Processando o Saber
eISSN 2179-5150
FATEC Praia Grande · fatecpg.edu.br/revista
submetido: Jan/2023 · **aceito**: Mar/2023 · **publicado**: Jun/2023
DOI 10.5281/zenodo.14933310

Produção de etanol de segunda geração a partir da celulose contida no coco verde

Production of second-generation ethanol from the cellulose contained in green coconut

Murillo Alessandro Nascimento
Universidade Santa Cecília
murillo4alessandro@gmail.com

Luiza Duarte
Fatec Praia Grande
duarte.luiza1998@gmail.com

Pedro Nobre Azevedo
Universidade de São Paulo - Ribeirão Preto
pedronobreazevedo@gmail.co

Thais Correa
USP
correa-thais@usp.br

Lívia Menezes
Etec Praia Grande
liihflyerls@gmail.com

Sergiana Ramos
Fatec Praia Grande
sergiana.etecpg@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade da produção de etanol de segunda geração a partir da celulose contida no coco verde. Para fazê-lo, tópicos como inibidores de fermentação, o próprio processo fermentativo e a análise da metodologia de hidrólise ácida são discutidos. Dessa forma, um estudo sobre quão viável seria produzir um biocombustível utilizando o mesocarpo do coco verde como fonte foi realizado, concluindo que teoricamente o rendimento de etanol do coco verde é inferior ao do bagaço de cana, porém, em aspectos sustentáveis e ambientais, é considerável realizá-lo. O consumo de coco gera resíduos tanto industriais como em regiões litorâneas, e pouco se discute maneiras de reaproveitamento desses resíduos. A produção de biocombustíveis, especificamente do etanol de segunda geração, traz uma solução para esse problema. Os aspectos químicos referentes ao reaproveitamento do coco verde são ainda pouco difundidos, sendo comum a utilização da cana-de-açúcar, contudo, o rendimento da utilização do coco verde pode ampliar a produção de biocombustíveis e revolucionar a indústria com a utilização dessa nova matriz.

PALAVRAS-CHAVE: Etanol. Coco verde. Celulose. Hidrólise. Fermentação.

ABSTRACT

This paper has the purpose of evaluating the viability from the production of second-generation ethanol from the cellulose contained in green coconut. To do so, Topics as fermentation inhibitors, the fermentative process itself and the analysis of the acid hydrolysis methodology are discussed. Thus, a study about how viable would be to produce a biofuel using the mesocarp of the green coconut as a source was made, concluding that theoretically the yield of ethanol from the green coconut is inferior comparing to the sugarcane bagasse, however, in sustainable and environmental aspects, is considerable to be done. The coconut consume generates not only industrial but also coastal regions waste, and there are very few discussions about ways to reuse that waste. The biofuels production, specifically of the second-generation ethanol, brings a solution to this problem. The chemical aspects about the green coconut reuse are still little widespread, being common the use of sugarcane, however, the yield by using the green coconut can expand the biofuel production and also revolutionize the industry with the utilization of this new source.

***KEYWORDS**: Ethanol. Green coconut. Cellulose. Hydrolysis. Fermentation.*

INTRODUÇÃO

A emissão de poluentes devido à utilização de combustíveis fósseis colaborou com a procura de alternativas nas áreas automotivas e industriais. Neste contexto, surge o etanol vegetal, um combustível que, além de possuir um custo menor em relação à gasolina comum, possui também uma emissão de poluentes relativamente menor, que pode ser compensada pelo plantio dos vegetais pelo qual este é obtido. Existem duas vertentes quando o assunto tratado é o etanol vegetal. O etanol de primeira geração, também denominado 1G, é processado com plantas recém-colhidas, ou seja, o plantio e o cultivo ocorrem justamente para a produção do combustível, ocorrendo o descarte das partes subjacentes dos vegetais.

O presente trabalho trata da produção do etanol de segunda geração, ou 2G, que se utiliza das partes subjacentes descartadas nas indústrias alimentícias e, também, nas produtoras do próprio combustível de primeira geração. Além disso, na produção do etanol 2G, podemos observar uma emissão consideravelmente menor de poluentes, devido à reutilização de produtos previamente processados. Neste artigo, haverá um foco específico e direto sobre a matriz do coco verde, descartado geralmente em áreas litorâneas e turísticas como a própria cidade de Praia Grande - SP, bem como sua reutilização na produção do biocombustível.

Desta forma, o presente trabalho possui como objetivo estudo bibliográfico da viabilidade da produção do etanol celulósico de segunda geração a partir do mesocarpo do coco verde, inovando na matriz selecionada e reduzindo a produção dos resíduos relacionados a esta. Ademais, observa-se o reaproveitamento da celulose descartada em alto teor, além da solução de problemáticas acerca da emissão de poluentes na produção dos combustíveis fósseis. Como principais etapas, pode-se descrever a adaptação do método de hidrólise ácida para a quebra da celulose contida no mesocarpo do coco verde, bem como o rendimento do processo na formação de glicose. Ademais, necessita-se definir o tempo de fermentação para a conversão da glicose em etanol e a comparação da relação custo-benefício com outras escalas laboratoriais.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

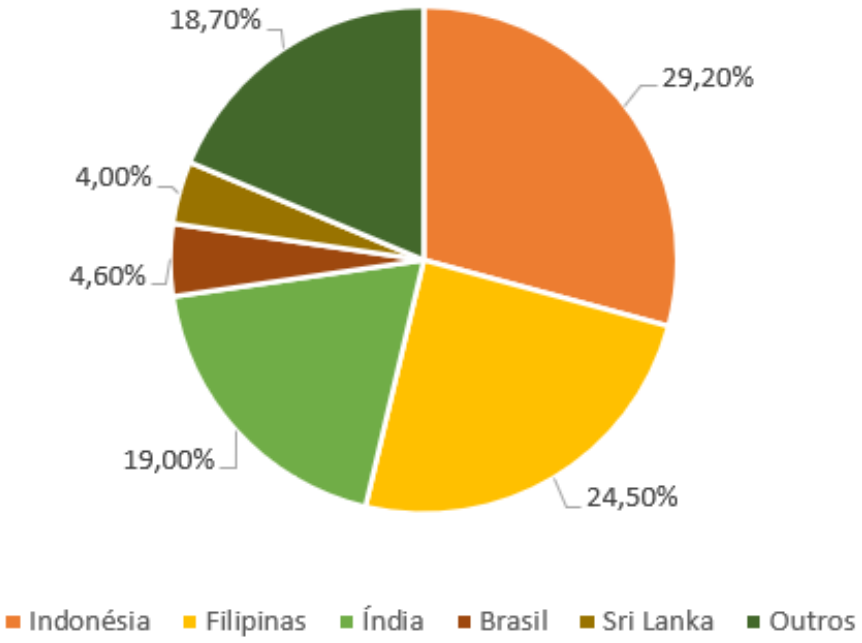
A distribuição do coqueiro é extremamente ampla em regiões tropicais como o Brasil, sendo introduzido em nosso país no ano de 1553, pelos portugueses. Apesar disso, as primeiras plantações comerciais no mundo iniciaram-se somente em 1840, em função do aumento na demanda por óleo decorrente do desenvolvimento do primeiro processo industrial de fabricação

de sabão. Neste contexto, a expansão em grande escala da cocoicultura ocorreu nas primeiras décadas do século XX, quando a produção do Brasil também cresceu consideravelmente, indo de 139 milhões de frutos em 1942 para a quantia de 1,3 bilhão de frutos em 2001. No país, o cultivo do coco iniciou-se na Bahia, se estendendo por outros estados e totalizando 280 mil hectares cultivados (Soares, 2016, p. 24).

1.1 APLICAÇÕES E PRINCIPAIS PRODUTORES

O fruto do coqueiro possui diversas aplicações, e, dentre elas, temos a copra (polpa com cerca de 6% de umidade), que é comercializada para a produção não apenas do óleo de coco como do próprio coco seco. Enquanto isso, no Brasil, a agroindústria trabalha principalmente com a produção de coco ralado, leite e água de coco. Em 2013, os maiores produtores foram Indonésia, Filipinas, Índia, Brasil e Sri Lanka. A cocoicultura é realizada, principalmente, por pequenos agricultores, sendo que, no Brasil, cerca de 70% da exploração do coqueiro ocorre em propriedades inferiores a 10 hectares. A modernização das técnicas de cultivo, juntamente com a utilização de variedades de coco, possibilitou um grande aumento na produtividade, sem alteração no tamanho da área utilizada no plantio (Ibid., p. 25).

Figura 1: Principais países produtores de coco



Fonte: Adaptado de Faostat (2015) apud Soares (2016, p. 25)

1.2 ESTRUTURAS DO COCO

O coco apresenta uma drupa fibrosa, grande, e de formato variável, podendo ser arredondado, oblongo ou ovoide. De fora para dentro, o coco apresenta as seguintes estruturas: epicarpo (película fina e lisa que envolve externamente o fruto), mesocarpo (camada espessa e fibrosa), endocarpo (camada dura de coloração escura) e o tegumento (localizado entre o endocarpo e o albúmen sólido, sendo uma camada final de coloração marrom. Além destes, o coco apresenta o embrião, próximo aos três orifícios e dois tipos de albúmen: o sólido, caracterizado pela polpa do fruto, uma camada branca e oleosa e o líquido, sendo a água de coco (Benassi et al, 2013, apud Soares, 2016, p. 26-27).

1.3 COMPOSIÇÃO DO COCO

Células vegetais possuem uma espessa parede celular (0,1-10 μm) que confere rigidez a célula e previne ataque por patógenos. Geralmente as fibrilas de celulose são envoltas pela hemicelulose, e os espaços são preenchidos por lignina. Celulose (20-50% MS), hemicelulose (15-35% MS) e lignina (10-30% MS) são os principais constituintes de células vegetais, ao passo que proteínas (3- 10% MS), lipídeos (1-5% MS), açúcares solúveis (1-10% MS) e minerais (5-10% MS) são os menores constituintes. Os processos de etanol 2G baseiam-se na extração de açúcares de dois componentes principais da biomassa, a celulose e a hemicelulose, também denominada holocelulose. Por outro lado, o outro componente principal das células vegetais, a lignina pode dificultar a conversão dos açúcares da holocelulose (Ibid., p. 37).

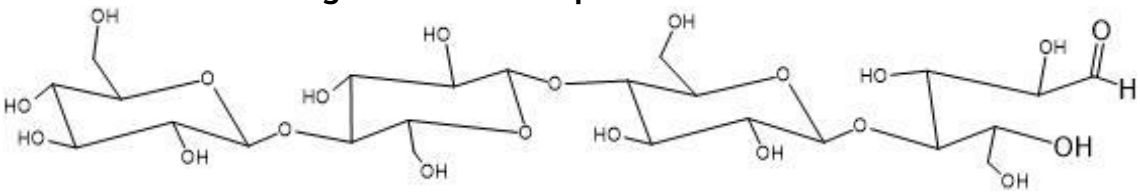
1.3.1 Celulose

A celulose trata-se de um biopolímero, considerado o mais abundante no planeta Terra, presente em bactérias, fungos algas e plantas. Tal substância é constituinte da parede celular, atuando no hábito de crescimento da planta. Constituída por moléculas de glicose apresentando ligações β- (1→4) -glicosídicas, a celulose possui o carbono anomérico C1 na configuração β, e cada unidade de glicose é rotacionada em aproximadamente 180º em relação à molécula vizinha, formando o dissacarídeo celobiose. As unidades de glicose encontram-se organizadas em microfibrilas resistentes, mantidas próximas devido a ligações de hidrogênio. As

microfibrilas da celulose possuem de 500 a 14.000 unidades de glicose. As fibras nas células são compostas de feixes das microbifibrilas estabilizadas lateralmente por ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila nas cadeias lineares de celulose (Ibid., p. 39)

A celulose possui uma ampla aplicação nas indústrias de papel e fibras têxteis sintéticas, e mais recentemente tem sido bastante estudada nas áreas de biocombustíveis e na produção de nanowhiskers de celulose para a aplicação em materiais compósitos (Oliveira et al., 2014).

Figura 2: Estrutura química da celulose



Fonte: Autoria própria (ChemSketch)

1.3.2 Hemicelulose

O termo hemicelulose refere-se a um grande grupo de polissacarídeos complexos, ramificados e de baixo peso molecular, sendo as duas principais classes de hemicelulose as glicomananas e as xilanas (Oliveira et al., 2014). Seu principal papel está no fortalecimento da parede celular por meio da interação entre a celulose e a lignina. Trata-se de polissacarídeo amorfo, hidrofílico, e com baixo grau de polimerização. As hemiceluloses representam de 15 a 35% da biomassa vegetal e apresentam composição diversa, podendo conter pentoses como a xilose e a arabinose, hexoses como a glicose e a galactose e ácidos urônicos; ademais, podem conter traços de ramnose e fucose. Em alguns casos, as microfibrilas de celulose podem ser revestidas por hemicelulose com ramificações do grupo acetil, dificultando o ataque de enzimas (Id., 2016, p. 40-41).

1.3.3 Lignina

A lignina é o terceiro biopolímero mais abundante, depois da celulose e da hemicelulose. É amorfa e de estrutura complexa, sendo sua unidade repetidora básica o fenil-propano. É um subproduto do processo de polpação, com aplicações já firmadas na produção de absorventes,

agentes dispersantes, resinas à base de lignina, adesivos, retardadores de chama e outros produtos de valor agregado (Oliveira et al., 2014).

A lignina é sintetizada por todas as plantas vasculares, compreendendo uma grande parcela do carbono fixado na biosfera. Dentre suas propriedades estão a resistência a ataques microbianos, impermeabilização e rigidez fornecidas às células vegetais. A impermeabilização garante o transporte de água e solutos pelo sistema vascular. A lignina apresenta grande variabilidade em termos de composição e estrutura, podendo variar de acordo com o organismo, tipo de célula, assim como fatores bióticos e abióticos uma vez que o processo de lignificação ocorre ao longo do desenvolvimento da planta (Id., 2016, p. 42-43).

Devido ao fato de a lignina atuar como uma barreira natural a ataques microbianos, no caso de uma hidrólise enzimática mostra-se necessária a utilização de uma dosagem elevada de enzimas com a finalidade de obter um resultado satisfatório. A lignina do coco verde ainda se encontra em fase de estudos, contudo, foi constatado que em sua composição no mesocarpo do fruto há grandes quantidades de guaiacil, um dos três principais componentes da lignina, além do p-hidroxifenil e do siringil.

A composição da lignina pode afetar o processo de deslignificação, biomassas com alta razão siringil/guaiacil são mais susceptíveis à degradação porque a lignina apresenta baixa repolimerização após o pré-tratamento, além de menos ramificações. Um processo de etanol 2G com enfoque na deslignificação do coco já foi reportado, entretanto o pré-tratamento (Alc-H2O2/NaOH) é complexo e demanda de considerável quantidade de reagentes (Gonçalves et al., 2014 apud Soares, 2016, p. 43).

Analisando os trabalhos de Putrino (2016), Nascimento (2014) e Cabral (2017), observa-se uma concentração de lignina na fibra do coco verde entre 26 e 42%, um valor relativamente alto. Este composto deve ser removido pelo processo de deslignificação, para que se obtenha maior aproveitamento na hidrólise da celulose. Quanto à matriz Cana-de-açúcar (na qual se encontra mais materiais de referência a respeito de sua fermentação), a concentração de lignina costuma se encontrar entre 20% e 35%, de acordo com Gurgel (2011).

1.4 ETANOL

O álcool etílico conhecido como etanol, é produzido pela fermentação de açúcares encontrados em produtos vegetais, hoje em dia o etanol industrial ainda é produzido por

fermentação. O conceito do bioetanol se deriva da utilização da biomassa lignocelulósica como matéria prima. Essas matérias primas vêm de resíduos de produtos naturais (Bastos, 2007).

De acordo com dados atualizados até o ano de 2010, a posição de maior produtor de etanol seria ocupada pelos Estados Unidos, com 37%, sendo o Brasil o segundo maior produtor, responsável por 35% da produção de etanol. Neste mesmo período, São Paulo apresentava 359 usinas de destilação de etanol, cuja distribuição é a seguinte: São Paulo responde por 43%; Estado de Minas Gerais 9%; 8% respectivamente, em Pernambuco, em Alagoas e no Paraná (Kohlhepp, 2010).

Com o lançamento do carro flexfuel em 2003 tornou-se maior o uso do etanol para combustível. A incrível redução de custo da produção do etanol e o grande aumento do preço do petróleo, fez com que o biocombustível ficasse extremamente competitivo com relação a gasolina. Por causa do aumento da demanda de etanol, inúmeros novos empreendimentos se mobilizaram para criar construções de destilarias (Leite, 2008).

1.4.1 Etanol de segunda geração

O etanol de primeira geração é fabricado por meio de plantas e gorduras vegetais ou animais, já o etanol de segunda geração é produzido pelos resíduos (biomassas) de diversos tipos. O etanol de segunda geração nada mais é do que biocombustível sustentável que converte a biomassa lignocelulósica em combustível. Esse processo de conversão consiste em quebrar os açúcares complexos em açúcares simples, um processo biotecnológico feito a partir da ação de enzimas. No final da produção, os resíduos de biomassa podem ser levados para ser queimados em caldeiras de alta pressão, para que mais energia seja gerada e o ciclo de sustentabilidade e reutilização seja continuado (Morais, 2017).

Quando se produz etanol de primeira geração a partir da cana-de-açúcar é utilizado apenas o caldo, e forma um resíduo que pode ser reutilizado no etanol 2G, a biomassa lignocelulósica, proveniente do bagaço e da palha. O resíduo pode ser utilizado passando pelo processo de hidrólise, para liberação dos açúcares fermentescíveis. Os biocombustíveis estão relacionados à sua capacidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, as principais vantagens da produção de biocombustíveis 2G são relacionados ao aquecimento global causado pela queima de combustíveis fósseis (Morais, 2017).

2. METODOLOGIA

Este artigo trata de uma revisão da literatura acerca das metodologias conhecidas para a obtenção do etanol de segunda geração. Nesta seção, foi realizado um levantamento acerca das metodologias mais citadas, suas variações, adaptações e aplicabilidade na matriz escolhida, o coco verde.

2.1 PRÉ-TRATAMENTOS EM BIOMASSAS LIGNOCELULÓSICAS

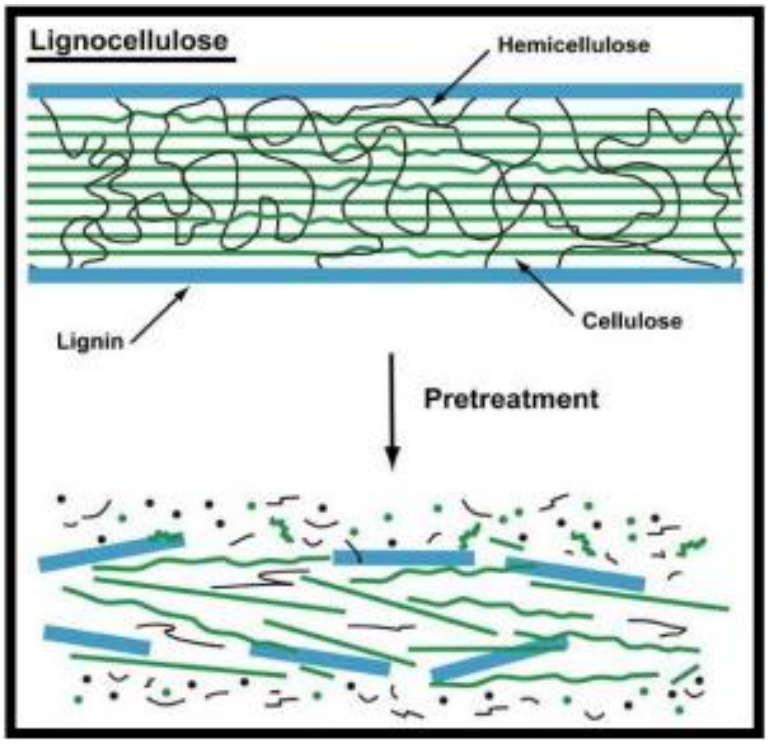
O processo de sacarificação consiste na hidrólise de um carboidrato complexo como o amido ou a celulose em monossacarídeos (açúcares fermentescíveis). Segundo Surmely et al. (2003), a sacarificação se faz por adição enzimática, pela ação de certos microrganismos, ou mesmo pela adição de ácido ao meio reacionário. Em comparativo com a biomassa lignocelulósica obtida através do bagaço da cana-de-açúcar pode-se obter um panorama do mesmo tratamento quando realizado na biomassa obtida da matéria prima do coco verde.

Para obtenção de uma biomassa em condições necessárias à fermentação, existem diversos pré-tratamentos que devem ser realizados nas matérias primas obtidas previamente. A hidrólise da celulose e da hemicelulose fornece cadeias de carboidratos (pentoses e hexoses), posteriormente convertidas em etanol por microrganismos em uma hidrólise enzimática. No que diz respeito aos tratamentos realizados, o tratamento ácido mostrou-se promissor nos últimos anos, visto que, além de desestruturar o complexo, sua adição hidrolisa a hemicelulose, deixando apenas, no caso do bagaço da cana, uma porção líquida composta majoritariamente por xilose. A formação de celulignina dentro deste compósito torna necessária a neutralização do pH, seguida de uma etapa de deslignificação, aumentando o rendimento da porção celulósica isolada para hidrólise e o ataque catalítico. (Santos, 2012, p. 2).

Ocorrendo em condições brandas de pressão, temperatura e pH, a hidrólise enzimática da massa lignocelulósica, que possui alta especificidade, eliminando majoritariamente a ocorrência da lignina e seus derivados, que seriam altamente produzidos no caso de uma possível hidrólise ácida do composto (Ibid., p. 3). Um dos maiores desafios da biotecnologia atualmente é a busca de microrganismos capazes de degradar e fermentar a xilose, subproduto obtido da quebra da biomassa lignocelulósica anteriormente obtida da matéria prima. Os microrganismos atuais utilizam, majoritariamente, a glicose, a frutose ou a sacarose como forma de obtenção de energia, sendo mais comum degradarem-nas do que a pentose

popularmente conhecida como xilose. Com isso, surge a opção de modificar geneticamente bactérias como o exemplo da Z. mobilis para a produção de etanol de segunda geração para que ocorra a degradação da xilose, exercitando um novo sistema, o SSCF (Simultaneous Saccharification and Cofermentation) na qual a fermentação de ambos os açúcares ocorreria em uma etapa apenas (Ibid., p.4).

Figura 3: Efeito dos pré-tratamentos em biomassas lignocelulósicas



Fonte: Hector (2009) apud Santos (2012, p. 26)

2.1.1 Tratamento ácido

Este tipo de tratamento auxilia na solubilização do componente hemicelulósico da biomassa e, com isso, provoca tanto a desacetilação como a despolimerização da porção hemicelulósica. A combinação entre a concentração do ácido, a temperatura e o tempo de reação auxiliam na produção de açúcares hidrolisáveis e conversíveis em etanol por meio do sistema SSCF. Durante esta etapa do pré-tratamento, os catalisadores liberam prótons com a funcionalidade de clivar as ligações heterocíclicas do éter entre os monômeros das cadeias macromoleculares da hemicelulose e, dependendo da concentração do ácido, da celulose. Após isso, são liberados açúcares mais simples como a xilose, a glicose e a arabinose, numa massa

lignocelulósica. Dentre os ácidos utilizados neste processo podem ser citados os ácidos sulfúrico, clorídrico, fluorídrico, nítrico e acético ou etanoico (Ibid., p. 27).

2.1.2 Hidrólise ácida

Existem dois tipos principais de hidrólise ácida utilizadas nos pré-tratamentos de biomassas lignocelulósicas: a hidrólise por ácido concentrado e a hidrólise por ácido diluído.

Segundo Xiang (2002), a metodologia de hidrólise ácida diluída normalmente utiliza ácido sulfúrico (H2SO4) ou ácido clorídrico (HCl). A principal vantagem desta é a diminuição de custos no processo, já que utiliza menos ácido que a concentrada, dessa forma diminuindo a corrosividade e, portanto, não necessitando de equipamentos mais resistentes e mais caros. Apesar de não utilizar este tipo de equipamento, para realizar a hidrólise ácida diluída são necessárias condições de altas temperatura e pressão, e mesmo assim o rendimento máximo do processo é de aproximadamente 60%, segundo Gurgel (2010). Outro ponto favorável à hidrólise ácida diluída é não necessitar recuperação do ácido utilizado, já que sua concentração é pífia.

Em contrapartida, a hidrólise ácida concentrada consiste na utilização de ácido concentrado para promover a quebra de moléculas, neste caso da celulose. Segundo Abasaeed (1987) a hidrólise ácida concentrada possui rendimento maior que a diluída, porém com custos mais elevados, além da necessidade de recuperação do ácido utilizado para garantir a viabilidade do processo, já que em caso contrário seria necessário neutralizá-lo com Ca (OH)2, o que implicaria em mais gastos, além da produção de sulfato de cálcio, que se não removido adequadamente da solução, acaba reduzindo o rendimento devido a reações paralelas.

2.1.3 Hidrólise enzimática

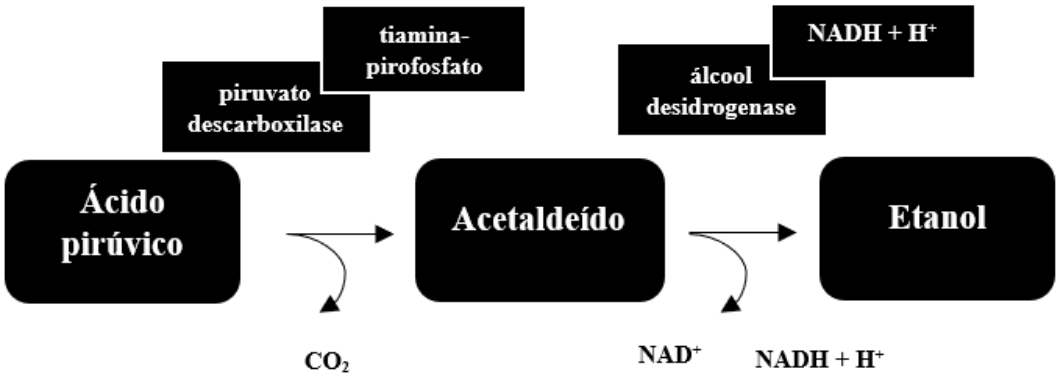
De acordo com Santos (2012, p. 29-31), a conversão da celulose à glicose enzimaticamente é catalisada por um grupo de enzimas denominadas celulases, cuja função é romper as ligações glicosídicas das microfibrilas de celulose, resultando na liberação de oligossacarídeos, celobiose e glicose. Basicamente, as endoglucanases atacam as regiões de baixa cristalinidade da fibra celulósica, criando extremidades livres na cadeia; as exoglucanases degradam ainda mais a molécula através da liberação de unidades de celobiose das extremidades livres da cadeia e as β–glucosidases hidrolisam as moléculas de celobiose, produzindo a glicose. O acúmulo gradativo dos produtos da hidrólise enzimática, como a celobiose e a glicose, resulta na inibição da atividade das próprias enzimas do complexo

celulásico. Vários métodos têm sido desenvolvidos com o intuito de contornar tal problemática, incluindo a utilização de elevadas concentrações enzimáticas, além da suplementação de β-glucosidases durante o processo de hidrólise, bem como a adoção da estratégia de SSCF (sacarificação e fermentação simultâneas) (Santos, 2012).

2.2 FERMENTAÇÃO

Dentro dos processos fermentativos, tem-se a fermentação láctica e a alcoólica, porém não convém explicar a primeira no presente trabalho. A fermentação alcoólica é um processo que converte o piruvato em etanol e dióxido de carbono, em duas etapas, e pode ser realizado tanto por bactérias (como a Z. mobilis) quanto por leveduras (Saccharomyces por exemplo) (Abasaeed, 1987).

Figura 4: Esquema do processo de fermentação



Fonte: Autoria própria

Segundo Abasaeed (1987), a primeira etapa consiste na descarboxilação do piruvato, catalisada pela enzima piruvato descarboxilase e pela coenzima tiamina-pirofosfato. Esta descarboxilação resulta na liberação de CO2 e na formação de acetaldeído, que é utilizado como reagente na segunda etapa da fermentação alcoólica.

Já na segunda etapa ocorre a redução do acetaldeído a etanol, por meio da enzima álcool desidrogenase e do NADH + H+, que possuem poder redutor, de acordo com Abasaeed (1987). Neste processo o NADH é transformado em NAD+, dado que o íon H+ se junta ao acetaldeído para formar o etanol.

Concluindo o processo de fermentação alcoólica, admite-se a sua equação geral como: $C6H12O6 + 2\ Pi + 2\ ADP \rightarrow 2\ ATP + 2\ C2H5OH + H2O + CO2$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da revisão da literatura, utilizando metodologia científica e analisando todas as informações coletadas durante a elaboração do artigo, podemos destacar com mais clareza alguns pontos acerca das reações envolvidas no processo de obtenção do etanol de segunda geração a partir da celulose contida no coco verde.

O primeiro ponto observado no levantamento bibliográfico foi a variedade de opções no que diz respeito ao pré-tratamento de biomassas lignocelulósicas, sendo destacada a hidrólise ácida diluída que, apesar de seu rendimento menor, possui um custo viável para escala laboratorial. Além disso, a hidrólise alcalina também configura um tratamento para as biomassas lignocelulósicas, contudo, este demonstrou uma usabilidade mais favorável em casca e palha de arroz (Soares, 2016).

Em relação à sacarificação e fermentação da biomassa obtida através do coco verde, existem alguns inibidores descritos por Soares (2016), como por exemplo os furanos, os ácidos fracos e os compostos fenólicos. Na tabela abaixo estão descritos alguns desses compostos:

Tabela 1: Compostos que interferem na fermentação

CLASSE	COMPOSTO	AÇÃO
Furano	furfural	Inibição do crescimento da levedura; degradação das enzimas álcool desidrogenase, piruvato desidrogenase e aldeído desidrogenase
Furano	hidroximetilfurfural	Inibição do crescimento da levedura; degradação das enzimas álcool desidrogenase, piruvato desidrogenase e aldeído desidrogenase
Compostos fenólicos	Mais comuns: ácido 4-hidroxibenzoico, vanilina e catecol	Possuem diversos efeitos especificamente em S. cerevisiae podem variar de cada composto, podendo inibir o crescimento celular, prolongar a fase lag, reduzir o rendimento de etanol e aumentar a produção de acetato ou glicerol. Pode também afetar a integridade da membrana e no gradiente de prótons através da membrana mitocondrial

Fonte: Adaptado de Soares (2016)

No tocante à fermentação, encontram-se alguns complicadores no pré-tratamento, como a alta concentração de lignina citada anteriormente. Não foram encontrados estudos a respeito

do mosto do coco verde na comunidade científica nacional, considerando que o descarte indevido dessa matriz é um problema público e não privado, infere-se que esta seja a razão para não se estabelecerem linhas de pesquisas no ramo. Dessa forma, utiliza-se o mosto do bagaço de cana de açúcar para efeito de comparação, o que não é um impedimento pois os mostos fermentativos lignocelulósicos no geral não se diferem nas suas características fundamentais. Segundo Costa (2016), o rendimento médio da fermentação do bagaço de cana de açúcar em escala laboratorial é de 82%, devido ao menor teor de lignina, e podendo ser ligeiramente menor quando aplicado ao coco devido a maior presença de lignina ou de inibidores como furfural.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sobre os pré-tratamentos lignocelulósicos, pode-se inferir que a utilização de Saccharomyces cerevisiae industriais mostrou-se como uma opção promissora na preparação do mesocarpo do coco verde para a fermentação, sendo extremamente viável e resultando numa massa considerável de açúcares. Diferentemente da palha de arroz, que apresenta resultados viáveis em tratamentos alcalinos, o coco verde, assim como a cana-de-açúcar, mostrou resultados melhores em tratamentos ácidos e enzimáticos, tanto com ácido sulfúrico quanto com cepas de Saccharomyces cerevisiae. Ainda sobre os pré-tratamentos, é importante destacar a ação dos inibidores no processo de fermentação. Substâncias como os furanos, os ácidos fracos e os compostos fenólicos podem interferir de maneira não-intencional nos processos fermentativos da biomassa lignocelulósica.

De acordo com as pesquisas, foi possível discutir e concluir que o processo de hidrólise ácida diluída apresenta baixo custo, aumentando a viabilidade do processo no mosto de coco verde. Em contrapartida, o alto teor de lignina no coco auxilia na diminuição do rendimento neste processo em específico. Em relação à fermentação, é possível considerar o processo viável, já que os valores de rendimento do mosto de bagaço de cana na fermentação atingem valores altos de até 82%, mesmo considerando os interferentes como a lignina.

A aplicação deste estudo ainda promete inovação na comunidade científica nacional por abordar pela primeira vez o mosto de fermentação do coco verde. Pode-se perceber que no contexto ambiental, o consumo do coco verde está ligado ao crescimento do descarte indevido e aumento da poluição. Mediante a tal situação, torna-se necessária uma alternativa, como o presente artigo propõe, para que ocorra a reutilização dos resíduos do coco verde. Além disso,

com a reciclagem do coco e a produção de um biocombustível, voltadas para a diminuição de poluição, tem-se também a geração de renda e oportunidades de empregos.

Mediante a viabilidade da produção de etanol de segunda geração a partir da celulose contida no coco verde, pode-se totalizar que com a conversão bem-sucedida de celulose em açúcares menos complexos, o pré-tratamento correto do mosto e a fermentação realizada com tempo e condições corretas, afirma-se que a previsão do rendimento é promissora.

REFERÊNCIAS

ABASAEED, A. E. **Kinetic and process studies on free and solid acid catalyzed hydrolysis of biomass substrates.** U.S. Department of Energy. Estados Unidos da América. 1987.

BASTOS, V. D. **Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias**. BNDES Setorial do Rio de Janeiro, março 2007

CABRAL, M. M. S.; Abud, A. K. S.; Rocha, M. S. R. S. **Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos**. ENGEVISTA, janeiro de 2017.

COSTA, A. K. B.; **Estudo da fermentação de hidrolisado lignocelulósico de bagaço de cana-de-açúcar pela linhagem Spathaspora Passalidarum** UFMG-HMD 14.1. Unicamp, Campinas, 2016.

GURGEL, L. V. A. **Hidrólise ácida de bagaço de cana-de-açúcar: estudo cinético de sacarificação de celulose para produção de etanol**. USP, São Carlos, 20 de janeiro 2011. 8-79.

KOHLHEPP, G. **Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil**. Scielo, 2010.

LEITE, R. C.; Cortez, L. A. B. **O Etanol Combustível no Brasil. Revista Biocombustível no Brasil**, 2008.

MORAIS, P. P. **Etanol de 2ª Geração: atual produção e perspectivas.** BNDES: Banco de Dados e Biblioteca Digital, dezembro 2017.

NASCIMENTO, R. J. A. et al. **Caracterização Qualitativa e Quantitativa do Bagaço de Casca de Coco Verde Utilizando Métodos Tradicionais e a Espectroscopia no Infravermelho Próximo (NIRS)**. COBEQ, Florianópolis, 19 de outubro de 2014.

OLIVEIRA, J. C. et al. **Avaliação térmica e espectroscópica da celulose, hemicelulose e lignina extraídas da fibra de licuri (Syagrus coronata).** CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, novembro 2014.

PUTRINO, F. M. **Estudo da obtenção de açúcares redutores a partir da casca de coco verde utilizando CO2 supercrítico**. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo. Pirassununga. 2016.

SANTOS, D. D. S. D. **Produção de etanol de segunda geração por Zymomonas mobilis naturalmente ocorrente e recombinante, empregando biomassa lignocelulósica**. UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

SOARES, J. **Produção de etanol a partir do coco verde utilizando cepas de Saccharomyces cerevisiae industriais**. UFES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.

SURMELY, R. et al. **Culturas tuberosas amiláceas latinoamericanas**. São Paulo, Fundação Cargill, 2003.

XIANG, Q. **Conversion of lignocellulosic substrate into chemicals: kinetic study of dilute acid hydrolysis and lignin utilization**. Universidade de Auburn. Alabama. 2002.