

Caracterização química do bagaço de laranja: potencial rota para uso desse resíduo

Ariane Tiemi Mitsuahara^[1], Jheyce Cristina Moraes^[2], Carlos Eduardo Crestani^{[3]*}

^[1] a.mitsuahara@gmail.com, ^[2] jheycecrisrina@hotmail.com, ^[3] cecrestani@ifsp.edu.br. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), Brasil

* autor correspondente

Resumo

Este trabalho relata uma caracterização completa de bagaço de laranja. O processamento da laranja para extração do suco gera o bagaço como resíduo agroindustrial que representa cerca de 50 % do volume total do fruto, composto por casca, semente e polpa. Seu uso, atualmente, consiste em aplicações de baixo valor agregado, como queima e adição à ração animal. O setor de energia renovável tem crescido em volume e importância nos últimos anos, por isso, é fundamental que o setor traga valor agregado e melhores usos para os resíduos industriais. O primeiro passo para isso é conhecer a composição desse resíduo que muitas vezes está sendo queimado em sua totalidade. Neste trabalho, análises químicas foram realizadas utilizando padrões TAPPI e NREL específicos para materiais lignocelulósicos e mostraram que o resíduo de laranja contém, em massa seca, $2,9 \pm 0,2$ % de cinzas, $12,3 \pm 0,9$ % de umidade, $37,3 \pm 0,9$ % de extrativos em água (o melhor solvente testado), $38,5 \pm 2,0$ % de holocelulose, $33,1 \pm 1,5$ % de celulose, $5,4 \pm 2,0$ % de hemicelulose e $2,9 \pm 0,5$ % de lignina. A composição química permite o aproveitamento do material lignocelulósico e da lignina do bagaço, das proteínas e do óleo essencial das cascas, proporcionando um aproveitamento com maior valor agregado aos resíduos, com benefícios econômicos e ambientais. Para isso, essa caracterização completa do material é essencial.

Palavras-chave: biomassa; laranja; material lignocelulósico; resíduo agroindustrial.

Chemical characterization of orange pomace: potential route for using this residue

Abstract

This paper reports a complete characterization of orange waste. The processing of oranges for juice extraction generates bagasse as an agro-industrial residue which represents about 50 % of the total volume of the fruit, consisting of peel, seed, and pulp. Its use, currently, consists of applications of low added value, like burning and adding to animal feed. The renewable energy sector has grown in volume and importance in recent years. As a result, it is essential for the sector to bring added value and better uses for industrial waste. The first step towards this is to know the composition of this waste that is often being burned in its entirety. In this work, chemical analyzes were performed using specific TAPPI and NREL standards for lignocellulosic materials and showed that orange waste contains, in dry mass, 2.9 ± 0.2 % of ash, 12.3 ± 0.9 % of moisture, 37.3 ± 0.9 % of extractives in water (the best solvent tested), 38.5 ± 2.0 % of holocellulose, 33.1 ± 1.5 % of cellulose, 5.4 ± 2.0 % of hemicellulose and 2.9 ± 0.5 % of lignin. The chemical and nutritional composition allows the use of the lignocellulosic material and lignin of pomace, the proteins, and the essential oil of peels, providing the use with a higher added value to the waste, with economic and environmental benefits. For this purpose, this complete characterization of the material is essential.

Keywords: agro-industrial waste; biomass; lignocellulosic material; orange

1 Introdução

A insegurança alimentar e nutricional aumentou exponencialmente face à pandemia de COVID-19, devido às alterações na cadeia de abastecimento alimentar à escala global; daí a necessidade de pesquisas relacionadas às perdas e desperdícios de alimentos por razões sociais, ambientais, políticas e econômicas como um desafio global (PEREIRA; FIRMO; COUTINHO, 2022). Grandes quantidades de resíduos sólidos industriais são geradas anualmente através do processamento de matérias-primas. A maior parte desses resíduos é destinada para fins energéticos, acarretando perdas de seu aproveitamento. Assim, têm-se buscado alternativas para aproveitar a biomassa obtida para gerar

materiais com alto valor agregado (CYPRIANO *et al.*, 2017; SILVA; OLIVEIRA; MENDES, 2020; ULLOA *et al.*, 2023).

A laranja (*Citrus sinensis*) é uma fruta de clima subtropical e híbrido; O Brasil é o maior produtor, respondendo por 79 % do consumo mundial, segundo o Anuário Brasileiro de Horti & Fruits (KIST; CARVALHO; BELING, 2022). Dentre os produtos industrializados de matéria-prima, tem-se suco concentrado e congelado, polpas de frutas, balas em calda e massa, frutas cristalizadas, geleias e alimentos fermentados alcoólicos e acéticos (CYPRIANO *et al.*, 2017). Após a extração do suco de laranja, cerca de 50 % da fruta corresponde ao resíduo industrial sólido, o bagaço composto por albedo, sementes e resíduos, apresentando uma perda significativa de matéria-prima que ocorre no processo industrial (SOARES, 2022). Esse coproduto é um material lignocelulósico rico em vitaminas, fibras, pectina, extrativos, materiais inorgânicos, carboidratos e lignina (CYPRIANO *et al.*, 2017; MARTINI, 2009). Além da redução dos impactos ambientais, dele podem ser obtidos importantes componentes comerciais, como os óleos essenciais, sendo alternativas atraentes como matérias-primas para as indústrias alimentícia, farmacêutica e química de alto valor agregado (CYPRIANO *et al.*, 2017; PORTO *et al.*, 2021). Por sua composição química e grande quantidade de fibras e nutrientes, o bagaço também é destinado à alimentação de ruminantes como suplemento em rações, melhorando a palatabilidade e a conversão alimentar da dieta (LUCAS; SCHU; NORA, 2021; SOARES, 2022), neste caso, em uma aplicação de baixo valor agregado.

O resíduo de laranja pode ser uma alternativa sustentável, energética e viável devido ao valor agregado de alguns tipos de subprodutos se a caracterização completa apresentar uma composição destacada. Devido a isso, surgiram indústrias especializadas no processamento de subprodutos ou resíduos de outras indústrias, agregando valor a esses por meio de modificações ou processos de (AWAN, 2013; LUCAS; SCHU; NORA, 2021; OBEROI *et al.*, 2010). Para que isso ocorra, é necessário ter conhecimento detalhado de todos os componentes de um subproduto. No caso do bagaço de laranja, a revisão da literatura realizada por esses autores não encontrou nenhum trabalho com descrição detalhada da mesma amostra de bagaço de laranja. Os artigos, com objetivos diversificados, sempre focam em um ou outro componente sem realizar uma caracterização completa do insumo. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma caracterização química completa de resíduos de laranja, apresentando rotas de uso potencial para esse resíduo.

No restante deste artigo, a seção 2 descreve o referencial teórico utilizado e os métodos utilizados são apresentados na seção 3. Os resultados e uma discussão dos mesmos em relação a informações da literatura são apresentados na seção 4 e, por fim, a seção 5 apresenta as considerações finais deste trabalho.

2 Referencial teórico

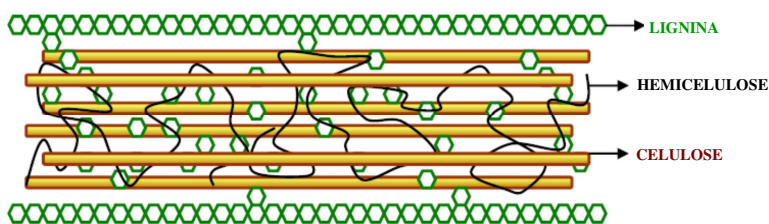
O reaproveitamento de resíduos tem sido tema de projetos de pesquisa e inovação nos mais diversos setores. Em particular, no setor alimentício, seus resíduos, historicamente subaproveitados tem sido objeto de estudo em aplicações que incluem, principalmente, geração de energia, novos produtos e produtos com alto valor agregado. Daí a importância em se conhecer suas características físico-químicas detalhadamente.

2.1 Materiais lignocelulósicos

Os materiais lignocelulósicos são resíduos orgânicos de biomassas gerados nas atividades agrícolas e industriais, provenientes de bagaços, cascas e restos de plantas, sendo fontes energéticas, limpas e verdes, abundantes, baratas e renováveis. Esses materiais representam cerca de 60 % da biomassa vegetal, apresentando um complexo altamente estável e resistente de estrutura cristalina vegetal (RODRIGUES *et al.*, 2017). As principais biomassas geradas na colheita e no processamento de matérias-primas são bagaços de cana-de-açúcar, frutas como laranja e maçã, hortaliças (VIANA; CRUZ, 2016), polpa de beterraba, batata e tomate (ZANELLA, 2013), palma, palhas de cereais e grãos, cascas de frutas e café (RODRIGUES *et al.*, 2017), pó de serragem (MELO *et al.*, 2011).

A biomassa consiste em um composto polimérico de carboidratos presentes em vegetais fibrosos, integrado basicamente por celulose, hemicelulose e lignina. Esses polissacarídeos compõem e constroem a estrutura da parede celular das plantas proporcionando resistência dos vegetais através de ligações químicas covalentes, conforme representado na Figura 1 (CYPRIANO *et al.*, 2017).

Figura 1 – Representação da estrutura de materiais lignocelulósicos

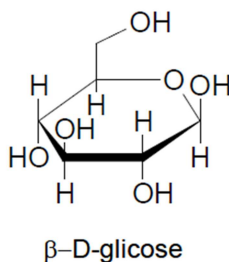


Fonte: Adaptado de Cypriano *et al.* (2017)

2.1.1 Celulose

A celulose é o polissacarídeo mais abundante na natureza, tida como uma fonte quase imensurável (GURGEL, 2010), sendo o componente predominante na construção estrutural da parede celular dos vegetais fibrosos. As principais fontes de celulose são as plantas coníferas, folhosas e gramíneas, algas marinhas e bactérias. Sua formação consiste na associação única de unidades de β -D-glicose, um monossacarídeo hexose simples de fórmula empírica $C_6H_{12}O_6$, através das ligações glicosídicas em configuração β -1,4, resultando em uma estrutura linear e rígida (OGEDA; PETRI, 2010). A celulose é um homopolímero de alto peso molecular apresentando uma massa molar média de 100.000 a 500.000 g/mol (MARTINI, 2009). A Figura 2 ilustra a unidade monomérica do polímero de celulose.

Figura 2 – Unidade monomérica da celulose

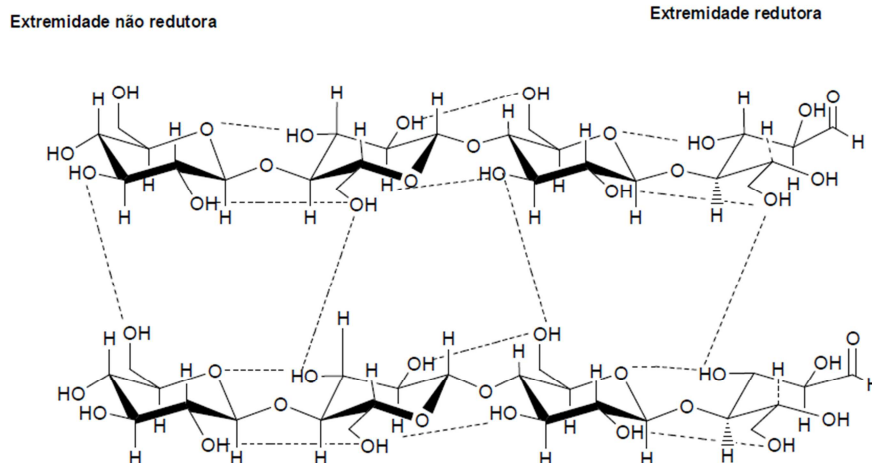


Fonte: Martini (2009)

A estrutura da celulose apresenta um alto grau de ordenamento presente em todos os tipos de fibras, variando somente o grau de polimerização, definido pela quantidade de unidades de repetição exibido na cadeia do polímero. O grau de polimerização pode variar de 7.000 a 15.000 unidades de repetição, dado que as fibras apresentam formação de cadeia de diferentes tamanhos (BENEVIDES, 2015; GONÇALVES, 2009).

Em relação à conformação linear da cadeia de celulose, o alto número de ligações de hidrogênio intramoleculares e intermoleculares devido à presença de vários grupos químicos hidroxila ($-OH$) possuem um papel de grande importância, visto que são incumbidas de fornecer rigidez, estabilização, alinhamento e organização aos agregados e empacotados das cadeias de celulose para a formação das fibras vegetais. Com tal característica, as fibras são formadas pelas longas cadeias poliméricas unidas entre si por ligações de hidrogênio e pelas interações fortes de Van der Waals, contendo cerca de 36 cadeias sobrepostas de 3 a 4 nm de largura, envoltas por hemicelulose e lignina (GONÇALVES, 2009; GURGEL, 2010). A Figura 3 exibe a estrutura da celulose.

Figura 3 – Representação da estrutura molecular da celulose



Fonte: Martini (2009)

As cadeias de celulose apresentam regiões cristalinas e regiões amorfas, que são diferenciadas pelo grau de ordenamento e orientação do arranjo. As regiões cristalinas são sítios de elevada ordem, de alto grau de cristalinidade, sendo esta a proporção entre as regiões cristalinas e amorfas, e também, de maior resistência mecânica de tração e tensão e à solvatação, resultando na insolubilidade da celulose em água, que representam cerca de 85 % de toda a estrutura. As regiões amorfas exibem um arranjo desordenado com sítios vazios e desalinhados, onde parte das cadeias não estão unidas pelas ligações de hidrogênio, resultando em um menor grau de cristalinidade, e representam os restantes 15 % da estrutura (CYPRIANO *et al.*, 2017; GONÇALVES, 2009;).

A celulose apresenta polimorfismo, uma característica que exhibe vários moldes polimórficos, como a celulose tipo I, II, III e IV. As celulosas tipo I e II são encontradas naturalmente, e as celulosas tipo III e IV são obtidas por meio de tratamentos térmicos e químicos (GURGEL, 2010; MARTINI, 2009). A celulose também pode ser diferenciada pelo tamanho da molécula e pelo número de unidades de glicose presente, sendo (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010): i) α -celulose a celulose não degradada; ii) β -celulose a celulose degradada; iii) γ -celulose é a hemicelulose. Com a longa e concreta base tecnológica, a celulose é uma fonte orgânica e biorrenovável de alto valor comercial agregado de carboidratos para a alimentação de ruminantes, para a produção de etanol, solventes e compostos orgânicos, e para a extração de nanocristais de celulose sendo incorporados no preparo de compósitos e nanocompósitos atuando como reforço. É uma fonte de grande interesse tecnológico, comumente empregada nas indústrias têxtil, alimentícia, farmacêutica e de manufatura de papéis (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010).

2.1.2 Hemicelulose

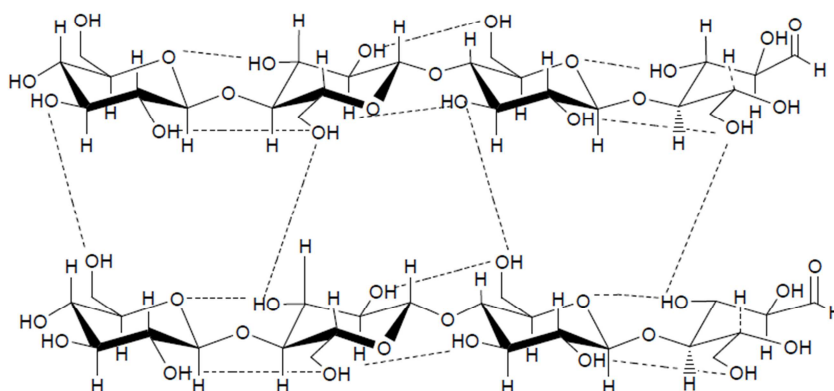
A hemicelulose é um polissacarídeo complexo, de composição heterogênea, e estrutura amorfa. Envolve, associa e auxilia a formação de ligações cruzadas entre as fibras de celulose e a lignina, devido à presença de cadeias laterais e as ligações químicas e interações entre elas, o que confere rigidez, flexibilidade e estabilidade à parede celular das plantas (GONÇALVES, 2009; MARTINI, 2009).

É constituída por diferentes unidades e tipos de açúcares de cinco carbonos ($C_5H_8O_4$)_n e de seis carbonos ($C_6H_{10}O_5$)_n, denominados de pentoses e hexoses respectivamente, onde *n* é definido pelo grau de polimerização da cadeia polimérica. Na composição podem existir condensados em proporções e unidades variadas, sendo compostos de pelo menos dois tipos de açúcares, como pentoses (D-xilose e L-arabinose), hexoses (D-glicose, D-manose e D-galactose), ácidos urônicos como o glucurônico, galacturônico e o manurônico. A hemicelulose apresenta solubilidade em meios ácido e básico, sendo hidrolisável em seus monômeros facilmente (GONÇALVES, 2009). A Figura 4 ilustra alguns dos açúcares que compõem e formam a estrutura molecular da hemicelulose.

Figura 4 – Representação dos principais açúcares que formam a hemicelulose

Extremidade não redutora

Extremidade redutora



Fonte: Cypriano *et al.* (2017)

A estrutura multiforme do polissacarídeo pode apresentar regiões lineares e ramificadas com a presença de grupos laterais, concedendo um baixo peso molecular de 25.000 e 35.000 g/mol, ou seja, exibe um grau de polimerização menor que a celulose, sofrendo variações de acordo com a espécie da planta e o método de isolamento (GURGEL, 2010).

O agrupamento dos polissacarídeos de celulose com a hemicelulose resulta na holocelulose, sendo um termo utilizado para denominar os carboidratos totais presentes na parede celular das plantas. Dado que a hemicelulose apresenta uma característica primordial, em que pode ser separada da celulose através de extração em meio básico de material delignificado (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010; OGEDA; PETRI, 2010).

A hemicelulose pode ser uma fonte comercial de carboidratos para a produção de xilitol, precursores para a síntese de polímeros e resinas, etanol, ácidos orgânicos espessantes, adesivos, coloides protetores, emulsificantes, lubrificantes, estabilizantes, furfural e derivados. Pode também auxiliar na melhoria de bebidas como cervejas e sucos, e da digestibilidade na alimentação de animais (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010).

2.1.3 Lignina

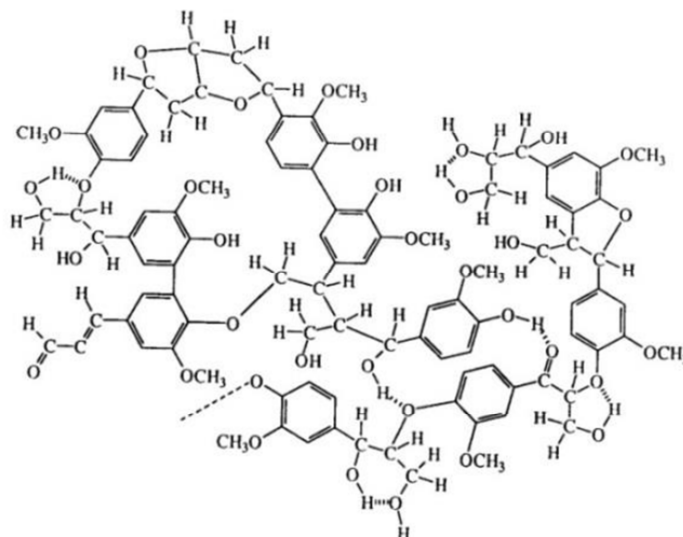
A lignina é o segundo polímero mais abundante na natureza, sendo um dos maiores constituintes dos vegetais, seguido da celulose. Exibe uma estrutura molecular complexa, aromática, extensa e desordenada (GONÇALVES, 2009; MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010). É uma macromolécula amorfa, multifuncional, tridimensional, com alta massa molecular e apresenta insolubilidade em meio aquoso (CYPRIANO *et al.*, 2017).

A macromolécula está associada à celulose e a hemicelulose, por meio de ligações covalentes e pela interação física, fornecendo mais rigidez e impermeabilidade a parede celular das plantas. São incumbidas por proteger os tecidos vasculares das plantas contra a ação de microrganismos, por fornecer resistência mecânica, pelo transporte de água, metabólitos e nutrientes. A sustentação, rigidez e a resistência às forças de compressão, impacto e quebra que apresenta a lignina à parede celular da planta podem ser explicadas devido a sua estrutura tridimensional. Já o transporte de água, nutrientes e metabólitos se dá pelo retardamento na permeação de água dos tecidos condutores do xilema. Não são encontrados em fungos liquens não lignificados e algas. Os tecidos lignificados impedem a penetração de enzimas que destroem a parede celular, conferindo resistência ao ataque por microrganismos, devido à sua natureza hidrofóbica (CYPRIANO *et al.*, 2017; OGEDA; PETRI, 2010).

A lignina é constituída principalmente por unidades monoméricas de fenilpropano, unidas entre si pelo acoplamento randômico (CYPRIANO *et al.*, 2017), de origem da polimerização desidrogenativa dos álcoois cumarílico, coniferílico e sinapílico, onde ocorre a formação de duas ligações de éter para cada ligação de carbono-carbono na lignina. A repetição ao longo da cadeia não ocorre de forma regular, encontrando-se em diferentes tipos de ligações químicas dispostas por toda a molécula, exibindo alta complexidade, conforme indicado na Figura 5. A estrutura química da lignina

depende da idade e do tipo genético da planta, variando entre as coníferas, folhosas e as gramíneas (GONÇALVES, 2009; GURGEL, 2010).

Figura 5 – Representação da estrutura da lignina



Fonte: Cypriano *et al.* (2017)

A lignina é obtida como subproduto da indústria de polpas em larga escala, e através de métodos de isolamento de biomassas, que consistem primeiramente em eliminar extrativos presentes no material em condições brandas, visando a prevenção de qualquer alteração na natureza química da lignina. De acordo com Moraes, Rosa e Marconcini (2010) existem três tipos de preparação: i) por extração; ii) por isolamento como resíduo; iii) por isolamento como derivados.

A lignina é aplicada principalmente como fonte para a produção de energia térmica por sua queima, sendo um processo que exibe pouca vantagem econômica (RODRIGUES *et al.*, 2017). Além de ser uma fonte de energia, a lignina vem sendo estudada atualmente com a finalidade de sofrer modificações químicas para que assim possa ser incorporada aos polímeros (RABELO, 2010). Pode ser destinada para a indústria madeireira devido à resistência ao calor e a estabilidade química, para a geração de aldeídos aromáticos e produtos fenólicos através da degradação da lignina para a fabricação de produtos químicos como espumas de poliuretanos, adesivos devido à semelhança das estruturas químicas de fenol e lignina, resinas fenólicas, e ainda podem sofrer conversão em fibras de carbono (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010).

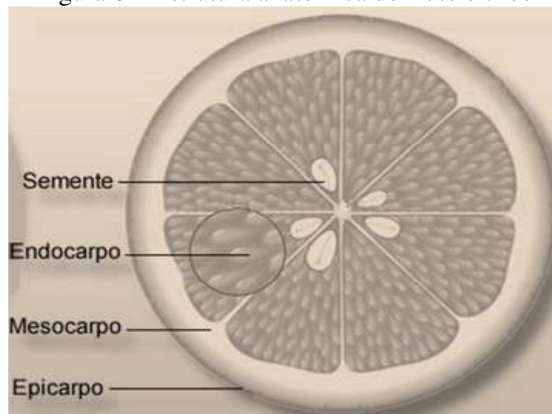
2.2 Morfologia da laranja

A valiosa composição da laranja pode auxiliar na prevenção de doenças cardíacas, neurológicas, metabólicas e neoplásicas. Essa composição química pode variar de acordo com as condições ambientais e de cultivo e as diferenças morfofisiológicas existentes nos frutos cítricos (LIMA, 2010).

O fruto é composto de fragmentos distintos, facilmente separáveis da polpa cítrica que compõem a sua morfologia, dividido em endocarpo ou polpa, epicarpo ou flavedo e o mesocarpo ou albedo. O epicarpo é a parte mais externa (a casca), rico em substâncias químicas como pigmento carotenoide responsável pela coloração amarelo-alaranjada do fruto maduro, vitaminas e óleo essencial como o limoneno que propiciam o sabor e aroma característicos. O mesocarpo refere-se à parcela média branca e esponjosa, aderente à casca do fruto, rico em hemicelulose, celulose, lignina, glicídeos solúveis, flavononas responsáveis pelo sabor amargo, substâncias pécticas responsáveis pela propriedade espessante no suco, e compostos fenólicos. O endocarpo refere-se à polpa da fruta cítrica, sendo a parte comestível envolta pelo albedo, que confere as vesículas, sementes e os gomos do fruto que contém suco e bagaço, divididos por membranas, sendo composta por celulose, hemicelulose, substâncias pécticas, açúcares, flavonoides, vitaminas, sais minerais, carotenoides e antocianinas (BENEVIDES, 2015; LIMA, 2010; MENDONÇA *et al.*, 2006; ZANELLA, 2013). A columela refere-

se ao centro do fruto, de características físicas e de texturas semelhantes ao albedo, conectando as membranas (ZANELLA, 2013). A Figura 6 mostra a estrutura interna da laranja.

Figura 6 – Estrutura anatômica do fruto cítrico



Fonte: Benevides (2015)

Ainda que o suco concentrado da fruta seja o produto principal, outros subprodutos também dispõem de valor comercial expressivo. Os subprodutos gerados são os óleos essenciais, D-limoneno, líquidos aromáticos, pectina, flavonoides, polpa da laranja e farelo de polpa cítrica. Os principais subprodutos provenientes do processamento da laranja são o suco, óleos essenciais, d-limoneno, farelo de polpa cítrica, líquidos aromáticos e polpa congelada. (CYPRIANO *et al.*, 2017; REZZADORI; BENEDETTI, 2009).

Os óleos essenciais são misturas complexas de substâncias orgânicas voláteis e lipídicas, removidas por métodos de extração por meio de técnicas como prensagem a frio por intermédio do rompimento das bolsas de óleo existentes na casca do fruto, maceração, ultrassom, extração em Soxhlet e destilação por arraste de vapor. Os solventes mais usados e eficientes nos processos de extração são o hexano, benzeno, álcoois metílico, etílico e propílico, éteres e solventes clorados. Os óleos extraídos são destinados para as indústrias alimentícia e farmacêutica (DONADON; SANTOS, 2018; CYPRIANO *et al.*, 2017).

Os compostos presentes no extrato denso e resinosos da laranja são limoneno, linanol, mirceno, canfeno, entre outros (DONADON; SANTOS, 2018). O componente de maior valor é o limoneno, uma fonte de terpeno monocíclico, comumente utilizado nas indústrias químicas para a fabricação de adesivos, resinas, borrachas, pigmentos e tintas, e também nas indústrias farmacêutica e alimentícia como componente de sabor e aromático (CYPRIANO *et al.*, 2017).

O bagaço é composto pelo albedo, sementes e a casca. A partir dele podem-se obter componentes comerciais importantes através de métodos químicos e enzimáticos, como a pectina, vitamina C, óleos essenciais, hesperidina, celulose, ácidos orgânicos, pigmentos, enzimas, compostos antioxidantes, e metabólitos secundários biologicamente ativos (CYPRIANO *et al.*, 2017; DONADON; SANTOS, 2018; REZZADORI; BENEDETTI, 2009), sendo alternativas atrativas para o aproveitamento do resíduo gerado, além de minimizar os impactos ambientais. O bagaço é destinado para o uso como matéria-prima nas indústrias para a fabricação de fertilizantes orgânicos, etanol de segunda geração, aromas, fragrâncias e saborizantes (CYPRIANO *et al.*, 2017).

A biomassa energética pode ser empregada nas indústrias para a geração de energia através da sua combustão em fornos e caldeiras. Visando obter conversões mais eficientes os métodos de pirólise e gaseificação podem ser realizados, onde a biomassa é degradada termicamente em atmosfera estequiométrica de oxigênio (BENEVIDES, 2015).

O bagaço é uma biomassa lignocelulósica rica em carboidratos, como a hemicelulose e a celulose que pode ser hidrolisada por processos químicos ou enzimáticos a fim de gerar e disponibilizar substâncias fermentescíveis de açúcares de cinco e seis carbonos, como a glicose, xilose

e arabinose, que são utilizadas para a produção de etanol de segunda geração, através de sua conversão pelo processo de fermentação (AWAN, 2013; OBEROI *et al.*, 2010).

A casca da laranja apresenta alto teor de flavonoides, carotenoides, terpenoides, e outros óleos voláteis, além de minerais como potássio e cálcio, podendo ser utilizada na fabricação de farinhas desenvolvidas em fibras, na extração de óleos essenciais, referindo-se a uma mistura líquida oleosa de distintos aldeídos, de coloração amarelo-alaranjado que são utilizados nas indústrias farmacêutica e alimentícia (MENDONÇA *et al.*, 2006).

As sementes também podem ser destinadas para a extração de óleos essenciais para as indústrias alimentícias e de perfumes. As folhas, raízes e sementes apresentam propriedades farmacológicas (DONADON; SANTOS, 2018).

A biomassa pode ser triturada, prensada, desidratada e compactada de forma a propiciar o manuseio, transporte e armazenagem (BENEVIDES, 2015). As propriedades e a qualidade microbiológica desse material impedem que o seu armazenamento seja prolongado por mais de 60 dias (DONADON; SANTOS, 2018).

A fibra de bagaço apresenta destaque e grande importância por ter a função de promover saciedade, palatabilidade e diminuição na ingestão de calorias nas dietas humanas e animais, por melhorias na conversão alimentar (MENDONÇA *et al.*, 2006). Dada a sua composição química e a grande quantidade de fibras e nutrientes, o bagaço também é destinado para a alimentação de animais ruminantes, como suplemento nas rações, fornecendo melhorias na digestibilidade, palatabilidade e na conversão alimentar da dieta (VALENÇA *et al.*, 2016). A fibra do bagaço apresenta boa aceitação de rebanhos bovinos de corte e leite, porém não supre todas as necessidades dos animais, devido à baixa quantidade de proteínas, sendo limitado até 30 % da matéria seca na ração de um animal adulto (MARTINI, 2009).

3 Método da pesquisa

A revisão de literatura apresentada até aqui, no melhor conhecimento destes autores, mostra que a caracterização completa do bagaço de laranja é inédita, existem análises de algum ou alguns componentes, mas nunca uma avaliação completa. Nesse sentido, a metodologia deste trabalho visou contemplar a caracterização mais completa possível de amostras de bagaço de laranja.

3.1 Preparação de amostras

O bagaço de laranja foi coletado em um estabelecimento comercial em Matão, estado de São Paulo, Brasil, que realizou o beneficiamento das laranjas para extração do suco. O resíduo foi seco em estufa Marconi MA 035 a 50 °C e estocado para realização de todas as análises. Em seguida, o material foi pesado, retiradas as sementes e triturado em moinho de facas Marconi MA 048 para uniformização do material. A caracterização química da matéria seca consistiu na análise dos teores de extrativos em solvente, umidade, cinzas, lignina, holocelulose, celulose e hemicelulose, segundo as normas padronizadas pela TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*), e pelo NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) para materiais lignocelulósicos (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010).

3.2 Metodologia analítica

Os extrativos em solvente foram estipulados seguindo a norma TAPPI T204 cm-97 (TAPPI STANDARDS, 2007) com adaptações, em aparelho tipo Soxhlet, por extração contínua de 6 horas, utilizando álcool etílico, éter etílico e água destilada como solvente. A umidade foi determinada usando o procedimento descrito no padrão TAPPI T421 om-22 (TAPPI STANDARDS, 2015) em estufa a 105 °C até peso constante. O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma NREL/TP 510-42618 (SLUITER *et al.*, 2008) utilizando um forno mufla a uma temperatura de 700 °C. O teor de lignina foi determinado por hidrólise ácida utilizando uma solução de ácido sulfúrico a 72 % (p/p), de acordo com o padrão TAPPI T13 os-54 – que se tornou o T 222 om-21 (TAPPI STANDARDS, 2006). O material hidrolisado foi filtrado em funil de vidro sinterizado com diâmetro máximo de poros de 10 a 16 µm (porosidade 4) após a suspensão ser deixada em refluxo por 4 horas, seguida de lavagem com água destilada até pH neutro.

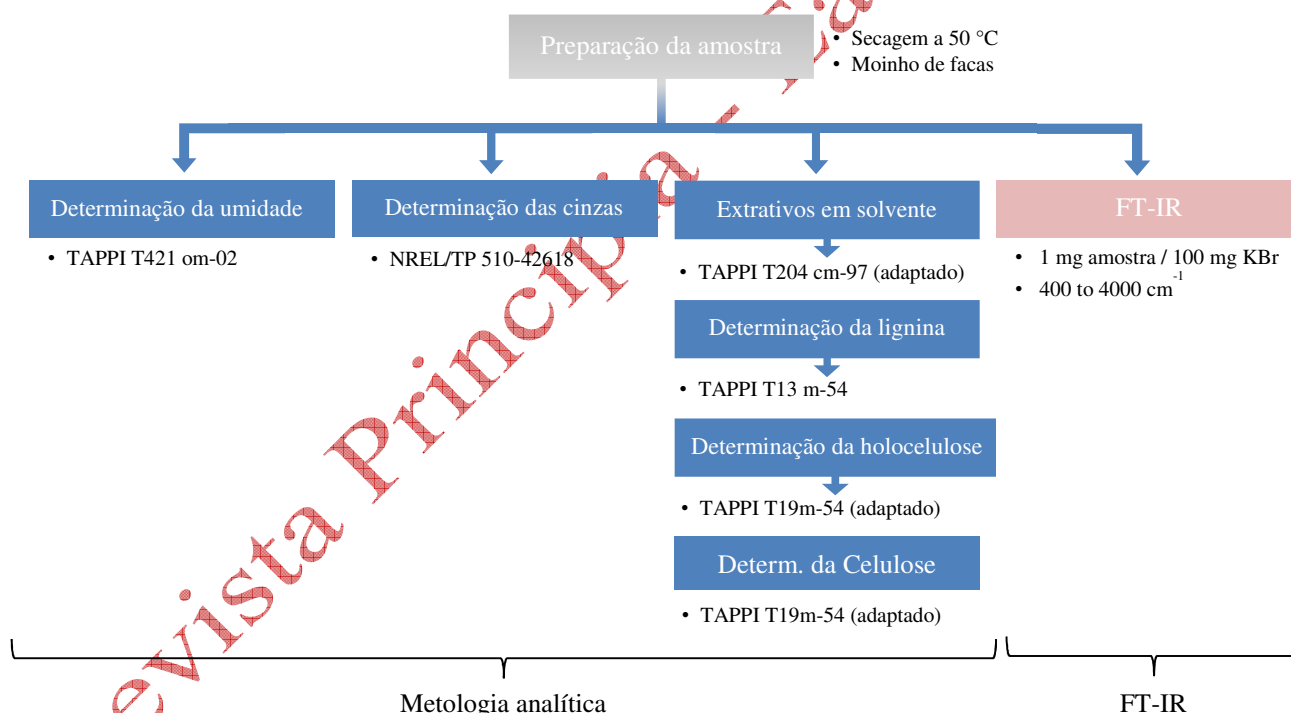
A holocelulose foi determinada por hidrólise ácida, utilizando ácido acético e hipoclorito de sódio por 4 horas, seguindo o padrão TAPPI T9 m-54 - que se tornou o método 249 cm-21 (TAPPI STANDARDS, 2021). O material hidrolisado foi filtrado em funil de vidro sinterizado com diâmetro máximo de poro de 40 a 100 µm (porosidade 2), seguido de lavagem com água destilada até pH neutro. A celulose foi determinada por hidrólise básica de holocelulose, utilizando solução de hidróxido de sódio 17,5 % (p/v), de acordo com o método T 249 (TAPPI STANDARDS, 2021). O material foi filtrado e lavado até pH neutro. A diferença entre celulose e holocelulose resulta no teor de hemicelulose.

3.3 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR)

Os ensaios por espectroscopia na região do infravermelho foram realizados para caracterizar os grupos químicos presentes no bagaço de laranja, um espectrômetro de infravermelho médio com transformada de Fourier, modelo Nicolet 6700 FT-IR, marca Thermo Scientific, com comprimento de onda de 400 a 4000 cm⁻¹. As amostras foram prensadas em pastilhas de KBr na proporção de 1 mg amostra/100mg KBr e colocadas em estufa a 50 °C para perda de umidade. Os espectros de absorção foram analisados usando o software OMNIC.

Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados são apresentados como uma média dos três valores junto com seu desvio. O esquema metodológico pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 – Esquema metodológico de caracterização do bagaço de laranja



Fonte: elaborado pelos autores

4 Resultados e discussões

O bagaço de laranja apresentou 86,2 % do teor de umidade inicial obtido durante o processo de preparo das amostras para as análises de caracterização. Esse valor é próximo ao encontrado na literatura de 82,25 % (OROZCO *et al.*, 2014). Os valores médios dos resultados da análise da composição química das fibras do bagaço de laranja, todos realizados em triplicata, bem como seu desvio padrão, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do bagaço de laranja

Análise	Massa seca (g em 100 g)*
Extrativos em solvente	37,3 ± 3,7 (água destilada)

	19,3 ± 0,9 (etanol)
	1,5 ± 0,5 (éter etílico)
Umidade	12,3 ± 0,9
Cinzas	2,9 ± 0,2
Lignina	2,9 ± 0,5
Celulose	38,5 ± 2,0
Holocelulose	33,1 ± 1,5
Hemicelulose	5,4 ± 2,0

*Média e desvio-padrão de três repetições
Fonte: dados da pesquisa

O valor obtido para a umidade da biomassa após o processo de secagem foi de 12,3 %, valor próximo ao apresentado nos trabalhos de Martini (2009) de 12 %, Retore *et al.* (2010) de 13,36 %, Cavichiolo, Biagi e Marsaioli Junior (2014) de 12,16 %, Silva *et al.* (2015) de 10,3 % e Silva *et al.* (2016) de 10,05 %.

O teor de cinzas representa a fração mineral presente na amostra, como sódio, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco e cobre, que estão diretamente relacionados ao solo em que foi cultivado. Esses conteúdos resultam do método de calcinação em mufla por ignição de matéria orgânica, promovendo a formação de gases e eliminando os elementos químicos carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e enxofre (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010; SILVA *et al.*, 2016;).

A análise de cinzas apresentou 2,9 %, valor semelhante aos obtidos nos estudos de Oberoi *et al.* (2010) de 2,87 %, Romero-Lopez *et al.* (2011) de 2,6 %, Orozco *et al.* (2014), Silva *et al.* (2015) de 3,56 % e de Silva *et al.* (2016) de 3,46 %, valor inferior ao apresentado por Retore *et al.* (2010) de 8,57 %, e valor superior ao encontrado por Awan (2013) de 1,95 %. Com base nesses resultados, pode-se dizer que os valores encontrados neste trabalho estão dentro da literatura pesquisada.

Os extrativos são compostos responsáveis por acumular nutrientes e formar aromas, sabores e cores, que podem ser extraídos de materiais lignocelulósicos por meio de solventes polares e apolares. São tipicamente representados por vários compostos de baixo a médio peso molecular, como proteínas, açúcares, polissacarídeos e outros compostos solúveis em solventes orgânicos e água (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010; NOGUEIRA, 2016).

Os teores de extrativos obtidos nos solventes, álcool etílico (19,3 %), água destilada (37,3 %) e éter etílico (1,51 %) mostram que houve pouca diferença quando comparados aos níveis mencionados em Rivas *et al.* (2008) que foi de 25 % em álcool etílico e 45 % em água destilada, e em Martini (2009) que foi de 1,51 % em éter etílico. Esse fato se deve à solubilidade dos compostos orgânicos baseada na estrutura molecular, na polaridade das ligações e no momento de dipolo (μ) das moléculas. A solubilidade é uma propriedade física indispensável para separar misturas e extrair substâncias. Em ordem crescente de polaridade do solvente, podem ser citados o éter etílico ($\mu = 1,15D$), o álcool etílico ($\mu = 1,70D$) e a água destilada ($\mu = 1,85D$), respectivamente (BRUICE, 2006). A extração do extrato denso e da resina foram mais eficientes com o solvente, água, mostrando maior afinidade entre o solvente e o soluto devido ao grande número de carboidratos na amostra de bagaço de laranja, que são facilmente solúveis em água. As substâncias como graxas e resinas podem ser extraídas com o solvente de baixa polaridade, éter etílico, e flavonoides e compostos fenólicos são extraídos com o solvente de média polaridade, álcool etílico.

Com base nesses resultados, os resíduos de laranja podem ser uma fonte potencial apreciada para a extração de óleos essenciais (a fração de extrativos em água destilada poderia ser ainda maior, com a amostra *in natura*, visto que podem ter havido perdas durante a secagem), que podem ser utilizados como insumos nas indústrias química, alimentícia e farmacêutica para a fabricação de solventes, fertilizantes, produtos químicos, aromas, aromatizantes, fragrâncias e cosméticos. Isso porque são constituídos por uma mistura de vários compostos orgânicos como aldeídos, prevalecendo d-limoneno, cetonas, fenóis, álcoois, carotenóides e terpenos (RETORE *et al.*, 2010).

A quantificação foi realizada quanto aos teores de carboidratos estruturais, lignina, holocelulose, celulose e hemicelulose após a remoção dos extrativos do material lignocelulósico e da umidade. Segundo Nogueira (2016), a composição difere em variedades, cultivo e método de extração do caldo, secagem e moagem do bagaço, portanto a caracterização completa de uma mesma amostra é essencial para o conhecimento de suas características e usos potenciais.

O teor de lignina encontrado pelo tratamento ácido foi de 2,9 %, valor próximo ao obtido por Orozco *et al.* (2014) em 2,81 % e Rosa e Pinheiro (2021) em 3,14 %; e superior ao demonstrado por Rivas *et al.* (2008) em 0,84 %, e inferior ao resultado de Awan (2013) de 4,4 % e Nogueira (2016) de 9,9 %. A lignina pode ser utilizada principalmente como fonte de energia para obtenção de fibras de carbono e termoplásticos devido a sua resistência e alto poder calorífico (MARTINI, 2009).

O teor de celulose obtido foi de 38,5 %, semelhante ao de Orozco *et al.* (2014) em 36,38 %. Houve uma diferença significativa no teor de holocelulose adquirido neste trabalho de 33,1 % quando comparado aos valores encontrados na literatura: 22,9 % obtidos por Nogueira (2016), 18,8 % por Rosa e Pinheiro (2021) e 21,08 % por Retore *et al.* (2010). Maior discrepância é encontrada de acordo com os dados de holocelulose coletados nos trabalhos de Orozco *et al.* (2014) de 9,93 %, Rivas *et al.* (2008) de 9,21 % e Awan (2013) de 4,98 %. Contato insatisfatório entre as fibras e a solução básica pode ser insuficiente para acessar e despolimerizar as cadeias de celulose (RODRIGUES *et al.*, 2017), ou mesmo, entupimento de poros e contaminantes presentes nos filtros podem ser fontes de divergências nos resultados. Além disso, Martini (2009) e Cypriano *et al.* (2017) mencionam que os teores e proporções dos constituintes que compõem a biomassa podem variar de acordo com fatores genéticos e influências ambientais.

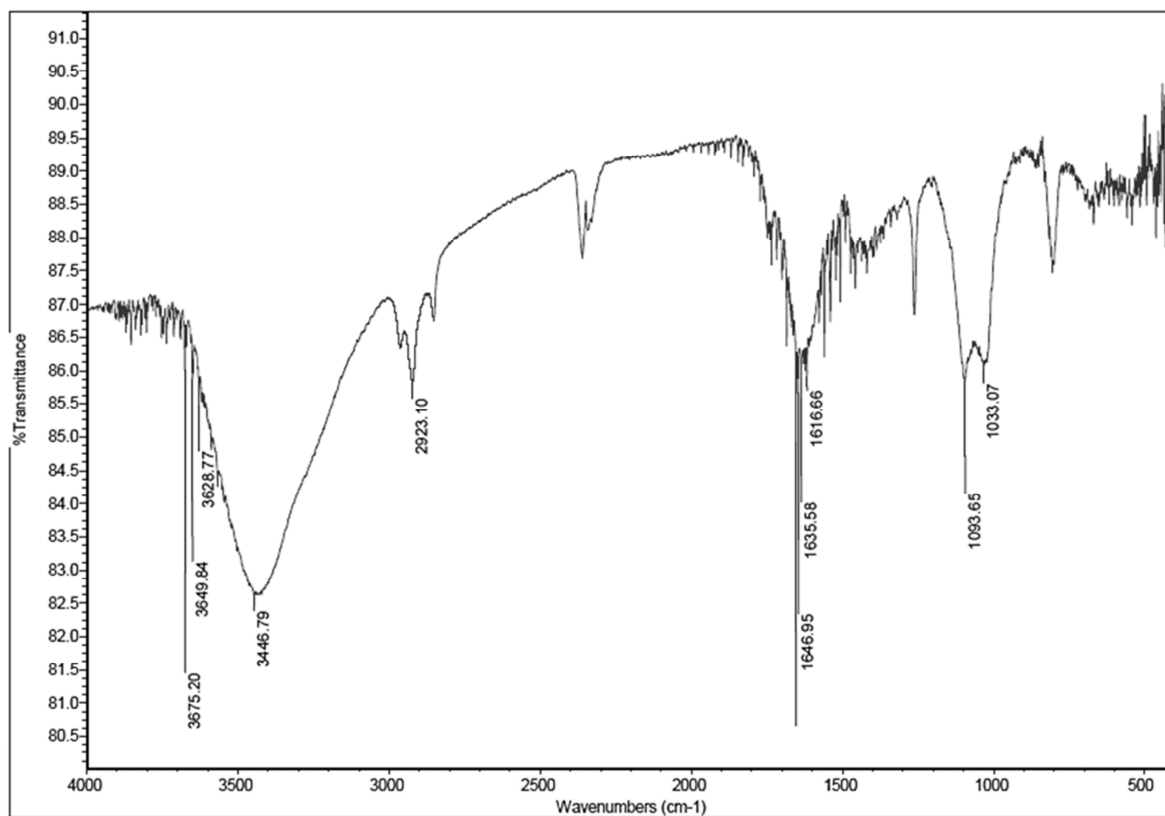
A hemicelulose é mais facilmente degradada do que a celulose devido à presença de regiões amorfas em sua estrutura molecular, que podem ser determinadas pela diferença entre celulose e holocelulose. Obteve-se um teor de 5,4 %, valor que está de acordo com os 5,7 % divulgados por Oberoi *et al.* (2010), 3,39 obtidos por Nogueira (2016) e 3,63 % por Awan (2013). O maior valor 26,45 % obtido por Orozco *et al.* (2014), neste caso, está em desacordo com a literatura.

Segundo Ogeda e Petri (2010), as interações entre hemicelulose e lignina são mais fracas do que aquelas entre hemicelulose e celulose. Este fato pode ser explicado por fortes ligações de hidrogênio e ligações covalentes.

O espectro FT-IR de resíduo de laranja obtido na região espectral de 400-4000 cm^{-1} , descrito na Figura 8, mostra as bandas de absorção características de um material de natureza lignocelulósica devido à presença de carboidratos estruturais, lipídios, proteínas, ésteres e compostos aromáticos. A Tabela 2 apresenta os principais sinais de absorção e os grupos químicos relacionados à composição do resíduo da laranja.

Figura 8 – Espectro de infravermelho do bagaço de laranja

Revista Principia



Fonte: dados da pesquisa

Tabela 2 – Valores das principais bandas de absorção do bagaço de laranja

Banda / cm^{-1}	Grupos químicos	Tipo de vibração
3675-3446	-OH	Estiramento (deformação axial)
2923	-CH, CH_2 , CH_3	Estiramento assimétrico
1733	C=O	Estiramento
1653-1616	C=C	Estiramento
1558-1253	-CH, CH_2 , CH_3	Deformação angular assimétrica e simétrica
1093-1033	C-O-H e C-O-R	Deformação angular
805, 668, 418	-CH e -OH	Deformação angular fora do plano

Fonte: Orozco *et al.* (2014) e Silverstein; Webster e Kiemle (2010)

Os picos em 3675, 3649, 3628 e 3446 cm^{-1} de maior intensidade referem-se às vibrações de estiramento (deformação axial) do grupo funcional -OH da celulose, álcoois e substâncias pécnicas presentes no material. O pico em 2923 cm^{-1} corresponde à vibração de alongamento assimétrico de compostos alifáticos da ligação C-H dos grupos CH_2 e CH_3 de carboidratos, hemicelulose e lignina. A banda em 1733 cm^{-1} pode ser atribuída ao alongamento do grupo C=O de ácidos carboxílicos, compostos aromáticos, lipídios, ésteres e lignina. Os picos em 1653, 1646, 1635 e 1616 cm^{-1} são devidos ao alongamento da ligação C=C de compostos aromáticos e substâncias pécnicas. As vibrações assimétricas e simétricas de deformação da ligação C-H dos CH_2 e CH_3 das cadeias alifáticas que constroem a estrutura básica dos carboidratos, em geral, que compõem o material lignocelulósico através das ligações glicosídicas, podem ser observadas em 1558, 1457 e 1253 cm^{-1} . Os sinais em 1093 e 1033 cm^{-1} correspondem às vibrações de deformação angular das ligações C-O-H dos álcoois e das ligações C-O-R dos ésteres. Por fim, as bandas em 805, 668 e 418 cm^{-1} podem ser atribuídas a deformações angulares fora do plano das ligações C-H e -OH de carboidratos em geral (AWAN, 2013; MARTINI, 2009; OROZCO *et al.*, 2014; PORTO *et al.*, 2021; SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2010).

Finalmente, com os resultados da composição química completa do bagaço de laranja, é possível que se utilize esses resultados para estudos de: i) viabilidade econômica de insumos que possuam maior valor agregado; ii) melhor aproveitamento para os outros, e são diversas as aplicações possíveis de serem estudadas, como ração animal, vitaminas e sabores para indústrias de alimentos, polpa cítrica para regulação e estimulação intestinal, de apetite ação oxidante, etc. Os solventes extrativos, mesmo em uma massa já seca do resíduo, apresentaram valores dos quais podem ser extraídos óleos essenciais de amplo uso industrial, principalmente para fabricação de perfumes, além de citrato de cálcio (SOARES, 2022). As cinzas podem aumentar o valor econômico do resíduo se utilizadas como fertilizante (DONADON; SANTOS, 2018). Os extratos em solventes podem ser utilizados para produção de pectina, incorporação em alimentos, adsorção, produção de enzimas e etanol 2G (SILVA *et al.*, 2016). A holocelulose, celulose e hemicelulose são polissacarídeos de cadeia longa e podem, após o processo de sacarificação, liberar glicose para o processo de fermentação e produção de etanol 2G (NOGUEIRA, 2016). O bagaço da polpa cítrica pode ser utilizado na alimentação animal (SILVA, 2019; SOARES, 2022), pode também servir de matéria-prima para a produção de xilitol, um adoçante e possui propriedade anticariogênica; pode ser hidrolisado e utilizado na indústria farmacêutica como um poderoso prebiótico (CALORE, 2022). Por fim, existe ainda a lignina, embora grandes quantidades de ligninas sejam queimadas na produção de energia, sua aplicação nos diferentes setores produtivos tem se destacado como dispersante em concreto, pigmentos, produtos cerâmicos, emulsificante a óleos e látex, aglutinante de pellets, lignopoliuretanos, produção de vanilina, antioxidantes, etc. (PORTO *et al.*, 2021), mostrando um alto valor agregado desse insumo.

5 Considerações finais

Os resultados obtidos no presente trabalho e as informações teóricas apresentadas tendem a tornar o bagaço de laranja, abundante, barato, de grande valor nutricional e com composição química diversificada, um material promissor para inúmeras aplicações possivelmente viáveis de forma a não gerar mais acúmulo e descarte inadequado, em diversas áreas industriais. Tais estudos são possíveis a partir dos dados da completa caracterização do bagaço de laranja e podem mostrar o potencial direto de aplicação destes resíduos.

A massa seca do bagaço de laranja foi composta por: $19,3 \pm 0,9$ % em solventes extrativos, da casca são extraídos óleos essenciais de amplo uso industrial, principalmente para fabricação de perfumes, além de citrato de cálcio; $2,9 \pm 0,2$ % de cinzas que podem aumentar seu valor econômico se utilizadas como fertilizante; $19,3 \pm 0,9$ % dos extratos em solventes podem ser utilizados para produção de pectina, incorporação em alimentos, adsorção, produção de enzimas e etanol 2G; $38,5 \pm 2,0$ % de holocelulose, $33,1 \pm 1,5$ % de celulose e $5,4 \pm 2,0$ % de hemicelulose podem, após o processo de sacarificação, liberar glicose para o processo de fermentação e produção de etanol 2G (NOGUEIRA, 2016), sendo utilizado o bagaço da polpa cítrica na alimentação animal (SILVA, 2019; SOARES; OLIVEIRA, 2022), pode servir de matéria-prima para a produção de xilitol, um adoçante e possui propriedade anticariogênica; pode ser hidrolisado e utilizado na indústria farmacêutica como um poderoso prebiótico; e $2,9 \pm 0,5$ % de lignina; Embora grandes quantidades de ligninas sejam queimadas na produção de energia, sua aplicação nos diferentes setores produtivos tem se destacado como dispersante em concreto, pigmentos, produtos cerâmicos, emulsificante a óleos e látex, aglutinante de pellets, lignopoliuretanos, produção de vanilina, antioxidantes, etc.

Com base nas caracterizações realizadas, foi possível observar que os resultados da composição química completa estão de acordo com os valores individuais encontrados na literatura, observando-se características típicas de material lignocelulósico. A composição química do bagaço de laranja permite aplicação em um amplo campo de estudos e aplicações industriais, com estudos de viabilidade econômica de separação de compostos específicos baseado no seu valor agregado, novos destinos para substâncias subaproveitadas e geração de valor ao processo industrial, tudo isso se partindo de uma composição completa do resíduo, inédito na literatura até então.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao IFSP Câmpus Matão por fornecer a infraestrutura e apoio técnico para realização deste trabalho.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

- AWAN, A. T. **Orange bagasse as biomass for 2G-ethanol production**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/909661>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- BENEVIDES, L. C. **Pirólise do bagaço de laranja: análise cinética dos estágios de secagem e devolatização**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/handle/10/1864>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- BRUCE, P. Y. **Química orgânica**. 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
- CALORE, R. H. **Aproveitamento de biomassa lignocelulósica como fonte de extração de hemicelulose para o uso como substrato para atividade de xilanase**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/236217>.
- CAVICHIOLO, J. R.; BIAGI, J. D.; MARSAIOLI JUNIOR, A. Caracterização do bagaço de laranja úmido e seco. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (CONBEA 2014), 42., 2014, Campo Grande. **Anais [...]**. SBEA: Campo Grande, 2014. Disponível em: <http://conbea14.sbea.org.br/2014/anais/R0210-1.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- CYPRIANO, D. Z.; SILVA, L. L.; BOHÓRQUEZ, M. A. M.; TASIC, L. A biomassa da laranja e seus subprodutos. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 176-191, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170014>.
- DONADON, F. A. B.; SANTOS, D. F. L. A relevância da eco-inovação para resíduos sólidos na agroindústria da fruticultura. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 205-227, 2018. Disponível em: <http://revistagt.fpl.edu.br/get/article/view/1251>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- GONÇALVES, C. **Aplicação de agentes oxidantes no pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar e sua influência na sacarificação da celulose**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2009. Disponível em: <https://maua.br/files/dissertacoes/aplicacao-agentes-oxidantes-280908.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- GURGEL, L. V. A. **Hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar: estudo cinético de sacarificação de celulose para produção de etanol**. 2011. Tese (Doutor em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.11606/T.75.2011.tde-25032011-081629>.
- KIST, B. B.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Uma fase mais espremida**. *In*: Anuário Brasileiro de Horti & Fruti 2022. Santa Cruz do Sul - RS, p. 62-63, 2022. Disponível em: https://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2022/04/HORTIFRUTI_2022.pdf. Acesso em: 18 abr. 2023.
- LIMA, U. A. **Matérias-primas dos alimentos**. São Paulo: Blucher, 2010.

LUCAS, B. N.; SCHU, A. I.; NORA, F. M. D. Benefícios dos compostos bioativos encontrados em resíduos agroindustriais utilizados na alimentação animal. *In*: NORA, F. M. D. (Org.). **Compostos bioativos e suas aplicações**. Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 208-225. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-7-4.c9>.

MARTINI, P. R. R. **Conversão pirolítica de bagaço residual da indústria de suco de laranja e caracterização química dos produtos**. 2009. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/10457>. Acesso em: 18 abr. 2023.

MELO, P. S.; BERGAMASCHI, K. B.; TIVERON, A. P.; MASSARIOLI, A. P.; OLDONI, T. L. C.; ZANUS, M. C.; PEREIRA, G. E.; ALENCAR, S. M. Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1088-1093, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000600027>.

MENDONÇA, L. M. V. L.; CONCEIÇÃO, A.; PIEDADE, J.; CARVALHO, V. D.; THEODORO, V. C. A. Caracterização da composição química e do rendimento dos resíduos industriais do limão Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 870-874, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000400025>.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. Procedimento para análise lignocelulósica. **Embrapa Algodão**, Campina Grande - PB, 2010. p. 54. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/883400/procedimentos-para-analise-lignocelulosica>. Acesso em: 18 abr. 2023.

NOGUEIRA, D. P. **Estudo da obtenção de açúcares redutores totais a partir do bagaço de laranja (*Citrus sinenses*) por hidrólises ácida diluída e enzimática**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6084>. Acesso em: 18 abr. 2023.

OBEROI, H. S.; VADLANI, P. V.; MADL, R. L.; SAIDA, L.; ABEYKOON, J. P. Ethanol production from orange peels: two-stage hydrolysis and fermentation studies using optimized parameters through experimental design. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 6, p. 3422-3429, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf903163t>.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010. Disponível em: https://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=5721. Acesso em: 17 jun. 2023.

OROZCO, R. S.; HERNÁNDEZ, P. B.; MORALES, G. R.; NÚÑEZ, F. U.; VILLAFUERTE, J. O.; LUGO, V. L.; RAMÍREZ, N. F.; DÍAZ, C. E. B.; VÁZQUEZ, P. C. Characterization of lignocellulosic fruit waste as an alternative feedstock for bioethanol production. **BioResources**, v. 9, n. 2, p. 1873-1885, 2014. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/characterization-of-lignocellulosic-fruit-waste-as-an-alternative-feedstock-for-bioethanol-production/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

PEREIRA, L. F. A.; FIRMO, W. C. A.; COUTINHO, D. F. A importância do reaproveitamento de resíduos da indústria alimentícia: o caso do processamento de frutas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12, e38111234089, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34089>.

PORTO, D.; FORIM, M.; COSTA, E.; FERNANDES, J.; SILVA, M. Evaluation of lignins of trunk and roots from *Citrus sinensis* L. Osbeck: a large available Brazilian biomass. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, n. 1, p. 29-39, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20200150>.

RABELO, S. C. **Avaliação e otimização de pré-tratamentos e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1612293>. Acesso em: 18 abr. 2023.

RODRIGUES, C.; WOICIECHOWSKI, A. L.; LETTI, L. A. J.; KARP, S. G.; GOELZER, F. D.; SOBRAL, K. C. A.; CORAL, J. D.; CAMPIONI, T. S.; MACENO, M. A. C.; SOCCOL, C. R. Materiais lignocelulósicos como matéria-prima para a obtenção de biomoléculas de valor comercial. *In*: SOCCOL, C. R.; FRANÇA, L. R.; RESENDE, R. R. (org.). **Biotecnologia aplicada à agro&indústria: fundamentos e aplicações**. Volume 4. São Paulo: Blucher, 2017. p. 283 -314. Cap. 8. DOI <https://dx.doi.org/10.5151/9788521211150-08>.

RETORE, M.; SILVA, L. P.; TOLEDO, G. S. P.; ARAÚJO, I. G. Efeito da fibra de coprodutos agroindustriais e sua avaliação nutricional para coelhos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 5, p. 1232-1240, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000500028>.

REZZADORI, K; BENEDETTI, S. Proposições para valorização de resíduos do processamento do suco de laranja. *In*: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 2., 2009, São Paulo. **Proceedings [...]**. São Paulo, 2009. p. 1-11. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/second/files/sessoes/6a/4/K.%20Rezzadori%20-%20Resumo%20Exp%20-%20206A-4.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

RIVAS, B.; TORRADO, A.; TORRE, P.; CONVERTI, A.; DOMÍNGUEZ, J. M. Submerged citric acid fermentation on orange peel autohydrolysate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 7, p. 2380-2387, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf073388r>.

ROMERO-LOPEZ, M. R.; OSORIO-DIAZ, P.; BELLO-PEREZ, L. A.; TOVAR, J.; BERNARDINO-NICANOR, A. Fiber concentrate from orange (*Citrus sinensis* L.) bagasse: characterization and application as bakery product ingredient. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 4, p. 2174-2186, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms12042174>.

ROSA, J. M. A.; PINHEIRO, I. R. Planejamento experimental dccc aplicando a hidrólise enzimática do bagaço de laranja empregando as enzimas celulasas e pectinases. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 3191-3208, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n1-216>.

SILVA, C. E. F.; GAMA, B. M. V.; OLIVEIRA, L. M. T. M.; ARAUJO, L. T.; ARAUJO, M. L.; OLIVEIRA JUNIOR, A. M.; ABUD, A. K. S. Uso da laranja lima e seus resíduos no desenvolvimento de novos produtos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 1, p. 69-96, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18011/bioeng2016v10n1p69-96>.

SILVA, F. L. H.; SERRANO, M.; GOMES, J. P.; SANTOS, S. F. M.; ALCÂNTARA, S. Caracterização físico-química do resíduo do bagaço de laranja para obtenção de pectinase através do cultivo em estado sólido. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS E SIMPÓSIO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSAS (SHEB), 2015, Fortaleza. **Anais [...]. Anais do Simpósio Nacional de Bioprocessos**. Fortaleza, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.17648/sinaferm-2015-33870>.

SILVA, G. F. **Avaliação do potencial do bagaço de laranja industrial peletizado para a produção de butanol por *Clostridium beijerinckii* via fermentação acetona-butanol- etanol**. 2019. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/11216>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SILVA, L. A. S.; OLIVEIRA, V. C.; MENDES, F. B. Principais aplicações dos resíduos da laranja e sua importância industrial. **Revista Artigos. Com**, v. 22, e5139, 2020. Disponível em: <https://acervomais.com.br/index.php/artigos/article/view/5139>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

SLUITER, A.; HAMES, B.; RUIZ, R.; SCARLATA, C.; SLUITER, J.; TEMPLETON, D.; CROCKER, D. **Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass: Laboratory Analytical Procedure (LAP)** (Revised July 2011). 2008. Disponível em: http://www.nrel.gov/biomass/analytical_procedures.html. Acesso em: 26 jun. 2023.

SOARES, G. H. B. **Bagaço de laranja na alimentação de vacas leiteiras**: revisão bibliográfica. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/236168>. Acesso em: 17 jun. 2023.

TAPPI STANDARDS. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp, Test Method T 222 om-21**. 2006. Disponível em: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T222.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2023.

TAPPI STANDARDS. **Carbohydrate composition of extractive-free wood and wood pulp by gas-liquid chromatography - TAPPI T 249**. 2021. Disponível em: <https://ipstesting.com/find-a-test/tappi-test-methods/tappi-t-249-carbohydrate/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

TAPPI STANDARDS. **Moisture in pulp, paper and paperboard, Test Method TAPPI/ANSI T 412 om-22**. 2015. Disponível em: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T412.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2023.

TAPPI STANDARDS. **Solvent extractives of wood and pulp T 204**. 2007. Disponível em: <https://imisrise.tappi.org/TAPPI/Products/01/T/0104T204.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2023.

ULLOA, P. R.; ULLOA, J. A.; RANGEL, B. E. U.; MÁRTIR, K. U. L. Protein isolate from orange (*Citrus sinensis* L.) seeds: effect of high-intensity ultrasound on its physicochemical and functional properties. **Food and Bioprocess Technology**, v. 16, n. 3, p. 589-602, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02956-4>.

VALENÇA, R. L.; FERREIRA, A. C. D.; SANTOS, A. C. P.; SILVA, B. C. D.; SANTOS, G. R. A.; OLIVEIRA, E. S. Composição química e perdas em silagem de bagaço de laranja pré-seco. **Boletim de Indústria Animal**, v. 73, n. 3, p. 206-211, 2016.

VIANA, L. G.; CRUZ, P. S. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. In: , 2016, Cruz das Almas, BA. In: CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 4., Cruz das Almas. **Anais**. [...]. 2016.

ZANELLA, K. **Extração da pectina da casca da laranja-pera (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com solução diluída de ácido cítrico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1621964>. Acesso em: 17 jun. 2023.