 2021). Demais compostos, como as cumarinas, terpenóides, aminoácidos, terpenos, esteróides, ésteres, aldeídos aromáticos, ácidos graxos, cetonas e hidrocarbonetos também podem ser encontrados (Santos & Nunes, 2023).

Os flavonoides são compostos orgânicos heterocíclicos que tem por estrutura básica 15 átomos de carbono dispostos em uma configuração $C_6C_3C_6$, e cuja configuração química apresenta dois anéis aromáticos conectados a um anel pirano (Havsteen, 2002). A síntese deles ocorre pela via metabólica do ácido chiquímico e ácido acético. Podem ser separados em flavonas, flavonóis, catequinas, flavononas, antocianinas e isoflavonas (Huber et al., 2009). O termo “Flavonoide” provém de *flavus*, uma expressão em latim cujo significado é Amarelo. No entanto, um tipo de flavonoide que pode ser destacado que não possui coloração amarela são as antocianinas, que apresentam coloração variando na faixa do vermelho ao azul. Os flavonoides são fortes candidatos para o desenvolvimento de novos medicamentos antimicrobianos, e pesquisas que apresentem melhora em sua conformação química podem ser realizadas (Da Silva et al., 2020).

No Brasil, em razão de sua biodiversidade, são relatadas em literatura 13 variedades distintas de própolis (Ferreira & Negri, 2018). É importante ressaltar que embora as colorações sejam semelhantes, pela fonte botânica ser diferente, irão existir alterações que diferenciam as variedades (Silva-Beltrán et al., 2021). Assim,

temos como exemplo a própolis marrom, que apresenta maior variação entre os tipos quando o foco é a coloração, pois muitos organismos vegetais podem ser fontes botânicas para a coleta de exsudatos e formação de própolis marrom (Ribeiro et al., 2023). Então, são necessários parâmetros de qualidade mais assertivos que incluam os marcadores geográficos e botânicos para uma identificação mais expressiva e de uma comercialização de uma própolis mais padronizada, como técnicas cromatográficas e métodos quimiométricos (Bankova et al., 2021). Mendonça, em 2011, elencou as 13 variedades de própolis em uma tabela contendo a origem geográfica e a cor, como pode ser visto abaixo.

Tabela 1: Classificação dos tipos de própolis brasileiras

Grupo de Própolis	Coloração	Origem geográfica
1	Amarelo	Sul (RS)
2	Castanho claro	Sul (RS)
3	Castanho escuro	Sul (PR)
4	Castanho claro	Sul (PR)
5	Marrom esverdeado	Sul (PR)
6	Marrom avermelhado	Nordeste (BA)
7	Marrom esverdeado	Nordeste (BA)
8	Castanho escuro	Nordeste (PE)
9	Amarelo	Nordeste (PE)
10	Amarelo escuro	Nordeste (CE)
11	Amarelo	Nordeste (PI)
12	Verde ou Marrom esverdeado	Sudeste (SP, MG)
13	Vermelha	Nordeste (AL, BA, PB)

Fonte: Adaptado de Mendonça, 2011

Das variedades com maior característica econômica destacam-se as própolis verde e vermelha (Ferreira & Negri, 2018). A origem botânica da própolis vermelha de Alagoas é a planta *Dalbergia ecastophyllum* (L) Taub. (Leguminosae), que recebe o nome popular de Rabo de Bugio ou Marmeleiro, que pode ser encontrado ao longo da região litorânea e estuarino lagunar do Estado de Alagoas, cuja atividade antimicrobiana e antioxidante são destacadas (Santos & Nunes, 2023). Em 2012, a

própolis vermelha alagoana recebeu indicação geográfica como um produto exclusivo deste Estado (Registro INPI IG201101), recebendo o selo de denominação validado internacionalmente.

Figura 4 - Figura representativa do selo de origem da Própolis Vermelha de Alagoas



Fonte: INPI IG201101, 2012

Das variedades de própolis brasileiras, a vermelha alagoana destaca-se pelo seu alto valor de compostos isoflavonoides e ácidos fenólicos, o que propicia inúmeros benefícios farmacológicos. Destas isoflavonas presentes, a fomononetina, a medicarpina, o vestitol e a isoliquiritigenina são compostos que antes nunca foram encontrados nos demais grupos de própolis. A formononetina reduz os efeitos tóxicos ocasionados pelas drogas quimioterápicas na medida em que é um agente promissor para tratamento de cânceres e tumores (Aliya et al., 2023). Esses compostos são encontrados na *Dalbergia ecastophyllum* (L) Taub., principalmente a medicarpina e o 3-hidroxi-8,9-dimeoxipterocarpano (Ferreira & Negri, 2018). Pela sua composição ser complexa, as indústrias a utilizam por meio de extratos em formulações alimentícias, apesar do seu sabor amargo e aroma característico (Sturm, 2019). Então, um modo de tornar melhor a aceitação do consumidor e facilitar o consumo dos flavonoides provenientes na própolis vermelha alagoana é o encapsulamento (Irigoiti, 2021).

Figura 5 - Resina proveniente da planta na *Dalbergia ecastophyllum* (L) Taub



Fonte: Letizia Migliore, 2022

A própolis vermelha possui por características farmacêuticas a ação antioxidante (do Nascimento et al., 2019), antimicrobiana (de Souza Silva et al., 2021), antitumoral (Cavalcante Loureiro et al., 2020) e atividades gastroprotetoras (Boeing et al., 2023), antiinflamatório (Batista et al., 2018) e anticariogênicos, não apresentando efeito genotóxico quando avaliada *in vivo* (Ribeiro et al., 2023).

Figura 6 - Própolis Vermelha



Fonte: Iraê, 2024

A própolis verde, por sua vez, é a mais comum no território brasileiro, e a exportação para o Japão é uma realidade. Neste país, é utilizada principalmente como produto antitumoral em razão dos ácidos fenólicos drupamina e bacarina (Barreto et al., 2020), destacando-se os ácidos cinâmicos prenilados, ácidos cafeoilquínicos e triterpenóides, além do pro-3-prenilcinamato de alila associado a artepilina C são conhecidos por serem os marcadores da própolis verde (Ferreira & Negri, 2018). O extrato de própolis verde apresenta atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* em análises *in vitro* (Grinaldi, 2021).

Além disso, foi relatado no estudo de Hoda Elkhenany e colaboradores, em 2019, que o extrato de própolis verde promove proliferação, diferenciação e

migração *in vitro* de células estromais da medula óssea, favorecendo a diferenciação condrogênica e a migração de células tronco, exercendo atividade antitumoral. Na inflamação crônica, o extrato de própolis verde também tem destaque (Baptista et al., 2024). Durante a pandemia da Covid-19, a própolis verde brasileira também foi objeto de estudo, mostrando-se segura e eficaz para o tratamento adjuvante desta doença, reduzindo danos renais quando administrada em cápsulas na dosagem de 800mg ao dia (Silveira et al., 2021). Em outras temáticas, o uso da própolis verde pode ser visto também para melhoramento das funções reprodutivas masculina, afetando a produção espermática e morfologia do epidídimo (Capucho et al., 2012). No controle da glicose a própolis verde também mostra efetividade, controlando os vasos hialoides e cerebrais induzidos pela alta glicose nos tecidos (Saito et al., 2018). Na função cardioprotetora, a própolis verde pode ser utilizada para o tratamento de aterosclerose, angiogênese e hipertensão. Foi relatado em literatura que o uso do extrato de própolis verde em ratos submetidos a dietas com restrição proteica houve ganho de massa corporal com o uso desse extrato (de Miranda et al., 2019).

Figura 7 - Própolis verde



Fonte: Apicultura Boa Vista, 2024

1.6 Indústria e comércio de própolis

A própolis é um material natural com extensas possibilidades de aplicação. O uso mais antigo relatado da própolis é remontado ao Egito antigo no ano de 1700 a.C., em que era utilizada como um dos componentes no processo de embalsamamento de múmias, em razão da sua incrível capacidade de ser antiputrefativa, sendo conhecida por Cera Negra. Recentemente, uma oficina de mumificação datada em mais de 2900 a. C. foi encontrada no sítio arqueológico de Saqqara/Egito, contendo vasos de argila identificados contendo restos de diversas misturas utilizadas para embalsamar os corpos, datadas de 664 a 525^a.C., contendo sua forma de uso. Dentre os componentes das misturas, de acordo com as análises cromatográficas, foi identificado o aparecimento de resinas de origem apícola, comprovando a importância da própolis para este povo antigo (Ikram, 2023). Além disso, o mesmo estudo revelou que muitos componentes não tinham origem no Egito, sendo importados de regiões distantes para atender os nobres do Egito antigo. Então, possivelmente, também houve o comércio e aquisição de própolis para ser utilizada nos rituais fúnebres.

Figura 8 - Os vasos da oficina de embalsamamento encontrados no sítio arqueológico de Saqqara/Egito, contendo componentes utilizados no processo de mumificação de corpos, dentre eles própolis.



Fonte: Abdelghaffar, 2023

É de conhecimento científico e etimológico que a formação da palavra “Própolis” provém do povo grego, que uniu o prefixo “Pro” (em defesa de) com o sufixo “Polis” (comunidade), gerando a denominação que conhecemos hoje. O povo grego, principalmente após o contato e aproximação de culturas com os egípcios, aprofundaram o uso da própolis em sua sociedade. A aromaterapia era muito utilizada entre o povo grego, fazendo uso de muitos perfumes. Dentre estes perfumes destacava-se o Polyanthus, feito à base de própolis (Martinotti & Ranzato, 2015). No campo medicinal, principalmente quando colocamos Hipócrates (o pai da medicina) em cenário, utilizava a própolis para tratamento de feridas em seus pacientes. Existem também estudos que indicam que o povo árabe utilizava própolis como um bálsamo para tratar doenças e como material agente para limpeza, e incensos, sendo chamada por "tzori" (Kuropatnicki et al., 2013).

Na modernidade, a própolis foi comercializada como um produto da medicina alternativa (Lotti et al., 2010) para tratamento de diversas patologias. No auge da segunda guerra mundial, em 1945, o uso da própolis era comum em clínicas soviéticas, sendo usada no tratamento de tuberculose e recuperação de apetite, no intuito de fortalecimento e recuperação dos combatentes (Ioish, 1982; Woisky, Giesrecht e Salatino, 1994). Na década de 90, o comércio do extrato alcoólico da própolis foi expandido em escala mundial. De acordo com Cizmarik e colaboradores, em 1998, o valor do frasco de própolis era vendido pelo preço de 5 a 10 reais. Convertendo este valor para os dias, considerando a inflação da moeda brasileira, o mesmo frasco custaria entre 45 a 100 reais (Aldana-Mejía et al., 2023). Esse alto valor agregado ao produto foi dado em razão de diversos estudos científicos que identificaram compostos com alto valor medicinal. No Brasil, o primeiro estudo foi realizado por Shub e colaboradores, que identificaram atividade antibiótica na inibição de *Staphylococcus aureus* pela própolis, ainda em 1981 (Shub et al., 1981).

As constantes publicações e divulgações das própolis brasileiras impulsionaram a produção desta resina, tornando o Brasil o terceiro maior produtor mundial de própolis, perdendo colocação somente para a China e a Rússia. Apesar desta imensa produção, grande parte não é consumida em solo brasileiro, sendo destinado cerca de dois terços para a importação (SEBRAE, 2022). O maior produtor de própolis

brasileira é Minas Gerais, sendo a própolis verde, com origem botânica a planta *Baccharis dracunculifolia*, a mais produzida em solo nacional. A produção da própolis verde alcança a cada dia o mercado internacional, sendo reconhecida por sua alta qualidade, principalmente com a pandemia de Coronavírus (VIDAL, 2021). Em meados de 2010 a exportação de própolis para o mercado japonês foi altamente destacada (Rangel, 2011). Hoje, 92% de toda a própolis consumida no Japão é brasileira, e esse número tende a crescer.

No Brasil, existe a Instrução Normativa Nº 03, de 19 de janeiro de 2001 (Brasil, 2001) do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), que tem por função regulamentar a qualidade e a identidade de produtos apícolas – Apitoxina, Cera de Abelha, Geleia Real, Geleia Real liofilizada, Extrato de Própolis e Própolis. Em relação à própolis, o regulamento técnico para fixação e controle da qualidade para comercialização nacional e internacional afirma que a própolis poderá ser classificada em baixo teor, médio e alto teor a depender da concentração de flavonoides por massa de própolis. Como característica sensorial, o aroma deverá ser balsâmico e resinoso, com sabor característico e picante, de consistência maleável à rígida. As características físico-químicas para a comercialização da própolis a nível nacional e internacional devem ter, dentre os requisitos, perda por dessecação de no máximo 8% (m/m), teor de cinzas de no máximo 5% (m/m) e máximo de 25% de compostos cerosos. Além disso, o acondicionamento do material para o comércio deve ser feito em embalagens apropriadas contra contaminação, não sendo autorizado o uso de aditivos (Brasil, 2001).

É de ciência que a própolis é um material resinoso produzido por abelhas através de coletas de exsudatos e gemas de plantas que unem cera e enzimas, sendo considerado um material opoterápico (Sforcin & Bankova, 2011). As abelhas utilizam a própolis como um produto capaz de promover higiene sobre os favos de mel e as paredes das colmeias, cobrindo os animais que não conseguem remover de seu ninho, a exemplo das próprias abelhas que morrem dentro da colmeia, evitando a decomposição e proliferação de contaminantes. Os egípcios, ao observar este comportamento, utilizavam própolis como um dos componentes no processo de mumificação, preservando os corpos (Kuropatnicki et al., 2013). Além disso, fecham frestas na colmeia impedindo que animais invadam o ninho e é importante para o controle da temperatura (EMBRAPA, BRASIL, 2010). A Portaria 368 de 04 de

setembro de 1997 em seu Regulamento Técnico sobre as Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Elaboração para Estabelecimentos Elaboradores/industrializadores de Alimentos do Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Brasil, estabelece condições de higiene e boas práticas para a comercialização de produtos. Dentre os requisitos, informa que a própolis não pode conter substâncias estranhas, excetuando-se eventuais possíveis componentes, que por vias naturais podem aparecer junto à resina, como abelhas, partes de madeira ou compostos vegetais, principalmente para o mercado internacional.

Figura 9 - Própolis



Fonte: Fernão Velho (2024)

A atividade apícola brasileira tem destaque crescente no meio agropecuário, com grande potencial para a produção de própolis. Em âmbito nacional, o primeiro extrato de própolis, feito em escala industrial, a ser comercializado foi o Extrato de Própolis Apis Flora, feito a base de própolis marrom, no ano de 1983. Em 1987, a mesma empresa lança no mercado o primeiro mel contendo extrato de própolis

(ApisFlora, 2024). A partir disso, muitos outros produtos foram desenvolvidos e patentes. No Brasil, o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), do Ministério da Economia, registrou um número considerável de patentes envolvendo novos produtos feitos a base de própolis, podendo ser destacadas “Revestimento a base de extrato de própolis vermelha e seu efeito na conservação do tomate tipo italiano – 2021” (BR 10 2022 0100474 a2) “Desenvolvimento de formulação de gel contendo extrato de própolis vermelha para uso em terapia complementar - 2021” (BR 10 2020 009079 8 A2), “Uso do extrato etanólico da própolis vermelha de alagoas como inibidor ambientalmente amigável da corrosão em metal – 2021” (BR 10 2020 000691 6 A2), “Composição e uso de compósitos de própolis-quitosana como aditivo em adesivos de próteses dentárias mucossuportadas – 2020” (BR 10 2018 077100 0 A2), “Desenvolvimento de verniz dentário de própolis vermelha para controle de cárie dentária – 2018” (BR 10 2016 019014 2 A2), “Produção de filmes de revestimento alimentício à base do coproduto da extração da própolis vermelha – 2023” (BR 10 2022 005680 3 A2), “Membrana eletrofiada de poli-(e)-caprolactona com extrato de própolis vermelha de alagoas e método de produção da mesma – 2023” (BR 10 2021 024361 9 A2), “Biscoito canino assado com extratos de própolis e de casca de romã – 2023” (BR 10 2021 016313 5 A2) e “Suplemento alimentício baseado em vitamina c com extrato de própolis verde – 2022” (BR 10 2020 016243 8 A2).

Figura 10 – Primeiro extrato de própolis e primeiro mel contendo extrato de própolis comercializado no Brasil



Fonte: ApisFlora, 2024

Esse constante desenvolvimento de novos produtos que possuem por base a própolis instigou o mercado a crescer para conseguir melhor atender a demanda nacional e internacional. Então, com esse desafio, tornou-se extremamente necessário uma organização maior dos produtores de própolis. Em pequenos Estados, como Alagoas/Brasil, apesar do produto “Própolis” ter um peso imponente no mercado externo (visto que é a origem de uma das três únicas empresas brasileiras adequadas a exportação para a Europa), principalmente em relação à Própolis Vermelha Alagoas não existe ainda um Arranjo Produtivo Local (APL) da apicultura do Estado. Em resposta a isso, inúmeros grupos de apicultores estão em busca de uma maior organização de suas funções e treinamentos para desenvolvimento de habilidades. Assim, a criação da União dos Produtores de Própolis Vermelha do Estado de Alagoas – UNIPROPOLIS (CNPJ 12612333/0001-50), com sede na cidade de Maceió, tornou-se um ponto de apoio entre os pequenos produtores e as indústrias. A função geral da UNIPROPOLIS é a prestação de atividades profissionais e técnicas com o objetivo de reunir os produtores e destinar as própolis produzidas para a manufatura e comércio (Tribuna hoje, 2023).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) foi a responsável por inserir a própolis, em formato de extrato, nos chamados “Suplementos Alimentares” em razão de seus compostos fenólicos (Brasil, Anexo I da IN nº 28/2018 instrução normativa – IN Nº 28, de 26 de julho de 2018) e forma resumida, o extrato de própolis é um produto resultante da extração da própolis que é solúvel em álcool grau alimentício (Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA, 2022). Essa inserção possibilitou, ainda em 2018, uma maior facilidade do consumidor em adquirir estes produtos, pois tornou-se comum sua presença em supermercados, drogarias e também casas especializadas em produtos naturais. É importante ressaltar que pela denominação de “Suplemento Alimentar” não existe uma definição legal em relação a quantidade de nutrientes ou substâncias ativas estipuladas, podendo ser variável. É de ciência que as abelhas utilizam exsudatos vegetais para a composição da resina, que sofrem influência direta da idade da planta, disponibilidade hídrica, nutrientes disponíveis no solo, ataque de parasitas, radiação e sazonalidade, dentre tantos outros fatores. Então, a definição de suplemento alimentar acomoda muito bem o

extrato de própolis, porque sua composição é altamente influenciável e variável com as mudanças botânicas, de temperatura e ambiente (Bankova et al., 2021).

Durante a pandemia provocada pelo coronavírus SARS-CoV-2 (Coronavírus) houve um consumo realmente elevado de produtos apícolas, e as indústrias precisaram fazer adaptações para adequar-se a demanda tão urgente. O aumento dessa procura, principalmente no Brasil, foi devido às pesquisas realizadas e divulgadas para a população a respeito de potencialidades destes produtos, principalmente a própolis, frente ao Covid-19. No Piauí, de acordo com estudos (Sousa & Bendini, 2022), o consumo de produtos apícolas na pandemia esteve relacionado ao potencial nutricional da própolis e do mel. Outros estudos revelaram que *in sílico* os compostos da própolis interagem com as proteínas-alvo do SARS-CoV-2 e impedem a replicação do RNA viral. Os estudos clínicos revelam que a própolis melhora o tempo de depuração viral e estimula a recuperação de pacientes acometidos (Dilokthornsakul et al., 2022).

1.7 Aproveitamento de resíduo de própolis

Tendo como base a própolis bruta, é feito o extrato hidroalcólico para a comercialização, ficando grande volume do material inicial - cerca de 30% a 40% da própolis. Esta fração, por sua vez, trata-se de um promissor material farmacológico e estruturador com grandes possibilidades de ser incorporada a diversas temáticas (de Toledo et al., 2015). Então, a utilização do resíduo extrativo da própolis para o desenvolvimento de novos materiais e sua conexão com muitos compostos poliméricos tornaria o uso deste material comum, de modo a agregar um valor monetário a algo que ainda não tem uma real utilidade no mercado, podendo gerar renda para as indústrias locais e para os pequenos apicultores.

Considerando o resíduo extrativo de própolis como um polímero, em comparação a sintéticos, por ser natural apresenta menor toxicidade (Bhatia, 2016). Esses polímeros são altamente biocompatíveis (Xu et al., 2019) e agregam com facilidade a outras substâncias, como é o caso do PCL. Os polímeros naturais, de modo geral, passam por reações quebrando sua estrutura molecular, degradando-se em meio fisiológico, e essa degradação acontece demasiadamente em contato com água ou por ação enzimática (Casalini, 2017), o que acontece com o PCL. Então, a

união desses dois materiais será um meio favorável para a produção de curativos biodegradáveis e biomiméticos para tratamento de lesões.

Para a extração da própolis diversos solventes podem ser utilizados. De acordo com Bhargave, 2021, podem ser utilizados clorofórmio, acetona, metanol e etanol. Este último, o etanol, destaca-se no processo extrativo da própolis pela alta capacidade de extrair compostos bioativos, sendo preferencial para a cadeia industrial. Na literatura os subprodutos do processo industrial, os resíduos, são vistos como materiais adequados para a recuperação fitoquímica e para o desenvolvimento de novos produtos (Reguengo et al., 2022), sendo considerado um campo emergente (Dikmetas et al., 2024). Em 2016 um estudo elaborado por Silva e colaboradores investigou a borra da extração das própolis verde e marrom como inibidor bacteriano *in vitro*, tendo por resultado p efeito antimicrobiano da borra proveniente da própolis verde sobre as bactérias *S. aureus* e *S. intermedius* (Heimbach et al., 2016) na dieta animal, a utilização do resíduo da própolis é mais comum. Em dietas de frangos, com 42 dias de vida, o resíduo de própolis verde pode substituir antibióticos quando a ração for acrescida a 1% de resíduo de própolis, não havendo prejuízos aos animais (Biosfera, 2014).

Em dietas de bovinos, a borra da própolis marrom foi capaz de aumentar a degradação de carboidratos fibrosos presentes na alimentação animal e reduzir a produção de metano gerado por estes animais (Nascimento et al., 2020). O resíduo da própolis vermelha de Alagoas melhora a qualidade da ração animal em razão dos flavonoides presentes (Silva, 2023). O primeiro estudo a relatar o uso do resíduo de própolis para a confecção de filmes plásticos biodegradáveis ocorreu em 2022, sendo um filme capaz de inibir o crescimento de *Staphylococcus aureus* (Bertotto et al., 2022). Outros estudos, para a confecção de embalagens com atividade biológica inserindo própolis foram realizados em 2016. O primeiro deles, avaliou a atividade antioxidante das embalagens impregnadas com própolis em fatias de presunto cozidos e demonstrou excelentes resultados na preservação alimentícia (Lacerda, 2021).

1.8 Biomateriais

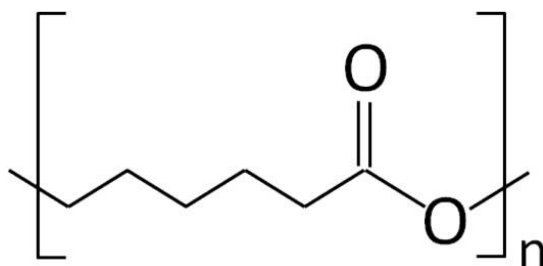
Os biomateriais podem ser compreendidos como dispositivos que estão em contato direto com os fluidos orgânicos, tendo por função as aplicações em diagnósticos de patologias, vacinas e cirurgias. A constituição dos biomateriais pode ter origem natural ou sintética, quando natural pode haver modificação da estrutura de compostos para a transformação destes (Pires et al., 2015). Dos biomateriais encontrados, podem ser destacados os dispositivos biomédicos, os materiais implantáveis, dispositivos para a liberação controlada de medicamentos, órgãos artificiais e os curativos.

A utilização de biomateriais é uma realidade na medicina, onde diversos estudos são feitos a cada dia. Desafios no campo médico podem ser enfrentados com o uso de biomateriais, tendo por exemplo as fraturas ósseas osteoporóticas de idosos. As pesquisas atuais sobre melhoramento ósseo incluem os biomateriais de modo a melhorar a funcionalização desse tecido e fortalecer as condições de saúde de idosos acometidos com osteoporose, considerando sempre as propriedades mecânicas e bioativas dos compostos (Luo et al., 2024). Na ortopedia, os biomateriais combinam resistência de inúmeros materiais e tornam as propriedades mecânicas favoráveis ao paciente, melhorando até mesmo a bioatividade do material (Mahmud et al., 2023). A incorporação de substâncias ativas em dispositivos médicos é uma promessa para induzir a regeneração tecidual de pacientes submetidos a cirurgias pós-operatórias. De modo geral, entende-se que a caracterização de biomateriais é voltada para as propriedades químicas e mecânicas, pois a composição do material influenciará no comportamento celular e seus resultados dependerão da interação com o corpo humano (Zambuto et al., 2024).

Em embalagens de alimentos, os biomateriais são o principal foco para o desenvolvimento de substitutivos dos materiais não renováveis (Tan et al., 2021), levando em conta as tendências globais da indústria de embalagens, moldando-se a preferência do consumidor. A escolha dos biomateriais para confecção de embalagens enfrenta o desafio da falta de financiamento, as dificuldades técnicas para a produção e a padronização das operações. Então, os pesquisadores buscam informações para o melhor desenvolvimento destas embalagens, de modo que seu uso ocorra da melhor maneira entre os consumidores (Wróblewska-Krepsztul et al., 2018).

Dos biomateriais mais utilizados na atualidade encontramos a Poli (ϵ -caprolactona) (PCL), que é um poliéster alifático biodegradável utilizado em biomedicina e engenharia de tecidos para regeneração e recuperação de tecidos lesados. A utilização do PCL é explicada pela sua facilidade de interação com muitos compostos. No entanto, traz como desvantagem ser hidrofóbico e precisar de compostos ativos para exercer atividade biológica (Du et al., 2024). Então, a incorporação de fatores biológicos, como atividade antioxidante, moduladora ou cicatrizante tornaria os produtos médicos feitos por base da Poli (ϵ -caprolactona) um material muito mais relevante no cenário médico. A estabilidade do PCL a altas temperaturas (acima de 300 °C) é uma realidade, com um longo tempo para degradação e excelente capacidade de interação com outras substâncias por meio de misturas. Além disso, o PCL é um forte candidato para a engenharia de tecidos em razão de sua estabilidade (Rahimkhoei et al., 2023).

Figura 11 - Estrutura química da Poli (ϵ -caprolactona)



Fonte: Rahimkhoei et al., 2023.

Os produtos químicos derivados de compostos orgânicos, como os resíduos de indústrias de produtos naturais, podem ser considerados neutros em carbono porque através do mecanismo fotossintetizante as plantas conseguem absorver o carbono gerado e equilibrar a emissão desse gás poluente. A utilização de produtos agrícolas, é considerado um modo excelente de reduzir excedentes e até descartes destes produtos agrícolas, de modo a reutilizar estes compostos e inserir novas formas de aplicação (Averous, 2000). No campo científico, podem ser encontrados associação de PCL com muitos compostos naturais, um deles associou o PCL ao amido de trigo e como resultado tivemos uma maior taxa de degradação do PCL, uma vez que foi alterada a hidrofobicidade do material em razão do acréscimo do amido (Averous, 2022). Outro estudo avaliou a confecção de embalagens plásticas tendo por base o

PCL e a Carboximetilquitosana através do processo de fiação, como resultado a embalagem formou uma barreira na superfície do alimento impedindo a penetração da umidade, retardando o amadurecimento do fruto avaliado, o que foi excelente para a conservação do alimento (Shen et al., 2024).

Na área da saúde, o PCL associado com sulfobetaína resultou em um material excelente como um novo carreador de liberação de fármacos para tratamento de pacientes acometidos com câncer (Du et al., 2024). Na cicatrização de feridas, a associação do PCL com pectina foi capaz de formar filmes nanocompósitos biocompatíveis, sendo avaliado em condições fisiológicas, podendo ser relatada a regeneração tecidual (Shabeena et al., 2024). Na produção de *scaffolds* vários estudos foram relatados, mostrando que o PCL é viável para aplicações médicas, principalmente em associação, de modo a potencializar sua ação. Nadai Dias e colaboradores, em 2022, uniram o PCL ao polifenol resveratrol pelo método de eletrofiação como material para enxertos ósseos. (de Nadai Dias et al., 2022).

Na temática própolis, membranas eletrofiadas com própolis à base de álcool polivinílico e PCL foram estudadas por Mirbagheri e colaboradores, 2023. O resultado da pesquisa sugere que as filmes elaboradas não apresentaram toxicidade, não revelando novos grupos funcionais após a união do polímero à própolis, formando fibras uniformes (Mirbagheri et al., 2023). Outras membranas, também eletrofiadas, foram investigadas por Khoshnevisan e colaboradores em 2019, unindo o PCL ao acetato de celulose e impregnadas com solução de própolis em sua superfície, revelando que os *scaffolds* fornecem um sistema adequado para a cicatrização de feridas ao tempo em que apresentaram função antioxidante e antibacteriana. (Khoshnevisan et al., 2019).

2. OBJETIVO

3.1. Objetivo geral

Utilizar o resíduo extrativo de própolis, vermelha e verde, proveniente do processo industrial, para a agregação ao polímero Poli (ϵ -caprolactona) para a produção de filmes, buscando o aproveitamento e valorização de descartes provenientes da apicultura.

3.2. Objetivos específicos

- Obter e caracterizar os resíduos de própolis fornecidos por indústrias;
- Produzir filmes contendo a Poli (ϵ -caprolactona) e resíduo de própolis, verde e vermelha, em concentrações distintas;
- Caracterizar os filmes produzidos através de análises térmicas;
- Caracterizar e comparar os filmes produzidos por teste de biodegradação;
- Caracterizar e comparar os filmes produzidos por MEV antes e após o processo de biodegradação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

O resíduo extrativo de própolis vermelha foi adquirido com a Indústria de própolis Ouro Vermelho, situada às margens da rodovia BR 101, no município de Satuba/AL. O resíduo extrativo de própolis verde, foi fornecido pela Indústria de própolis Wenzel, do município de São Paulo/SP. Outros materiais reativos foram: Poli(ϵ -caprolactona) $M_w=70000\text{g/mol}$ (Sigma Aldrich), Álcool etílico PA (dinâmico), Álcool etílico 70°GL (dinâmico), Álcool metílico PA (dinâmico) e Solução de Cloreto de Sódio 0,9% (Farmácia Permanente).

4.2.Métodos

- I. Obtenção do resíduo extrativo de própolis vermelha de Alagoas (RPVermelha) e própolis verde (RPVerde) tratamento destes resíduos

O resíduo extrativo de própolis vermelha foi adquirido por meio de doação proveniente da Indústria de própolis Ouro Vermelho, localizada no município de Satuba/AL às margens da BR 101, certificada pelo SIF sob o número 5082, devidamente registrada no Ministério da Agricultura. O resíduo de própolis verde, por sua vez, foi adquirido da indústria Wenzel, do município de São Carlos/SP. É interessante observar que o método utilizado por ambas indústrias é a extração hidroalcóolica da própolis. As amostras foram armazenadas em geladeira (Consul FrostFree 300 Litros Branco CRB36AB) até serem utilizadas. Na tentativa de equiparar-se a completa retirada de extrato, restando apenas o resíduo em cada amostra, foi feita uma nova extração de constituintes em ambos os resíduos, restando apenas a “borra” em cada amostra. A escolha de ambos os resíduos de própolis deu-se em razão do fator econômico e relevância internacional, visto que a indústria Ouro Vermelho é uma das três únicas a exportar extrato de própolis para o continente Europeu. O resíduo de própolis verde, por sua vez, é o mais produzido e consumido no Brasil.

Ambos os materiais foram pesados inicialmente e realizaram-se três extrações à temperatura ambiente, seguindo método de maceração, utilizado por Alencar e

colaboradores em 2007, em um intervalo de 48h entre cada extração. Foi utilizado etanol 70° GL na proporção de 100g de resíduo de própolis para 400ml de solvente. Em seguida, o extrato hidroalcolólico obtido foi filtrado em papel de filtro comum e rotaevaporado (IKA ® RV10, Alemanha) para obtenção do extrato bruto concentrado e armazenado em geladeira para possíveis análises comparativas. As fases resinosas dos processos extrativos, por sua vez, foram então secas em estufa (NI 1511I – 301 INOX) a uma temperatura de 50°C, pesadas e armazenadas em geladeira até sua utilização para posteriores análises.

II. Caracterização do resíduo extrativo de própolis

a) Análise termogravimétrica

As curvas termogravimétricas TG foram obtidas através do equipamento Shimadzu DTG-60. As condições experimentais que foram utilizadas para a medida de TG foram: taxa de aquecimento de 10°C por minuto, partindo da temperatura de 25 a 900°C, utilizando atmosfera de nitrogênio com vazão de 100mL por minuto, em cadinho de platina, utilizando 2g de cada amostra.

b) Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC)

Os marcadores de qualidade da própolis vermelha foram identificados por HPCL acoplados a um detector de ultra-violeta (Shimadzu). A solução de borra de própolis vermelha para a injeção foi preparada diluindo-se a borra com 30% de álcool metílico P.A. (Fornecedor Dinâmica) e 70% de clorofórmio P.A. (Fornecedor Labsynth), de modo que a cera presente na amostra fosse diluída. Após a preparação da solução, foi posto em centrífuga a 1000rpm com a finalidade de separar o sobrenadante, de modo a facilitar a passagem da solução pelos canalículos do equipamento. A concentração final da solução elaborada foi de 100 µg/ml. As condições cromatográficas de comprimento de onda foram de 280 nm, fase móvel utilizada foi água como solvente A e acetonitrila como solvente B em modo gradiente, coluna C18(Phonomenex – Kinitex XB C18 100^a, 250 x 4,6 mm; 5 µm), tempo de análise de 47 min, volume de injeção 5 µl.

Para a análise do resíduo de própolis verde através da técnica de HPLC seguiu-se uma metodologia diferente. O cromatograma empregado para este fim foi da marca

Shimadzu constituído de bomba de alta pressão Nexera LC-20ADXR, desgaseificador DGU-20A3R, autoinjeter SIL-20AXR, coluna CTO-20A, detectores de arranjo de diodos SPD-M20A, controlador CMB-20A e programa LbSolutions LC. Com relação às fases móvel e estacionária, a primeira consistiu em ácido fórmico a 0,1% (solvente A) e metanol P.A. (Fornecedor Labsynth) (Fase B), bombeada a um fluxo de 0,8ml/min; a última em coluna Júpiter (Phoenomenex) de fase reversa. O forno foi mantido em temperaturas de 30 a 32°C ao longo de todas as análises. A eluição, por sua vez, deu-se pelo seguinte gradiente de solventes; 70% de A (0-5 min), 64% de A (8-11 min), 58% de A (8 a 11 min), 52% de A (11 a 14 min), 52% de B (14 a 20 min), 56% de B (20-24 min), 62% de B (24-28 min), 68% de B (28- 32 min), 72% de B (32-36 min), 90% de B (36 – 40 min) e 100% de B (40-44 min), retornando depois ao gradiente inicial de 70% de A (44 a 47min). O volume de injeção foi programado para 25 5 µL.

Com a finalidade de impedir que alguns dos padrões analíticos coeluissem durante a elaboração da curva de calibração, preparou-se dois conjuntos de misturas, os quais abrangem as concentrações de 0,15 µg/ml, 0,3 µg/ml, 0,5 µg/ml, 2 µg/ml, 5 µg/ml, 15 µg/ml, 30 µg/ml, 60 µg/ml e 75 µg/ml. Para tanto, foi necessário diluir a solução de 1mg/ml de cada padrão, obtida após a pesagem de 1mg de soluto e sua dissolução a 10ml de metanol grau HPLC. O primeiro conjunto foi composto de catequina, ácido caféico, ácido ferúlico, ácido 2-cumárico, naringenina, pinobanksina, kaempferol, pinocembrina, galangina e pinostrobin; o segundo, de ácido p-cumárico, rutina, resveratrol, cumarina, liquiritigenina, quercetina, luteolina e crisina. Em razão de não haver no laboratório quantidade suficiente de artemisinina, o seu teor foi estimado com base na curva de calibração de ácido p-cumárico, com conformidade com (Da Costa Sacramento et al., 2019), o que é possível, em razão das semelhanças estruturais de ambos os padrões. Os compostos tiveram a área de seu pico aferida no comprimento de onda em que apresentam máxima absorção.

A solução de borra de própolis verde para a injeção foi preparada diluindo-se a borra com 30% de álcool metílico P.A. (Fornecedor Dinâmica) e 70% de clorofórmio P.A. (Fornecedor Labsynth), de modo que a cera presente na amostra fosse diluída. Após a preparação da solução, foi posto em centrífuga a 1000rpm com a finalidade de separar o sobrenadante, de modo a facilitar a passagem da solução pelos canalículos do equipamento. A concentração final da solução elaborada foi de 100 µg/ml, a fim de que pudesse ser injetada no equipamento. Realizaram-se, portanto, a

injeção e a análise das amostras, registrando-se a área dos picos e inserindo-as na equação da sua correspondente, a qual foi identificada tanto por meio do tempo de retenção quando no maior comprimento de onda.

c) Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho foram obtidos em um espectrômetro Thermo Scientific (Nicolet™ iSTM FT-IR, Spectrometer, Madison, EUA), na faixa de 4000-750 cm^{-1} . Através desta análise, pode-se identificar os principais grupos funcionais no resíduo. Os resultados foram tratados no Origin versão 8.0.

III. Obtenção de filmes contendo resíduo de própolis

Os filmes foram preparados utilizando Poli (ϵ -caprolactona) $M_w=70000\text{g/mol}$ (Sigma Aldrich) (PCL), resíduo de própolis vermelha (RPVermelha) e resíduo de própolis verde (RPVerde) em diversas concentrações. A mistura foi aquecida (70°C), na qual o material fundido foi prensado (200 kg) até esfriar completamente. A espessura de 1 mm dos filmes foi padronizada. Foram estabelecidas as concentrações de 10 % resíduo/ 90% PCL, 25% resíduo / 75% PCL, 50% resíduo / 50% PCL, tanto para verde como para vermelha. A metodologia seguiu-se a temática de Elabassy, Mohamed Tharwat, 2021, com modificações.

IV. Caracterização dos filmes elaborados

a) Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de infravermelho foram obtidos em espectrômetro Thermo Scientific (Nicolet™ iSTM FT-IR, Spectrometer, Madison, EUA), na faixa de 4000-700 cm^{-1} , resolução de 4 cm^{-1} e número de varredura 64.

b) Caracterização morfológica por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As micrografias foram adquiridas em microscópio eletrônico de varredura (TESCAN, São Paulo, Brasil) modelo VEGA3. Inicialmente, as amostras foram revestidas com uma fina camada de ouro em um metalizador Q150R ES (QUORUM Technologies Ltd, Laughton, Inglaterra) em uma corrente de 10mA em 10 min.

c) Determinação de biodegradabilidade das amostras

Inicialmente, cada membrana produzida foi cortada (8 mm de diâmetro) e pesada em balança analítica (Shimadzu, AX200). Os filmes foram imersos em solução isotônica contendo NaCl 0,9% e levadas à estufa (Novatecnica, NT 714) a temperatura constante de 36 °C em três ciclos de tempo. O primeiro ciclo abrangeu horas (1 a 10h), o segundo ciclo correspondeu a dias (1 a 7 dias) e o terceiro ciclo de análise correspondeu a semanas (1 a 10 semanas). Assim, avaliou-se a perda de massa de cada amostra e equiparou-se ao peso inicial.

V. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e foram realizados testes de múltiplos intervalos de Duncan para comparação de médias. $P < 0,05$ indica diferença estatisticamente significativa entre os grupos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

I. Obtenção do resíduo extrativo de própolis vermelha de Alagoas (RPVermelha) e própolis verde (RPVerde) tratamento destes resíduos

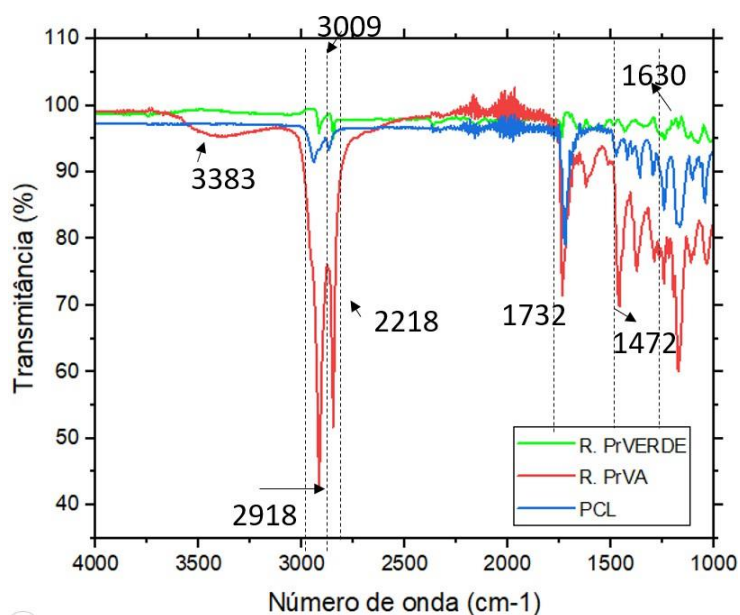
Após a obtenção dos resíduos por meio de doação das indústrias, foi feito um novo processo extrativo em ambos os resíduos de própolis, de modo em que fossem retirados possíveis contaminantes e remover ao máximo todo o extrato que ainda pudessem conter nas amostras, visto que o trabalho objetivava o uso do resíduo industrial, o descarte. Então, após essa nova extração, o resíduo de própolis vermelha obteve o peso de 39,5% em relação à massa inicial, enquanto o resíduo de própolis verde esteve em 38,7%. De modo geral, esse valor adequa-se a legislação brasileira na medida em que atribui o valor em massa de compostos cerosos de 40% da própolis Controle de Qualidade da Própolis. Esse resultado foi semelhante no estudo de Benvegnú (2023) indicando que o método de maceração simples realmente é eficaz na extração de compostos.

II. FTIR dos filmes confeccionados

A análise cromatográfica feita através de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) revelou o aparecimento de diversos grupos funcionais da própolis, e em razão da própolis possuir uma quantidade grande de compostos alguns foram selecionados e avaliados neste trabalho. Podemos observar módulos vibracionais na região de 3600 cm^{-1} até 3200 cm^{-1} , indicando picos associados ao modo vibracional do estiramento O-H que é presente em muitos grupos fenólicos da própolis. Resultado semelhante foi observado por Florez, em 2023 (Moreno Florez et al., 2024), ao avaliar as propriedades antibacterianas de *scaffolds* contendo própolis. Outros autores, como Pant e colaboradores, 2022, indicaram que a mesma vibração além de significar a presença de polifenóis também pode ser indicativo da presença de água no material (Pant et al., 2022). A figura 12 ilustra as bandas características, tanto para o resíduo de própolis vermelha quanto verde, em que podemos observar uma banda larga e forte compreendida no intervalo de de 3500 a 3250 cm^{-1} . Essa banda sendo esse espectro vibracional característico de compostos orgânicos como flavonóides, já que a sua produção é facilitada pelos organismos vegetais e através do processo de coleta de exsudatos são incorporados na produção de própolis (Scatolini, 2017).

Moreno Florez e colaboradores, 2024, em seu estudo com abelhas sem ferrão e com própolis foram capazes de identificar compostos na própolis verde característicos, semelhantes ao encontrado neste estudo. Na faixa de 1730 cm^{-1} a 1712 cm^{-1} são apresentados grupamentos cetônicos, que não necessariamente podem ser atribuídos a um grupo específico (Surek et al., 2022). No entanto, outros autores atribuem esse espectro vibracional à ligação C-H de resinas tratadas com solventes após o processo extrativo (MARTÍN-RAMOS et al., 2018). Outros estudos corroboram com a informação, como o de Pérez-Vergara, 2020, que apresentou como resultado bandas características de ácidos graxos presentes no espectro de ceras e de própolis, indicando ligações C-H de compostos alifáticos (Pérez-Vergara et al., 2020).

Figura 12. Gráfico espectrofométrico de transmitância por número de onda do resíduo de própolis verde e vermelha

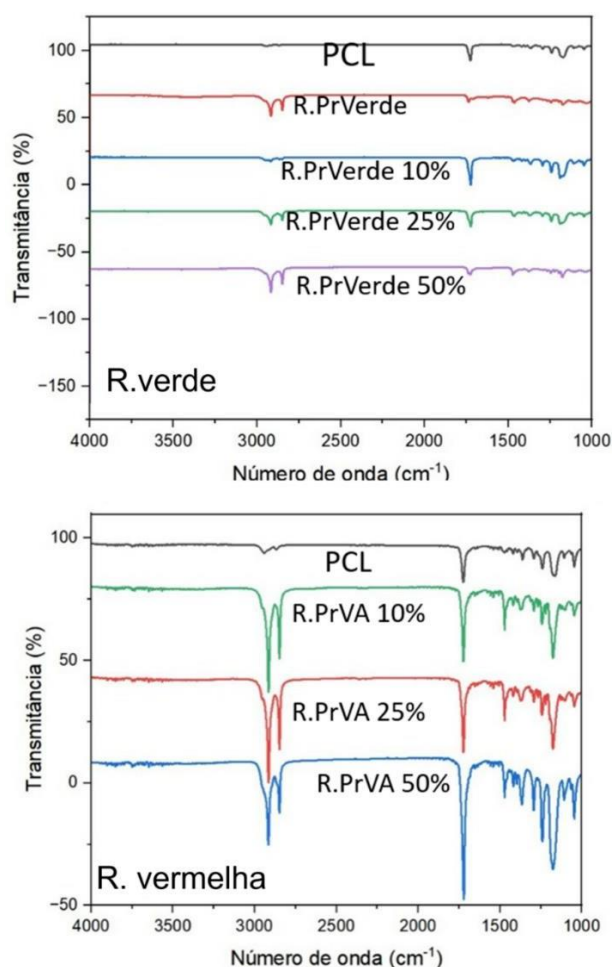


Fonte: Autor, 2024

A vibração C-H é de extrema relevância na análise do resíduo de relevante importância que esta vibração esteja presente na análise, pois cerca de 40% da constituição do resíduo é de compostos cerosos, indicando que realmente a presença da cera é relevante no material. As bandas de PrVA bruta e Extrato em 1630cm^{-1} identificam a vibração do grupamento C=O, especificamente de amidas associadas N,N-substituídas, cujas amidas são derivadas do ácido ferúlico – constituinte importante na própolis vermelha alagoana (CABRAL et al., 2009). Em 1472 cm^{-1} podemos compreender que se trata de grupamentos N-H de amins e amidas secundárias e em 1170 cm^{-1} do grupamento sulfóxido.

Observando o acordo com o gráfico de Transmittância por número de onda foi possível observar que as bandas características apresentadas, tanto de resíduo de própolis vermelha e verde apresentam alguns pontos semelhantes, tanto comprando-se os dois materiais, quanto para com o polímero utilizado no trabalho, a Poli(ϵ -caprolactona). Figura 13, por sua vez, apresenta as bandas de absorção dos filmes elaborados, e pode ser observado que não houve formação de picos diferentes daqueles apresentados no FTIR dos constituintes isolados.

Figura 13 - Caracterização por FTIR dos filmes confeccionados



Fonte: Autor, 2024

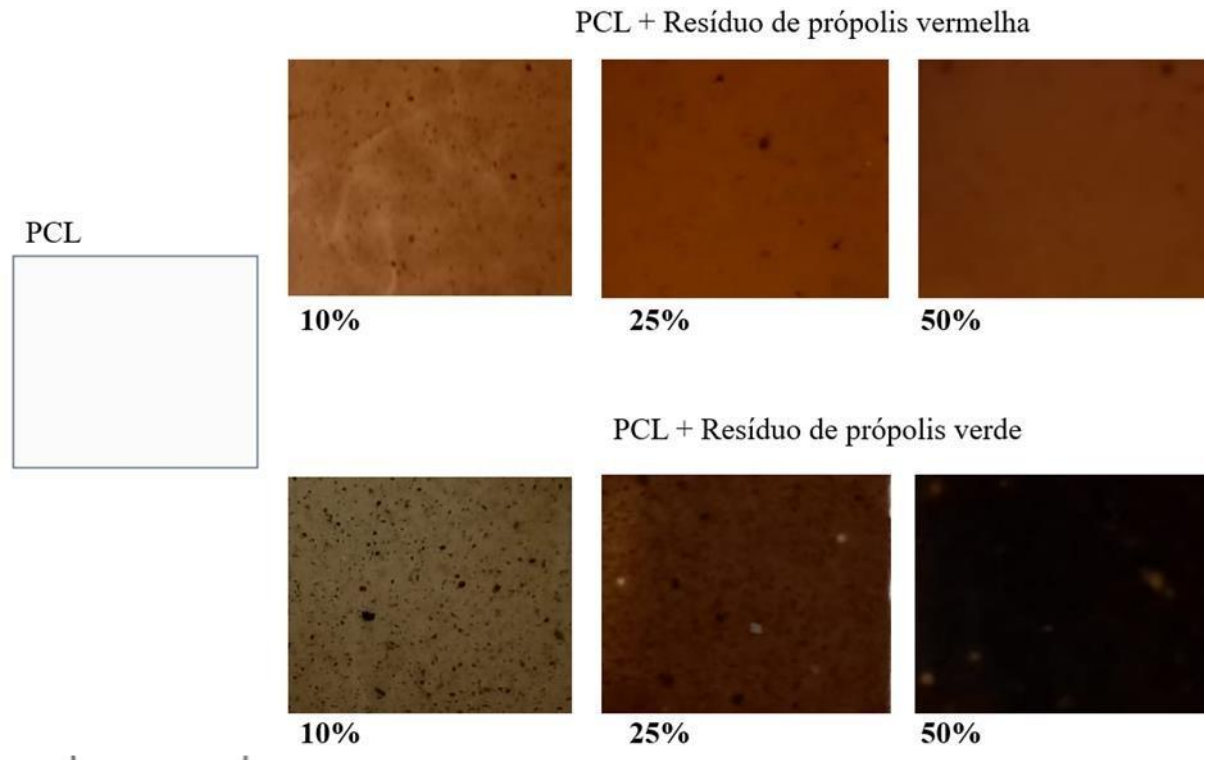
III. Coloração dos filmes produzidos

Os filmes produzidos tendo por base somente o polímero PCL obtiveram a coloração esbranquiçada. Na literatura, diversos autores revelaram esta característica do polímero PCL. Sadeghi e colaboradores, em 2022, estudaram a incorporação de chá verde ao PCL para produção de filmes ativos biodegradáveis para o uso em embalagens plásticas, revelando que a incorporação do chá verde tornou a membrana mais opaca (Sadeghi et al., 2022). Neste trabalho, passo em que houve a incorporação do resíduo extrativo de própolis verde a cor foi tornando-se mais escura, na tonalidade verde a 10% e 25%. Quando a concentração de resíduo de própolis verde foi de 50% a membrana enegreceu-se, de modo a comportar maior quantidade de resíduos. Resultado semelhante ocorreu com outros pesquisadores, com filmes de coloração verde, acentuando-se a cor na medida em que houve a incorporação da própolis (Pu et al., 2023).

Em 2022, Carli e colaboradores investigaram a produção de filmes ativos biodegradáveis à base de quitosana utilizando biorresíduos enriquecidos com extrato de polifenóis e própolis para embalagens de alimentos, com filmes de espessura de 61,7 a 71,7 μm , com uma baixa transmissão de luz, estando na coloração esverdeada. (De Carli et al., 2022). Por outro lado, os filmes produzidos contendo resíduo própolis vermelha apresentaram coloração avermelhada em todas as concentrações, 10, 25 e 50%. Araújo e colaboradores, ainda em 2012, produziram biofilmes à base de própolis vermelha e amido para a conservação e folhas de alface, e a produção desses filmes adquiriu coloração avermelhada (Araujo, et al., 2012). Outro estudo também foi capaz de confirmar que as membranas contendo própolis vermelha apresentaram coloração vermelha característica desta resina, apesar destas membranas terem sido confeccionadas pela técnica de casting (Sacramento, 2020).

Na temática de embalagens plásticas, a interação entre o alimento, o próprio polímero que compõe a embalagem e o corante é algo que precisa ser estudado (Echegaray et al., 2023), sendo a coloração atributo sensorial que afeta a aceitação ou a rejeição do produto pelo consumidor final. Embalagens escuras são melhores conservantes por evitar o contato direto da luz e evitar uma aceleração no processo de degradação do alimento. Teixeira, em 2022, revelou que a cor é responsável por 62% a 90% da aceitação pelo consumidor. (Teixeira et al., 2022). Então, pode-se entender que os filmes de coloração mais escura, como os de PCL + 50% resíduo de própolis verde e vermelha, levando-se apenas em consideração a coloração dos filmes, seriam mais úteis levando-se em conta a temática da luminosidade.

Figura 14. Coloração característica dos filmes elaborados

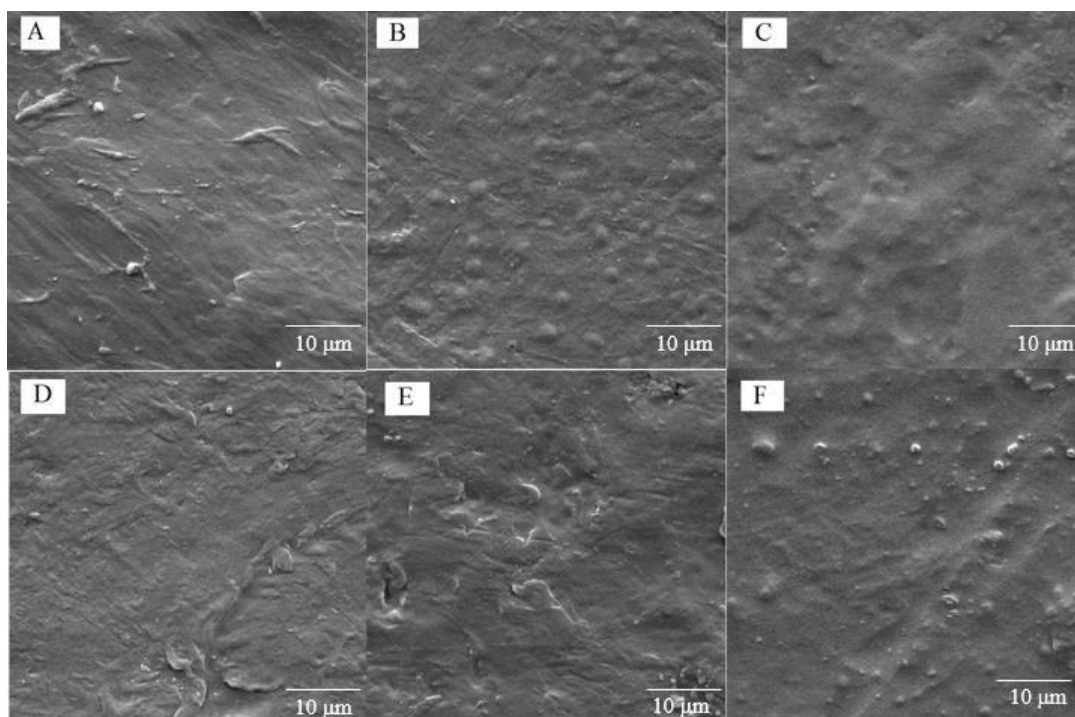


Fonte: Autor, 2024

IV. Fotomicrografias resultantes da técnica de MEV

Nas fotomicrofotografias obtidas dos filmes isolados por MEV (Figura 15) revelam que aparentemente os filmes são homogêneos, onde não apresentam separação de fases entre o resíduo e o PCL. É relatado na literatura que a adição de própolis à filmes de PCL/PLA, preparadas por moldagem com solvente, criou estruturas semelhantes a favos de mel nas superfícies, e essa irregularidade foi aumentada com a adição de própolis (Safaei & Roosta Azad, 2020). O mesmo estudo mostrou que, utilizando a técnica de solvente casting, houve variações de fase entre o PCL e a própolis pura. Estes resultados não foram observados neste trabalho, embora os filmes elaborados tenham sido confeccionados de modo semelhante.

Figura 15. Fotomicrografia superficial dos filmes reveladas contendo resíduo de própolis. A) PRvermelha₁₀PCL₉₀ B) PRvermelha₂₅PCL₇₅, C) PRvermelha₅₀PCL₅₀, D) RPverde₁₀PCL₉₀, E) RPverde₂₅PCL₇₅, F) RPverde₅₀PCL₅₀.



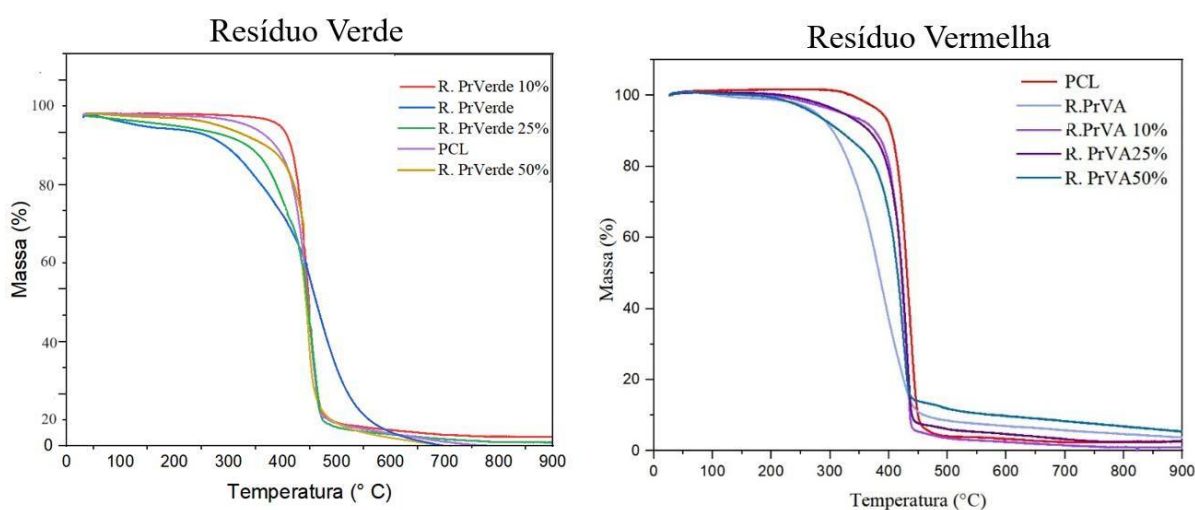
Fonte: Autor, 2024

V. Avaliação da termogravimetria TG dos filmes sintetizados

Na Figura 16 podemos identificar a termogravimetria TG dos filmes sintetizados. No gráfico de resíduo de própolis verde, houve apenas um estágio de degradação da membrana entre 200 a 450 °C. O PCL puro apresentou perda de massa entre 300 a 450 °C. Esse valor está condizente com a literatura, pois diversos estudos indicam que a 400°C o PCL apresenta uma grande perda de massa, sendo este valor correspondente a decomposição total do polímero e sua então transformação em compostos voláteis (Reul et al., 2017). Siqueira e colaboradores em 2018, em seu estudo intitulado “Efeito das variáveis reacionais na síntese de um polímero biodegradável funcionalizado: PCL-g-MA”, indicaram que a decomposição do PCL ocorreu a 365 °C, e que com o incremento de anidrido maleico temos uma redução da temperatura inicial de degradação ao passo em que há maior incorporação de anidrido maleico ao PCL. De modo semelhante, também ocorreu neste estudo, pois ao passo em que houve a incorporação de resíduo extrativo de própolis verde e vermelha a temperatura inicial de degradação do filme contendo PCL e resíduo reduziu, indicando uma perda de estabilidade com a incorporação do resíduo.

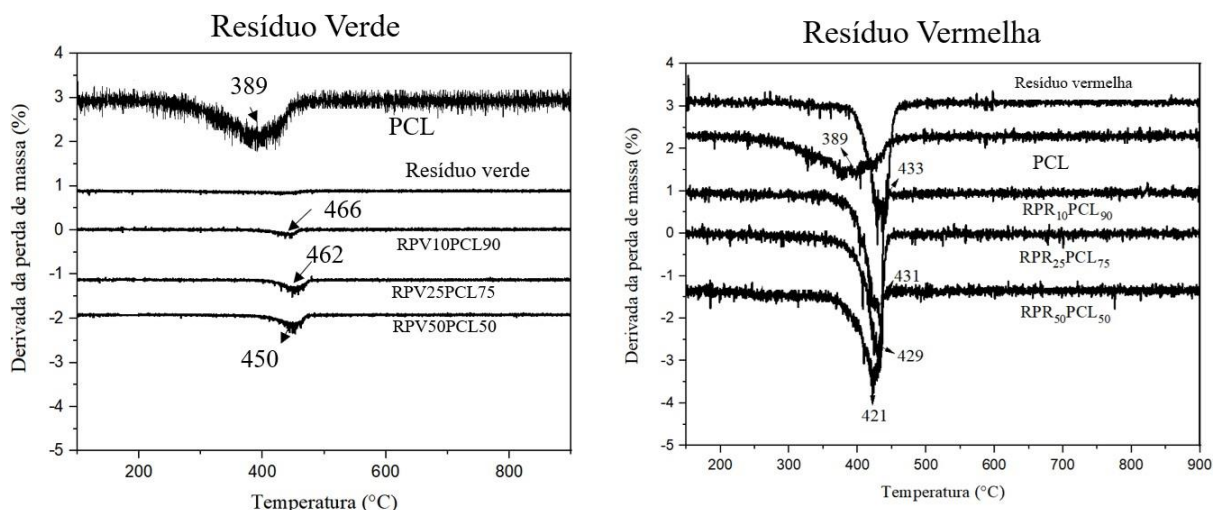
O resíduo de própolis vermelha perdeu massa de 250 a 450 °C, devido à quantidade de compostos cerosos. Os filmes contendo 25 e 50% de resíduo de própolis vermelha mantiveram sua faixa de temperatura entre 350 e 450°C, essa faixa se deve à maior quantidade de ceras, o que fez com que o início da perda de massa iniciasse em uma temperatura superior. No estudo de Fernandes de Mendonça, em 2018, ao qual abordou o desenvolvimento de compósitos com cera de abelha percebeu-se na termogravimetria que a cera de abelha apresenta duas perdas de massa, com degradação de 400°C. A autora atribuiu esta perda de massa a degradação de lipídeos e ácidos graxos (Mendonça, 2020).

Figura 16. Avaliação das propriedades Termogravimétricas – TG



Autor, 2024

Figura 17. Avaliação das propriedades Termogravimétricas – Derivada da TG



Fonte: Autor, 2024

Quando investigamos a derivada da TG identificamos certa homogeneidade entre as curvas, indicando uma interação entre o polímero e a própolis, uma vez que a polaridade do resíduo em direção ao PCL é semelhante. A degradação do filme 10% resíduo de própolis vermelha ocorreu a 431°C, enquanto a 25% resíduo de própolis verde ocorreu a 429°C e 50% resíduo de própolis verde teve seu pico de degradação a 421°C, resultado semelhante foi identificado por Toledo et al. (2015), em seu estudo ao qual investigou a termogravimetria da própolis verde. A própolis possui baixa estabilidade térmica em função dos seus inúmeros componentes. De certo modo, a estabilidade pode ser definida como a habilidade de uma determinada substância em manter suas características durante a variação térmica. Assim, os eventos endotérmicos que podem ser percebidos na análise de DTG podendo ser destacadas a perda de massa a 466°C para o filme de PCL contendo 25% de resíduo de própolis verde, indicando a decomposição de CaCO_3 a CaO (Melo, 2019). A avaliação do gráfico de DTG dos filmes contendo resíduo de própolis vermelha permitiu a identificação de picos, também endotérmicos, de 421 a 433°C. Na literatura, esses picos estão relacionados a queima de resíduos orgânicos que compõem a mistura polimérica da própolis (Mojumdar & Raki, 2005).

VI. Análise de HPLC dos resíduos de própolis

Ao analisar os cromatogramas de resíduo de própolis, figura 19, podemos observar que no tempo de 6,8min com $\lambda_{\text{máx}}$ de 325 nm temos a presença de ácido cafeico ($\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$), importante constituinte da própolis verde. Na área da saúde, é

relatado em literatura que o ácido cafeico exerce atividade protetora por meio de mecanismos antioxidantes, sendo evidenciado pela redução dos marcadores do estresse oxidativo celular (Gupta et al., 2024), reduz toxicidade de toxinas naturais e químicas (Ehtiati et al., 2023), atenua a síndrome dos ovários policísticos pelo combate à apoptose e ao estresse oxidativo de células do ovário (Chiang et al., 2023), melhora a resistência a insulina (Akhlaghipour et al., 2023) e protege contra lesões pulmonares e hepáticas (C. Yu et al., 2023).

O ácido ferúlico ($C_{10}H_{10}O_4$) pode ser percebido a 8,38 minutos, com $\lambda_{\text{máx}}$ de 325 nm. Estudos recentes indicam que o ácido ferúlico exibe propriedades antioxidantes, capacidade antiinflamatória e proteção mitocondrial. Então, como os principais contribuintes para a doença de Parkinson são o estresse oxidativo, neuroinflamação e anormalidades nas mitocôndrias esse isoflavonoide poderia ser resgatado e utilizado em muitos campos de atuação (Hassani & Esmaeili, 2024). Outros estudos indicam que o ácido ferúlico melhora significativamente a intolerância à glicose e mantém a homeostase intestinal melhorando a microbiota intestinal de camundongos, (Fang et al., 2024), inibe o crescimento de fungos com o *Penicillium expansum*, além de ser um excelente antioxidante (S. Singh et al., 2022).

A quercetina ($C_{15}H_{10}O_7$), importante isoflavonoide da própolis vermelha alagoana, é observada em 366nm, em 13,33 min. A quercetina, além de ser o marcador principal para a própolis vermelha alagoana possui diversos efeitos medicinais, como a atenuação da inflamação hepática (J. Yu et al., 2024), atenuação da neurodegeneração induzida por acidente vascular cerebral isquêmico (Shah et al., 2024), induz respostas horméticas (Calabrese et al., 2024). O Kaempferol pode ser identificado no pico em 15,95 min, com amplitude de 265nm. O Kaempferol possui atividades biológicas extremamente relevantes na medicina, destacando-se as ações antiinflamatórias e antioxidantes (M. S. Hussain et al., 2024), proteção da barreira intestinal contra doença induzida por alta glicose (Chu et al., 2024), promoção de autofagia em células cancerígenas do pulmão (R. Wang et al., 2023), além de ser um potencial agente neuroprotetor em doenças neurodegenerativas (Jin et al., 2023).

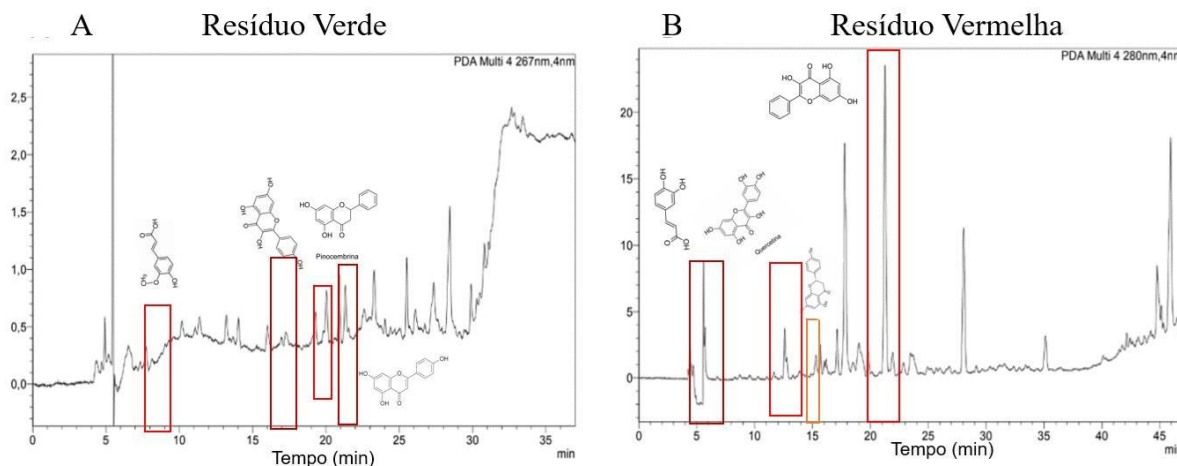
A galangina ($C_{15}H_{10}O_5$), que também é vista na própolis verde, apresenta-se ao tempo de 21,21min, na amplitude de 266nm. Na literatura, podem ser identificadas diversas atividades farmacológicas da galangina, destacando-se a atividade

antioxidante (Jomova et al., 2024; Pakdeechote et al., 2023), atuação na disfunção e hipertrofia aórtica (Pakdeechote et al., 2023), atua como moduladora da função inflamatória (Thapa et al., 2023), proteção hepática (Salama & Elshafey, 2021), atividade anticancerígena (Rampogu et al., 2021) e analgesia (Su et al., 2021).

A crisina ($C_{15}H_{10}O_4$), tem o tempo de aparecimento de pico em 20,71nm. A crisina é um excelente flavonoide com ação na atenuação de alterações neurocomportamentais na doença de Parkinson (de Gomes et al., 2022), atividade antioxidante e antimicrobiana (Adesina et al., 2024; J. Wang et al., 2024), melhora da homeostase e imunidade (J. Wang et al., 2024), efeito cardioprotetor (G. Singh et al., 2023), alívio de comportamentos depressivos em camundongos (Chen et al., 2023; Li et al., 2023), atividade anticancerígena (Chen et al., 2023) e inibição da viabilidade celular (Lima et al., 2023)

A pinocembrina ($C_{15}H_{12}O_4$), aparece ao tempo de 19,35 min. Características são atribuídas à pinocembrina, como a atividade antioxidante, antiinflamatória, antimicrobiana, neuroprotetora, anticancerígena e também atividade cardioprotetora. (Elbatreek et al., 2023). Por fim, pode ser destacado também a Naringenina ($C_{15}H_{12}O_5$), tanto para o resíduo de própolis verde como para a vermelha, ao tempo de 13,74 min. É relatado na literatura que a naringenina alivia a fibrose hepática (Pan et al., 2024; T. Yu et al., 2024), protege contra a cardiomiopatia séptica e melhora a saúde cardíaca (Pan et al., 2024), reduz o estresse oxidativo e também a necroptose em retalhos cutâneos de pacientes que fizeram enxertos de pele ou outras atividades invasivas ao tecido epitelial (Jiang et al., 2024) e também protege as células pancreáticas (Lin et al., 2023).

Figura 19. Cromatogramas de resíduo de própolis. A) Verde, B) Vermelha

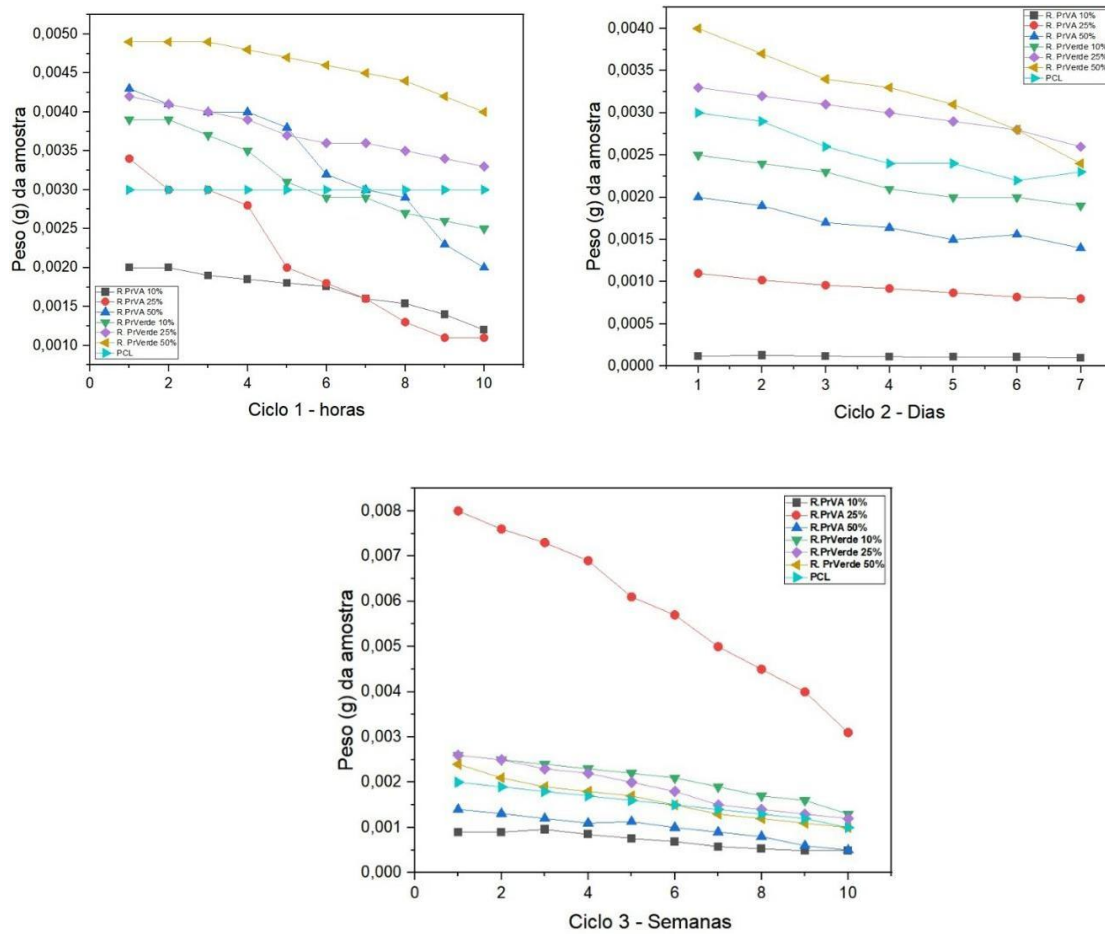


Autor, 2024

VII. Avaliação da degradação dos filmes confeccionados

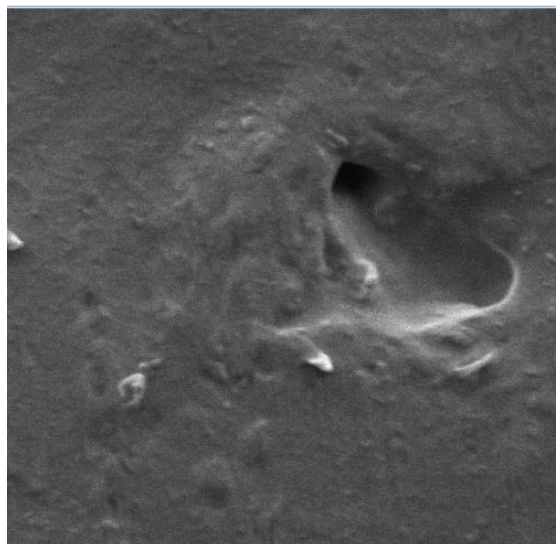
A análise de variância confirmou a linearidade do método de degradação ($F_{\text{calculado}} 27,8363 > F_{\text{crítico}} 5,31765$, $\alpha = 0,05$). Na figura 18 podemos observar 3 ciclos distintos de degradação dos filmes. Podemos ver que no ciclo1 a membrana que mais degradou foi a membrana de resíduo de própolis vermelha em associação ao PCL a 50%, em horas, quando comparada às demais amostras. Com o passar das horas, essa mesma membrana aumentou a degradação pelo processo de hidrólise do polímero PCL. Os demais liberaram aproximadamente a mesma quantidade de compostos, sem variações significativas. De modo geral, observou-se que enquanto foi aumentada uma maior quantidade de RPVermelha, 25 e 50%, o polímero teve maior taxa de degradação. De acordo com a análise térmica das amostras, entendeu-se que não houve boa miscibilidade entre o polímero e ambos os resíduos. Mas, embora a miscibilidade das amostras não seja totalmente favorável, elas conseguiram degradar na solução salina. Na figura 20 podemos observar como o processo de degradação ocorreu nos filmes.

Figura 20. Determinação da degradação dos filmes de PrVerde e PrVermelha.



Fonte: Autor, 2024

Figura 21. Degradação da membrana contendo 25% de resíduo de própolis vermelha em associação a Poli(ϵ -caprolactona) após 7 dias.

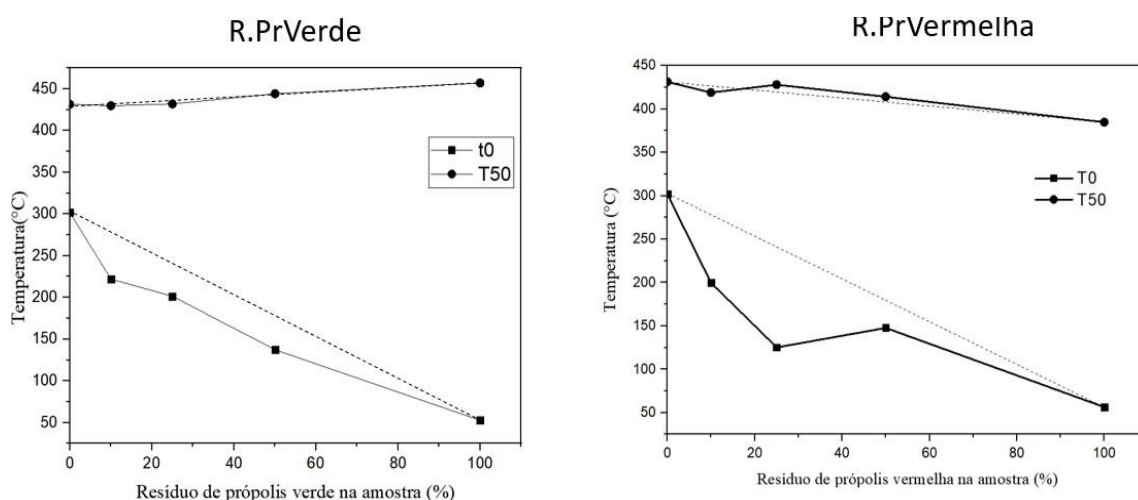


Autor, 2024

VIII. Efeito da temperatura de degradação T0 e T50 dos filmes em função da composição

Pelo método de Lizymol e Thomas, 1993, foi possível avaliar a miscibilidade das misturas poliméricas de PCL e resíduo de própolis. Podemos ver na figura 18 os gráficos referentes a porcentagem de resíduo de própolis verde/vermelha. Para o resíduo de própolis verde, T0 percebemos que a adição de 10% de resíduo ao PCL a 220°C, sofre um pequeno aumento para 25% e decai para 50%. Os valores de T50 dificilmente foram afetados pela composição das amostras. Para o resíduo da própolis vermelha, é visto um decaimento no T0 com aumento no RPR conforme filmes nas concentrações de 10% e 20%, com aumento de 50% no arrependimento. Nesta modalidade, pode estar relacionado a uma maior compatibilidade do PCL com o RPR em 50%. No T50 os valores foram pouco afetados, mostrando linearidade. Esses resultados corroboram com os termogramas, indicando que a miscibilidade dos filmes foi mais acentuada nas amostras contendo 50% de resíduo de própolis verde e vermelha.

Figura 18. Efeito da temperatura de degradação T0 e T50 dos filmes em função da composição.



Fonte: Autor, 2024

6. CONCLUSÃO

Então, pode ser entendido com este trabalho que a união do resíduo extrativo de própolis, tanto vermelha como a verde, na confecção de filmes é possível. Percebeu-se que os resíduos, de acordo com a análise de FTIR e HPLC, ainda continham compostos relativamente importantes nas amostras, como muitos isoflavonoides com características relevantes na medicina destacando-se compostos como a quercetina, a pinocembrina, o Kaempferol e a galangina.. Os filmes apresentaram picos de degradação equivalentes ao passo em que analisaram-se horas, dias e semanas, destacando-se o filme de resíduo de própolis vermelha em associação ao PCL na proporção de 25/75, com maior taxa de degradação ao final do terceiro ciclo - semanas. O resultado de MEV mostrou que, aparentemente, os filmes conseguiram ser miscíveis, indicando certa miscibilidade entre o polímero base e os resíduos incorporados. Assim, foi possível preparar filmes contendo PCL cuja liberação de compostos flavonóides é facilitada, demonstrando assim a possibilidade de novas aplicações, com possível utilização em embalagens plásticas alimentícias ou utensílios médicos, agregando valor ao resíduo da indústria de própolis, trazendo maior rentabilidade financeira para as indústrias produtoras de extratos e também para os pequenos produtores de própolis.

7. REFERÊNCIAS

- Adesina, A. F., Adewuyi, A., & Otuechere, C. A. Exploratory studies on chrysin via antioxidant, antimicrobial, ADMET, PASS and molecular docking evaluations. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, 11, 100413. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2024.100413>
- Agrawal, R., Kumar, A., Mohammed, M. K. A., & Singh, S. Biomaterial types, properties, medical applications, and other factors: a recent review. In *Journal of Zhejiang University: Science A* (Vol. 24, Issue 11, pp. 1027–1042). Zhejiang University. 2023. <https://doi.org/10.1631/jzus.A2200403>
- Akhlaghipour, I., Nasimi Shad, A., Askari, V. R., Maharati, A., & Baradaran Rahimi, V. How caffeic acid and its derivatives combat diabetes and its complications: A systematic review. *Journal of Functional Foods*, 110, 105862. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105862>
- Aldana-Mejía, J. A., de Miranda, A. M., Ccana-Ccapatinta, G. V., de Araújo, L. S., Ribeiro, V. P., Arruda, C., Nascimento, S., Squarisi, I., Esperandim, T., de Freitas, K. S., Ozelin, S. D., Tavares, D. C., Ramalho, F. S., & Bastos, J. K. Genotoxicity and toxicological evaluations of Brazilian red propolis oral ingestion in a preclinical rodent model. *Journal of Ethnopharmacology*, 303, 115920. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2022.115920>
- Aliya, S., Alhammadi, M., Park, U., Tiwari, J. N., Lee, J.-H., Han, Y.-K., & Huh, Y. S. The potential role of formononetin in cancer treatment: An updated review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 168, 115811. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115811>
- Ambaye, T. G., Djellabi, R., Vaccari, M., Prasad, S., M Aminabhavi, T., & Rtimi, S. Emerging technologies and sustainable strategies for municipal solid waste valorization: Challenges of circular economy implementation. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138708. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138708>
- Aurélio, Dicionário. *Aurélio. Resíduo*. 2023.

- Averous, L. Properties of thermoplastic blends: starch–polycaprolactone. *Polymer*, 41(11), 4157–4167. 2000. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00636-9](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00636-9)
- Bankova, V., Trusheva, B., & Popova, M. Propolis extraction methods: a review. *Journal of Apicultural Research*, 60(5), 734–743. 2021. <https://doi.org/10.1080/00218839.2021.1901426>
- Baptista, B. G., Fanton, S., Ribeiro, M., Cardozo, L. FM. F., Regis, B., Alvarenga, L., Ribeiro-Alves, M., Berretta, A. A., Shiels, G. P., & Mafra, D. The effect of Brazilian Green Propolis extract on inflammation in patients with chronic kidney disease on peritoneal dialysis: A randomised double-blind controlled clinical trial. *Phytomedicine*, 114. 2024.
- Batista, C. M., Alves, A. V. F., Queiroz, L. A., Lima, B. S., Filho, R. N. P., Araújo, A. A. S., de Albuquerque Júnior, R. L. C., & Cardoso, J. C. The photoprotective and anti-inflammatory activity of red propolis extract in rats. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 180, 198–207. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.01.028>
- Benvegnú, I., Contessa, C., Moraes, C., & Rosa, G. DA. Extração de compostos bioativos da própolis marrom atuantes como barreira antimicrobiana em filmes biopoliméricos de carragenana. 2022.
- Bertotto, C., Bilck, A. P., Yamashita, F., Anjos, O., Bakar Siddique, M. A., Harrison, S. M., Brunton, N. P., & Carpes, S. T. Development of a biodegradable plastic film extruded with the addition of a Brazilian propolis by-product. *LWT*, 157, 113124. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113124>
- Bhargava, P., Mahanta, D., Kaul, A., Ishida, Y., Terao, K., Wadhwa, R., & Kaul, S. C. Experimental evidence for therapeutic potentials of propolis. *Nutrients*, 13(8). 2021. <https://doi.org/10.3390/nu13082528>
- Bielawski, C. W., & Grubbs, R. H. Living ring-opening metathesis polymerization. In *Progress in Polymer Science (Oxford)* (Vol. 32, Issue 1, pp. 1–29). 2007. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.08.006>
- Biosfera, E., & Científico Conhecer-Goiânia, C. Utilização do resíduo do extrato de própolis verde como promotor de crescimento para frangos de corte. 2022.

- Boeing, T., Monteiro Magalhães de Oliveira, B., Aldana-Mejía, J. A., Vidal Ccana-Capatinta, G., Venzon, L., Judah Cury, B., Santos França, T. C., de Souza, P., Roman Junior, W. A., Mota da Silva, L., & Kenupp Bastos, J. Brazilian Red Propolis Accelerates Gastric Healing and Reduces Gastric Submucosal Layer Inflammation in Ultrasound-Monitored Rats. *Chemistry & Biodiversity*, 20(1). 2023. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200992>
- Calabrese, E. J., Hayes, A. W., Pressman, P., Dhawan, G., Kapoor, R., Agathokleous, E., & Calabrese, V. Quercetin induces its chemoprotective effects via hormesis. *Food and Chemical Toxicology*, 184, 114419. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2023.114419>
- Capucho, C., Sette, R., de Souza Predes, F., de Castro Monteiro, J., Pigoso, A. A., Barbieri, R., Dolder, M. A. H., & Severi-Aguiar, G. D. C. Green Brazilian propolis effects on sperm count and epididymis morphology and oxidative stress. *Food and Chemical Toxicology*, 50(11), 3956–3962. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.08.027>
- Cavalcante Loureiro, K., Carvalho Barbosa, T., Nery, M., Chaud, M. V., da Silva, F., Andrade, N., Corrêa, C. B., Jaguer, A., Padilha, F. F., Cardoso, J. C., Severino, P., & Souto. E. Antibacterial activity of chitosan/collagen membranes containing red propolis extract. *Pharmazie*, 75. 2022.
- Censi, V., Saiano, F., Bongiorno, D., Indelicato, S., Napoli, A., & Piazzese, D. Bioplastics: A new analytical challenge. In *Frontiers in Chemistry* (Vol. 10). Frontiers Media S.A. 2022. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.971792>
- Chen, J., Li, Q., & Jiang, Y. Chrysin promotes Cisplatin-induced apoptosis via oxidative DNA damage in oral squamous cell carcinoma. *Biochemical Systematics and Ecology*, 108, 104623. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104623>
- Chiang, Y.-F., Lin, I.-C., Huang, K.-C., Chen, H.-Y., Ali, M., Huang, Y.-J., & Hsia, S.-M. Caffeic acid's role in mitigating polycystic ovary syndrome by countering apoptosis and ER stress triggered by oxidative stress. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 166, 115327. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115327>

- Cho, B.-G., Kim, J., Park, Y.-B., Kim, J., Lee, M. W., Yu, W.-R., & Jeon, S.-Y. Interphase enhanced low-velocity impact energy absorption in liquid crystal elastomer-based woven composites. *Composites Science and Technology*, 246, 110377. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2023.110377>
- Chu, T., Yu, R., Gu, Y., Wang, Y., Chang, H., Li, Y., Li, J., & Bian, Y. Kaempferol protects gut-vascular barrier from high glucose-induced disorder via NF- κ B pathway. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 123, 109496. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2023.109496>
- Da Costa Sacramento, G., Valéria, K., Hodel, S., Nunes, S. B., Dantas, J., Barbosa, V., Aparecida, B., & Machado, S. *Produção e caracterização de biocurativos ativos a base de celulose bacteriana, amido e própolis vermelha*. 2022.
- da Silva, R., do Vale, L., Felício Calou, B., de Deus, M., do Socorro, M., Miche Pinheiro, P., & Paula, A. Flavonóides: constituição química, ações medicinais e potencial tóxico Flavonoids: Chemical composition, medical actions and toxicity. In *Acta Toxicol. Argent* (Vol. 23, Issue 1). 2022.
- Dagwar, P. P., & Dutta, D. Landfill leachate a potential challenge towards sustainable environmental management. *Science of The Total Environment*, 926. 2024.
- De Carli, C., Aylanc, V., Mouffok, K. M., Santamaria-Echart, A., Barreiro, F., Tomás, A., Pereira, C., Rodrigues, P., Vilas-Boas, M., & Falcão, S. I. Production of chitosan-based biodegradable active films using bio-waste enriched with polyphenol propolis extract envisaging food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 213, 486–497. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.155>
- de Gomes, M. G., Goes, A. T. R., Del Fabbro, L., Souza, L. C., Lobo Ladd, A. A. B., Ladd, F. V. L., Boeira, S. P., & Jesse, C. R. Chrysin supplementation mitigated neurobehavioral changes in a animal model of Parkinson's disease: Influence on TH+ neurons. *Learning and Motivation*, 80, 101847. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2022.101847>
- De Jesus Santos, J. K.; Furtado, Celso. *Formação econômica do Brasil*. 34. ed. São Paulo: Companhia das Letras. *InterEspaço: Revista de Geografia e*

- Interdisciplinaridade*, 4(15), 473. 2007. <https://doi.org/10.18764/2446-6549.v4n15p473-478>
- de Miranda, M. B., Lanna, M. F., Nascimento, A. L. B., de Paula, C. A., de Souza, M. E., Felipetto, M., da Silva Barcelos, L., & de Moura, S. A. L. Hydroalcoholic extract of Brazilian green propolis modulates inflammatory process in mice submitted to a low protein diet. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 109, 610–620. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.116>
- de Nadai Dias, F. J., de Andrade Pinto, S. A., Rodrigues dos Santos, A., Mainardi, M. do C. A. J., Rischka, K., & de Carvalho Zavaglia, C. A. Resveratrol-loaded polycaprolactone scaffolds obtained by rotary jet spinning. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 27(5), 289–301. 2022. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2022.2068242>
- de Souza Silva, T., Silva, J. M. B., Braun, G. H., Mejia, J. A. A., Ccapatinta, G. V. C., Santos, M. F. C., Tanimoto, M. H., Bastos, J. K., Parreira, R. L. T., Orenha, R. P., Borges, A., Berretta, A. A., Veneziani, R. C. S., Martins, C. H. G., & Ambrósio, S. R. Green and Red Brazilian Propolis: Antimicrobial Potential and Anti-Virulence against ATCC and Clinically Isolated Multidrug-Resistant Bacteria. *Chemistry & Biodiversity*, 18(8). 2021. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100307>
- Decreto n. 7.746, de 05 de Junho de 2012. Regulamenta o Art. 3º Da Lei Nº 8.666, de 21 de Junho de 1993, Para Estabelecer Critérios, Práticas e Diretrizes Para a Promoção Do Desenvolvimento Nacional Sustentável Nas Contratações Realizadas Pela Administração Pública Federal, e Institui a Comissão Interministerial de Sustentabilidade Na Administração Pública – CISAP. Brasil. (1993).
- Dias Carneiro, D., & Modiano, E. Ajuste externo e desequilíbrio interno, 1980-1984. In *A ordem do progresso: dois séculos de política econômica no Brasil* (2nd ed., Vol. 1, pp. 263–280). Elsevier. 2014.
- Dikmetas, D. N., Devecioglu, D., Özünal, Z. G., Demiroz, A., Yavuz, E., Sirkeci, C. B., Karbancioglu-Guler, F., & Kahveci, D. From waste to remedy: Extraction and utilization of food waste-derived bioactive components in wound healing. *Trends in Food Science & Technology*, 145, 104347. 2024

[.https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104347](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104347)

- Dilokthornsakul, W., Kosiyaporn, R., Wuttipongwaragon, R., & Dilokthornsakul, P. Potential effects of propolis and honey in COVID-19 prevention and treatment: A systematic review of in silico and clinical studies. *Journal of Integrative Medicine*, 20(2), 114–125. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.joim.2022.01.008>
- Do, M., & Pereira De Almeida, S. *Sustentabilidade: é possível? Sustentabilidade*. 2022.
- Du, W., Wei, H., Zhu, T., & Zhang, S. Combination of ring-opening polymerization and “click” chemistry towards functionalization of polycaprolactone with sulfobetaine groups. *Polymer*, 294, 126721. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2024.126721>
- Echegaray, N., Guzel, N., Kumar, M., Guzel, M., Hassoun, A., & Lorenzo, J. M. Recent advancements in natural colorants and their application as coloring in food and in intelligent food packaging. *Food Chemistry*, 404, 134453. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134453>
- Ehtiaty, S., Alizadeh, M., Farhadi, F., Khalatbari, K., Ajiboye, B. O., Baradaran Rahimi, V., & Askari, V. R. Promising influences of caffeic acid and caffeic acid phenethyl ester against natural and chemical toxins: A comprehensive and mechanistic review. *Journal of Functional Foods*, 107, 105637. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105637>
- Elbatreek, M. H., Mahdi, I., Ouchari, W., Mahmoud, M. F., & Sobeh, M. Current advances on the therapeutic potential of pinocembrin: An updated review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 157, 114032. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.114032>
- Fang, W., Peng, W., Qi, W., Zhang, J., Song, G., Pang, S., & Wang, Y. Ferulic acid combined with different dietary fibers improve glucose metabolism and intestinal barrier function by regulating gut microbiota in high-fat diet-fed mice. *Journal of Functional Foods*, 112, 105919. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105919>

- Ferreira, J. M., & Negri, G. Composição química e atividade biológica das própolis brasileiras: verde e vermelha. *ACTA Apicola Brasilica*, 6(1), 06–15. 2018. <https://doi.org/10.18378/aab.v6i1.4962>
- Filho, H. S. *A Era Vargas: desenvolvimentismo, economia e sociedade* *1. 1998.
- Firmansyah, F., Park, I., Corona, M., Aphale, O., Ahuja, A., Johnston, M., Thyberg, K. L., Hewitt, E., & Tonjes, D. J. *Variation in municipal solid waste generation and management across time and space* 2. 2018. <https://ssrn.com/abstract=4626949>
- García-Monleón, F., González-Rodrigo, E., & Bordonado-Bermejo, M. J. Coexistência de sustentabilidade e crescimento em diferentes economias. *Revista de Pesquisa Empresarial*, 170. 2024.
- Grasso, S., & Asioli, D. Consumer preferences for upcycled ingredients: A case study with biscuits. *Food Quality and Preference*, 84. 2020.
- Gupta, D., Shrivastava, S., Gupte, S. S., & Shukla, S. Caffeic acid attenuates acrylamide induced biochemical, hematological, and histological alterations in rats. *Pharmacological Research - Natural Products*, 3, 100031. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100031>
- Guterman, A. S. *Sustainability and Corporate Governance*. 2023. <http://www.wlrk.com/webdocs/wlrknew/WLRKMemos/WLRK/WLRK.25823.17.pdf>
- Hassani, S., & Esmaeili, A. The neuroprotective effects of ferulic acid in toxin-induced models of Parkinson's disease: A review. *Ageing Research Reviews*, 97, 102299. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2024.102299>
- Havsteen, B. H. The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & Therapeutics*, 96(2–3), 67–202. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0163-7258\(02\)00298-X](https://doi.org/10.1016/S0163-7258(02)00298-X)
- Heimbach, N. da S., Itavo, C. C. B. F., LEAL, C. R. B., Ítavo, L. C. V., Silva, J. A. da, Silva, P. C. G., Rezende, L. C. de, & Gomes, M. de F. F. Resíduo da extração de própolis como inibidor bacteriano in vitro. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 17(1), 65–72. 2016. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000100007>

- Huber, L. S., Hoffmann-Ribani, R., & Rodriguez-Amaya, D. B. Quantitative variation in Brazilian vegetable sources of flavonols and flavones. *Food Chemistry*, 113(4), 1278–1282. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.030>
- Hussain, A., Maitra, J., Saifi, A., Ahmed, S., Nabeen K., Chelliapan, H., & Yusuf, M. A sustainable approach for fluoride treatment using coconut fiber cellulose as an adsorbent. *Environmental Research*, 244. 2024.
- Hussain, M. S., Altamimi, A. S. A., Afzal, M., Almalki, W. H., Kazmi, I., Alzarea, S. I., Gupta, G., Shahwan, M., Kukreti, N., Wong, L. S., Kumarasamy, V., & Subramaniyan, V. Kaempferol: Paving the path for advanced treatments in aging-related diseases. *Experimental Gerontology*, 188, 112389. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2024.112389>
- Ikram, S. Recipes and ingredients for ancient Egyptian mummification. *Nature*, 614(7947), 229–230. 2023. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-00094-1>
- Irigoit, E. O uso da própolis como ingrediente alimentar funcional: uma revisão . *Tendências Em Ciência e Tecnologia de Alimentos* , 6(14). 2021.
- Irigoit, Y., Navarro, A., Yamul, D., Tabera, A., & Basualdo, M. O uso da própolis como ingrediente alimentar funcional: uma revisão. *Tendências Em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 115, 29–306. 2021.
- Iwata, T. Biodegradable and bio-based polymers: Future prospects of eco-friendly plastics. In *Angewandte Chemie - International Edition* (Vol. 54, Issue 11, pp. 3210–3215). Wiley-VCH Verlag. 2021. <https://doi.org/10.1002/anie.201410770>
- Iwata, T. Biodegradable and bio-based polymers: Future prospects of eco-friendly plastics. In *Angewandte Chemie - International Edition* (Vol. 54, Issue 11, pp. 3210–3215). Wiley-VCH Verlag. 2015. <https://doi.org/10.1002/anie.201410770>
- Jiang, S., Ma, F., Lou, J., Li, J., Shang, X., Li, Y., Wu, J., & Xu, S. Naringenin reduces oxidative stress and necroptosis, apoptosis, and pyroptosis in random-pattern skin flaps by enhancing autophagy. *European Journal of Pharmacology*, 970, 176455. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2024.176455>
- Jin, S., Zhang, L., & Wang, L. Kaempferol, a potential neuroprotective agent in neurodegenerative diseases: From chemistry to medicine. *Biomedicine &*

Pharmacotherapy, 165, 115215. 2023.

<https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115215>

Jomova, K., Cvik, M., Orolinova, T., Y. Alomar, S., H. Alwasel, S., Aldahmash, W., Alqarzae, S., Al-Juaimlani, A., Nepovimova, E., Kuca, K., J. Rhodes, C., & Valko, M. Antioxidant versus prooxidant properties of the flavonoid, galangin: ROS scavenging activity, flavonoid-DNA interaction, copper-catalyzed Fenton reaction and DNA damage study. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101112. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101112>

Kaur, M., Singh, A. K., & Singh, A. Bioconversion of food industry waste to value added products: Current technological trends and prospects. *Food Bioscience*, 55, 102935. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102935>

Khoshnevisan, K., Maleki, H., Samadian, H., Doostan, M., & Khorramizadeh, M. R. Antibacterial and antioxidant assessment of cellulose acetate/polycaprolactone nanofibrous mats impregnated with propolis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 1260–1268. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.207>

Kumar Sarangi, P., Subudhi, S., Bhatia, L., Saha, K., Mudgil, D., Prasad Shadangi, K., Srivastava, R. K., Pattnaik, B., & Arya, R. K. Utilization of agricultural waste biomass and recycling toward circular bioeconomy. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 30, Issue 4, pp. 8526–8539). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20669-1>

Kuropatnicki, A. K., Szliszka, E., & Krol, W. Historical Aspects of Propolis Research in Modern Times. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 1–11. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/964149>

Lavelli, V. Circular food supply chains – Impact on value addition and safety. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 223–232. 2021.

Li, Z., Wang, Q., Zhang, Z., Guo, Y., Sun, M., Li, L., & He, W. Chrysin alleviated CUMS-induced depressive-like behaviors in mice via directly targeting Fyn. *Journal of Functional Foods*, 106, 105603. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105603>

- Lima, A. P. B., Melo, A. S., Ferreira, G. M., & da Silva, G. N. Chrysin inhibits the cell viability, induces apoptosis and modulates expression of genes related to epigenetic events in bladder cancer cells. *Natural Product Research*, 37(11), 1877–1881. 2023. <https://doi.org/10.1080/14786419.2022.2121825>
- Lin, P., Zhang, X., Zhu, B., Gao, J., Yin, D., Zeng, J., & Kang, Z. Naringenin protects pancreatic β cells in diabetic rat through activation of estrogen receptor β . *European Journal of Pharmacology*, 960, 176115. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2023.176115>
- Lizymol, P. P., & Thomas, S. Thermal behaviour of polymer blends: a comparison of the thermal properties of miscible and immiscible systems. *Polymer Degradation and Stability*, 41(1), 59–64. 1993. [https://doi.org/10.1016/0141-3910\(93\)90061-M](https://doi.org/10.1016/0141-3910(93)90061-M)
- Luo, X., Xiao, J., Yang, Q., Lu, X., Huang, Q., Ai, X., Li, B., Sun, L., & Chen, L. Biomaterials for surgical repair of osteoporotic bone defects. *Chinese Chemical Letters*, 109684. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cclet.2024.109684>
- Mahmud, Md. Z. Al, Mobarak, M. H., Hossain, N., Islam, Md. A., & Rayhan, Md. T. Emerging breakthroughs in biomaterials for orthopedic applications: A comprehensive review. *Bioprinting*, 36, e00323. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2023.e00323>
- Marcucci, M. C. *Própolis: Correlação Química e Biológica*. 2019.
- Martinotti, S., & Ranzato, E. Propolis: a new frontier for wound healing? *Burns & Trauma*, 3. 2015. <https://doi.org/10.1186/s41038-015-0010-z>
- Mesjasz-Lech, A. Can Industry 5.0 be seen as a remedy for the problem of waste in industrial companies? *Procedia Computer Science*, 225, 1816–1825. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.171>
- Ministério da Saúde-MS Agência Nacional de Vigilância Sanitária-ANVISA. 2022.
- Mirbagheri, M. S., Akhavan-Mahdavi, S., Hasan, A., Kharazmi, M. S., & Jafari, S. M. Propolis-loaded nanofiber scaffolds based on polyvinyl alcohol and polycaprolactone. *International Journal of Pharmaceutics*, 642, 123186. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123186>

- Mojumdar, S. C., & Raki, L. Preparation and properties of calcium silicate hydrate-poly(vinyl alcohol) nanocomposite MATERIALS. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* (Vol. 82). 2005.
- Moreno Florez, A. I., Malagon, S., Ocampo, S., Leal-Marin, S., Gil González, J. H., Diaz-Cano, A., Lopera, A., Paucar, C., Ossa, A., Glasmacher, B., Peláez-Vargas, A., & Garcia, C. Antibacterial and osteoinductive properties of wollastonite scaffolds impregnated with propolis produced by additive manufacturing. *Heliyon*, 10(1). 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23955>
- Muhamad, N., Soontornnon Sinchai, P., & Tansom, U. Banana peel as bioremediation agent in textile dyes decolorization for wastewater management. *Biochemical Systematics and Ecology*, 106. 2023.
- Nacional, A., & Sanitária, V. *Ministério da Saúde Instrução normativa-in nº 28, de 26 de julho de 2018*. 2018.
- Nascimento, F., & Pinto Filho, J. Os impactos ambientais dos resíduos sólidos urbanos. *Enciclopédia Biosfera*, 18(38). 2021.
https://doi.org/10.18677/encibio_2021d35
- Nascimento, R. J. T., Teixeira, R. M. A., Tomich, T. R., Pereira, L. G. R., do Carmo, T. D., Junior, A. P. N., & Cappelle, E. R. Residue of propolis extract in bovine diets with increasing levels of protein on rumen fermentation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55. 2020. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2020.V55.01572>
- Nureen, N., Liu, D., Ahmad, B., & Irfan, M. Exploring the technical and behavioral dimensions of green supply chain management: a roadmap toward environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(42), 63444–63457. 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20352-5>
- Organização das Nações Unidas (ONU). *Marcos Ambientais: Uma linha do tempo do PNUMA aos 50*. UNESP. <https://www.unep.org/pt-br/marcos-ambientais-uma-linha-do-tempo-do-pnuma-aos-50>. 2024.

Organização das Nações Unidas (ONU). *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*.

Disponível Em: <https://Nacoesunidas.Org/Pos2015/Agenda2030>. 2024.

Pakdeechote, P., Poasakate, A., Prasatthong, P., Potue, P., Khamseekaew, J., & Maneesai, P. Mitigation effect of galangin against aortic dysfunction and hypertrophy in rats with metabolic syndrome. *Heliyon*, 9(5), e16500. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16500>

Pan, J., Meng, L., Li, R., Wang, Z., Yuan, W., Li, Y., Chen, L., Shen, Q., Liu, W., & Zhu, L. Naringenin protects against septic cardiomyopathy in mice by targeting HIF-1 α . *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 704, 149613. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2024.149613>

Pant, K., Thakur, M., Chopra, H. K., & Nanda, V. Encapsulated bee propolis powder: Drying process optimization and physicochemical characterization. *LWT*, 155. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112956>

Pérez-Vergara, L. D., Cifuentes, M. T., Franco, A. P., Pérez-Cervera, C. E., & Andrade-Pizarro, R. D. Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS Journal*, 21, 39–49. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.09.002>

Pires, A. L. R., Bierhalz, A. C. K., & Moraes, Â. M. Biomaterials: types, applications, and market. *Química Nova*. 2015. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150094>

Pu, Y., Jiang, H., Zhang, Y., Cao, J., & Jiang, W. Advances in propolis and propolis functionalized coatings and films for fruits and vegetables preservation. *Food Chemistry*, 414, 135662. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135662>

Puppi, D., Chiellini, F., Piras, A. M., & Chiellini, E. Polymeric materials for bone and cartilage repair. *Progress in Polymer Science*, 35(4), 403–440. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.01.006>

Purohit, J., Chattopadhyay, A., & Teli, B. Metagenomic Exploration of Plastic Degrading Microbes for Biotechnological Application. *Current Genomics*, 21(4), 253–270. 2020. <https://doi.org/10.2174/1389202921999200525155711>

QUEIROZ, L. L. *Utopia da sustentabilidade e transgressões do design*. (1st ed., Vol. 7). Letras. 2014.

- Rahimkhoei, V., Padervand, M., Hedayat, M., Seidi, F., Dawi, E. A., & Akbari, A. Biomedical applications of electrospun polycaprolactone-based carbohydrate polymers: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126642. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126642>
- Rampogu, S., Gajula, R. G., & Lee, K. W. A comprehensive review on chemotherapeutic potential of galangin. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 141, 111808. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111808>
- Ravindran, B., Awasthi, M. K., Karmegam, N., Chang, S. W., Chaudhary, D. K., Selvam, A., Nguyen, D. D., Rahman Milon, A., & Munuswamy-Ramanujam, G. Co-composting of food waste and swine manure augmenting biochar and salts: Nutrient dynamics, gaseous emissions and microbial activity. *Bioresource Technology*, 344, 126300. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126300>
- Reguengo, L. M., Salgaço, M. K., Sivieri, K., & Maróstica Júnior, M. R. Agro-industrial by-products: Valuable sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 152, 110871. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110871>
- Reul, L. T. A., Carvalho, L. H., & Canedo, E. L. *Características Reológicas e Térmicas de Compósitos Policaprolactona/Babaçu*. 12(3), 174–182. 2017.
- Ribeiro, V. P., Mejia, J. A. A., Rodrigues, D. M., Alves, G. R., de Freitas Pinheiro, A. M., Tanimoto, M. H., Bastos, J. K., & Ambrósio, S. R. Brazilian Brown Propolis: an Overview About Its Chemical Composition, Botanical Sources, Quality Control, and Pharmacological Properties. In *Revista Brasileira de Farmacognosia* (Vol. 33, Issue 2, pp. 288–299). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2023. <https://doi.org/10.1007/s43450-023-00374-x>
- Ribeiro, V. P., Mejia, J. A. A., Rodrigues, D. M., Alves, G. R., de Freitas Pinheiro, A. M., Tanimoto, M. H., Bastos, J. K., & Ambrósio, S. R. Brazilian Brown Propolis: an Overview About Its Chemical Composition, Botanical Sources, Quality Control, and Pharmacological Properties. In *Revista Brasileira de Farmacognosia* (Vol. 33, Issue 2, pp. 288–299). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2023. <https://doi.org/10.1007/s43450-023-00374-x>

- Rockenbach De Avila, M. *Princípios para Conservação e Uso Sustentável dos Recursos Naturais e da Biodiversidade: Bases Teóricas para Processos de Capacitação*. 2023. <https://www.researchgate.net/publication/348755260>
- Rodrigues, M. do S. A., Sousa, B. R. de, Cunha, M. H. da, Araujo, A. dos S., Silva, O. S. da, Fonseca, S. B. da, Meireles, B. R. L. de A., Medeiros, W. P. de, Freitas, F. B. F. de, & Albuquerque, T. da N. Screening Fitoquímico de amostras de própolis do Nordeste do Brasil por HPLC: Variedades verde, negra e vermelha. *Research, Society and Development*, 9(10), e7799108936. 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8936>
- Sadeghi, A., Razavi, S. M. A., & Shahrampour, D. Fabrication and characterization of biodegradable active films with modified morphology based on polycaprolactone-poly-lactic acid-green tea extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 205, 341–356. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.02.070>
- Safaei, M., & Roosta Azad, R. Preparation and characterization of poly-lactic acid based films containing propolis ethanolic extract to be used in dry meat sausage packaging. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1242–1250. 2020. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04156-z>
- Saito, Y., Gouda, T., Nakamura, S., Ichihara, K., Hara, H., & Shimazawa, M. Water extract of Brazilian green propolis attenuates high glucose-induced vascular morphological abnormality in zebrafish. *Journal of Functional Foods*, 49, 250–257. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.08.028>
- Salama, S. A., & Elshafey, M. M. Galangin mitigates iron overload-triggered liver injury: Up-regulation of PPAR γ and Nrf2 signaling, and abrogation of the inflammatory responses. *Life Sciences*, 283, 119856. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119856>
- Salatino, A., Salatino, M. L. F., & Negri, G. How diverse is the chemistry and plant origin of Brazilian propolis? In *Apidologie* (Vol. 52, Issue 6, pp. 1075–1097). Springer-Verlag Italia s.r.l. 2021. <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00889-z>

- Santos, F. de A. A. dos, & Nunes, L. E. Propólis: aspectos químicos e propriedades terapêuticas. *Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica*, 2(12), 1–13. 2023. <https://doi.org/10.56166/remici.2311v2n121275>
- Santos, F. de A. A. dos, & Nunes, L. E. Propólis: aspectos químicos e propriedades terapêuticas. *Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica*, 2(12), 1–13. 2023. <https://doi.org/10.56166/remici.2311v2n121275>
- SANTOS, M. *A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção*. (EDUSP). Epistemologias do sul. 2002.
- SEBRAE. *Sustentabilidade: Conceito ganha o mundo*. 2022.
<https://Mt.Agenciasebrae.Com.Br/Cultura-Empreendedora/Conceito-Ganha-o-Mundo-Centro-Sebrae-de-Sustentabilidade/>.
- SEST. *20ª Conferência Internacional sobre Tecnologias de Energia Sustentável*. 2023
- Sforcin, J. M., & Bankova, V. Propolis: Is there a potential for the development of new drugs? *Journal of Ethnopharmacology*, 133(2), 253–260. 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.10.032>
- Sforcin, J. M., Conti, B. J., Santiago, K. B., Cardoso, E. de O., Conte, F. L., Oliveira, L. P. G., & Araújo, M. J. A. M. Propriedades biológicas da própolis produzida por *Apis mellifera*. In *Própolis e geoprópolis: uma herança das abelhas* (pp. 49–62). Editora UNESP. 2017. <https://doi.org/10.7476/9788595461819.0006>
- Shabeena, M., Warale, D., Prabhu, A., Kouser, S., Manasa, D. J., & Nagaraja, G. K. Pectin wrapped halloysite nanotube reinforced Polycaprolactone films for potential wound healing application. *International Journal of Biological Macromolecules*, 262, 130140. 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130140>
- Shah, F. A., Albaqami, F., Alattar, A., Alshaman, R., Zaitone, S. A., Gabr, A. M., Abdel-Moneim, A.-M. H., dosoky, M. El, & Koh, P. O. Quercetin attenuated ischemic stroke induced neurodegeneration by modulating glutamatergic and synaptic signaling pathways. *Heliyon*, 10(7), e28016. 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28016>

- Shen, C., Yang, X., Wang, D., Li, J., Zhu, C., Wu, D., & Chen, K. Carboxymethyl chitosan and polycaprolactone-based rapid in-situ packaging for fruit preservation by solution blow spinning. *Carbohydrate Polymers*, 326, 121636. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121636>
- Silva-Beltrán, N. P., Umsza-Guez, M. A., Rodrigues, D. M. R., Gálvez-Ruiz, J. C., Castro, T. L. de P., & Balderrama-Carmona, A. P. Comparison of the biological potential and chemical composition of brazilian and mexican propolis. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(23). 2021. <https://doi.org/10.3390/app112311417>
- Silveira, M. A. D., De Jong, D., Berretta, A. A., Galvão, E. B. dos S., Ribeiro, J. C., Cerqueira-Silva, T., Amorim, T. C., Conceição, L. F. M. R. da, Gomes, M. M. D., Teixeira, M. B., Souza, S. P. de, Santos, M. H. C. A. dos, San Martin, R. L. A., Silva, M. de O., Lírio, M., Moreno, L., Sampaio, J. C. M., Mendonça, R., Ultchak, S. S., ... Passos, R. da H. Efficacy of Brazilian green propolis (EPP-AF®) as an adjunct treatment for hospitalized COVID-19 patients: A randomized, controlled clinical trial. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 138. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111526>
- Simone-Finstrom, M., Borba, R. S., Wilson, M., & Spivak, M. Propolis counteracts some threats to honey bee health. In *Insects* (Vol. 8, Issue 2). MDPI AG. 2017. <https://doi.org/10.3390/insects8020046>
- Singh, G., Varshney, V., Goyal, A., Ali, N., Iqbal, M., Kaur, I., Vargas-De-La-Cruz, C., & Behl, T. Chrysin restores the cardioprotective effect of ischemic preconditioning in diabetes-challenged rat heart. *Heliyon*, 9(11), e22052. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22052>
- Singh, S., Arthur, R., Upadhayay, S., & Kumar, P. Ferulic acid ameliorates neurodegeneration via the Nrf2/ARE signalling pathway: A Review. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, 5, 100190. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2022.100190>
- Sousa, F., & Bendini, J. Consumo de produtos apícolas no Piauí durante a pandemia da Covid-19. *Higiene Alimentar*, 2022(02), 01. 2022. <https://doi.org/10.37585/ha2022.02consumo>

- Sturm, N. Food and Bioproduct Processing Encapsulation of non-dewaxed propolis by freeze drying and spray drying using gum arabic, maltodextrin and inulin as coating materials. *Food Processing and Bioproducts*, 156. 2019.
- Su, Y., Shen, L., Xue, J., Zou, J., Wan, D., & Shi, Z. Therapeutic evaluation of galangin on cartilage protection and analgesic activity in a rat model of osteoarthritis. *Electronic Journal of Biotechnology*, 53, 8–13. 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2021.05.005>
- Surek, M., Cobre, A. de F., Fachi, M. M., Santos, T. G., Pontarolo, R., Crisma, A. R., Felipe, K. B., & Souza, W. M. de. Propolis authentication of stingless bees by mid-infrared spectroscopy and chemometric analysis. *LWT*, 161. 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113370>
- Sutherland, J. W., Skerlos, S. J., Haapala, K. R., Cooper, D., Zhao, F., & Huang, A. Industrial sustainability: reviewing the past and envisioning the future. *Manuf. Sci. Eng. Trans.*, 11(142). 2022.
- Tan, C., Han, F., Zhang, S., Li, P., & Shang, N. Novel Bio-Based Materials and Applications in Antimicrobial Food Packaging: Recent Advances and Future Trends. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(18), 9663. 2021.
<https://doi.org/10.3390/ijms22189663>
- Teixeira, V. M. C., da Silva, R. F. G., Gonçalves, O. H., Pereira, C., Barros, L., Ferreira, I. C. F. R., Bona, E., & Leimann, F. V. Chemometric approaches to evaluate the substitution of synthetic food dyes by natural compounds: The case of nanoencapsulated curcumin, spirulina, and hibiscus extracts. *LWT*, 154, 112786. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112786>
- Thapa, R., Afzal, O., Alfawaz Altamimi, A. S., Goyal, A., Almalki, W. H., Alzarea, S. I., Kazmi, I., Jakhmola, V., Singh, S. K., Dua, K., Gilhotra, R., & Gupta, G. Galangin as an inflammatory response modulator: An updated overview and therapeutic potential. *Chemico-Biological Interactions*, 378, 110482. 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.cbi.2023.110482>
- Tian, J., Yu, F., Guo, Z., Yan, Y., Xie, Y., Ma, Z., Li, Q., Fousseni, F., & Liu, W. Forest residues contribute significantly to climate change in China. *Resources*,

- Conservation and Recycling*, 198, 107157. 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107157>
- van Weenen, J. C. Towards sustainable product development. *Journal of Cleaner Production*, 3(1–2), 95–100. 1995. [https://doi.org/10.1016/0959-6526\(95\)00062](https://doi.org/10.1016/0959-6526(95)00062)
- Vilochani, S., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. Consolidation of management practices for Sustainable Product Development: A systematic literature review. In *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 45, pp. 115–125). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.01.002>
- Wang, J., Wang, Z., Liu, J., Zhou, M., Wang, H., Zhu, H., Jiang, M., Bo, Q., & Sun, X. Chrysin alleviates DNA damage to improve disturbed immune homeostasis and pro-angiogenic environment in laser-induced choroidal neovascularization. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Cell Research*, 1871(3), 119657. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2023.119657>
- Wang, R., Deng, Z., Zhu, Z., Wang, J., Yang, X., Xu, M., Wang, X., Tang, Q., Zhou, Q., Wan, X., Wu, W., & Wang, S. Kaempferol promotes non-small cell lung cancer cell autophagy via restricting Met pathway. *Phytomedicine*, 121, 155090. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2023.155090>
- Wróblewska-Krepsztul, J., Rydzkowski, T., Borowski, G., Szczypiński, M., Klepka, T., & Thakur, V. K. Recent progress in biodegradable polymers and nanocomposite-based packaging materials for sustainable environment. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 23(4), 383–395. 2018. <https://doi.org/10.1080/1023666X.2018.1455382>
- Wu, Z., Mohammed, A., & Harris, I. Food waste management in the catering industry: Enablers and interrelationships. *Industrial Marketing Management*, 94, 1–18. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.01.019>
- Xie, Z. Speech at the awarding ceremony of NST Sustainability Award. *Hygiene and Environmental Health Advances*, 7. 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.heha.2023.100064>
- Yu, C., Wang, Y., Ren, S., Liu, Z., Zhu, C., Liu, Q., Li, H., Sun, C., Sun, X., Xie, J., Wang, J., & Deng, X. Caffeic acid modulates activation of neutrophils and

- attenuates sepsis-induced organ injury by inhibiting 5-LOX/LTB4 pathway. *International Immunopharmacology*, 125, 111143. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2023.111143>
- Yu, J., Fu, R., Buhe, A., & Xu, B. Quercetin attenuates lipopolysaccharide-induced hepatic inflammation by modulating autophagy and necroptosis. *Poultry Science*, 103(6), 103719. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103719>
- Yu, M., Gouveinhas, I., Rocha, J., & Barros, A. I. R. N. A. Phytochemical and antioxidant analysis of medicinal and food plants towards bioactive food and pharmaceutical resources. *Scientific Reports*, 11(1). 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89437-4>
- Yu, T., Lu, X., Liang, Y., Yang, L., Yin, Y., & Chen, H. Naringenin alleviates liver fibrosis by triggering autophagy-dependent ferroptosis in hepatic stellate cells. *Heliyon*, 10(7), e28865. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28865>
- Zambuto, S. G., Scott, A. K., & Oyen, M. L. Beyond 2D: Novel biomaterial approaches for modeling the placenta. *Placenta*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2024.03.006>
- Zanelli, C., Conte, S., Molinari, C., Soldati, R., & Dondi, M. Waste recycling in ceramic tiles: a technological outlook. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105289. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105289>