



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PENEDO
CURSO TÉCNICO INTEGRADO EM AÇÚCAR E ÁLCOOL**

CARLOS MANOEL GUIMARÃES FERREIRA

**PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR
DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**

PENEDO, AL
2022

CARLOS MANOEL GUIMARÃES FERREIRA

PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR
DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio integrado em Açúcar e Álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para obtenção do grau de Técnico em açúcar e álcool.

Orientador: Prof.^o Mirelle Márcio Santos Cabral

Coorientadora: Prof.^a Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha

PENEDO, AL
2022



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Penedo
Biblioteca

F383p

Ferreira, Carlos Manoel Guimarães.

Processo de produção do etanol de segunda geração a partir de resíduos agroindustriais / Carlos Manoel Guimarães Ferreira. – 2022.
20f. ; il.

Orientação: Prof. Mirelle Márcio Santos Cabral.

Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2022.

Trabalho em formato digital.

I. Etanol 2G - Produção. 2. Resíduos - Agroindústria. 3. Biocombustíveis I. Cabral, Mirelle Márcio Santos. II. Título.

CDD: 662

Maria Luzia Alexandre de Oliveira
Bibliotecária/Documentalista
CRB-4/2159

CARLOS MANOEL GUIMARÃES FERREIRA

PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR
DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

Artigo científico apresentado ao Curso Técnico de Nível Médio integrado em açúcar e álcool do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Penedo, como requisito parcial para a obtenção do grau de Técnico em Açúcar e álcool.

APROVADO EM: 31 / 03 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Mirelle Márcio Santos Cabral

Prof. Mirelle Márcio Santos Cabral
(Orientador, docente IFAL *Campus* Penedo)

MSRS

Prof. Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha
(Coorientadora, docente IFAL *Campus* Penedo)

Simonise Figueiredo Amarante Cunha

Prof. Simonise Figueiredo Amarante Cunha
(Membro da banca examinadora, docente IFAL *Campus* Penedo)

PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

SECOND GENERATION ETHANOL PRODUCTION PROCESS FROM AGROINDUSTRIAL RESIDUES

Carlos Manoel Guimarães Ferreira¹

RESUMO

Como consequência da escassez dos combustíveis fósseis que perduram há anos, as fontes de energias renováveis se agravam no presente século sendo uma alternativa promissora e mais sustentável em relação ao meio ambiente. Com a crescente demanda de etanol como combustível, pesquisas vêm sendo desenvolvidas para aumentar a produção desse produto sem aumentar a área de cultivo da planta. Assim, o etanol de segunda geração - 2G surge, sendo produzido através de resíduos muitas vezes descartados de outras culturas. Esses resíduos passam por etapas para fornecer açúcares fermentescíveis e serem, em seguida, fermentados por leveduras. O grande entrave desse produto é o custo elevado da produção que inviabiliza o processo. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo descrever e analisar as etapas do processo de produção do etanol 2G, através de pesquisas bibliográficas abordando também suas principais matérias-primas. Foi possível concluir que o etanol de segunda geração é um produto vantajoso, mas que ainda precisa ser melhor desenvolvido para que o processo se torne viável economicamente.

Palavras-chave: Resíduos; Celulose; Hemicelulose; Lignina; Etanol 2G.

ABSTRACT

As a result of the scarcity of fossil fuels that have lasted for years, the renewable energy sources are getting worse in the present century, being a promising and more sustainable alternative in relation to the environment. With the growing demand for ethanol as a fuel, research has been developed to increase the production of this product without increasing the plant's cultivation area. Thus, second generation ethanol – 2G arises, being produced through waste often discarded from other cultures. These residues go through steps to provide fermentable sugars and are then fermented by yeasts. The major obstacle of this product is the high cost of production that makes the process unfeasible. Thus, the present work aims to describe and analyze the stages of the 2G ethanol production process, through bibliographic research, also addressing its main raw materials. It was possible to conclude that second-generation ethanol is an advantageous product, but it still needs to be developed so that the process becomes economically viable.

¹ Aluno Carlos Manoel Guimarães Ferreira do Curso Técnico em Açúcar e Álcool/IFAL, fcarlinhos157@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a agricultura está fortemente relacionada à economia brasileira, sendo produzidos alimentos tais como cana-de-açúcar, soja, café, mandioca e cereais, onde essa produção resulta em grandes quantidades de resíduos, os quais, em sua grande maioria, são descartados. Essa elevada quantidade de resíduos fornece um impacto negativo ao meio ambiente, devido à alta quantidade de biomassa disponível que não possuem muitas utilizações (BIOTECNOLOGIA, 2021).

A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), aponta que a produção mundial de resíduos agroindustriais alcança 1,3 bilhões de toneladas anualmente, levando em conta que 1/3 dos alimentos potencialmente destinados ao consumo humano são desperdiçados, seja em forma de resíduos provenientes do processamento, ou até mesmo como perda na cadeia produtiva (FAO, 2013).

Numerosas quantidades de resíduos agroindustriais são descartadas pelas indústrias diariamente, às vezes até mesmo de forma incorreta. Esse descarte incorreto traz prejuízos ao meio ambiente, então a reutilização nesse caso se faz necessária. Esses resíduos têm um valor significativo na produção de outros produtos, tendo em vista que representam valiosas matérias-primas com um alto valor agregado (MARZO, 2019). Um desses resíduos gerados na produção de alguns produtos é o bagaço da cana-de-açúcar. Esse material pode ser utilizado como uma das principais matérias-primas para a produção do etanol 2G, pois apresenta uma quantidade significativa de celulose em sua composição, o que favorece para o processo produtivo (ANP, 2016).

Com o aumento de produção do etanol nas últimas décadas, conseqüentemente houve crescimento da geração de resíduos oriundos da cana-de-açúcar, desencadeando interesses de desenvolvimento de novas tecnologias para produção desse biocombustível. Este novo processo aproveita a biomassa lignocelulósica, material composto principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, de culturas não alimentares e resíduos agroindustriais e florestais, e o produto obtido é chamado de etanol de segunda geração, ou simplesmente etanol 2G (HEMALATHA, 2015; CADETE, 2012). A utilização desses resíduos atenua a emissão de gases do efeito estufa, além disso, não compete com terras de culturas alimentares (THOMPSON & MEYER, 2013).

Quando comparado aos combustíveis fósseis, o etanol de segunda geração é uma fonte de energia renovável e mais sustentável que surge com o intuito de aumentar a produção sem a necessidade de expandir a área de cultivo (MONTES, 2017). Ao contrário da cana-de-açúcar, que deve ser processada logo após a sua colheita, os resíduos provenientes da produção do etanol de primeira geração, podem ser armazenados e utilizados posteriormente, quando as usinas estão ociosas (BNDES, 2016).

Segundo Pitarello *et. al.*, (2012) enquanto as tecnologias de primeira geração estão baseadas na fermentação de alguns monossacarídeos, a segunda geração consiste na produção de etanol celulósico a partir da quebra de polissacarídeos que estão presentes na parede celular vegetal de resíduos lignocelulósicos, a partir de etapas de pré-tratamento e hidrólise da celulose anteriores à fermentação.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo analisar e descrever o processo de produção do etanol 2G a partir de diferentes resíduos agroindustriais, através de uma minuciosa revisão bibliográfica, abordando todas as etapas envolvidas, desde a matéria-prima até o produto final.

2 PRINCIPAIS MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DO ETANOL 2G

2.1 Bagaço da cana-de-açúcar

O é um tipo de material fibroso e sólido, gerado na etapa de moagem e extração do caldo para a produção de etanol, sendo a parte fibrosa da cana-de-açúcar de açúcar que corresponde a 25% de sua estrutura, pode ser utilizado em vários segmentos desde a queima para fabricação de vapor até a produção do etanol de segunda geração. Como os demais subprodutos fibrosos, é constituído basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, com aproximadamente 40, 30 e 25% respectivamente. A celulose e a hemicelulose estão aglutinadas em um arranjo sistemático incrustado por lignina (PAOLIELLO, 2006).

2.2 Palha da Cana-de-açúcar

A palha da cana-de-açúcar, sendo toda a parte aérea da planta menos os colmos industrializáveis, é constituída basicamente por celulose, hemicelulose e lignina com aproximadamente 40, 30 e 25%, respectivamente. Trabalhos realizados por Silva (2009) com a palha da cana *in natura* mostraram que o material apresenta 38% de celulose, 29% de hemicelulose e 24% de lignina. Aguilar et. al. (1989) verificaram que a palha da cana apresenta um teor de cinzas entre duas a quatro vezes maior do que o bagaço da cana, variando de acordo com o local no qual o material é coletado e condições climáticas.

2.3 Casca do coco verde

Brasil é o quinto maior produtor mundial de coco, com a participação de 4,5% da produção total. O consumo da água de coco (100 a 350 milhões de litros/ano), impulsionado pela inclusão de hábitos saudáveis no comportamento da população brasileira, traz consigo problemas quanto ao que se deve fazer com o subproduto (cascas), que constituem 80 a 85% do peso bruto do fruto. Normalmente depositadas em lixões a céu aberto, vazadouros, encostas e aterros sanitários, além de degradarem a paisagem e produzirem mau cheiro, contribuindo para a transmissão de doenças, transformam-se em um sério problema ambiental ao encontrar condições anaeróbias para a produção de gás metano, um dos gases mais importantes do efeito estufa (ROSA et. al., 1998; BRITO et. al., 2004)

Estudos realizados por Cabral et. al. (2017) constataram que a caracterização química da fibra da casca do coco verde demonstrou elevada concentração de lignina, com valor médio de 40,10%, justificando o alto grau de durabilidade e resistência deste material, e quantidade de celulose representativa (24,70%), oferecendo boas condições para sua utilização na produção de etanol de segunda geração.

2.4 Resíduos do milho

A palha e o sabugo do milho são importantes subprodutos da indústria do milho. A palha é obtida ainda durante a colheita e na maioria dos casos não possui uma

utilização definida, o que a torna um resíduo. Já o sabugo, parte interna e mais densa do milho, é o resíduo gerado após o milho ser debulhado e geralmente é usado para ração animal (SANTOS, 2014). Para cada tonelada de milho processado são gerados, aproximadamente, 180 kg de sabugo (TORRE, 2008; TSAI, 2001) e 700 kg de palha (HORST, 2013).

Rocha (2017) constatou que a caracterização da palha e do sabugo de milho mostrou que essas biomassas são promissoras, visto que possuem teores consideráveis de material fermentescível e que a etapa de pré-tratamento promove significativa remoção de hemicelulose e lignina, compostos indesejáveis quando se realiza a etapa de fermentação empregando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. O ideal é que se obtenha com o pré-tratamento um efeito suave sobre a fração celulósica aliado a uma elevada solubilização de hemicelulose e lignina. Em seus estudos os resultados apresentaram perda considerável de celulose, porém boa remoção de hemicelulose e lignina, chegando ao final do processo a eficiências de fermentação em torno de 87% (ROCHA, 2017).

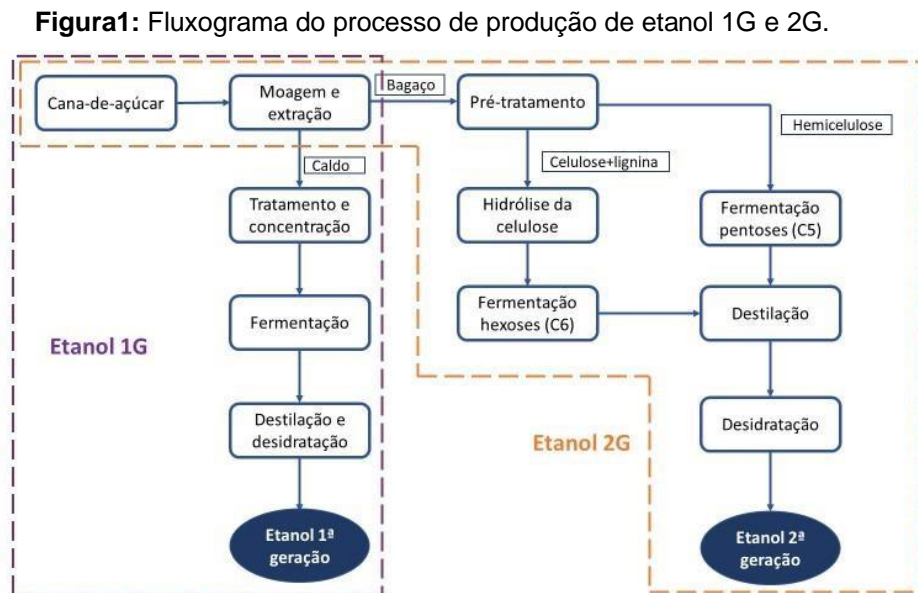
3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO ETANOL 2G

Enquanto a matéria-prima utilizada na produção de etanol de primeira geração - 1G é rica em açúcares fermentáveis, como sacarose, glicose e frutose, prontamente disponíveis e eficientemente fermentados pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* (BERTRAND, 2016), a biomassa lignocelulósica da cana-de-açúcar e do milho é composta principalmente por celulose (34,6 a 45,6%), hemicelulose (18,9 a 36,9%) e lignina (15,10 a 27,6%) (BRAR et al., 2016; DUSSÁN, 2016; YANG., 2016). Os dois primeiros componentes, ao serem quebrados, liberam açúcares como a xilose e a celobiose, as quais não são fermentadas pela levedura *S. cerevisiae* (STAMBUK, 2008).

Diante da complexidade das matérias-primas lignocelulósicas, faz-se necessário um pré-tratamento inicial da biomassa, o que reduz a cristalinidade dos polissacarídeos e remove ou degrada a lignina (deslignificação) (SINGH, 2015). Essa etapa torna a celulose e a hemicelulose mais prontamente disponíveis para as enzimas (celulases e hemicelulases) realizarem a hidrólise e gerarem açúcares

simples a serem fermentados para a produção de etanol de segunda geração (MOSIER, 2005; BHUTTO, 2017).

Na Figura 1 é possível identificar como os processos de produção do etanol 1G e 2G se interligam.

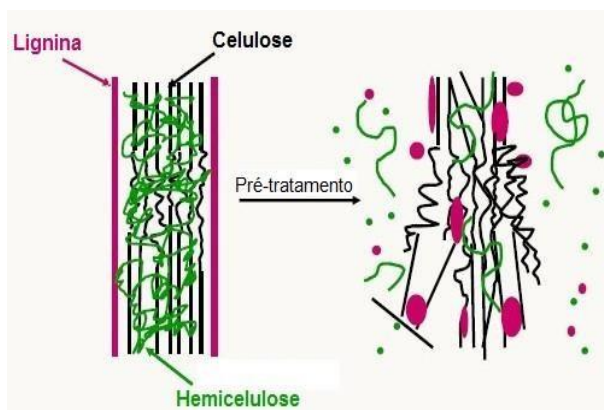


Fonte: Melo, 2020.

3.1 Pré-tratamento

Diversas são as rotas tecnológicas exploradas para a produção de combustíveis 2G, porém o processo mais desafiador é, com certeza, o pré-tratamento da biomassa. Os métodos de pré-tratamento referem-se à solubilização e a separação de um ou mais componentes dessa biomassa. Devido à natureza cristalina da celulose, a barreira física formada por ligninas ao redor das fibras celulósicas e a presença das complexas interações entre hemicelulose e celulose dos vegetais e entre esses polissacarídeos e ligninas, o pré-tratamento do material representa uma etapa imprescindível na rota de produção (CHEMMÉS et al, 2013). A Figura 2 representa a estrutura lignocelulósica antes e depois do pré-tratamento.

Figura 2: Estrutura da lignocelulose antes e depois do pré-tratamento.



Fonte: Adaptado de MOISER et al., 2005.

Os principais objetivos do pré-tratamento são: reduzir o grau de cristalinidade da celulose, dissociar o complexo celulose-lignina, aumentar a área superficial da biomassa, preservar as pentoses maximizando rendimentos em açúcares e evitar ou minimizar a formação de compostos inibidores do processo, tanto na etapa de hidrólise quanto na etapa de fermentação (RABELO, 2010). De acordo com Pacheco (2011), o melhor pré-tratamento é aquele que não destrutura a celulose e a lignina.

Atualmente, há uma grande quantidade de processos de pré-tratamento disponíveis, mas sempre estão classificados como físicos, químicos, biológicos ou físico-químicos. Cada qual com suas características particulares, temperaturas e pressões adequadas para se obter o melhor resultado (ALVES e MACRI, 2013).

O pré-tratamento físico consiste em desbastar e moer, visando a diminuição do diâmetro da partícula e, conseqüentemente, a cristalinidade da estrutura da parede dos vegetais, conseguindo assim uma maior superfície de contato. Os métodos químicos utilizam algum agente químico como catalisador, seja como um ácido ou uma base. Os físico-químicos são uma associação entre um efeito químico e um efeito físico, como a termólise ou explosão a vapor com amônia. Os pré-tratamentos biológicos ocorrem quando o material lignocelulósico é submetido ao tratamento com enzimas e microrganismos, geralmente fungos (CORTEZ, 2010). O pré-tratamento rompe a parede celular das plantas e melhora o acesso enzimático para os polissacarídeos. Estudos tem mostrado uma correlação direta entre a remoção da lignina e de hemicelulose e a digestibilidade da celulose (KIM e HOLTZAPPLLE, 2006).

Experimentos realizados por Cabral *et al.* (2017) com pré-tratamento químico na casca do coco verde apresentaram uma redução no teor de lignina de 40,10% no material desidratado para 29,91% no pré-tratado, proporcionando o aumento na fração de celulose de 24,70% para 55,17%. Em relação à hemicelulose, houve redução de 12,26% para 7,80%.

Nascimento *et al.* (2011), trabalhando com bagaço de cana-de-açúcar, conseguiram, na condição de 7% NaOH e 30 minutos na deslignificação, reduzir a concentração de lignina para 5% na biomassa e obter teor de celulose em torno de 38%, garantindo um alto conteúdo acessível de celulose para degradação enzimática.

Estudos realizados por Assumpção (2015) apresentam a remoção de aproximadamente 80% da lignina logo após a realização de pré-tratamento do bagaço da cana-de-açúcar, do tipo ácido e alcalino. Tendo em vista que o pré-tratamento ácido não se caracteriza por retirar a lignina presente na biomassa, essa remoção é realizada pelo pré-tratamento alcalino utilizando reagentes de caráter básico, como o peróxido de hidrogênio (7,5% v/v).

Pratto (2015), conseguiu em seus estudos com a palha da cana-de-açúcar, aproximadamente 92% de remoção da lignina, com a utilização de pré-tratamento hidrotérmico seguido de alcalino. O pré-tratamento alcalino foi conduzido com NaOH 4% m/v, a 121°C durante 30 min.

3.2 Hidrólise

A molécula de celulose está presente em maior quantidade nas paredes celulares de plantas. A celulose se localiza na parte central da estrutura das plantas, a hemicelulose reveste a celulose, que por sua vez, é revestida pela lignina (CASSALES, 2011). Segundo Liu (2011) a hemicelulose está entre a celulose e a lignina, sendo constituída principalmente por xilose e arabinose que são pentoses encontradas em maior quantidade. Depois da glicose, a xilose é o açúcar com maior presença em materiais de origem lignocelulósicos.

A presença de carboidratos em resíduos lignocelulósicos é fundamental para seu uso na fermentação. Porém, é necessária a hidrólise destes resíduos, para que seus carboidratos presentes sejam transformados nos monômeros constituintes e estes, por sua vez, sejam utilizados como substrato por microrganismos que possuam

capacidade de realizar a fermentação (SANTOS e GOUVEIA, 2009). A liberação dos açúcares presentes nos resíduos lignocelulósicos pode ser realizada por diferentes tipos de tratamentos, tais como, químico, físico, físico-químico e biológico. Dentre eles no tratamento químico, destacasse a hidrólise ácida e alcalina que podem ser empregadas como pré-tratamentos separadamente ou em conjunto (SUN, 2011).

Para obtenção de açúcares fermentescíveis, três tipos de hidrólise de materiais lignocelulósicos são mostrados na Tabela 1: hidrólise com ácido diluído, hidrólise com ácido concentrado e hidrólise enzimática. Com ácido concentrado, a hidrólise da hemicelulose e da celulose ocorre com ácidos fortes em baixas temperaturas, tendo como desvantagem o uso de equipamentos resistentes à corrosão, elevando o custo do produto final. A hemicelulose é hidrolisada mais rapidamente que a celulose e os seus monossacarídeos ficam expostos ao meio racional por muito tempo, provocando a perda desses açúcares (SZENGYEL, 2000).

Tabela 1: Comparação das condições e desempenhos dos três processos de hidrólise.

Processo	Consumo	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Rendimento de glicose (%)
Ácido diluído	< 1% H ₂ SO ₄	215	3min	50-70%
Ácido concentrado	30-70% H ₂ SO ₄	40	2-6h	90%
Enzimática	Celulase	50	1,5 dias	75-95%

Fonte: Adaptado de MOISER, 2005.

Com ácido diluído, a celulose e a hemicelulose são hidrolisadas separadamente. A hemicelulose hidrolisada é removida após o primeiro passo da hidrólise e, no segundo passo, onde a celulose é hidrolisada, são empregadas altas temperaturas, quando açúcares e lignina solúvel são degradados, levando a uma inibição durante o processo de fermentação (SZENGYEL, 2000).

Na hidrólise enzimática, a conversão da celulose em glicose é catalisada por um grupo de enzimas chamadas de celulasas, que atuam rompendo as ligações glicosídicas das microfibrilas da celulose, resultando na liberação da glicose, a qual,

posteriormente, passará pela etapa de fermentação e originará o etanol. As condições mais brandas aplicadas nesse tipo de processo levam a uma menor liberação de subprodutos e um conseqüente aumento do rendimento de açúcares fermentescíveis (DILLON, 2004).

O processo enzimático de conversão de celulose em glicose por meio das celulases é o mais utilizado, devido aos bons rendimentos glicosídicos e ao desenvolvimento de tecnologias que podem tornar o processo viável, apesar da possibilidade de contaminação devido ao longo tempo envolvido na etapa de hidrólise, tornando a solução de açúcares formada e as próprias enzimas uma fonte disponível ao ataque de microrganismos indesejáveis (HAMELINK et. al., 2005; CORTEZ, 2010).

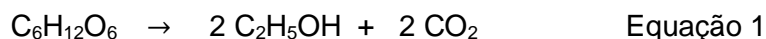
Rocha (2017) em seus estudos com palha de cana notou que as conversões obtidas com várias razões palha-água no pré-tratamento hidrotérmico (PTH), seguido ou não de tratamento alcalino, apresentaram perfis semelhantes. A conversão de celulose em glicose se elevou ao longo do tempo reacional de 72 horas. A biomassa que foi submetida ao pré-tratamento PTH + PTA (pré-tratamento hidrotérmico + prétratamento ácido) a 65°C foi a que demonstrou menor conversão ao longo das 72 horas de hidrólise enzimática, 82,49%. Este resultado foi bem próximo daquele em que se empregou biomassa submetida apenas ao PTH, 86,79%. A biomassa que apresentou maior conversão foi a que sofreu PTH seguido de PTA a 25°C, alcançando 93,19%.

Rabelo (2010), com o bagaço da cana-de-açúcar indica que, devido às altas temperaturas, uma quantidade considerável de açúcares e lignina solúvel é degradada, levando à inibição durante o processo de fermentação. E essa acaba sendo uma limitação da hidrólise ácida diluída. Se temperaturas mais altas (ou tempo de residência mais longo) forem aplicadas, os monossacarídeos derivados da hemicelulose irão degradar e dar origem a inibidores de fermentação como furano, ácidos carboxílicos e fenóis (CHANDEL, 2007).

3.3 Fermentação

A etapa seguinte à hidrólise é denominada fermentação. Esta, por sua vez, irá converter a glicose (açúcar) a etanol com a reação química apresentada na Equação

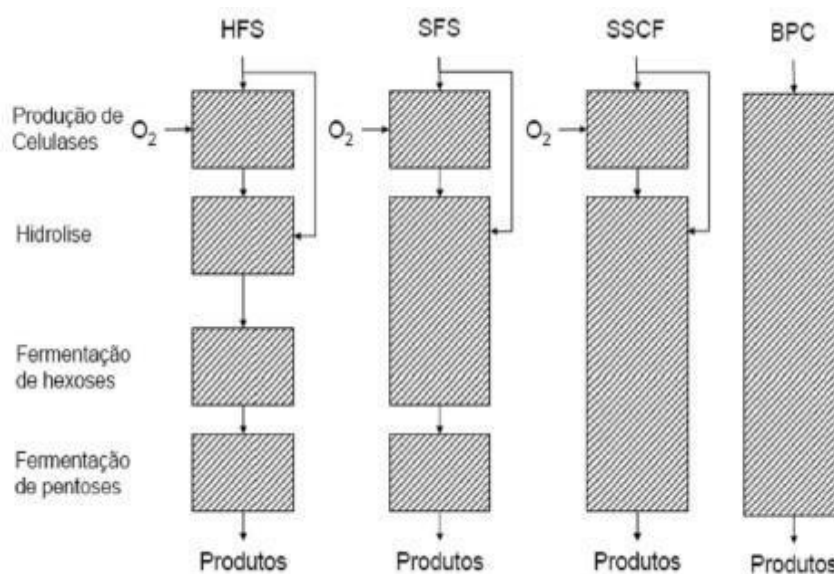
1:



Essa reação acontece por meio da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, bastante utilizada como fermento industrial, apresentando bons desempenhos em conversão de glicose a etanol, produtividade e tolerância alcoólica e aos inibidores do pré-tratamento e da fermentação. Todavia, a *Saccharomyces cerevisiae* só fermenta as hexoses, não sendo capazes de fermentar as pentoses, sendo essas últimas as maiores constituintes da fração da hemicelulose (SAHA, et al., 2005).

A hidrólise e a fermentação da biomassa podem ser realizadas em diferentes configurações de processos, tais como Sacarificação e Fermentação Separadas (SHF, Sigla em inglês para *Separate Hydrolysis and Fermentation*), Sacarificação e Fermentação Simultâneas (SSF, Sigla em inglês de *Simultaneous Saccharification and Fermentation*), Sacarificação e Co-Fermentação Simultâneas (SSCF, sigla em inglês para *Simultaneous Saccharification and CoFermentation*) e o Bioprocesso Consolidado (CBP, sigla em inglês para *Consolidated Bioprocess*) como pode ser observado na Figura 3 (MELO, 2020).

Figura 3: Configurações de processos para as etapas de hidrólise e fermentação.



Fonte: GUILHERME, 2014.

A maior parte das usinas utiliza para a produção de etanol, o processo de recirculação e tratamento posterior da levedura, processo conhecido como *MelleBoinot*. Este procedimento é considerado como o mais seguro, ao se levar em conta os fatores de assepsia e manutenção, já que ao final de cada batelada a dorna pode ser esvaziada para limpeza e possíveis manutenções no equipamento. Assim, uma nova fermentação poderá ser iniciada com segurança (MARTINS, 2009).

3.4 Destilação

Por fim, após a etapa de fermentação é necessário que o etanol seja purificado e concentrado. A destilação é o processo de separação mais empregado nas indústrias para a concentração do etanol. É uma operação unitária que tem por objetivo a separação de componentes de uma mistura através da diferença em seus pontos de ebulição. O etanol é recuperado inicialmente na forma hidratada, deixando a vinhaça como resíduo, normalmente numa proporção de 10 a 13 litros de etanol produzido. Já o etanol anidro pode ser obtido por um processo de desidratação com a utilização de peneiras moleculares, por exemplo, que retiram a maior parte da água presente (SANTOS, 2013).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O etanol de segunda geração se apresenta como um biocombustível de produção viável e sustentável, proporcionando desenvolvimento econômico, social e ambiental. Em paralelo à utilização de combustíveis fósseis, o etanol 2G se mostra mais promissor por ser uma fonte de energia renovável, tendo em vista que esse produto pode ser obtido através do aproveitamento de resíduos agroindustriais, os quais, muitas vezes são descartados de forma inadequada na natureza. Observa-se que as principais matérias-primas utilizadas nas pesquisas sobre etanol 2G é o bagaço e a palha de cana-de-açúcar, fato esse explicado por serem os principais resíduos do processo de beneficiamento desta planta.

Vários estudos estão sendo realizados para maior eficiência das etapas de produção do etanol 2G. Tais pesquisas visam encontrar alternativas para redução de custos operacionais, buscando aumentar o rendimento industrial. Observa-se que as

principais dificuldades tecnológicas são: separação da lignina e a hidrólise da celulose. Isso faz com que o etanol 2G apresente um alto custo de produção em escala industrial. Portanto, ainda é preciso um melhor desenvolvimento tecnológico para produção de etanol 2G em escala industrial.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J. M. B.; MACRI, R. DE C. V. **Etanol de segunda geração: estudo materiais lignocelulósicos e aplicações da lignina**. 2013.
- AGUILAR, A.; PENÃ, U.; FRIEDMAN, P.; BRITO, B.; **Rev. Cuba Azúcar EneroMarzo**, 1989, 40.
- ANP**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Biocombustíveis. 2016. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>. Acesso em: 15, out. 2021.
- ASSUMPÇÃO, S. M. N.; **Pré-tratamento químico combinado com o bagaço da cana visando a produção do etanol de segunda geração**. Dissertação de mestrado-UFBA, Salvador-BA, 2015.
- BNDES**. **Etanol 2G: inovação em biocombustíveis**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2016. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/etanol2g-inovacao-biocombustiveis>. Acesso em: 18, set. 2021
- BIOTECNOLOGIA**. **Resíduos agroindustriais: meios de culturas sustentáveis**. 2018. Disponível em: <https://profissaobiotec.com.br/meios-de-cultura-sustentaveis2/>.> Acesso em: 10 dez. 2021.
- BERTRAND, E.; First generation bioethanol. In: SOCCOL, C. R. et al. (Eds.). *Green fuels technology: biofuels*. Switzerland: Springer, 2016. P. 175-212.
- BHUTTO, A. W.; Insight into progress in pre-treatment of lignocellulosic biomass. **Energy**. v. 122, p.724-745, 2017.
- BRAR, K. K.; KAUR, S.; CHADHA, B. S.; A novel staggered hybrid SSF approach for efficient conversion of cellulose/hemicellulosic fractions of corncob into ethanol. **Renew Energ**. v. 98, p. 16-22, 2016.
- BRITO, E. O., ROCHA, J. D. S., VIDAURRE, G. B., BATISTA, D. C., PASSOS, P. R. A., ARQUES, L. G. C. Propriedades de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e artículas de pinus. **Floresta e Ambiente**. v. 11, p. 01-06, 2004.
- CABRAL, M. M. S.; ABUD, A. K. S.; ROCHA, M. S. R. S.; ALMEIDA, R. M. R. G.; GOMES, M. A.; **Composição da fibra da casca do coco verde *in natura* e após pré-tratamentos químicos**. ENGEVISTA. V. 19, n. 1, p. 99-108. Janeiro, 2017.
- CADETE, R. M.; **Diversity and physiological characterization of D-xylosefermenting yeasts isolated from the Brazilian amazonian forest**. PLoS One. 2012;

CASSALES, A.; et al. Optimization of soybean hull acid hydrolysis and its characterization as a potential substrate for bioprocessing. **Biomass and bioenergy**. V. 35, p. 4675-4683, 2011.

CHANDEL, A. K. **Economics and environmental impact of bioethanol production technologies: na appraisal**. **Biotechnology and molecular biology review**, v. 2, n. 1, p. 14–32, 2007.

CHEMMÉS, C. S.; **Estudo de métodos físico-químicos no pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos para produção de etanol de segunda geração**. 2013.

CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**. Ed. Voucher, 992p, 2010.

DILLON, A.; PIETRO, R. C. L.; **Enzimas como agentes biotecnológicos**, Ribeirão Preto, Legis Sumia, p. 243-270, 2004.

DUSSÁN, K. J.; Evaluation of oxygen availability on ethanol production from sugarcane bagasse hydrolysate in a batch bioreactor using two strains of xylosefermenting yeast. **Renew Energ**. v. 87, p.703-710, 2016.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Desperdício de alimentos tem consequências no clima, na água, na terra e na biodiversidade**. 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detailevents/pt/c/1379033/>. Acesso em: 27 de setembro de 2021.

GUILHERME, A. D. A. **Estudo experimental e modelagem do processo de sacarificação e fermentação simultânea utilizando bagaço de cana-de-açúcar para produção de etanol**. 2014 – Tese (doutorado em engenharia química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

HAMELINK, C. N.; HOOIJDONK, G. V.; FAAIJ, A. P. C. Ethanol from lignocellulosic biomass. Techno-economic performance in short-, middle- and long-term. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, p. 384-410, 2005.

HEMALATHA, R.; Comparative study of bioethanol production from agricultural waste materials using *Saccharomyces cerevisiae* (MTCC 173) and *Zymomonas mobilis* (MTCC 2427) by enzymatic hydrolysis process. **Int J Microbiol Res**. 2015; 6:74-78. 2015.

HORST, D. J. **Avaliação da produção energética a partir de ligninas contidas em biomassa**. Dissertação de mestrado – UTFPR, Ponta Grossa- PR, p. 103, 2013

KIM S.; HOLTZAPPLLE, M. T. Effect of structural features on enzyme digestibility of corn stover. **Bioresource Technology**. V. 97, p. 583-591, 2006.

LIU, Z.; Isolation and cationization of hemicelluloses from pre-hydrolysis of kraftbased dissolving pulp production process. **Biomass and bioenergy**, v. 35, p. 1789-1796, 2011.

MARTINS, C. A. P. Avaliação do efeito do inóculo e do perfil de alimentação do mosto na produção em escala piloto e industrial de etanol. **Dissertação de mestrado- UFSCar, São Paulo – SP**, p. 86, 2009.

MARZO, C. Valorization of agro-industrial wastes to produce hydrolytic enzymes by fungal solid-state fermentation. **Waste Management and Research**, v. 37, n. 2, p. 149–156, 2019.

MELO, N. R.; **Etanol 2G: Processo produtivo e seu contexto atual no Brasil**; Uberlândia, MG; 2020.

MOSIER, N.; WYMAN, C.; DALE, B.; ELANDER, R.; LEE, Y.Y.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**. v. 96, p.673-686, 2005.

MOSIER, N.; Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresour Technol**. 2005; 96:673-686.

MONTES, A. C. R. **Avaliação do processo de obtenção de etanol de 2ª geração utilizando bagaço de cana**. 2017. Dissertação (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

NASCIMENTO, V. M., ROCHA, G. J. M., GIORDANO, R. C., CRUZ, A. J. G. 2011. **Optimization of alkaline (NaOH) pretreatment of sugarcane bagasse for production of second generation bioethanol**. In: Society for Industrial Microbiology.

PACHECO, T. F. Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração. **Circular Técnica**, v. 1, p. 6, 2011.

PAGANINI, C.; NOGUEIRA, A.; SILVA, N. C. e WOSIACK G. **Aproveitamento de bagaço de maçã para a produção de álcool e obtenção de fibras alimentares**. Ciência e agrotecnologia, lavras, v. 29, n. 6 p. 1231- 1238, dez. 2005.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos Ambientais e Potencial Energético no Aproveitamento de Resíduos da Indústria Sucroalcooleira**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado) –Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru – Sp, 2006.

PITARELLO, A. P. **Produção de etanol celulósico a partir do bagaço de cana prétratado por explosão a vapor**. 2013. Tese (doutorado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

PRATTO, B.; **Hidrólise enzimática da palha da cana-de-açúcar: estudo cinético e modelagem matemática semi-mecanista**. Dissertação de mestrado-UFSCar, São Carlos-SP, 2015.

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. Tese (doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ROCHA, M. S. R. S.; **Estudo integrado das etapas de pré-tratamento e hidrólise enzimática do bagaço da palha de cana-de-açúcar.** Tese (doutorado em engenharia química). Universidade Federal de São Carlos, Centro de ciências exatas e tecnologia-Programa de pós graduação em engenharia química. São Paulo, p. 125. 2017.

ROSA, M. F., ABREU, F. A. P., FURTADO, A. A. L., BRÍGIDO, A. K. L., NORÕES, E. R. V. 2001. **Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical (Comunicado Técnico, 61).

SAHA, C. B. L.; ITEN, L. B.; COTA, M. A.; WU, Y. V.; Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to ethanol. **Processo biochemistry**, n. 40, p. 3693-3700, 2005.

SANTOS, J. R. A.; GOUVEIA, E. R.; Produção de bioetanol de bagaço da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais.** Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 27-33. 2009.

SANTOS, F. A.; **Otimização do pré tratamento hidrotérmico da palha da Cana-de-açúcar visando a produção de etanol celulósico.** Quim. Nova, v. 37, n. 1, p. 56-62. 2014.

SANTOS, M. S. R.; **Estudo do pré-tratamentos de palha e sabugo de milho visando a produção do etanol 2G.** Dissertação de mestrado – UFAL, Maceió-AL, 2014.

SILVA, V. F. N.; **Dissertação de Mestrado,** Universidade de São Paulo, Brasil, 2009.

SINGH, S. Comparison of different biomass pretreatment techniques and their impact on chemistry and structure. **Front Energy Res Bioenergy Biofuels.** 2015; 2:1–12.

SHARMA, N.; KALRA, K. L.; OBEROI, H. S. BANSAL, S.; **Optimization of fermentation parameters for production of ethanol from kinnow waste and banana peels by simultaneous saccharification and fermentation.** **Indian journal of microbiology**, v. 7, p. 310-316, 2007.

SUN, Z. Production of fuel ethanol from bamboo by concentrated sulfuric acid hydrolysis followed by continuous ethanol fermentation. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 10929-10935, 2011.

STAMBUK, B. U.; Brazilian potential for biomass ethanol: challenge of using hexose and pentose co-fermenting yeast strains. **J Sci Ind Res.** v. 67, p. 918-926, 2008.

SZENGYEL, Z. **Ethanol form wood cellulose enzyme production.** Sweden: Dept. of Chemical Engineering, Lundy University, 2000.

THOMPSON, W.; MEYER, S. Second generation biofuels and food crops: Coproducts or competitors. **Glob Food Secur.** v. 2, p. 89-96, 2013.

TORRE, P. **Release of ferulic acid from corn cobs by alkaline hydrolysis.** Biochemical Engineering journal, v. 40, n.3, p. 500-506, 2008.

TSAI, W. T. **Preparation of activated carbons from corn cob catalyzed by potassium salts and subsequent gasification with CO₂.** Bioresource technology, v. 78, n. 2, p. 203- 208, 2001.

YANG, S.; Valorization of lignin and cellulose in acid-steam-exploded corn stover by a moderate alkaline ethanol post-treatment based on an integrated biorefinery concept. **Biotechnol Biofuels.** 9:238, 2016.