

Reaproveitamento industrial da casca de laranja: Uma revisão das aplicações atuais

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.026-060>

Emilly Brito Ferreira

Farmacêutica – UEM

Instituição acadêmica: Universidade Estadual de Maringá

E-mail: emillybbferreira@gmail.com

E-mail: kethleen.b.ferreira@gmail.com

Jean Lopes da Silva

Mestre em Ciências Agrárias – UEM

Instituição acadêmica: Universidade Estadual de Maringá

E-mail: jeanlopessilva02@gmail.com

Caroline Crivelaro de Oliveira

Engenheira de Alimentos – UEM

Instituição acadêmica: Universidade Estadual de Maringá

E-mail: carolinecrivellaro98@gmail.com

Angelica Marquetotti Salcedo Vieira

Doutora em Engenharia Química – UFSCar

Instituição acadêmica: Universidade Estadual de Maringá

E-mail: amsvieira@uem.br

Kethleen Brito Ferreira

Médica – UPE

Instituição acadêmica: Universidade Privada do Leste

RESUMO

As frutas cítricas são valorizadas globalmente por seu alto valor nutricional. No entanto, o processamento industrial, especialmente a extração de suco, gera subprodutos que são frequentemente descartados ou utilizados na alimentação animal. A casca de laranja, um subproduto desse processo, é uma fonte rica em componentes essenciais que podem ser transformados em bioprodutos de alto valor. Gerenciar esses resíduos é desafiador devido à sua alta quantidade, propriedades físico-químicas e sazonalidade da produção. Este estudo visa explorar o uso sustentável dos resíduos de casca de laranja para gerar novos bioprodutos. Foi conduzida uma revisão da literatura sobre o uso de novas tecnologias em resíduos de casca de laranja. Essa abrange várias aplicações potenciais para a casca, incluindo produção de embalagens; utilização em produtos de panificação; extração de compostos biologicamente ativos para uso farmacêutico ou cosmético; extração da pectina, utilizada como agente emulsificante, estabilizante, gelificante e espessante; uso na biorrefinaria para produção de biodiesel, bioetanol e biogás; no tratamento de água e efluentes; e na obtenção de novos produtos químicos, como os solventes. Por fim, os resíduos de casca de laranja são uma fonte em potencial para obtenção de materiais de alto valor agregado em diversas indústrias contribuindo para uma economia circular e diminuição do passivo ambiental.

Palavras-chave: Resíduos cítricos, Bioprodutos, Inovação, Alto valor agregado.

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente, a indústria citrícola é reconhecida como uma base comercial importante entre nações exportadoras e importadoras de frutas cítricas. Países como África do Sul, Brasil, China, Estados Unidos da América e México são exportadores envolvidos em grandes comércios (Gupta *et al.*, 2023).

As laranjas, consumidas mundialmente, são extremamente valorizadas devido ao seu sabor agradável e sua composição nutricionalmente benéfica para a saúde. Entre seus componentes notáveis estão os compostos fenólicos, folato, heteropolissacarídeos e vitamina C (Pan *et al.*, 2023).

Os cítricos constituem cerca de 18% da produção global de frutas, e as laranjas, como as mais cultivadas no mundo, correspondem a 60% dessa produção de cítricos. Brasil, China, Índia e Estados Unidos se destacam como grandes produtores, também sendo significativos consumidores devido à abundância dessas frutas em seus territórios. Dos países produtores, mais de metade da produção global de suco de laranja é controlada pelo Brasil, que exporta 98% desse volume na sua forma concentrada (Allegri *et al.*, 2024; Gupta *et al.*, 2023; Ferreira *et al.*, 2020).

As contínuas atividades agrícolas para suprir alimentos básicos à crescente população, juntamente com o intenso crescimento das atividades industriais, têm levado ao aumento da geração de resíduos sólidos, cuja inadequada disposição contribui para a poluição ambiental. Embora sejam frequentemente reaproveitados como ração animal, muitos ainda são jogados fora, especialmente pelos pequenos produtores, que carecem de meios adequados para destinação correta. Esse descarte, na maioria das vezes, envolve a queima ou abandono do material em aterros a céu aberto, o que resulta em consequências perigosas, como alta demanda de energia, produção de lixiviados (poluentes das águas subterrâneas), emissão de gases de efeito estufa e impactos negativos na saúde humana (Kariim *et al.*, 2024; Sanchez *et al.*, 2023).

Os cientistas estão cada vez mais interessados em investigar sobras agrícolas e industriais, pois estas são ricas em antioxidantes e fibras alimentares, além de contribuir para a redução da poluição. Em particular, o descarte de cascas de frutas cítricas é um grande desperdício de recursos, pois estudos indicam que esses subprodutos contêm as maiores concentrações de componentes bioativos das frutas (Ritika *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2023).

Devido ao fato de que 50-60% do suco de laranja produzido sucede em resíduos sólidos, é essencial convertê-los em produtos econômicos para mitigar a queima indiscriminada e utilizá-los como matéria-prima para novas indústrias. Dessa maneira, as cascas de laranja têm recebido muita atenção para avaliar os seus potenciais usos (Fehlberg *et al.*, 2023; Kariim *et al.*, 2024).

A laranja possui tamanho variado e formato arredondado-oblongo. Sua casca é composta por duas partes, o flavedo, que é a camada externa colorida contendo sacos oleosos, e o albedo, a parte interna branca rica em pectina. A polpa é dividida em segmentos que podem conter sementes. As

cascas, que são ricas em açúcares e monoterpenos (principalmente D-limoneno), e as sementes, compostas por extrato isento de nitrogênio, lipídios, proteínas brutas e fibras, são subprodutos importantes (Dongre *et al.*, 2023).

Nos últimos anos, houve um aumento significativo na pesquisa focada na extração de compostos de alto valor biológico utilizando diversas tecnologias tradicionais e ecológicas, além de suas aplicações em diferentes indústrias (Panwar *et al.*, 2021). Assim sendo, este artigo de revisão busca oferecer uma visão geral das diversas aplicações potenciais da casca da laranja, desde seus usos mais simples até métodos inovadores para a utilização destes resíduos, passando por conceitos de economia circular e upcycling.

2 METODOLOGIA

Foi conduzida uma revisão da literatura sobre o uso de novas tecnologias em resíduos de resíduos de casca de laranja. Utilizou-se o mecanismo de busca Science Direct, nos quais, as palavras-chave “orange juice”, “waste recovery”, “residue”, “orange by-products”, “orange peel”, “value-added”, “pharmacological”, “limonene”, “carotenoids”, “phenolic compounds”, “biofuel” e “wastewater treatment” foram aplicadas em diferentes combinações com o operador booleano “AND”. A pesquisa foi restrita a artigos publicados nos últimos 5 anos, incluindo tanto estudos de revisão quanto de pesquisa. Fontes adicionais foram incorporadas através da técnica de snowballing, que envolve a adição de referências citadas nos artigos revisados. No total, foram identificadas 41 fontes para uma análise detalhada.

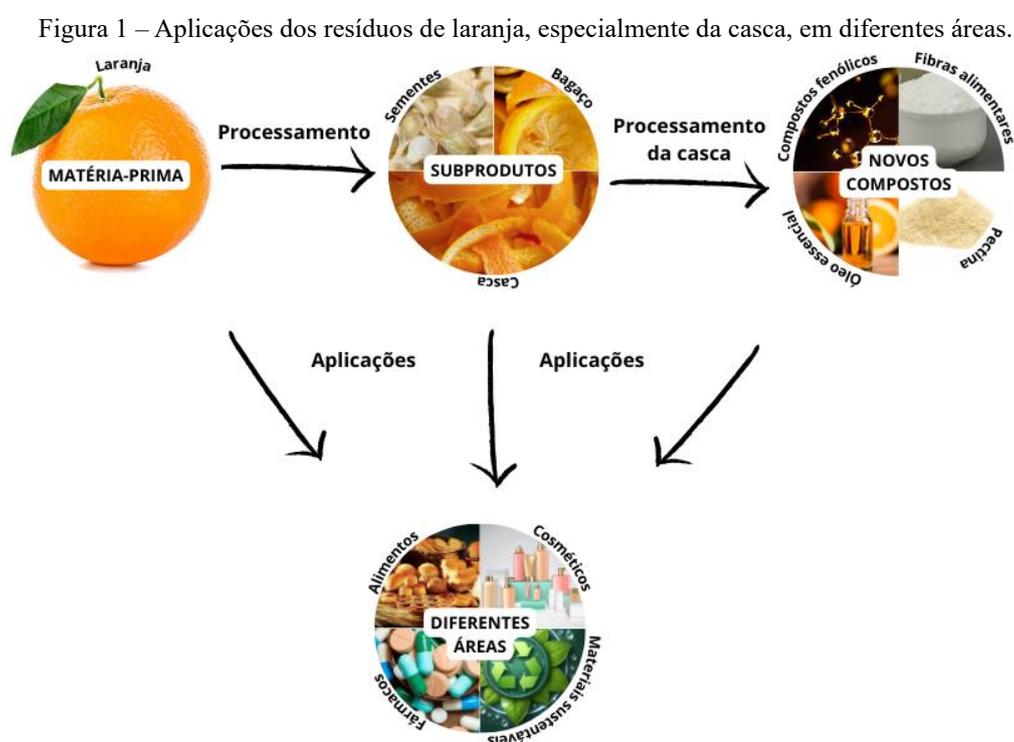
3 DESTINO DOS RESÍDUOS

A poluição terrestre e hídrica resultante da geração de resíduos agrícolas se tornaram uma preocupação mundial. A busca por soluções inteligentes para gerir e eliminar esses produtos têm sido alvo de muitas pesquisas. Os resíduos provenientes da casca de laranja têm despertado considerável interesse devido à extensa produção global de laranjas, das quais uma porção significativa é transformada em suco, o que acaba por produzir um grande volume de resíduos (Fehlberg *et al.*, 2023).

Um dos pilares essenciais para a conservação dos recursos naturais é a Economia Circular (EC). A EC promove a sustentabilidade ao focar na eliminação do desperdício e no reaproveitamento contínuo dos materiais. Essa abordagem integra subprodutos e resíduos de volta à cadeia produtiva, reduzindo a produção de lixo e diminuindo o impacto ambiental. Upcycling, um componente-chave dessa abordagem, envolve transformar materiais residuais em produtos novos e de maior valor. Portanto, para diminuir o impacto ambiental do manejo de resíduos alimentares, como os resíduos da laranja, e promover uma abordagem baseada na economia circular, tratamentos que visem reaproveitar

os subprodutos na geração de novos produtos com valor agregado devem ser implementados (Capelleveen *et al.*, 2023; Atinafu *et al.*, 2024; Fraia *et al.*, 2024).

O setor de processamento de frutas cítricas é geralmente segmentado em quatro etapas principais: transporte das frutas colhidas até a planta de processamento; lavagem, triagem e classificação; extração do suco com subsequente tratamento térmico; e embalagem final. Após a obtenção do suco, uma quantidade significativa de resíduos sólidos e líquidos é gerada, incluindo cascas, sementes, bagaços e águas residuais. Esses resíduos, em especial a casca, podem ser reaproveitados como substrato potencial para obtenção de diversos produtos de elevado valor agregado (Figura 1) (Panwar *et al.*, 2021).



Os resíduos de casca de laranja apresentam uma composição diversificada, incluindo aproximadamente 75-85% de água, 6-8% de mono e dissacarídeos, como sacarose, glicose e frutose, 1,5-3% de polissacarídeos, tais como pectina, celulose e hemicelulose, e 0,5-1,5% de ácidos orgânicos, como ácido cítrico e ácido málico. Além disso, eles são ricos em antioxidantes importantes, como polifenóis e carotenoides, e contêm quantidades significativas de oligoelementos, como zinco e magnésio. Com um pH geralmente entre 3 e 5, e uma presença marcante de óleos essenciais, principalmente limoneno, esses resíduos oferecem uma ampla gama de aplicações após extração por diferentes métodos (Bouaita *et al.*, 2022; Pagliarini *et al.*, 2024; Krivošija *et al.*, 2023).

3.1 CASCA DE LARANJA NA PRODUÇÃO DE BIOFILMES

Os resíduos de casca de laranja são geralmente convertidos em pellets de polpa cítrica para alimentação do gado ou descartados em aterros sanitários. Formas inovadoras de utilizar esses resíduos levaram à exploração da sua integração em plásticos para acrescentar valor aos resíduos, reduzindo ao mesmo tempo a fonte de plástico e melhorando as suas propriedades (Fehlberg *et al.*, 2023).

McKay *et al.* (2021) e Fehlberg *et al.* (2023), relataram o uso de casca de laranja em pó para a produção de filmes destinados a embalagens de alimentos. As cascas, após serem coletadas, foram liofilizadas, moídas em um moinho de martelos, peneiradas e incorporadas na produção de um filme.

McKay *et al.* (2021) produziram, a partir do pó de cascas de laranja doce (*Citrus sinensis* var. Valencia), um filme plástico de polietileno linear de baixa densidade, isolado, e combinado com o pó de casca de laranja através da prensa termo hidráulica. O mesmo tipo de laranja e polietileno foram usados por Fehlberg *et al.* (2023) para produção dos plásticos combinados com o pó em diferentes concentrações. O processo utilizado por eles foi a extrusão de filme soprado.

McKay *et al.* (2021) avaliaram a eficácia antimicrobiana do plástico obtido com resíduos da casca da laranja contra fungos frequentemente encontrados em alimentos. O pó de casca de laranja, isoladamente, mostrou bons resultados na inibição do crescimento de *Botrytis cinerea*, *Aspergillus niger* e *Penicillium* sp. No entanto, quando incorporado ao filme, a atividade antimicrobiana foi mantida apenas contra *B. cinerea*, embora com menor eficácia quando em comparação ao pó isolado. Essa diminuição de eficácia é atribuída à perda parcial de compostos antimicrobianos, como limoneno e citral, durante o processamento do filme.

Adicionalmente, Fehlberg *et al.* (2023) conduziram uma análise abordando a morfologia do biocompósito em filme soprado, juntamente com suas propriedades mecânicas, de barreira, ópticas e térmicas, com o intuito de determinar a quantidade máxima de pó de casca de laranja que poderia ser incorporado ao plástico. Os resultados indicaram que é viável incorporar até 11,5% de pó de casca de laranja na composição do plástico. Assim, a reincorporação da casca de laranja como matéria-prima no processo de produção de embalagens também oferece uma oportunidade valiosa para promover a economia circular.

3.2 CASCA DE LARANJA NA PANIFICAÇÃO

Em produtos alimentícios, os resíduos podem adicionar propriedades nutricionais significativas. A casca de laranja possui um alto teor de compostos bioativos e fibras alimentares que oferecem diversos benefícios à saúde. Ao incluir o pó da casca de laranja em produtos de panificação, os fabricantes podem desenvolver alimentos mais nutritivos, melhorar suas propriedades promotoras de saúde (Talens *et al.*, 2022) e, ao mesmo tempo, diminuir o desperdício (Gasparre *et al.*, 2024).

Segundo Cirrincione *et al.* (2024), as cascas de laranja são utilizadas para produzir farinhas, óleo essencial encapsulado, extrato encapsulado e fibras. Farinhas de casca de laranja são usadas na produção de pães, biscoitos e bolos; o óleo essencial encapsulado é usado em bolos; os extratos encapsulados são aplicados em brownies; e as fibras são incorporadas em muffins.

Gasparre *et al.* (2024) estudaram o uso de subprodutos de casca de laranja na panificação de pães achatados sem glúten. A substituição de farinhas tradicionais por pó de casca de laranja resultou em massas ricas em gorduras, minerais e fibras, com uma cor amarela intensa e boa retenção de água. Com isso, o resíduo demonstrou grande potencial como melhorador nutricional e tecnológico, promovendo sustentabilidade e oferecendo uma alternativa econômica para pães sem glúten. No entanto, análises sensoriais não foram realizadas para avaliar a aceitação dos consumidores.

Apesar de os subprodutos de laranja melhorarem a qualidade nutricional dos produtos de panificação, fornecendo fibras, antioxidantes, polifenóis e óleos essenciais, os atributos sensoriais podem ser adversamente afetados. Cirrincione *et al.* (2024) apontam que a adição desses subprodutos em maiores quantidades pode alterar as características sensoriais do alimento, resultando em menor aceitação pelos consumidores.

3.3 CASCA DE LARANJA NA OBTENÇÃO DE COMPOSTOS BIOLÓGICAMENTE ATIVOS

Industrialmente, os compostos bioativos presentes nos extratos de pó de laranja são amplamente estudados e utilizados.

Os compostos polifenólicos, os carotenoides e o óleo essencial da casca de laranja são os constituintes que se destacam por seus efeitos benéficos para a saúde (Figura 2). O aroma do óleo essencial da casca de laranja é resultado de alguns de seus componentes, álcoois, aldeídos, ésteres, cetonas e hidrocarbonetos terpênicos. O limoneno, um terpenoide, é identificado como o principal componente do óleo, no entanto, outros compostos, como citronelal, geranial, linalol, octanal, e α -terpineol, também estão presentes, embora em menores concentrações (Krivošija *et al.*, 2023).

Figura 2 – Possibilidades de produtos obtidos a partir da casca de laranja com enfoque nos compostos biologicamente ativos.



Fonte: Autor (2024)

Vários terpenoides, como o limoneno, são voláteis à temperatura ambiente e contribuem para o aroma característico de plantas e frutos (Ritika *et al.*, 2024). Por outro lado, os compostos fenólicos são os responsáveis, em sua maioria, pela atividade antioxidante da fruta (Wang *et al.*, 2023). A extração desses compostos da casca da fruta para incorporação em produtos farmacêuticos deve ser rigorosamente controlada para garantir a estabilidade dos componentes bioativos.

Diversas técnicas têm sido empregadas para extrair os compostos fenólicos das cascas de frutas cítricas. Estas incluem extração com solvente convencional, extração assistida por enzimas, extração acelerada por solvente, extração assistida por micro-ondas, extração com água supercrítica, extração com fluido supercrítico e extração assistida por ultrassom (Wang *et al.*, 2023). Para obtenção do óleo essencial, os métodos incluem extração mecânica através da prensagem a frio, métodos térmicos com água ou vapor, como a destilação a vapor, extração térmica assistida por micro-ondas, extração por ultrassom, extração com CO₂ supercrítico e biossolventes (Teigiserova *et al.*, 2021) (Tabela 1). No entanto, é crucial observar que, embora todos esses métodos possibilitem a recuperação de produtos, eles também podem acarretar a degradação dos componentes bioativos devido ao calor, longos tempos de extração, limitações na transferência de massa, resistência, desnaturação enzimática e altos requisitos técnicos e de custo (Wang *et al.*, 2023).

Tabela 1 – Principais métodos utilizados para obtenção de compostos biologicamente ativos a partir da casca da laranja.

| Métodos | Compostos | | | Referências |
|--|------------|--------------|----------------|--|
| | Polifenóis | Carotenoides | Óleo essencial | |
| Extração assistida por ultrassom | X | X | X | Wang <i>et al.</i> (2023) Teigiserova <i>et al.</i> (2021) Murador <i>et al.</i> (2019) Krivošija <i>et al.</i> (2023) |
| Extração com dióxido de carbono supercrítico em alta pressão | X | X | X | Krivošija <i>et al.</i> (2023) Teigiserova <i>et al.</i> (2021) Murador <i>et al.</i> (2019) |
| Extração assistida por enzima | X | | | Wang <i>et al.</i> (2023) |
| Extração convencional por solvente ou biossolvente | X | X | X | Wang <i>et al.</i> (2023) Gómez-Mejía <i>et al.</i> (2019) Murador <i>et al.</i> (2019) Myrtsi <i>et al.</i> (2022) Teigiserova <i>et al.</i> (2021) |
| Extração assistida por micro-ondas | | | X | Teigiserova <i>et al.</i> (2021) |
| Extração mecânica - prensagem a frio | | | X | Teigiserova <i>et al.</i> (2021) |
| Extração com líquido iônico | | X | | Murador <i>et al.</i> (2019) |
| Extração térmica com água ou vapor | | X | X | Teigiserova <i>et al.</i> (2021) Myrtsi <i>et al.</i> (2022) |

Fonte: Autor (2024)

Os terpenoides são amplamente utilizados em práticas etnomedicinais e fitoterápicas devido às suas propriedades aromáticas. Além disso, possuem atividade antibacteriana contra certas bactérias de origem alimentar, como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Salmonella typhimurium*, revelando um grande potencial anti-biofilme (Ritika *et al.*, 2024). O limoneno, por exemplo, pode ser utilizado em uma variedade de aplicações nas indústrias alimentícia, farmacêutica e médica, servindo como solvente verde, inseticida natural e agente quimiopreventivo com propriedades anticancerígenas (Teigiserova *et al.*, 2021).

Já os polifenóis biologicamente ativos, como ácidos fenólicos e flavonoides, demonstram propriedades antioxidantes, antiinflamatórias, antiproliferativas, antialérgicas, antivirais, anticarcinogênicas, neuroprotetoras e antimicrobianas. Portanto, os resíduos de cascas de frutas cítricas gerados pela indústria de sucos podem ser utilizados em suplementos dietéticos, como matérias-primas em cosméticos, e como aditivos naturais em produtos alimentícios e farmacêuticos (Gómez-Mejía *et al.*, 2019).

A casca de laranja, por sua vez, também pode ser uma fonte valiosa de carotenoides, pigmentos naturais que conferem cor às frutas. O consumo de carotenoides está associado a melhorias no sistema imunológico e à redução do risco de desenvolvimento de doenças degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares, Alzheimer e degeneração macular (Murador *et al.*, 2019). Esses podem ser incorporados na indústria alimentícia como corantes naturais e fortificadores nutricionais de alimentos; na indústria cosmética, em produtos de cuidado com a pele e maquiagens devido às propriedades

antioxidantes; na indústria farmacêutica em medicamentos, suplementos e nutracêuticas; e em indústria de rações animais. Métodos de extração, como extração assistida por micro-ondas, extração enzimática, extração com fluido supercrítico, extração assistida por ultrassom e extração assistida por campo elétrico pulsado, ou seja, tecnologias de extração verde, podem ser utilizados para alcançar altas taxas de recuperação dos carotenoides (Myrtsi *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2024; Gebregziabher *et al.*, 2023). Observa-se, portanto, que a casca de laranja é uma fonte rica em compostos bioativos, com potencial para ser utilizada na fabricação de diversos produtos bioquímicos.

3.4 CASCA DE LARANJA NA OBTENÇÃO DE PECTINA

A pectina, um carboidrato complexo, é amplamente utilizada pela indústria alimentícia em diversas aplicações. Ela desempenha funções essenciais como agente gelificante, emulsificante, estabilizante e espessante. Na indústria de panificação, a pectina é empregada para melhorar a textura dos produtos, enquanto na confeitaria, é fundamental no preparo de recheios e produtos à base de frutas, como geleias. Em bebidas, a pectina é capaz de estabilizar e aprimorar a textura de sucos de frutas e de outras bebidas feitas à base de frutas. Além disso, a pectina também é usada na fabricação de embalagens, evidenciando sua versatilidade e importância no setor alimentício (Silva *et al.*, 2024; Castro *et al.*, 2024).

Cerca de 85% da pectina comercial é extraída de resíduos de cascas de frutas cítricas, como limão, toranja e laranja. Essas cascas contêm entre 1,5% e 18% de pectina, dependendo se são frescas ou secas (Suri *et al.*, 2022). A pectina não só tem propriedades tecnológicas valiosas, mas também benefícios biológicos. Essa atua como uma fibra alimentar essencial que promove a saúde gastrointestinal do indivíduo. Tal ação reduz o colesterol e protege o organismo frente a diferentes doenças, como diabetes e câncer (Silva *et al.*, 2024).

A casca de laranja é uma fonte particularmente rica em pectina, representando cerca de 28% do seu peso seco. Métodos de extração como a extração ácida, hidrólise enzimática, extração assistida por micro-ondas e ultrassom são utilizados para obter a pectina da casca de laranja (Silva *et al.*, 2024).

Os subprodutos agrícolas são ricos em compostos bioativos, mas esses compostos são instáveis em condições ambientais e industriais. A microencapsulação é uma tecnologia que pode proteger esses compostos, formando cápsulas de tamanho micrométrico a milimétrico. Diferentes materiais encapsulantes, como polissacarídeos, lipídios e proteínas, têm sido usados (Comunian *et al.*, 2021). Kaderides *et al.* (2019) utilizaram o pó de resíduo de laranja para encapsular extrato de casca de romã, obtendo alta eficiência (99,77%) e um rendimento de 12,99%, menor do que quando comparado com materiais tradicionais.

A pectina, extraída da casca de laranja, pode também ser usada como gelificante, atendendo à demanda por ingredientes naturais na indústria alimentícia. Li *et al.* (2024) mostraram que suspensões

de casca de laranja, moídas por mais de 60 minutos em um moinho agitado, formam hidrogéis. Isso sugere que a moagem pode melhorar a utilização da casca de laranja como ingrediente funcional devido a pectina com alto teor de metoxilas.

Outra aplicação da extração da pectina é descrita no trabalho de Manthei *et al.* (2024), no qual, a partir da casca de laranja e bagaço de maçã, extraíram por homogeneização de alta pressão e hidrólise enzimática, grandes quantidades de oligossacarídeos com potenciais usos como prebiótico.

3.5 CASCA DE LARANJA NA OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Os combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e metano, são as principais fontes de energia mundial, mas sua natureza não renovável o leva para à escassez e contribui para o aquecimento global. A crescente demanda por energia devido à industrialização e ao aumento populacional, destaca a necessidade urgente de fontes renováveis e sustentáveis. A produção de biocombustíveis a partir de biomassa é uma solução promissora, visto que essa oferece uma alternativa eficiente e ecológica que pode reduzir a dependência de combustíveis fósseis e conseqüentemente, proteger o meio ambiente (Kariim *et al.*, 2024; Viswanathan *et al.*, 2022).

A casca de laranja é rica em carbono e contém grandes quantidades de açúcares complexos, como celulose, lignina e hemicelulose. Esses componentes podem ser convertidos em açúcares solúveis através do uso de enzimas ou técnicas de hidrólise com ácido diluído. Dessa forma, uma opção viável para valorizar esses resíduos é produzir biocombustíveis, como biodiesel, bioetanol e biogás (Kariim *et al.*, 2024).

De acordo com Mawlid *et al.* (2024), o pó de casca de laranja foi utilizado para produzir hidrochar (material carbonáceo) através da carbonização hidrotérmica. Esse hidrocarvão ativado foi então funcionalizado com carbonato de potássio (K_2CO_3) para gerar um catalisador heterogêneo. O catalisador foi utilizado na reação de transesterificação de um óleo residual de fritura, que resultou na produção de biodiesel. O processo demonstrou a eficácia do hidrocarvão de casca de laranja funcionalizado como catalisador na conversão de óleos residuais em biocombustível, destacando uma abordagem sustentável e inovadora para o aproveitamento de resíduos vegetais.

Por outro lado, Viswanathan *et al.* (2022) utilizaram cascas de laranja como matéria-prima para a fabricação do biocombustível. O óleo de laranja amarga, obtido através de destilação a vapor, foi a principal fonte utilizada na produção do biodiesel. Os resultados do estudo demonstraram que esse biocombustível pode ser uma opção renovável de baixa viscosidade, adequada para motores, proporcionando baixas emissões e contribuindo para um ambiente mais sustentável e limpo.

Ademais, resíduos de frutas e vegetais, além de outras matérias-primas ricas em açúcares naturais e em biomassa celulósica, são também utilizados para produção do bioetanol. O processo de produção de bioetanol a partir de agrosíduos envolve etapas como pré-tratamento, hidrólise

enzimática, fermentação e destilação. Mishra *et al.* (2022) demonstraram que resíduos de casca de laranja, banana e abacaxi podem ser fermentados com microrganismos imobilizados em várias condições, o que acarreta a produção eficiente de bioetanol.

Os resíduos de casca de laranja podem ainda ser utilizados na produção de biogás (Sanchez *et al.*, 2023). Embora o D-limoneno presente no óleo essencial das cascas atue como um inibidor na digestão anaeróbica, Bouaita *et al.* (2022) demonstraram que, sob condições controladas, a digestão anaeróbica dos resíduos de casca de laranja é eficiente na geração de biogás. Mesmo com o alto teor de limoneno, um agente antimicrobiano, os pesquisadores descobriram que, ao manter uma baixa concentração dessa substância no digestor anaeróbico, pode-se evitar a inibição do processo. Para alcançar esse objetivo, eles realizaram a co-digestão anaeróbica das cascas de laranja com a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, o que ajudou a diluir o D-limoneno na mistura orgânica (Bouaita *et al.*, 2022). Assim sendo, a casca de laranja é um resíduo promissor para a geração de fontes de energia renováveis.

3.6 CASCA DE LARANJA NO TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES

A adsorção é amplamente utilizada para remover medicamentos, corantes e metais pesados de águas residuais. Este processo é rápido, econômico, simples e altamente eficaz. Atualmente, pesquisadores estão focados no desenvolvimento de bioadsorventes feitos a partir de resíduos para o tratamento de água e efluentes. A escolha por bioadsorventes é justificada pelo seu baixo custo de produção, disponibilidade, facilidade de manuseio, possibilidade de regeneração e respeito ao meio ambiente (Khalifaoui *et al.*, 2024).

Gao *et al.* (2024) desenvolveram um aerogel adsorvente a partir de resíduos de casca de laranja combinados com MXene aminado, um composto inorgânico bidimensional, com o objetivo de remover metais pesados de efluentes. Os resultados indicaram que este material possuía excelentes propriedades de adsorção para vanádio pentavalente em água, atingindo uma capacidade máxima de adsorção de 748,42 mg/g em um pH de 4.

Khalifaoui *et al.* (2024) sintetizaram dois bioadsorventes a partir de folhas de alcachofra e resíduos de cascas de laranja tratados com cloreto de zinco ($ZnCl_2$). Esses materiais foram avaliados em distintas condições operacionais para a adsorção do cetoprofeno, um medicamento anti-inflamatório não esteroide, em água. Os resultados mostraram que a capacidade de adsorção dos bioadsorventes de casca de laranja e folha de alcachofra alcançou 96% e 90%, respectivamente, com capacidades de adsorção de 1.937 mg/g e 1.803 mg/g. Assim, esses bioadsorventes demonstraram ser eficazes para o tratamento e remoção de medicamentos, como o cetoprofeno, de águas residuais.

Roy e colaboradores (2024) descreveram outra eficiente aplicação do resíduo. Eles desenvolveram um gerador de vapor solar interfacial utilizando casca de laranja carbonizada para

dessalinizar água do oceano e produzir água doce. O material fototérmico tridimensional resultante demonstrou uma taxa de evaporação de $1,86 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e uma eficiência energética de 87,90% sob uma irradiação solar de 1 kW/m^2 . Ademais, o sistema alcançou uma taxa de rejeição de sal de 99,99% durante a dessalinização e uma remoção completa de corantes durante a purificação da água. Este evaporador solar se mostrou uma solução eficiente e de baixo custo para a geração de vapor solar interfacial, destacando o potencial dos resíduos biológicos como materiais fototérmicos eficazes.

3.7 CASCA DE LARANJA NA FABRICAÇÃO DE NOVOS PRODUTOS QUÍMICOS

Os resíduos de casca de laranja, subprodutos importantes da biomassa resultante da fabricação de suco, podem ser aproveitados como um recurso valioso para a produção de uma variedade de produtos químicos (Allegri *et al.*, 2024).

Allegri *et al.* (2024) apresentaram um processo catalítico que envolvia a desidrogenação do limoneno em p-cimeno e a subsequente hidrogenação por transferência catalítica de levulinato de metila em γ -valerolactona. Este solvente, que é não tóxico e de base biológica, tem ganhado atenção como um importante precursor na química industrial.

Ademais, Qamar *et al.* (2023) revisaram o uso de materiais econômicos, como resíduos industriais e domésticos, na produção de biossurfactantes, destacando sua capacidade de substituir materiais sintéticos caros. Resíduos alimentares e subprodutos agroindustriais, como bagaço de cana-de-açúcar, águas residuais de mandioca, palha de arroz, talos de banana, espigas de milho, e cascas de frutas, foram investigados como substratos eficientes. A casca de laranja, usada como substrato para *Bacillus licheniformis*, demonstrou potencial na produção de lipopeptídeos aplicáveis na biodegradação de hidrocarbonetos.

Outra aplicação do resíduo foi descrita por Ousaadi *et al.* (2021), no qual demonstraram que a casca de laranja pode ser empregada na produção de α -amilase por *Streptomyces* sp. As enzimas microbianas, amplamente utilizadas em várias indústrias como têxteis, de panificação, de fabricação de álcool e detergentes, são caras quando produzidas com meios sintéticos. No estudo, os pesquisadores demonstraram que a casca de laranja, um resíduo agrícola econômico e disponível, pode substituir esses meios caros. A pesquisa otimizou as condições de cultivo de *Streptomyces* sp., utilizando a casca de laranja como a única fonte de carbono em meio de baixo custo, confirmando a viabilidade dos resíduos agrícolas como substratos de crescimento.

4 CONCLUSÃO

Esta revisão atualizada explora o crescente interesse na utilização de subprodutos de casca de laranja, principalmente oriundos da indústria de sucos, e destaca a variedade de produtos de valor agregado que podem ser derivados desses resíduos. A aplicação industrial da casca de laranja é



promissora em diversas áreas devido à sua abundância e à riqueza de componentes valiosos, como açúcares fermentáveis e compostos bioativos.

A casca de laranja tem sido extensivamente estudada e utilizada na produção de uma ampla gama de bioprodutos nas indústrias alimentícia e biotecnológica. Por meio de diferentes metodologias, é possível transformar esses resíduos em produtos valiosos, incluindo óleos essenciais, pectina, biocombustíveis, produtos químicos, materiais adsorventes, compostos biologicamente ativos, produtos de panificação e plásticos.

Esses produtos não só representam uma abordagem sustentável e econômica para a gestão de resíduos, como também oferecem benefícios ambientais e econômicos aos estabelecimentos que os adotam. Ainda, a utilização de resíduos de casca de laranja ajuda a mitigar os impactos ambientais negativos associados ao descarte inadequado de resíduos, promovendo a sustentabilidade e a economia circular.

REFERÊNCIAS

ALLEGRI, A.; PAONE, E.; BOSTICCO, C.; PEDULLÀ, A.; MUSOLINO, M. G.; CAVANI, F.; TABANELLI, T.; ALBONETTI, S. Tandem reductive catalytic upgrading of orange peel waste derived methyl levulinate and limonene into γ -valerolactone and p-cymene promoted by Pd/ZrO₂ and ZrO₂ catalysts. *Molecular Catalysis*, v. 555, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2024.113840>.

ATINAFU, D. G.; CHOI, J. Y.; KANG, Y.; NAM, J.; KIM, S. Thermochemical transformation of biowaste for encapsulation technology and enabling a circular economy. *Trends in Food Science & Technology*, v. 147, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104468>.

BOUAITA, R.; DERBAL, K.; PANICO, A.; IASIMONE, F.; PONTONI, L.; FABBRICINO, M.; PIROZZI, F. Methane production from anaerobic co-digestion of orange peel waste and organic fraction of municipal solid waste in batch and semi-continuous reactors. *Biomass and Bioenergy*, v. 160, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106421>.

CAPELLEVEEN, G. V.; VEGTER, D.; OLTHAAR, M.; HILLEGERSBERG, J. V. The anatomy of a passport for the circular economy: a conceptual definition, vision and structured literature review. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, v. 17, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200131>.

CASTRO, S. C. DE; BARBOSA, J. C. J.; TEIXEIRA, B. S.; FILL, T. P.; TASIC, L. Investigation of pectin deficiency in modulating the bioflavonoid profile of orange processing waste: A sustainable valorization of industrial waste. *Food Chemistry: X*, v. 22, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101326>.

CIRRINCIONE, F.; FERRANTI, P.; FERRARA, A.; ROMANO, A. A critical evaluation on the valorization strategies to reduce and reuse orange waste in bakery industry. *Food Research International*, v. 187, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114422>.

COMUNIAN, T. A.; SILVA, M. P.; SOUZA, C. J. F. The use of food by-products as a novel for functional foods: Their use as ingredients and for the encapsulation process. *Trends in Food Science & Technology*, v. 108, p. 269-280, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.003>.

DONGRE, P.; DOIFODE, C.; CHOUDHARY, S.; SHARMA, N. Botanical description, chemical composition, traditional uses and pharmacology of *Citrus sinensis*: An updated review. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine*, v. 8, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prmcm.2023.100272>.

FEHLBERG, J.; MCKAY, S.; MATUANA, L. M.; ALMENAR, E. Use of orange juice processing waste to produce films using blown film extrusion for food packaging. *Journal of Food Engineering*, v. 341, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111337>.

FERREIRA, T. V.; MIZUTA, A. G.; MENEZES, J. L. de; DUTRA, T. V.; BONIN, E.; CASTRO, J. C.; SZCZEREPA, M. M. dos A.; PILAU, E. J.; NAKAMURA, C. V.; MIKCHA, J. M. G.; FILHO, B. A. de A. Effect of ultraviolet treatment (UV-C) combined with nisin on industrialized orange juice in *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores. *LWT*, v. 133, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109911>.

FRAIA, S. D.; SHARMILA, V. G.; BANU, J. R.; MASSAROTTI, N. A comprehensive review on upcycling of food waste into value added products towards a circular economy: Holistic approaches

and life cycle assessments. *Trends in Food Science & Technology*, v. 143, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104288>.

GAO, F.; QIU, Z.; HOU, Y.; YOU, Y.; LV, X.; DANG, J. Novel aerogel of aminated MXene composite orange peel biomass for ultra-high capacity of V(V) adsorption. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 697, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2024.134472>.

GASPARRE, N.; GARZON, R.; MARÍN, K.; ROSELL, C. M. Exploring the integration of orange peel for sustainable gluten-free flatbread making. *LWT*, v. 198, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115969>.

GEBREGZIABHER, B. S.; GEBREMESKEL, H.; DEBESA, B.; AYALNEH, D.; MITIKU, T.; WENDWESSEN, T.; HABTEMARIAM, E.; NUR, S.; GETACHEW, T. Carotenoids: Dietary sources, health functions, biofortification, marketing trend and affecting factors – A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, v.14, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100834>.

GÓMEZ-MEJÍA, E.; ROSALES-CONRADO, N.; LEÓN-GONZÁLEZ, M. E.; MADRID, Y. Citrus peels waste as a source of value-added compounds: Extraction and quantification of bioactive polyphenols. *Food Chemistry*, v. 295, p. 289-299, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.136>.

GUPTA, A. K.; DHUA, S.; PRATIKSHA; KUMAR, V.; NAIK, B.; MAGWAZA, L. S.; NCAMA, K.; OPARA, U. L.; MCCLEMENTS, D. J.; MISHRA, P. Current and emerging applications in detection and removal of bitter compounds in citrus fruit juice: A critical review. *Food Bioscience*, v. 55, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102995>.

KADERIDES, K.; GOULA, A. M. Encapsulation of pomegranate peel extract with a new carrier material from orange juice by-products. *Journal of Food Engineering*, v. 253, p. 1-13, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.019>.

KARIIM, I.; PARK, J. Y.; KAZMI, W. W.; SWAI, H.; LEE, I. G.; KIVEVELE, T. Solvothermal liquefaction of orange peels into biocrude: An experimental investigation of biocrude yield and energy compositional dependency on process variables. *Bioresource Technology*, v. 391, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129928>.

KHALFAOUI, A.; BENALIA, A.; LAGGOUN, Z.; BOUCHAREB, R.; ZAAMTA, I.; MELLOUL, R.; MENASRIA, A.; MEROUANI, S.; PIZZI, A.; DERBAL, K. Effective synthesis and application of artichoke and orange peels-based bio-sorbents for Ketoprofen removal from wastewater: Process optimization using Factorial methodology. *Desalination and Water Treatment*, v. 317, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100197>.

KRIVOŠIJA, S.; JERKOVIĆ, I.; NASTIĆ, N.; ZLOH, M.; JOKIĆ, S.; BANOŽIĆ, M.; ALADIĆ, K.; VIDOVIĆ, S. Green pathway for utilisation of orange peel dust and in silico evaluation of pharmacological potential. *Microchemical Journal*, v. 193, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109132>.

LI, C.; MCCLEMENTS, D. J.; TAOTAO DAI, T.; JIANG, D.; DENG, L.; LIU, C.; CHEN, J. Improving food sustainability by converting orange peel waste products into hydrogels using stirred media milling. *Journal of Food Engineering*, v. 366, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111813>.

MANTHEI, A.; ELEZ-MARTÍNEZ, P.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MURCIANO-MARTÍNEZ, P. Prebiotic potential of pectin and cello-oligosaccharides from apple bagasse and orange peel produced by high-pressure homogenization and enzymatic hydrolysis. *Food Chemistry*, v. 435, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137583>.

MAWLID, O. A.; ABDELHADY, H. H.; EL-MOGHNY, M. G. A.; HAMADA, A.; ABDELNABY, F.; KASED, M.; AL-BAJOURI, S.; ELBOHY, R. A.; EL-DEAB, M. S. Clean approach for catalytic biodiesel production from waste frying oil utilizing K₂CO₃/Orange peel derived hydrochar via RSM Optimization. *Journal of Cleaner Production*, v. 442, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140947>.

MCKAY, S.; SAWANT, P.; FEHLBERG, J.; ALMENAR, E. Antimicrobial activity of orange juice processing waste in powder form and its suitability to produce antimicrobial packaging. *Waste Management*, v. 120, p. 230-239, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.048>.

MISHRA, K.; RATHORE, M.; TICKOO, J.; SINGH, A. K. Production of bioethanol from fruit waste. *Materials Today: Proceedings*, v. 68, p. 1167-1171, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.324>.

MURADOR, D. C.; SALAFIA, F.; ZOCCALI, M.; MARTINS, P. L. G.; FERREIRA, A. G.; DUGO, P.; MONDELLO, L.; DE ROSSO, V. V.; GIUFFRIDA, D. Abordagens de extração verde para carotenóides e ésteres: caracterização da composição nativa da casca de laranja. *Antioxidantes*, v. 8, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox8120613>.

MYRTSI, E. D.; KOULOCHERI, S. D.; EVERGETIS, E.; HAROUTOUNIAN, S. A. Agro-industrial co-products upcycling: Recovery of carotenoids and fine chemicals from Citrus sp. juice industry co-products. *Industrial Crops and Products*, v. 186, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115190>.

OUSAAADI, M. I.; MEROUANE, F.; BERKANI, M.; ALMOMANI, F.; VASSEGHIAN, Y.; KITOUNI, M. Valorization and optimization of agro-industrial orange waste for the production of enzyme by halophilic *Streptomyces* sp. *Environmental Research*, v. 201, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111494>.

PAGLIARINI, E.; MINICHELLO, C.; SISTI, L.; TOTARO, G.; BAFFONI, L.; GIOIA, D. D.; SACCANI, A. From food waste to eco-friendly functionalized polymer composites: Investigation of orange peels as active filler. *New Biotechnology*, v. 80, p. 37-45, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2024.01.001>.

PAN, X.; BI, S.; LAO, F.; WU, J. Factors affecting aroma compounds in orange juice and their sensory perception: A review. *Food Research International*, v. 169, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112835>.

PANWAR, D.; SAINI, A.; PANESAR, P. S.; CHOPRA, H. K. Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy. *Trends in Food Science & Technology*, v. 111, p. 549-562, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.018>.

QAMAR, S. A.; PACIFICO, S. Cleaner production of biosurfactants via bio-waste valorization: A comprehensive review of characteristics, challenges, and opportunities in bio-sector applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 11, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111555>.

RITIKA; RIZWANA; SHUKLA, S.; SONDHI, A.; TRIPATHI, A. D.; Lee, J. K.; PATEL, S. K. S.; AGARWAL, A. Valorisation of fruit waste for harnessing the bioactive compounds and its therapeutic application. *Trends in Food Science & Technology*, v. 144, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104302>.

ROY, A.; TARIQ, M. Z.; LA, M.; CHOI, D.; PARK, S. J. 3D carbonized orange peel: A self-floating solar absorber for efficient water evaporation. *Desalination*, v. 573, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.117191>.

SANCHEZ, M. O.; OMARINI, A. B.; AGUIRRE, J. A. G.; BAGLIONI, M.; ZYGADLO, J. A.; BRECCIA, J.; D'SOUZA, R.; LEMESOFF, L.; BODEAIN, M.; ALZATE, C. A. C.; PEJCHINOVSKI, I.; LAHORE, M. H. F. Valorization routes of citrus waste in the orange value chain through the biorefinery concept: The Argentina case study. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, v. 189, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109407>.

SILVA, C. N. DA; ALMEIDA, L. M. P. DE; LEMES, A. C.; RIBEIRO, B. D. Citrus by-products valorization using deep eutectic solvents – A review. *Food Bioscience*, v. 60, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104446>.

SURI, S.; SINGH, A.; NEMA, P. K. Current applications of citrus fruit processing waste: A scientific outlook. *Applied Food Research*, v. 2, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100050>.

TALENS, C.; RIOS, Y.; ALVAREZ-SABATEL, S.; IBARGÜEN, M.; RODRÍGUEZ, R. Designing Nutritious and Sustainable Biscuits Using Upcycled Fibre-Rich Ingredients Obtained by Hot Air - Microwave Drying of Orange by-Products. *Plant Foods for Human Nutrition*, v. 77, p. 271–278, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11130-022-00972-5>.

TEIGISEROVA, D. A.; TIRUTA-BARNA, L.; AHMADI, A.; HAMELIN, L.; THOMSEN, M. A step closer to circular bioeconomy for citrus peel waste: A review of yields and technologies for sustainable management of essential oils. *Journal of Environmental Management*, v. 280, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111832>.

VISWANATHAN, K.; TAIPABU, M. I.; WU, W. Novel Petit grain bitter orange waste peel oil biofuel investigation in diesel engine with modified fuel injection pressure and bowl geometry. *Fuel*, v. 319, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123660>.

WANG, Z.; MEI, X.; CHEN, X.; RAO, S.; JU, T.; LI, J.; YANG, Z. Extraction and recovery of bioactive soluble phenolic compounds from brocade orange (*Citrus sinensis*) peels: Effect of different extraction methods thereon. *LWT*, v. 173, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114337>.