

Potencial uso biotecnológico dos resíduos de processamento de frutas

Potencial use of biotchnological from residues of fruit processing

DOI:10.34117/bjdv7n3-685

Recebimento dos originais: 25/02/2021

Aceitação para publicação: 25/03/2021

Carolane Ataides

Graduanda em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Mato Grosso
Universidade Estadual de Mato Grosso
Campus Rene Barbour – Barra do Bugres – MT – Brasil
E-mail: Carolane.ataides@unemat.br

Sara do Nascimento Barbosa

Graduanda em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Mato Grosso
Universidade Estadual de Mato Grosso
Campus Rene Barbour – Barra do Bugres – MT – Brasil
E-mail: sarabbu12@gmail.com

Adileuza Gonçalves das Neves

Licenciatura em ciências biológicas pela UNIVAG e em Química pela Universidade
Federal de Mato Grosso – UFMT
Universidade Estadual de Mato Grosso
Campus Rene Barbour – Barra do Bugres – MT – Brasil
E-mail: adileuzagoncalves@unemat.br

Rosimeire Oenning da Silva

Doutorado em Microbiologia pela Universidade Estadual de São Paulo - UNESP
Universidade Estadual de Mato Grosso
Campus Rene Barbour – Barra do Bugres – MT – Brasil
E-mail: rosimeireoenning@unemat.br

RESUMO

A fruticultura tem se tornado uma das principais atividades desenvolvidas pela agricultura brasileira, sendo que o país é considerado o terceiro maior produtor de frutas do mundo. A maior parte dessa produção é destinada ao processamento industrial de alimentos com a finalidade de atender segmentos de sucos, néctares, drinques, polpas, entre outros, e os resíduos de frutas são responsáveis pela criação de boa parte desses subprodutos que são descartados pelas indústrias, sendo por não estarem adequadas para o processamento ou por deixar restos no final do processamento que não podem ser aproveitados para o consumo como cascas, sementes e bagaço, o que compõe cerca de 30% da massa inicial de frutas processadas. No entanto, a composição lignocelulósica desses materiais é uma das formas mais abundantes de se produzir biocombustíveis e diversos outros produtos químicos por meio de uma matéria-prima renovável, pois através de métodos de hidrolises da estrutura hemicelulósica é possível obter açúcares fermentáveis que podem ser utilizados na produção de etanol e xilitol. Além disso, um dos maiores desafios na atualidade é encontrar uma maneira de ampliar a produção de etanol sem gerar impactos ambientais através da ampliação da área de plantio da matéria prima para o etanol de

primeira geração, portanto o aproveitamento desses resíduos pode se tornar promissor em questões econômicas e ambientais.

Palavras-chave: Resíduos de frutas, hemicelulose, compostos biotecnológicos.

ABSTRACT

Fruit farming has become one of the main activities developed by Brazilian agriculture, in addition Brazil is considered the third largest fruit producer in the world. A large part of this production is destined to industrial food processing with the objective of serve juice segments, nectars, drinks, pulps, among others, and fruit residues are responsible for the creation of a large part of these by-products that are discarded by industries, being because they are not suitable for processing or leaving remains at the end of processing that cannot be used for consumption such as shells, seeds and bagasse, which 30% of the initial mass from processed fruits. However, the lignocellulosic composition of these materials is one of the most abundant ways to produce biofuels and various other chemicals through a renewable raw material, because through hydrolysis methods of the hemicelulosic structure it is possible to obtain fermentable sugars that can be used in the production of ethanol and xylitol. Besides that, one of the biggest challenges nowadays is to find a way to expand ethanol production without generating environmental impacts through the expansion of the area of raw material planting for first generation ethanol, therefore the use of these residues can become promising in economic and environmental issues.

Keywords: Fruit residues, hemicellulose, biotechnological compounds.

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura tem se tornado umas das principais atividades desenvolvidas pela agricultura brasileira. A maior parte dessa produção é destinada ao processamento industrial de alimentos com a finalidade de atender segmentos de sucos, néctares, drinques, polpas, entre outros. E o restante da produção é destinada ao consumo in natura. (OLIVEIRA, 2018; EMBRAPA, 2019). Com o aumento da população mundial, há uma elevação na produção de alimentos industrializados. Com uma produção em larga escala de alimentos provenientes de frutas como citado anteriormente, também é gerado uma quantidade significativa de resíduos oriundos dos processamentos. de alimentos provenientes de frutas como citado anteriormente, também é gerado uma quantidade significativa de resíduos oriundos dos processamentos. Como citado anteriormente, também é gerado uma quantidade significativa de resíduos oriundos dos processamentos. Os resíduos de frutas são responsáveis pela criação de boa parte desses subprodutos que são descartados pelas indústrias, sendo por não estarem adequadas para o processamento ou por deixar restos no final do processamento como cascas, sementes e bagaço, o que compõe cerca de 30% da massa inicial de frutas processadas, gerando cerca de 360 kt/ano

o que representa aproximadamente 60% do total de frutas processadas (GOWMAN et. al., 2019; SETTE et. al., 2020).

Esses resíduos industriais são geralmente destinados a produção de adubos ou ração animal, enquanto os que são consumidos in natura são simplesmente descartados no lixo. Porém, esses resíduos podem ser uma fonte alternativa para o desenvolvimento de diversos produtos com valor agregado por meio de seu conteúdo lignocelulósico, dessa forma o uso desses resíduos para a realização de outras atividades pode se tornar uma ação sustentável em relação aos setores econômicos, social e ambiental (MADEIRA, 2017).

Contudo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar por meio de uma revisão bibliográfica narrativa a potencial aplicação de resíduos frutíferos na produção de compostos de importância biotecnológica, além de descrever os principais métodos utilizados para a obtenção desses compostos e a aplicação desses para o desenvolvimento de subprodutos economicamente relevantes.

2 PANORAMA DA FRUTICULTURA NO BRASIL

O Brasil possui um território amplo com uma extensão de 8,5 milhões de km² e que juntamente a diversidade de climas entre temperado e tropical faz com que ele seja um potente desenvolvedor de atividades relacionadas a fruticultura, tanto que é considerado o terceiro maior produtor de frutas do mundo, com uma grande variedade de produção de frutas tropicais, subtropicais e temperadas, o que tem atraído a atenção dos consumidores de diversos países (VIRGOLIN, 2017, UEKANE, 2017, CARNEIRO, 2018).

A fruticultura tem se tornado umas das principais atividades desenvolvidas pela agricultura brasileira, sendo responsável por uma produção que ultrapassa a faixa de 40 milhões de toneladas por ano, sendo que 47% dessa produção é destinada ao consumo in natura e os demais 53% são destinados a processos industriais que envolvem a fabricação de doces, néctares, sucos, geleias, poupas, licores, dentre outros produtos (NOLETO, 2018).

Em relação ao mercado de frutas cítricas que tem se tornado um dos setores mais importantes e reconhecidos no mundo, entre os anos de 2013 e 2014 atingiu uma produção global de 121,3 milhões de toneladas destes produtos, no entanto o que mais se destacou nesse mercado foi a laranja (*Citrus sinensis*) com 58 % desse valor. Nos anos 2017 e 2018, a produção mundial de laranjas atingiu um valor de 47,75 milhões de

toneladas, sendo o Brasil responsável por 34 % desse valor (PACHECO et. al., 2018; SUZUKI, 2019; TACON, 2018).

Frutas como a maçã que possuem uma produção mundial de cerca de 74,2 milhões de toneladas no ano o que gera aproximadamente 14,8 milhões de toneladas de resíduos segundo dados de 2018, enquanto a abacaxi que possui uma produção de aproximadamente 25,8 milhões de toneladas gera cerca de 7,74 milhões de toneladas de resíduos de acordo com dados de 2017 (ALTENDORF, 2019; GOWMAN, 2019; USDA, 2018).

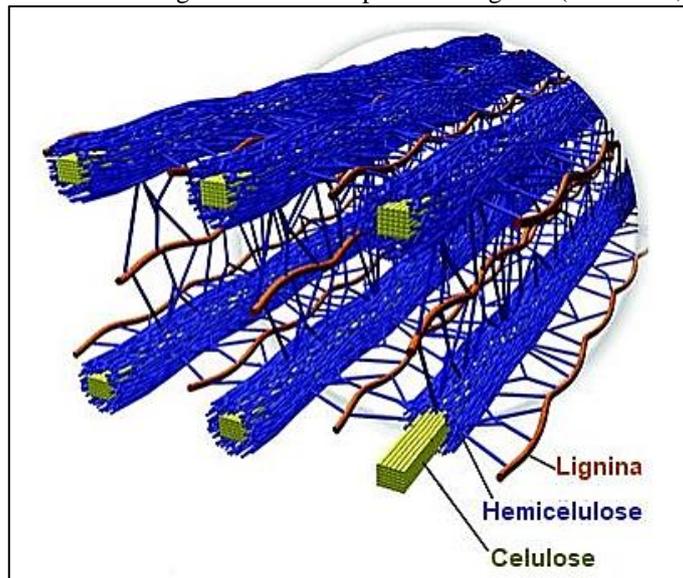
Entretanto, apesar dos diversos pontos positivos que a fruticultura trouxe para a economia brasileira, os processamentos industriais que possuem frutas como matéria prima assim como o consumo in natura geram uma importante quantidade de resíduos como cascas, sementes e bagaço, que quando descartados sem passar por um tratamento adequado podem gerar certos impactos ambientais tanto em solo como em corpos hídricos, fazendo com que isso se torne motivo de preocupação. Além disso, também ocorre o baixo aproveitamento econômico desses resíduos quando eles são destinados para produção de adubo e/ou ração animal (QURESHI, 2019).

Portanto, ambos aspectos, ambiental e econômico, podem ser atendidos considerando a composição benéfica destes resíduos, como os açúcares solúveis fermentáveis, incluindo glicose, frutose e sacarose, juntamente com celulose estrutural e hemicelulose, ou seja, a composição de nutrientes e a disponibilidade abundante desses resíduos frutíferos os tornam uma excelente fonte de biomassa para a produção de diversos subprodutos que suprem a indústria alimentícia e alcooleira (SARKAR, 2019; USDA, 2018; ALTENDORF, 2019).

3 LIGNOCELULOSE

A lignocelulose é a principal fonte de biomassa na estrutura das plantas, sendo a forma mais abundante de se produzir biocombustíveis e diversos outros produtos químicos por meio de uma matéria-prima renovável. Ela compreende uma mistura de polímeros de carboidratos de celulose e hemicelulose embutidos em uma matriz de lignina (MA et. al., 2018; ROCHA-MARTÍN et. al., 2017; WANG, 2020). Na figura 1 podemos ver os três componentes que constituem a biomassa lignocelulósica.

Figura 1: Estrutura lignocelulósica de plantas e vegetais (FREITAS, 2019)



4 HEMICELULOSE

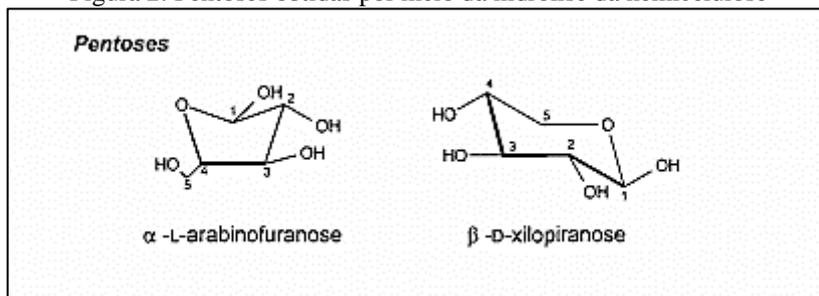
Estudos mostram que resíduos de melão gerados por meio das produções de suco e melão em calda, possuem cerca de 15,3 % de conteúdo hemicelulósico, no entanto, eles são tratados como resíduos inúteis e conseqüentemente são descartados (AGUILERA-SÁEZ et. al., 2019; LUCAS-TORRES et. al, 2016).

Algumas indústrias trabalham com a produção de subprodutos da laranja que são produzidos durante o processamento de sucos. Esses subprodutos são geralmente óleos essenciais, D-Limoneno e farelo de polpa cítrica que visam atender as necessidades de outras indústrias como as de cosméticos, fármacos ou até mesmo nas de alimentos, enquanto os resíduos sólidos são comumente tratados e destinados para a produção de ração animal. Porém, estudos mostram que somente o bagaço da laranja possui uma composição de hemicelulose em uma faixa de 26,45 %, e a casca apresenta uma composição de 14 % a 16 %. Isto faz com que ela se torne uma das principais alternativas para a produção de xilitol e/ou etanol de segunda geração (BENEVIDES, 2015; TSOUKO et. al., 2020).

Sette et. al. (2020) relata que o teor hemicelulósico em bagaços de uva é de aproximadamente 5,2% e o talo é de 6,1%, enquanto o bagaço de maçã contém uma composição de 10,6% de hemicelulose em sua estrutura. Gowman et. al. (2019) relata que a quantidade de hemicelulose presente na biomassa da maçã é de 27,77%, uva (6,9%), folha de abacaxi (19,5%) e casca de manga (14,51%).

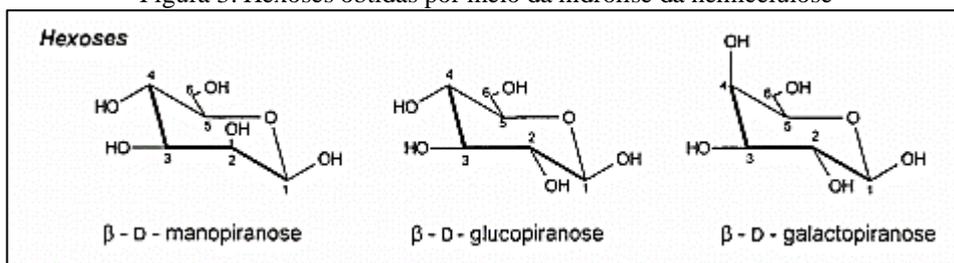
Portanto, a hemicelulose é o segundo componente mais abundante que compõe a biomassa lignocelulósica ficando somente atrás da celulose, o que a faz ser um dos biopolímeros mais encontrados na natureza e presente em produtos agroindustriais, ela é constituída por uma mistura de carboidratos do tipo hexoses, pentoses, Deoxi-hexoses e ácido glucorônico (RÉMON et. al., 2019). As figuras 2, 3, 4 e 5 mostram a estrutura desses carboidratos que constituem a hemicelulose.

Figura 2: Pentoses obtidas por meio da hidrólise da hemicelulose



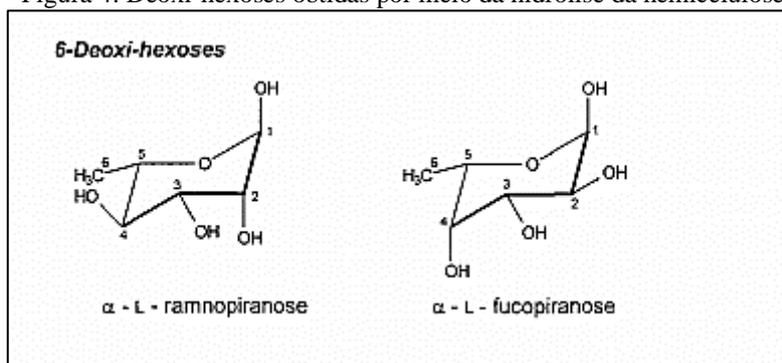
(EMMEL, 1999)

Figura 3: Hexoses obtidas por meio da hidrólise da hemicelulose



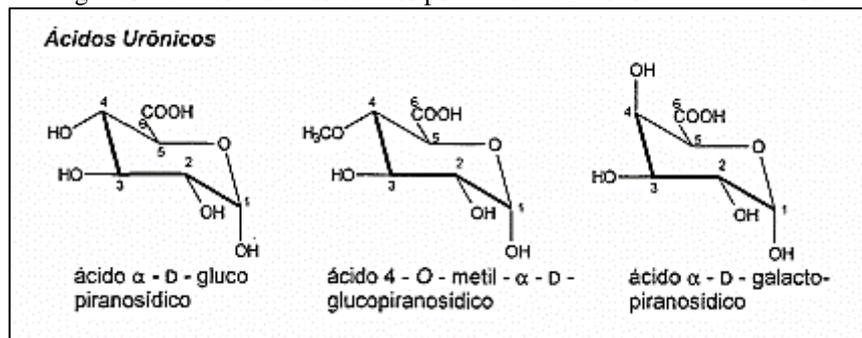
(EMMEL, 1999)

Figura 4: Deoxi-hexoses obtidas por meio da hidrólise da hemicelulose



(EMMEL, 1999)

Figura 5: Ácidos urônicos obtidos por meio da hidrólise da hemicelulose



(EMMEL, 1999)

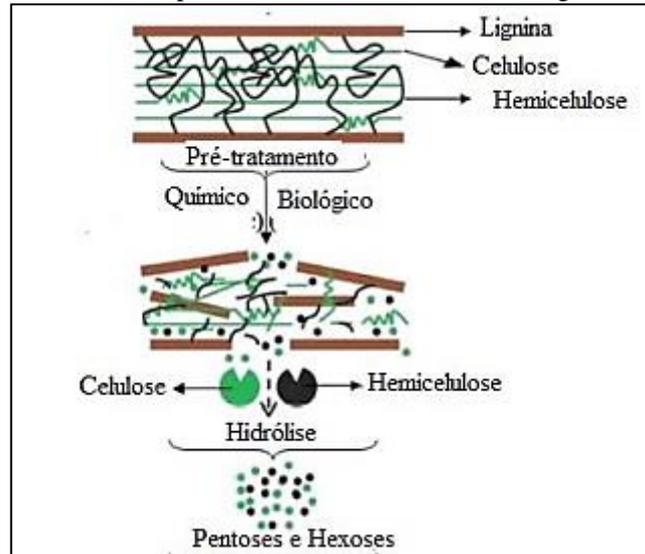
Esses compostos podem ser extraídos dos resíduos frutíferos por meio do uso de métodos de extração adequados, sendo que o fator determinante para a eficiência desse processo se baseia nas condições operacionais de extração (tipo de solvente, temperatura e tempo). Juntamente a hemicelulose podemos encontrar o xilano, um polissacarídeo de estrutura complexa, que quando degradado libera xilose que pode ser convertida em diferentes compostos de valor agregado como o xilitol e o etanol. Portanto, por ser mais instável em comparação à celulose e lignina as condições de pré-tratamento são menos severas para sua degradação, que pode ser feita por vias químicas ou bioquímicas (BANERJEE et. al., 2019; UEDA, 2019).

A xilose é um dos carboidratos mais encontrados na natureza e a sua produção geralmente está associada a um isolamento por meio da hidrólise ácida, enzimática ou por aplicação de calor da hemicelulose contida no bagaço da cana-de-açúcar ou sabugo de milho, porém a busca de fontes alternativas para este componente tem se tornado de suma importância nos últimos anos já que, seus subprodutos tem sido cada vez mais demandados pelas indústrias farmacêuticas e alimentícias que usam o xilitol como adoçante alternativo de baixa caloria, além de ser uma opção para incrementar a produção de biocombustível (SUN et. al., 2018).

5 HIDRÓLISE ÁCIDA

Um dos métodos mais antigos empregados para realizar uma hidrólise é a técnica de hidrólise ácida que pode ser classificada em duas formas, a que usa ácido concentrado (concentração maior que 5% m/v) e ácido diluído (concentração menor que 5% m/v). Os ácidos mais empregados nessa técnica são o clorídrico (HCl), nítrico (HNO₃), fosfórico (H₃PO₄) e sulfúrico (H₂SO₄), sendo o último o mais utilizado (LOOW et. al., 2016). A figura 6 mostra o efeito do processo de hidrólise na estrutura lignocelulósica.

Figura 6: Efeito do processo de hidrólise na estrutura lignocelulósica



(CORTIVO, 2017)

Quando a biomassa lignocelulósica é submetida ao processo de hidrólise ácida além de ocorrer a liberação de xilose também ocorre a formação de hidroximetilfurfural e furfural, um composto que pode ser utilizado para a produção de biocombustíveis especiais como metiltetrahydrofurano e metilfurano, éteres etilfurfuril e etiltetrahydrofurfuril, ésteres de valerato e vários derivados de petróleo, além de aprimorar produtos para que eles possam se tornar substitutos da gasolina ou misturas para diesel (KANG et. al., 2018).

Apesar de que o pré-tratamento ácido ser considerado umas das melhores alternativas devido a sua alta atividade catabólica e por se tratar de um processo de alta eficiência, estudos relatam que com o aumento da severidade desse tratamento com ácido leva ao aumento da formação de inibidores fermentativos, ou seja, ocorre a produção de compostos que possuem efeito inibitório significativo sobre os microrganismos fermentadores, como é o caso do furfural (LIN et. al., 2015). Portanto, é necessário o uso de métodos para reduzir a concentração desse composto e efetuar destoxificação do hidrolisado.

6 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

A hidrólise enzimática que também é chamada de sacarificação é uma etapa que consiste na clivagem dos polissacarídeos presentes em material lignocelulósico em açúcares como os citados no item 2.2 (SILVA J., 2017).

O processo de hidrólise enzimática da hemicelulose contida na biomassa lignocelulósica ainda é considerado limitado devido a organização desse componente juntamente com a celulose e lignina, além disso ele pode sofrer grandes impactos relacionados a mudanças estruturais da biomassa decorrentes do pré-tratamento, sendo que o tamanho da biomassa é crucial para a taxa de reação, transferência de massa, propriedade reológica da hidrólise e conseqüentemente para os processos de fermentação (FREITAS, 2019; GU et. al., 2018).

Portanto, foram avaliados diversos métodos de pré-tratamento da biomassa lignocelulósica de forma que estes venham apresentar baixo custo operacional e uma ótima eficiência no final do processo da conversão de bioenergia, como o pré-tratamento ácido, alcalino, com líquido iônico, biológico, AFEX, SPORL e organosolv (XU et. al., 2019; HASSAN et. al., 2018; CHEN and WAN, 2018; YAMADA et. al., 2017). No entanto de acordo com Xu et. al. (2015), de todos os pré-tratamentos citados anteriormente o método físico-químico mais eficiente é o tratamento à base alcalina assistida por refino mecânico, a qual reduziria o grau cristalino da biomassa e melhoraria a acessibilidade das enzimas.

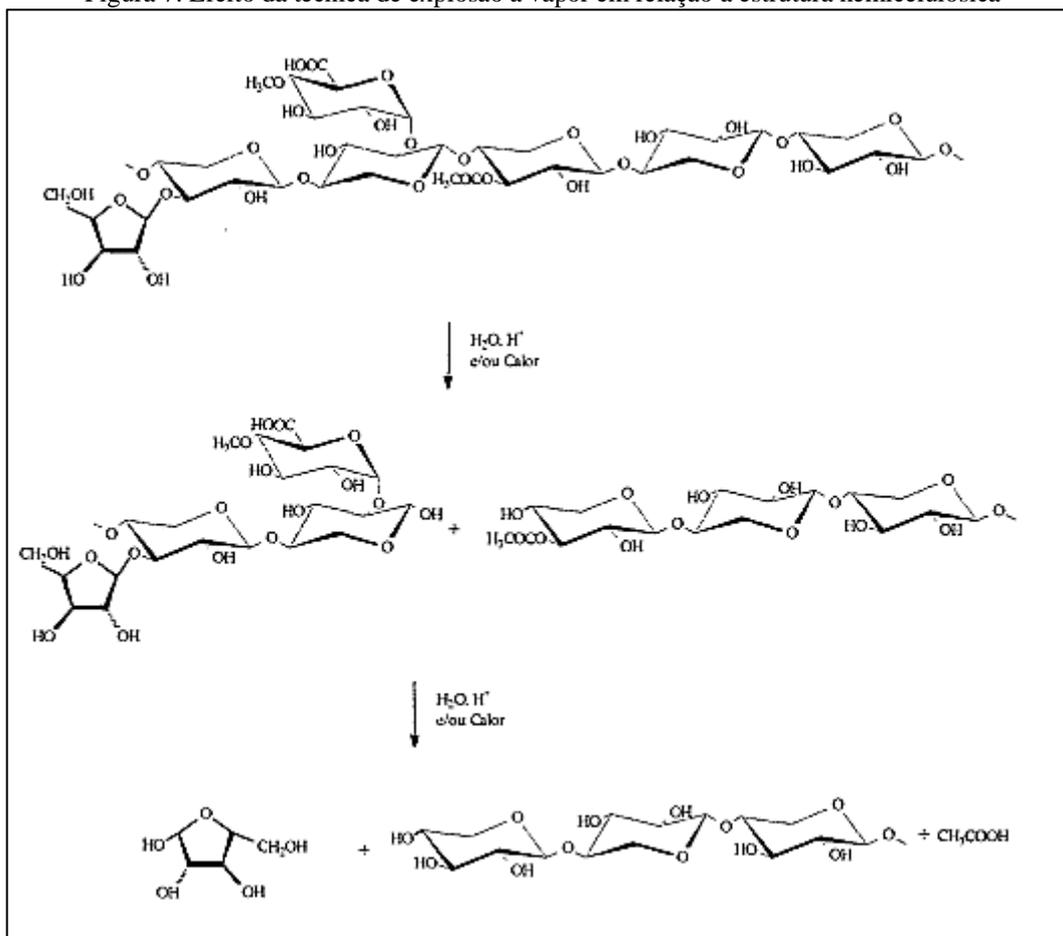
7 TÉCNICA DE EXPLOSÃO A VAPOR

A técnica de explosão a vapor é um pré-tratamento térmico que tem sido reconhecido como um processo alternativo e promissor para o tratamento de biomassa lignocelulósica por se tratar de um processo rápido, simples, eficiente, que permite tratar uma maior quantidade de biomassa e por requerer menor uso de produtos químicos considerados perigosos, consumo de energia, toxicidade humana e impacto ambiental em comparação com outros tratamentos. Ela consiste em aplicar vapor submetido a pressão em uma alta temperatura à biomassa, seguida da rápida liberação da pressão para causar uma explosão de vapor. Durante a técnica de explosão a vapor que pode ser realizada com presença de catalisadores ou não, a biomassa é submetida por um determinado tempo que pode ser de segundos à minutos em temperaturas que variam de 160 °C a 240 °C e pressões de 0,7 a 4,8 MPa (LAMB et. al., 2019; SILVA, 2017).

Segundo Tanpichai et. al. (2019), o método de explosão a vapor poderia ser entendido como um processo termomecânico, composto por três efeitos condizentes: calor a partir do vapor, força de cisalhamento gerada a partir da expansão da umidade e ácido acético formado durante a hidrólise de grupos de acetil da hemicelulose obtida a partir das fibras de celulose. Isso leva à ruptura da estrutura lignocelulósica, conversão

de hemicelulose em oligômeros solúveis em água e açúcares individuais e danos da ligação entre hemicelulose e lignina. Além disso, a dissolução parcial da lignina e hemicelulose utilizando o tratamento de explosão de vapor tem sido efetivamente semelhante à tratada com o tratamento alcalino. A figura 7 descreve o efeito da técnica de explosão a vapor na estrutura hemicelulósica.

Figura 7: Efeito da técnica de explosão a vapor em relação a estrutura hemicelulósica



(EMMEL, 1999)

De acordo com Freitas (2019), esse processo hidrotérmico modifica a estrutura do conteúdo lignocelulósico solubilizando oligômeros e monômeros de xilose e geralmente é um processo eficiente, no entanto isso vai depender da quantidade de hemicelulose e de sua composição de ramificação. Por isso essa técnica é geralmente destina a biomassas com maior teor de xilana, como resíduos agroindustriais.

8 PRODUÇÃO DE XILITOL

O xilitol é um poliol que é obtido por meio de matérias primas lignocelulósicas que quando submetidas ao processo de hidrólise liberam xilose que é o composto base para a produção deste açúcar, o qual contém o mesmo potencial adoçante da sacarose (PEREIRA et. al., 2020).

A sua produção é baseada na redução química da xilose obtida pela hidrólise dos compostos que compõe a estrutura da madeira, o que geralmente consome muita energia e resultam em altos custos de processo com um produto final de custo elevado, no entanto, o processo fermentativo tem mostrado ser uma alternativa econômica e eficiente para a produção de xilitol (KUMAR et. al., 2019).

Esse produto fornece diversas propriedades como sabor, doçura, sensação de frescor e baixo valor energético, e além disso, é considerado uma das melhores alternativas para a substituição da sacarose. Portanto, ele tem sido amplamente usado na produção de alimentos e fármacos por possuir atividades anticariogênicas e por influenciar de forma quase insignificante nos níveis de glicose e insulina no sangue (ZHANG et. al., 2018).

Isso contribuiu com o crescente consumo de xilitol, já que a previsão de produção desse produto para 2020 era de 242.000 toneladas, e que se comparada a 2013 que foi de 160.000 toneladas, nos mostra que ela quase dobrou no decorrer desses anos. Dessa forma, a busca por alternativas de fontes de xilose que possam ser utilizadas para auxiliar a produção desse produto, assim como encontrar alternativas para tornar o processo menos oneroso tornando o produto final com valor mais acessível é de extrema importância (ZHANG et. al., 2018).

De acordo com Ricardino et. al (2020) e Medeiros et. al. (2017), no hidrolisado do pedúnculo do caju contém xilose como açúcar predominante, seguida por glicose e arabinose. Logo após submeter a biomassa lignocelulosica desses resíduos a uma hidrólise ácida esses açúcares foram obtidos e foram consumidos em apenas 12 horas de fermentação, obtendo uma produção de 100% de xilitol em 48 horas de processo fermentativo.

9 PRODUÇÃO DE ETANOL 2G

O etanol de segunda geração se distingue do etanol de primeira geração pelo fato de possuir como matérias primas resíduos sólidos que contenham uma boa fonte de açúcares fermentáveis, que geralmente são provenientes da cana de açúcar. No entanto,

com a alta demanda por biocombustíveis é necessária uma maior área de plantio o que gera um maior impacto ambiental (BORGES and GIGLIOLLI, 2020).

Portanto, um dos maiores objetivos de pesquisas ultimamente é buscar fontes alternativas para a produção de energia renovável como, por exemplo, combustíveis derivados de biomassa lignocelulósica. O material lignocelulósico é uma opção de substrato para a produção de etanol de segunda geração, devido ao seu baixo custo e pela alta disponibilidade de matéria-prima, como os resíduos agroindustriais. Esses resíduos podem conter até 30 % de hemicelulose em sua composição estrutural, isso significa que existe uma grande concentração de pentoses como xilose e arabinose nesses materiais, que podem tornar a produção de etanol de segunda geração muito mais eficiente (GARCÍA-ACERO et. al., 2017).

De acordo com Silva C. et. al. (2018), a produção de etanol de segunda geração por meio dos resíduos de abacaxi pode se um ótimo potencializador para a produção desta fruta e para agregar valor ao que é descartado, pois as fibras do abacaxi não possuem uma recalcitrância forte e conseqüentemente não é necessário um pré-tratamento severo, portanto há uma redução de custos no processo.

Leonel et. al. (2020) relata que o bagaço de maçã possui um grande potencial para a produção de compostos biotecnológicos de alto valor agregado, como etanol e xilitol. Segundo Kut et. al. (2020), o bagaço da maçã contém uma quantidade considerável de pentoses a quais não podem ser utilizadas pelo microrganismo *Saccharomyces cerevisiae* que é o mais utilizado na produção de etanol de primeira geração, no entanto o uso do microrganismo *P. stipitis* consegue obter uma produção de 14,36 g/L de bioetanol por meio do bagaço de maçã.

Análises efetuadas por Moura et. al. (2020) indicam uma viabilidade no uso de cascas de banana para a produção de bioetanol, devido a grande formação desses resíduos gerada pelo alto consumo dessa fruta.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil é uma país que possui um amplo território é uma diversidade de climas, o que contribui para o desenvolvimento de diversas atividades econômicas incluindo a produção de grandes variedades de frutas que é uma atividade denominada fruticultura. Com isso, os processos voltados para o processamento em larga escala de frutas têm se tornado cada vez mais frequente, o que causa a geração de uma elevada quantidade de

resíduos orgânicos que não podem ser aproveitados durante o processo ou para a produção de outro produto voltado para a alimentação.

Esses resíduos geralmente são descartados ou utilizados como fertilizantes, no entanto ao avaliar diversas bibliografias percebe-se que esses materiais podem conter um grande potencial biotecnológico devido a sua composição lignocelulósica que pode ser utilizada para a produção de etanol de segunda geração e xilitol. Além disso, um dos maiores desafios na atualidade é encontrar uma maneira de ampliar a produção de etanol sem gerar impactos ambientais através da ampliação da área de plantio da matéria prima para o etanol de primeira geração, portanto o aproveitamento desses resíduos pode se tornar promissor em questões econômicas e ambientais, principalmente para a economia brasileira já que o país é considerado o terceiro maior produtor de frutas do mundo e consequentemente uma grande geração de resíduos oriundos dessa atividade.

REFERÊNCIAS

Aguilera-Sáez, L. M.; Arrabal-Campos, F. M.; Callejón-Ferre, A. J.; Medina, M. D. S.; Fernández, I. Use of multivariate NMR analysis in the content prediction of hemicellulose, cellulose and lignin in greenhouse crop residues. *Phytochemistry*, Elsevier, v. 158, 2019, p. 110-119. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031942218305181>.

Altendorf, S. Major tropical fruits Market Review 2017. Food and agriculture, Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2019.

Banerjee, S.; Patti, A.F.; Ranganathan, V.; Arora, A. Hemicellulose based biorefinery from pineapple peel waste: Xylan extraction and its conversion into xilooligosaccharides. *Food and Bioproducts Processing*, v. 117, 2019, p. 38-50. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308519300835>.

Benevides, L. C. Pirólise do bagaço de laranja: análise cinética dos estágios de secagem e devolatização. Dissertação (Mestrado em Energia), Centro Universitário do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, 2015. [Acesso em 11 de set. de 2020]. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/1864>.

Borges, C. P.; Giglioli, A. A. S. Avaliação do acervo de informações de teores de celulose, hemicelulose e lignina na biomassa do bagaço de cana de açúcar. V. 6. *Braz. J. of Develop.*, 2020, p. 71782-71791. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Avaliação do acervo de informações de teores de celulose, hemicelulose e lignina na biomassa do bagaço de cana de açúcar / Evaluation of the information collection of cellulose, hemicellulose and lignin contents in sugarcane bagasse biomass | Borges | Brazilian Journal of Development \(brazilianjournals.com\)](#).

Chen, Z.; Wan, C. Ultrafast fractionation of lignocellulosic biomass by microwaveassisted deep eutectic solvent pretreatment. V. 250. *Bioresource Technology*, 2018, p.532-537. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Ultrafast fractionation of lignocellulosic biomass by microwave-assisted deep eutectic solvent pretreatment - ScienceDirect](#).

Cortivo, P. R. D. Produção de etanol e xilitol por linhagens recombinantes de *Saccharomyces cerevisiae* e novas espécies de *Spathaspora* a partir de hidrolisados da casca de aveia e soja. 114 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Industrial), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciências Básicas de Saúde, 2017, p. 13-37. [Acesso em 04 de set. de 2020]. Disponível em: [Produção de etanol e xilitol por linhagens recombinantes de Saccharomyces cerevisiae e novas espécies de Spathaspora a partir de hidrolisados da casca de aveia e soja \(ufrgs.br\)](#).

Emmel, A. Caracterização do efeito da explosão a vapor sobre as propriedades físico-químicas da lignina de *Eucalyptus grandis*. Dissertação (Mestrado em Química, Área de Concentração Química Orgânica), Universidade Federal do Paraná, 1999. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/28218>

Freitas, C. Hidrólise enzimática de hemicelulose do pseudocaule de bananeira com endoxilanase I de *aspergillus versicolor* para produção de xilo-oligossacarídeos e avaliação do seu efeito prebiótico. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, 2019. Disponível em: [Hidrólise enzimática de hemicelulose do pseudocaule de bananeira com endoxilanase I de *Aspergillus versicolor* para produção de xilo-oligossacarídeos e avaliação do seu efeito prebiótico \(unesp.br\)](#).

Gowman, A. C.; Picard, M. C.; Lim, L.; Misra, M.; Mohanty, A. K. Fruit waste valorization for biodegradable biocomposite applications: A review. v. 14. BioResources, 2019, p. 10047-10081. [Acesso em 22 de fev. de 2021]. Disponível em: [Fruit Waste Valorization for Biodegradable Biocomposite Applications: A Review | Gowman | BioResources \(ncsu.edu\)](#).

Gu, H.; An, R.; Bao, J. Pretreatment refining leads to constant particle size distribution of lignocellulose biomass in enzymatic hydrolysis. V. 352. Chemical Engineering Journal, 2018, p. 198-205. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Pretreatment refining leads to constant particle size distribution of lignocellulose biomass in enzymatic hydrolysis - ScienceDirect](#).

Hassan, S. S.; Williams, G. A.; Jaiswal, A. K. Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. V. 262. Bioresource Technology, 2018, p. 310-318. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass - ScienceDirect](#).

Kang, S.; Fu, J.; Zhang, G. From lignocellulosic biomass to levulinic acid: a review on acid-catalyzed hydrolysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 94, 2018, p. 340-362. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118304520>.

Kumar, V.; Sandhu, P. P.; Ahluwalia, V.; Mishra, B. B.; Yadav, S. K. Improved upstream processing for detoxification and recovery of xylitol produced from corncob. Bioresource Technology, v. 291, 2019, p. 1-5. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852419311617>.

Kut, A.; Demiray, E.; Karatay, S. E.; Donmez, G. Second generation bioethanol production from hemicellulolytic hydrolyzate of apple pomace by *Pichia stipitis*. Journal Energy Sources, v. 41, 2020, p. 1-12. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Second generation bioethanol production from hemicellulolytic hydrolyzate of apple pomace by *Pichia stipitis*: Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects: Vol 0, No 0 \(tandfonline.com\)](#).

Lamb, J. J.; Islam, M. H.; Hjelme, D. R.; Pollet, B. G.; Lien, K. M. Effect of power ultrasound and fenton reagentes on the biomethane potential from steam-exploded birchwood. Ultrasonics – Sonochemistry, v. 58, 2019, p. 1-5. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417719308909>.

Leonel, L. V.; Sene, L.; Cunha, M. A. A.; França, K. C.; Felipe, M. G. A. Valorization of apple pomace using bio-based technology for the production of xylitol and 2G ethanol.

Bioprocess and Biosystems Engineering, v. 43, 2020, p. 2153-2163. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Valorization of apple pomace using bio-based technology for the production of xylitol and 2G ethanol | SpringerLink](#).

Lin, R.; Cheng, J.; Ding, L.; Song, W.; Zhou, J.; Cen, K. Inhibitory effects of furan derivatives and phenolic compounds on dark hydrogen fermentation. *Bioresource Technology*, 2015, p. 250-255. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852415010688>.

Loow, Y.; Wu, T. Y.; Jahim, J. M.; Mohammad, A. W.; Teoh, W. H. Typical conversion of lignocellulosic biomasses into reducing sugars using dilute acid hydrolysis and alkaline pretreatment. *Science+Business*, v. 23, 2016, p. 1491-1520. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10570-016-0936-8>.

Lucas-Torres, C.; Lorente, A.; Cabañas, B.; Moreno, A. Microwave heating for the catalytic conversion of melon rind waste into biofuel precursors. *Journal of Cleaner Production*, v. 138, 2016, p. 59-69. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616301949>.

MA, T.; ZHAO, J.; AO, L.; LIAO, X.; NI, Y.; HU, X.; SONG Y. Effects of different pretreatments on pumpkin (*Cucurbita pepo*) lignocellulose degradation. v. 120. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, p. 665-672, 2018. Disponível em: [Effects of different pretreatments on pumpkin \(Cucurbita pepo\) lignocellulose degradation - ScienceDirect](#).

Madeira, P. M. R. Agregação de valor ao resíduo de melão: caracterização, avaliação de atividade antioxidante, antiproliferativa, potencial prebiótico e produção de enzimas. 2017. 241 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia), Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017. [Acesso em 11 de set. de 2020]. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/22716>.

Medeiros, L. L. Bioconversão do Bagaço de Pedúnculo de Caju Hidrolisado para Produção de Etanol e Xilitol. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande – Paraíba, Brasil, v. 21, n. 7, 2017, p. 488-492. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Bioconversion of hydrolyzed cashew peduncle bagasse for ethanol and xylitol production \(scielo.br\)](#).

Moura, I. A. A.; Dantas, J.; Cavalcanti, I. L. R.; Lima, M. M.; Silva, M. C. D. Biomassa proveniente da casca da banana *Musa sapientum*: pre-tratamento e hidrólise ácida para análise da viabilidade na produção de etanol. *Braz. J. of Develop. Curitiba*, v. 6, n° 1, 2020, p. 1975-1987. [Acesso em 22 de fev. de 2021]. Disponível em: [Biomassa proveniente da casca da banana Musa sapientum: pre-tratamento e hidrólise ácida para análise da viabilidade na produção de bioetanol / Banana peel biomass Musa sapientum: pre-treatment and acid hydrolysis for fiability analysis in bioethanol production | de Moura | Brazilian Journal of Development \(brazilianjournals.com\)](#)

Pacheco, M. T.; Moreno, F. J.; Villamiel, M. Chemical and physicochemical characterization of orange by-products derived from industry. v. 99. *Journal of Science of Food and Agriculture, Characterization of orange by-products*, 2019, p. 868-876. [Acesso em 11 de set. de 2019]. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/326418011> Chemical and physicochemical characterization of orange by-products derived from industry.

Pereira, T. N.; Aguiar, A. A.; Gerre, E. B. Obtenção biotecnológica a partir da casca de mandioca (*Manihot esculenta*). *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, v. 8, [3], 2020, p. 187-191. Disponível em: [Periódicos - UFT | Journal of Biotechnology and Biodiversity](#).

Rémon, J.; LI, T.; Chuck, C. J.; Matharu, A. S.; Clark, J. H. Toward renewable-based, food-applicable prebiotics from biomass: A one-step, additive-free, microwave-assisted hydrothermal process for the production of high purity xilooligosaccharides from beech wood hemicelulose. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. v. 7, n. 19, 2019, p. 16160-16172. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.9b03096>.

Ricardino, I. E. F.; Souza, M. N. C.; Neto, I. F. S. Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais. *Alimentos: Ciência, tecnologia e Meio Ambiente*, v. 1, [8], 2020, p. 55-79. Disponível em: [VANTAGENS E POSSIBILIDADES DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS | Feitoza Ricardino | Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente \(ifrr.edu.br\)](#).

Rocha-Martín, J.; Martínez-Bernal, C.; Pérez-Cobas, Y.; Reyes-Sosa, F. M.; García, B. D. Additives enhancing enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass. V. 244. *Bioresource Technology*, 2017, p. 48-56. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Additives enhancing enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass - ScienceDirect](#).

Sarkar, D.; Prajapati, S.; Poddar, K.; Sarkar, A. Production of ethanol by *Enterobacter* sp. EtK3 during fruit waste biotransformation. v. 145. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Department of Biotechnology and Medical Engineering, 2019, p. 1-7. Disponível em: [Production of ethanol by Enterobacter sp. EtK3 during fruit waste biotransformation - ScienceDirect](#).

Sarkar, N.; Ghosh, S. K.; Bannerjee, A.; Aikat, K. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. v. 37. *Renewable Energy*, Department of Biotechnology, 2012, p. 19-27. Disponível em: [Bioethanol production from agricultural wastes: An overview - ScienceDirect](#).

Sette, P.; Fernandez, A.; Soria, J.; Rodriguez, R.; Salvatori, D.; Mazza, G. Integral valorization of fruit waste from wine and cider industries. v. 242. *Journal of Cleaner Production*, 2020, p. 1-11. Disponível em: [Integral valorization of fruit waste from wine and cider industries - ScienceDirect](#).

Silva, C. N.; Bronzato, G. R. F.; Cesarino, I.; Leão, A. L. Second-generation ethanol from pineapple leaf fibers. *Journal of Natural Fibers*, v. 17, 2018, p. 113-121. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Second-generation ethanol from pineapple leaf fibers: Journal of Natural Fibers: Vol 17, No 1 \(tandfonline.com\)](#).

Silva, E. G. Fermentação de licor de hemicelulose advindo do pré-tratamento hidrotérmico do bagaço de malte com as leveduras *Scheffersomyces stipitis* e *Pachysolen tannophilus* para a produção de etanol 2G. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Química), Universidade Federal de Goiás, 2019. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/10043>.

Silva, J. S. Estudo da hidrólise enzimática e fermentabilidade em resíduos lignocelulósicos de Manihot esculenta para a produção de biocombustível. 62 f. Dissertação (Mestrado em Energia da Biomassa), Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo – AL, 2017, p. 12-53. Disponível em: [Repositório UFAL: Estudo da hidrólise enzimática e fermentabilidade em resíduos lignocelulósicos de manihot esculenta para a produção de biocombustível](#).

Silva, T. A. L. Avaliação do pré-tratamento de explosão a vapor catalisado por ácido cítrico e hidróxido de sódio sobre a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Biocombustíveis), Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia, 2017. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/18193>.

Sun, J.; Wang, J.; Tian, K.; Dong, Z.; Liu, X.; Permaul, K.; Singh, S.; Prior, B.; Wang, Z. A novel strategy for production of ethanol and recovery of xylose from simulated corncob hydrolysate. *Biotechnology Letters*, v. 40, 2018, p. 781-788. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10529-018-2537-0>.

Suzuki, L. L. Análise técnico-econômica e ambiental de processos de valorização do resíduo da indústria de suco de laranja. Dissertação (Mestrado em Ciências), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2019. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-28112019141114/publico/LorrayneLinsSuzukicorr.pdf>.

Tacon, M. S. N. Caracterização de biomassas cítricas visando a sua utilização para fins energéticos. 2018. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2018. [Acesso em 11 de set. de 2020]. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/330991>.

Tanpichai, S.; WITAYAKRAN, S.; BOONMAHITTHISUD, A. Study on structural and thermal properties of cellulose microfibrils isolated from pineapple leaves using steam explosion. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, 2019, p. 1-7. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343718307590>.

Tsouko, E.; Maina, S.; Ladakis, D.; Kookos, L. K.; Koutinas, A. Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams. *Renewable Energy*, v. 160, 2020 p. 944-954. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148120308065>.

Ueda, M. Yeast cell surface engineering: Biological mechanisms and practical applications. 1. ed. Singapore: Springer, 2019. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.springer.com/gp/book/9789811358678>.

USDA. Fresh deciduous fruit: World markets and trade (apples, grapes & pears). Uneted States Departamento f Agriculture, Foreign Agricultural, Washington, DC, USA, 2018.

Wang, W.; Wang, X.; Zhang, Y.; Yu, Q.; Tan, X.; Zhuang, X.; Yuan, Z. Effect of sodium hydroxide pretreatment on physicochemical changes and enzymatic hydrolysis of herbaceous and woody lignocelluloses. V. 145. *Industrial Crops & Products*, 2020, p. 1-7. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Effect of sodium hydroxide pretreatment on physicochemical changes and enzymatic hydrolysis of herbaceous and woody lignocelluloses - ScienceDirect](#).

Xu, H.; Che, X.; Ding, Y.; Kong, RY.; Li, B.; Tian, W. Effect of crystallinity on pretreatment and enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass based on multivariate analysis. V. 279. *Bioresource Technology*, 2019, p. 271-280. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Effect of crystallinity on pretreatment and enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass based on multivariate analysis - ScienceDirect](#).

Xua, H.; Yuc, G.; Mua, X.; Zhang, C.; Roussel, P.; Liua, C.; Li, B.; Wangc, H. Effect and characterization of sodium lignosulfonate on alkali pretreatment for enhancing enzymatic saccharification of corn stover. V. 76. *Industrial Crops and Products*, 2015, p. 638-646. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Effect and characterization of sodium lignosulfonate on alkali pretreatment for enhancing enzymatic saccharification of corn stover - ScienceDirect](#).

Yamada, R.; Nakashima, K.; Asai-Nakashima, N.; Tokuhara, W.; Ishida, N.; Katahira, S.; Kamiya, N.; Ogino, C.; Kondo, A. Direct Ethanol Production from Ionic Liquid-Pretreated Lignocellulosic Biomass by Cellulase-Displaying Yeasts. V. 182. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2017, p. 229-237. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: [Direct Ethanol Production from Ionic Liquid-Pretreated Lignocellulosic Biomass by Cellulase-Displaying Yeasts | SpringerLink](#).

Zhang, H.; Yun, J.; Zabed, H.; Yang, M.; Zhang, G.; Qi, Y.; Guo, Q.; Qi, X. Production of xylitol by expressing xylitol dehydrogenase and alcohol dehydrogenase from *Gluconobacter thailandicus* and co-biotransformation of whole cells. *Bioresource Technology*, v. 257, 2018, p. 223-228. [Acesso em 03 de set. de 2020]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085241830292X>.