



PRÉ-TRATAMENTO ÁCIDO E BÁSICO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA OBTENÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

ACIDIC AND BASIC PRE-TREATMENTS OF AGROINDUSTRIAL RESIDUES FOR OBTAINING SECOND GENERATION ETHANOL

PRETRATAMIENTOS ÁCIDO Y BÁSICO DE RESIDUOS AGRO-INDUSTRIALES PARA EL PRODUCCIÓN DE ETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN

Ana Carolina Moreira Sant'Anna¹

Letícia Tabai²

Rafael Resende Maldonado³

Resumo: O presente estudo investigou a aplicação de pré-tratamento ácido (com H_2SO_4) ou básico (NaOH) para produção etanol 2G utilizando dois resíduos agro-industriais (bagaço de laranja e melação de soja). Os maiores rendimentos de conversão dos resíduos em açúcares fermentáveis foram 37,7% (bagaço de laranja/meio ácido); 32,8% (bagaço de laranja/meio básico) e 27,5% (melação de soja/meio ácido). A produção de etanol foi mais alta nos meios que passaram por pré-tratamento ácido, atingindo máximo de 3,8% v/v para bagaço de laranja.

Palavras-chave: Bagaço de laranja. Etanol de segunda geração. Melação de soja. Pré-tratamento.

Abstract: The present study investigated the application of acid (with H_2SO_4) or basic (NaOH) pretreatment for 2G ethanol production using two agro-industrial residues (orange pomace and soy molasses). The highest yields of conversion of residues into fermentable sugars were 37.7% (orange pomace/acid medium); 32.8% (orange pomace/basic medium) and 27.5% (soy molasses/acid medium). Ethanol production was higher in media that underwent acid pretreatment, reaching a maximum of 3.8% v/v for orange pomace.

Keywords: Orange pomace. Second generation ethanol. Soybean molasses. Pretreatment.

Resumen: El presente estudio investigó la aplicación de pretratamiento ácido (con H_2SO_4) o básico (NaOH) para la producción de etanol 2G utilizando dos residuos agroindustriales (orujo de naranja y melaza de soja). Los rendimientos más altos de conversión de residuos en azúcares fermentables fueron 37.7% (orujo de naranja/medio ácido); 32.8% (orujo de naranja/medio básico) y 27.5% (melaza de soya/medio ácido). La producción de etanol fue mayor en los medios que se sometieron a un tratamiento previo con ácido, alcanzando un máximo de 3.8% v / v para el orujo de naranja.

Palabras clave: orujo de naranja. Etanol de segunda generación. Melaza de soja. Pretratamiento

¹Graduada em Tecnologia em Processos Químicos. IFSP – Câmpus Capivari. E-mail: carolina.ana@aluno.ifsp.edu.br

² Graduada em Tecnologia em Processos Químicos. IFSP – Câmpus Capivari. E-mail: tabai.leticia@aluno.ifsp.edu.br

³Professor Doutor da área Química no IFSP – Câmpus Boituva. E-mail: rafael.maldonado@ifsp.edu.br



Introdução

A cultura da cana de açúcar é tradicional no Brasil, tendo sido introduzida ainda no século XIV, no entanto foi devido à crise do setor petroquímico ocorrido na década de 1970 que houve um aumento significativo do interesse da utilização do etanol como combustível alternativo ao petróleo no Brasil. As indústrias sucroalcooleiras começaram a produzir etanol em larga escala, se destacando não somente pela sua alta produtividade, mas também pela possibilidade de utilização de diversos tipos de substratos e melhoramento genético de plantas para tornar cada vez mais eficiente a produção de etanol (Moraes & Bacchi, 2015; Lima et al., 2001).

O Brasil foi pioneiro na produção do chamado etanol de primeira geração, obtido a partir da fermentação dos açúcares presentes na cana de açúcar. No mercado atual de etanol, Brasil e Estados Unidos respondem por cerca de 60% da cadeia produtiva do etanol de primeira geração e o etanol proveniente da cana de açúcar apresenta maior produtividade que o de outras fontes (como o milho utilizado nos EUA). No entanto, no ciclo de produção do etanol de cana de açúcar ocorre produção de grande quantidade de resíduos, como palha e bagaço, que poderiam ser aproveitados para produção do etanol de segunda geração (E2G) (Moro, 2015).

A utilização dos resíduos da produção do etanol de primeira geração e de outros resíduos agro-industriais serve de base para produção do etanol 2G, principalmente a partir do aproveitamento da biomassa lignocelulósica do bagaço de cana, que hoje se destina principalmente a co-geração de energia elétrica por queima do resíduo. A utilização deste tipo de material para produção de etanol 2G agrega valor à cadeia produtiva, reduz custos de operação e instalação e reduz impactos ambientais (Senna, 2016).

O bagaço de cana de açúcar é uma biomassa lignocelulósica, constituída principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, polímeros responsáveis justamente por criar uma barreira de proteção contra a ação de microrganismos. Desta forma, a utilização deste tipo de material requer estratégias de hidrólise prévia destes polímeros antes de se realizar a fermentação para produção do etanol. Apesar disso, o bagaço de cana caracteriza-se



por ser uma fonte renovável e de baixo custo. Além disso, os polímeros presentes em suas estruturas podem ser convertidos em açúcares passíveis de fermentação alcoólica (Rodrigues et al., 2017; Cypriano, 2015; Carli, 2011).

Um dos fatores que dificulta a produção em larga escala do etanol 2G é justamente a necessidade de hidrólise prévia dos compostos lignocelulósicos. Essa etapa visa liberar as moléculas de açúcares presentes na celulose e na hemicelulose que serão utilizados para fermentação alcoólica. Além disso, é importante reduzir o teor de lignina, uma vez que ela envolve a superfície celulósica, dificultando o processo de hidrólise e ela também é um material que não apresenta açúcares em sua estrutura, portanto não é aproveitada para o processo da fermentação alcoólica (Aguiar, 2017; Ogeda & Petri 2010).

A resistência apresentada pelos compostos lignocelulósicos e o baixo rendimento da conversão deles em açúcares fermentáveis faz com que seja necessário a realização de pré-tratamentos para favorecer a ruptura desses materiais. Os métodos de pré-tratamentos modificam ou removem as cadeias de revestimento (formadas principalmente por lignina), deixando a celulose mais susceptível ao ataque de agentes de hidrólise (ácidos, bases, enzimas, etc). Um pré-tratamento eficaz deve preservar as pentoses (açúcares que aumento o rendimento de etanol na etapa de fermentação) e evitar a formação de inibidores que prejudiquem o processo fermentativo (Cypriano, 2015; Moro, 2015; Canevari, 2013; Crivellari, 2012; Dias, 2011).

Os reagentes mais empregados nos pré-tratamentos são os ácidos (ácido acético, clorídrico e sulfúrico), sendo que a concentração do ácido e a temperatura aplicada são fatores fundamentais no controle da degradação dos açúcares e na formação de subprodutos indesejados, como o inibidor furfural, proveniente da desidratação das pentoses, que inibem o processo fermentativo (Canevari, 2013; Lorencini, 2013)

Outra possibilidade é o pré-tratamento alcalino, no qual são utilizados álcalis como hidróxido de sódio ou de cálcio, amônia e ureia. Este tipo de pré-tratamento provoca aumento da porosidade da biomassa em decorrência da deslignificação. Este tipo de pré-tratamento



apresenta como maiores vantagens o baixo custo e maior rendimento em biomassas com teor de lignina (Rodrigues et al., 2017; Pitarello, 2007).

Além do bagaço da cana, bastante estudado devido sua abundância e por ser um resíduo da própria atividade sucroalcooleira, tem surgido o interesse no aproveitamento de outros resíduos agro-industriais capazes de gerar açúcares fermentescíveis e, portanto, passíveis de aplicação para produção de etanol 2G. As indústrias de suco de laranja e de processamento de soja (também de grande proporção no país) produzem como resíduos o bagaço de laranja e o melaço de soja, que já foram objeto de estudos anteriores para obtenção de etanol 2G (Pinheiro & Camargo, 2018; Cypriano, 2015; Romão, 2011).

Segundo levantamento realizado pelo IBGE em 2012, aproximadamente 47 mil toneladas de laranja são produzidas anualmente no Brasil, isto representa cerca de 35% da produção mundial. O processamento industrial de laranja tem como subproduto o bagaço de laranja que representa 50% do total do fruto (Cypriano 2015; Silva, 2014). Em estudo recente, Pinheiro & Camargo (2018) avaliaram a hidrólise ácida do bagaço de laranja como forma de obter açúcares fermentáveis para produção de etanol 2G. Esses autores obtiveram uma conversão de 31,25% do bagaço de laranja em açúcares com tratamento utilizando 2,0% m/v de ácido sulfúrico e 45 minutos de aquecimento a 121° C.

Outra biomassa que pode ser empregada na produção do etanol 2G é o melaço de soja, co-produto da extração proteica da soja, que atualmente é destinado para produção de ração animal. Essa biomassa já foi avaliada para produção de etanol 2G, aplicando-se uma hidrólise com ácido nítrico (pH = 4,5) e aquecimento a 127 °C. O hidrolisado obtido produziu 50,1 g/L de etanol, o que representou uma produtividade de 3,57 g/(L.h) (Romão, 2011).

Considerando-se a importância da produção do etanol 2G como um combustível renovável e abundância e diversidade de resíduos agro-industriais produzidos no Brasil, os objetivos deste estudo foram: (i) avaliar o efeito da concentração de ácido e base para realização de pré-tratamento de bagaço de laranja e melaço de soja para obtenção de açúcares fermentáveis e (ii) aplicar os hidrolisados obtidos para produção de etanol 2G por fermentação alcoólica.



Procedimento Experimental

Preparação e caracterização do bagaço de laranja

O bagaço de laranja utilizado neste estudo foi gentilmente doado pelo estabelecimento “Bossolan-sucos e salgados” (Capivari, São Paulo). O bagaço foi triturado em um multiprocessador doméstico e seco em estufa sem circulação de ar (Quimis) a 70° C por 48 horas. Após a secagem, o bagaço passou por nova etapa de trituração em liquidificador industrial e a granulometria foi padronizada utilizando uma peneira de 10 mesh (2,0 mm) (Pinheiro & Camargo, 2018). Feita a preparação do substrato, realizou-se o cálculo do rendimento mássico do bagaço de laranja seco, conforme equação 1:

$$\text{Rendimento} = \left(\frac{M_{\text{final}}}{M_{\text{inicial}}} \right) \cdot 100 \quad (\text{eq 1})$$

Onde: M_{final} = massa do bagaço seco (g) e M_{inicial} = massa do bagaço úmido (g).

Para determinação do teor de sólidos totais realizou-se a secagem de amostras do bagaço de laranja em estufa sem circulação de ar (Quimis) a 105 °C por 3 h. Após secagem as amostras foram conservadas em dessecador até atingir a temperatura ambiente. O teor de sólidos totais foi calculado a partir das massas inicial e final deste procedimento utilizando a equação 2 (Pinheiro & Camargo, 2018; Cypriano, 2015).

$$\% \text{ sólidos totais} = \left[\frac{[(M)_3 - M_1]}{M_2 - M_1} \right] \cdot 100 \quad (\text{eq 2})$$

Onde: M_1 = massa do cadinho vazio; M_2 = massa do bagaço de laranja úmido; M_3 = massa do bagaço de laranja seco.

Pré-tratamento ácido e básico do bagaço de laranja

Os pré-tratamentos (ácido e básico) do bagaço de laranja foram realizados com quantidade de 10,0 g do bagaço seco e 100 mL da solução ácida (H_2SO_4) ou básica (NaOH),



que foram misturados em Erlenmeyers de 250 mL. Os frascos foram fechados com papel padro e aquecidos por 45 min em autoclave (Prismatec Autoclaves) a 121 °C (P = 1,1 atm). Após este período, as amostras foram deixadas esfriar até atingir temperatura ambiente e, em seguida, procedeu-se a filtração simples (para os pré-tratamentos ácidos) e a vácuo (para os pré-tratamentos ácidos). Foram utilizadas soluções (ácida ou básica) com concentrações de: 1, 2, 3, 4 e 5% v/v. Para cada concentração foram feitos ensaios em duplicata e também foi realizado um branco (substrato misturado com 100 mL de água destilada). A eficiência dos pré-tratamento foram calculadas a partir da variação da concentração de sólidos solúveis inicial e final do processo (Pinheiro & Camargo, 2018; Cypriano, 2015).

Coleta do melaço de soja

O melaço de soja utilizado neste estudo foi gentilmente cedido pela empresa Melaço de Cana (Saltinho, SP). O produto foi conservado em geladeira (aproximadamente 4° C), com a finalidade de evitar possíveis alterações em sua composição. Também foi avaliado o teor de sólidos totais presente no melaço utilizando mesmo procedimento descrito para o bagaço de laranja.

Pré-tratamento ácido e básico do melaço de soja

Os ensaios de pré-tratamento para melaço de soja foram efetuados utilizando 20,00 g do substrato e 80,0 mL de solução (ácida ou básica) e as amostras foram aquecidas em autoclave a 127 °C (P = 1,5 atm) por 20 minutos (Romão, 2011). Os demais procedimentos adotados foram iguais aos realizados para o pré-tratamento de bagaço de laranja.

Análise de açúcares redutores

Após a finalização da etapa de pré-tratamento tanto do bagaço de laranja quanto do melaço de soja, realizou-se a análise de açúcares redutores nas amostras através do método titulométrico de Eynon-Lane, descrita pelo Manual de determinação de açúcares por titulometria do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2013). O teor de açúcares redutores em glicose (ARG) foi calculado pela equação 3:



$$A = \frac{(b - a) \times 5 \times f_1 \times f_2}{V \times 10}$$

(eq 3)

Onde: A= teor de açúcares redutores em glicose (g/100 mL); a= volume da solução de glicose gasto na titulação (mL); b= volume da solução de glicose gasto na titulação do branco (mL);

f₁= fator que envolve todas as diluições; f₂= fator de conversão para a expressão dos resultados em glicose (1); V= volume da amostra preparada usado na titulação (mL).

Variação da concentração de substrato

Depois de obtidos os resultados dos pré-tratamentos dos dois resíduos, foram selecionadas as melhores concentrações de ácido e base e avaliou-se o efeito da variação da concentração de bagaço de cana e de melão de soja na obtenção dos açúcares fermentáveis. As quantidades dos resíduos foram avaliadas entre 10 e 50% m/v (massa de substrato (g) por 100 mL de solução). Para esta etapa foram utilizadas as concentrações de 1 e 5% m/v de H₂SO₄ para o pré-tratamento ácido de melão de soja e bagaço de laranja, respectivamente e concentração de 1% m/v de NaOH para pré-tratamento básico do bagaço de laranja. Os resultados destes ensaios foram novamente avaliados pela medida da concentração de sólidos solúveis (Δ SS(°Brix)) e pelo teor de açúcares redutores (método de Eynon-Lane).

Fermentação alcoólica do melão de soja e do bagaço de laranja

Foram selecionadas 3 condições para produção dos hidrolisados dos resíduos agro-industriais: (i) 10 g de bagaço de laranja seco + 100 mL de H₂SO₄ (5% v/v); (ii) 20 g de melão de soja + 80 mL de H₂SO₄ (1% v/v) e (iii) 10 g de bagaço de laranja seco + 100 mL de NaOH (1% m/v). As condições de aquecimento foram 121° C/45 min e 127° C/20 min para bagaço de laranja e melão de soja, respectivamente (Cypriano, 2015; Romão, 2011).

Os hidrolisados obtidos tiveram pH ajustado para 4,5 através da adição de solução ácida ou básica, dependendo do pH inicial de cada hidrolisado. Amostras de 150 mL de hidrolisado foram colocadas em béqueres de 400 mL e inoculadas com *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada (marca Fermentis®). As fermentações foram realizadas em triplicata, na temperatura de 25 °C por 77 horas. Foram realizadas amostragens do mosto ao longo do



tempo de fermentação para medida da concentração de sólidos solúveis (por leitura direta em refratômetro) e para estimar a concentração de etanol (por balanço estequiométrico a partir do consumo de açúcares no mosto).

Resultados e Discussão

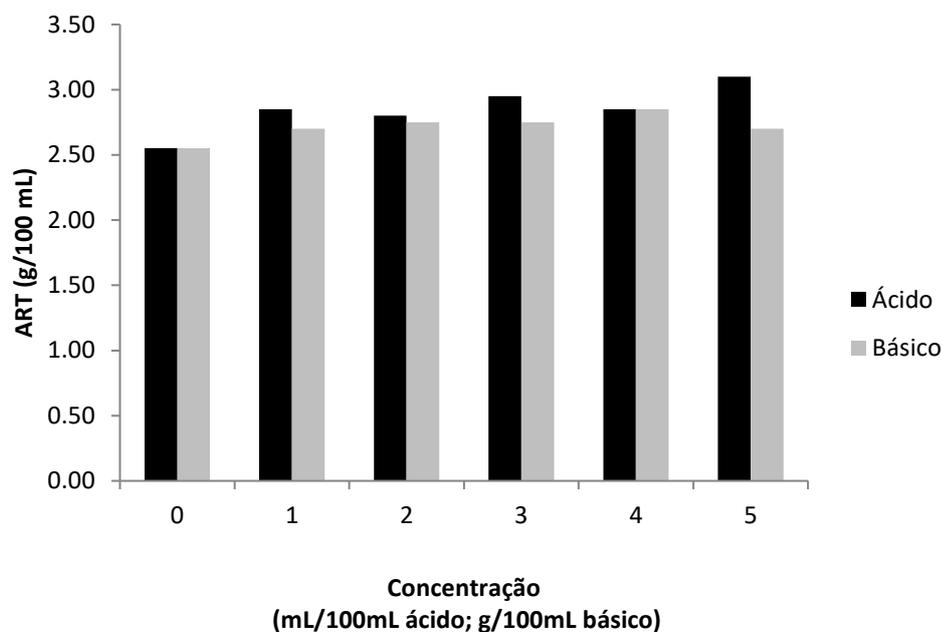
Caracterização e pré-tratamento do bagaço de laranja

O processo de secagem resultou no rendimento de 23,91% de bagaço de laranja e teor de sólidos totais de 19,68% (em relação ao resíduo úmido). Isto significa que o produto seco continha 82,30% de sólidos. Esses resultados foram similares aos encontrados em estudos anteriores. Pinheiro & Camargo (2018) obtiveram 23,5% de rendimento após a secagem de bagaço de laranja em condições similares ao do presente estudo. Por sua vez, Cypriano (2015) encontrou teor de sólidos de 21,76% em bagaço de laranja em seu estudo.

A figura 1 apresenta a concentração de açúcares redutores totais (ART) obtida nos pré-tratamentos ácido e básico do bagaço de laranja. Os resultados indicaram que no pré-tratamento ácido, a variação da concentração do reagente teve maior efeito sobre o substrato do que no pré-tratamento básico, sendo que a solução mais concentrada (H_2SO_4 5% v/v) promoveu maior liberação de açúcares fermentáveis no meio. Nessa condição a concentração de açúcares (3,10 g/100 mL) é cerca de 20% maior do que no branco, indicando a eficiência do ácido para o aumento da concentração de açúcares durante o pré-tratamento. Com relação ao pré-tratamento básico, como houve pouca variação da concentração de açúcares com aumento da concentração da base, escolheu-se trabalhar com solução a 1% m/v na etapa seguinte por motivo de ordem econômica (redução do consumo de reagente). Nessa condição houve aumento de 5,8% na concentração de açúcares fermentáveis em relação ao branco.



Figura 1: Concentração de açúcares redutores totais (ART) obtidos no pré-tratamento ácido e básico do bagaço de laranja em função da concentração do reagente utilizado.



Fonte: Autores (2019)

A figura 2 apresenta o resultado do rendimento na conversão de açúcares obtido em cada pré-tratamento (quantidade de açúcares fermentáveis obtida em relação ao teor de sólidos totais presentes no bagaço de laranja seco).

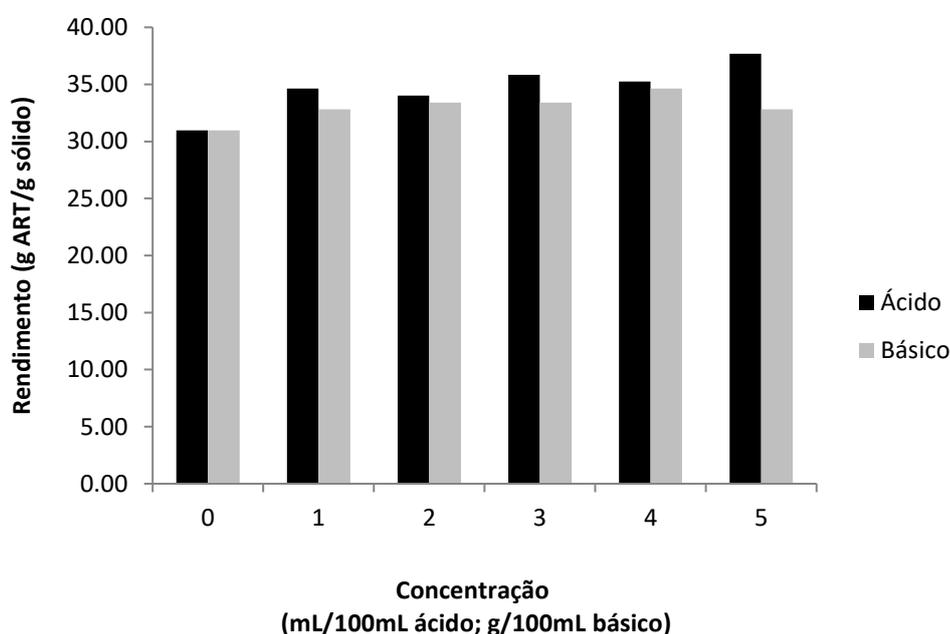
Observou-se que no pré-tratamento ácido houve tendência de aumento do rendimento em função do aumento da concentração de ácido, sendo o rendimento máximo obtido (37,67%) obtido com a solução de maior concentração (5 g/100 mL de ácido). Por outro lado, no pré-tratamento básico houve menor variação do rendimento com aumento da concentração da base, sendo assim, apesar da condição com 4% m/v de NaOH ter apresentado maior rendimento, foi escolhida a condição de 1% m/v para continuação do estudo, em função dos resultados de rendimento terem sido bem similares, sendo assim a condição de 1% m/v de base seria mais interessante do ponto de vista econômico.

Estudo anterior com pré-tratamento ácido de bagaço de laranja obteve rendimento de aproximadamente 32% de açúcares fermentáveis ao se aplicar uma solução de ácido sulfúrico



0,5% v/v a 120° C por 40 minutos (OBEROI et al., 2010), resultado esse menor que o encontrado no presente estudo

Figura 2: Rendimentos dos pré-tratamentos ácidos e básicos em bagaço de laranja em função da concentração da solução



Fonte: Autores (2019)

Definidas as concentrações de H_2SO_4 e $NaOH$ mais adequadas para o pré-tratamento do bagaço de laranja, realizou-se a avaliação do efeito do aumento da quantidade de substrato (10 a 50% m/v), com intuito de se obter soluções mais concentradas em açúcares fermentáveis. No entanto verificou-se que com aumento da quantidade de bagaço houve uma absorção do reagente pelo resíduo, o que inviabilizou a obtenção de um extrato líquido mais concentrado em açúcares. Sendo assim, foi mantida a proporção de 10% m/v de bagaço de laranja seco em relação ao volume de solução utilizada para o pré-tratamento.

Caracterização e pré-tratamento do melaço de soja



O melaço de soja utilizando apresentou teor de sólidos totais de 62%, valor este inferior ao indicado pelo fabricante (75% de sólidos). Por ser tratar de um resíduo, é comum haver variabilidade entre diferentes lotes e os resultados também podem variar em função de diferenças entre os métodos analíticos utilizados para determinação de sólidos totais.

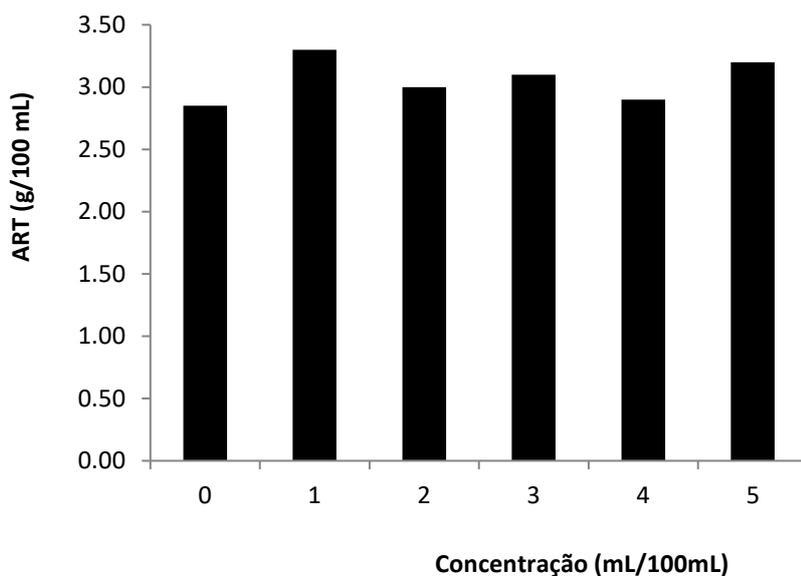
O pré-tratamento alcalino foi aplicado ao melaço de soja, porém o resultado obtido foi um material com consistência muito viscosa, o que impediu a filtração para obtenção da solução hidrolisada. A provável explicação para este fato é a presença de lipídeos no material. Segundo a ficha técnica da empresa fornecedora do melaço, o produto continha aproximadamente 20% de lipídeos e 20% de umidade, nestas condições a adição de uma solução básica provoca processo de saponificação. Sendo assim, o pré-tratamento alcalino mostrou inviável para o melaço de soja, sendo avaliado apenas o pré-tratamento ácido. A figura 3 mostra os resultados de açúcares fermentáveis obtidos com as diferentes concentrações de ácido aplicadas.

Ao analisar a figura 3, nota-se que a concentração 1% (v/v) de ácido resultou em maior teor de açúcares redutores (3,3%), seguida pela concentração de 5% (v/v), com resultado 3,2% em açúcares. Como os resultados foram muito semelhantes, optou-se por continuar o estudo com a concentração de 1% v/v de ácido visando minimizar o gasto de reagente e a formação de agentes inibidores durante a hidrólise. Segundo Moro (2015), o aumento da concentração de ácido no pré-tratamento pode levar ao aumento na formação de inibidores da fermentação devido a degradação ácida dos açúcares fermentáveis a furfural. A condição selecionada no estudo (1% v/v) provocou um aumento de 15,8% de açúcares redutores totais em comparação com o branco (tratamento aplicando substrato e água destilada).

O rendimento do pré-tratamento ácido do melaço de soja pode ser visualizado na figura 4.

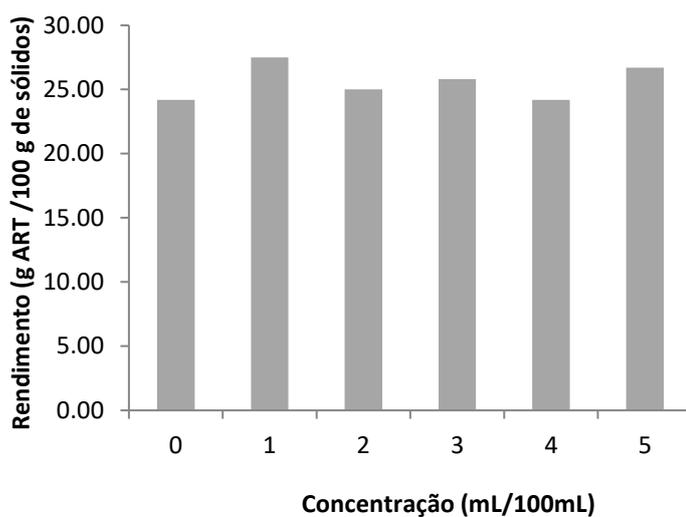


Figura 3: Concentração de açúcares redutores totais (ART) obtida no pré-tratamento ácido do melão de soja em função da variação da concentração do reagente



Fonte: Autores (2019)

Figura 4: Rendimento do pré-tratamento ácido do melão de soja

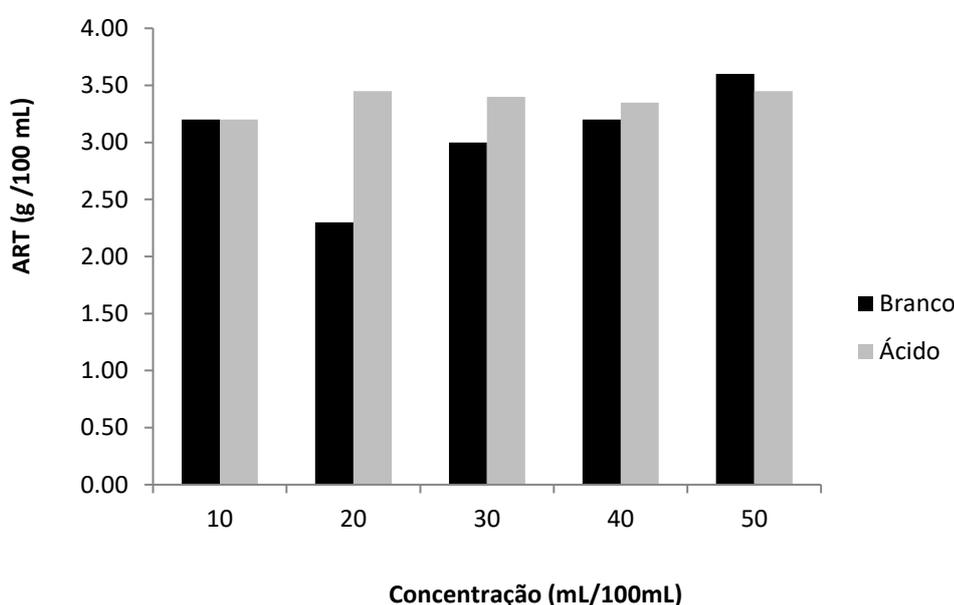


Fonte: Autores (2019)



Depois de selecionada a concentração mais adequada de ácido para o pré-tratamento do melão de soja foi feita a avaliação do efeito do aumento da concentração de melão no meio. Os resultados estão apresentados na figura 5.

Figura 5: Concentração de açúcares fermentáveis obtida no pré-tratamento ácido (1% v/v de ácido sulfúrico) de melão de soja em função da variação da concentração do resíduo (10 a 50% m/v).



Fonte: Autores (2019)

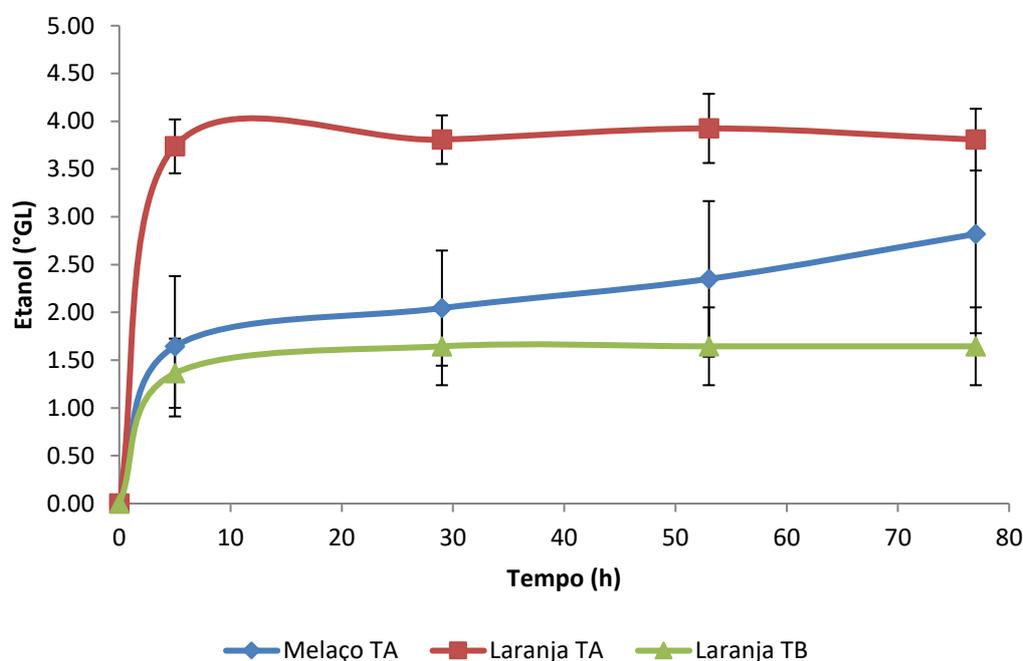
A figura 5 mostra que, para os ensaios utilizando de 20 a 40% m/v de melão de soja, a quantidade de ART obtida foi superior aos ensaios em branco (sem adição de ácido), sendo que a condição de 20% m/v de melão foi a que apresentou maior concentração (3,45%), o que corresponde a uma conversão de 28,8% dos sólidos do resíduo em açúcares fermentáveis. Esses resultados são semelhantes ao estudo anterior realizado com o mesmo resíduo realizado por Romão (2011).

Fermentação alcoólica do bagaço de laranja e do melão de soja

O processo fermentativo de ambos os substratos foi conduzido a partir da obtenção do hidrolisado líquido obtido nas condições selecionadas durante os ensaios de pré-tratamento,

sendo: (i) 10% m/v de bagaço de laranja com solução de H_2SO_4 (5 % v/v); (ii) 10% m/v de bagaço de laranja com solução de NaOH (1% m/v) e (iii) 20% m/v de melão de soja com solução de H_2SO_4 (1% v/v). A figura 6 mostra a quantidade de etanol 2G obtida para cada hidrolisado avaliado.

Figura 6: Concentração de etanol 2G produzido a partir da fermentação de hidrolisados de bagaço de laranja e melão de soja.



Fonte: Autores (2019)

A análise da figura 7 indicou que hidrolisado proveniente do pré-tratamento ácido do bagaço de laranja foi o que levou a maior produção de etanol (3,81 °GL) e que esta produção ocorreu logo nas primeiras horas de fermentação. Por outro lado, o hidrolisado do pré-tratamento ácido de melão de soja apresentou uma maior variação na produção de etanol 2G ao longo do tempo, passando de 1,65 °GL após 4 h de fermentação para 2,82 °GL após 77 horas de processo. Por sua vez, o hidrolisado do pré-tratamento básico do bagaço de laranja foi o que apresentou menor produção de etanol, o que sugere que este tratamento pode ter gerado maior quantidade de inibidores para o processo fermentativo.



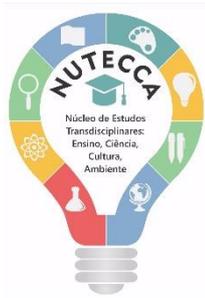
Os resultados obtidos com os hidrolisados de bagaço de laranja foram superiores aos encontrados em estudo anterior de Pinheiro & Camargo (2018) que obtiveram 1,23° GL de etanol a partir do hidrolisado ácido (2% v/v de H₂SO₄) de bagaço de laranja e que não obtiveram etanol a partir do hidrolisado básico de bagaço de laranja. Com relação ao hidrolisado de melão de soja, o valor obtido no presente estudo (2,82° GL) encontram-se dentro da faixa encontrada por Romão (2011), cujas concentrações de etanol 2G variaram entre 1,94 a 5,69° GL utilizando-se hidrolisados de melão de soja.

Considerações finais

O estudo realizado demonstrou que o pré-tratamento ácido foi mais efetivo para obtenção de açúcares fermentáveis para ambos os resíduos avaliados, com rendimentos superiores a 30% na conversão de sólidos em açúcares fermentáveis. O pré-tratamento básico, por sua vez, mostrou-se menos eficiente para o bagaço de laranja e inviável para o melão de soja (resultado não encontrado na literatura), provavelmente em função do teor de lipídeos presente neste resíduo. Os três hidrolisados obtidos mostraram-se viáveis para produção de etanol 2G, sendo obtida máxima concentração de 3,81° GL para o hidrolisado ácido de bagaço de laranja, valor este que é semelhante a estudos citados na literatura. A importância do estudo está focada no fato de que os resíduos avaliados ainda são pouco relatados na literatura (comparativamente aos estudos com bagaço de cana) e que os resultados aqui obtidos indicam a potencialidade do uso desses resíduos para produção de etanol 2G. Estudos de otimização das condições de fermentação e de ampliação de escala podem promover aumento da produção e da produtividade de etanol 2G de ambos os resíduos, agregando valor a estas matérias-primas.

Referências

- AGUIAR, H. R. R. **Produção de etanol de segunda geração**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017, 85p.
- CANEVARI, G. C. **Pré-tratamento ácido e básico de bagaço de cana-de-açúcar e sacarificação enzimática**. Tese (Doutorado em Bioquímica Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013, 57p.



CARLI, C.M. **Hidrólise e fermentação do bagaço de cana-de-açúcar em escala de bancada para produção de etanol 2G.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2011, 97p.

CRIVELLARI, A. C. **Caracterização estrutural das hemiceluloses de paredes celulares de cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas), Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012, 95p.

CYPRIANO, D. Z. **Biomassa de casca de laranja industrial como fonte de bioetanol e produtos de alto valor agregado.** Dissertação (Mestrado em Química Orgânica)- Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015, 103p.

DIAS, M. O. S. **Desenvolvimento e otimização de produção de etanol de primeira e segunda geração e eletricidade a partir da cana-de-açúcar.** 2011. 277f. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

Moraes, M. L.D. & Bacchi, M.R.P. Etanol: do início às fases atuais de produção. **Revista de Política Agrícola**, v.23, n.4, p.5-22, 2015.

MORO, M.K. **Pré-tratamento da biomassa de cana-de-açúcar por extrusão com dupla-rosca.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- Programa de pós-graduação em Engenharia Química – COPPE, Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015, 119p.

OBEROI, H. S. et al. **Ethanol Production from Orange Peels: Two-Stage Hydrolysis and Fermentation Studies Using Optimized Parameters through Experimental Design.** Journal Of Agricultural And Food Chemistry, [s.l.], v. 58, n. 6, p.3422-3429, 2010.

PINHEIRO, I. S. L.; CAMARGO, L. R. **Pré-tratamento ácido e básico do bagaço de laranja para produção do etanol de 2ª geração.** Trabalho de conclusão de curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus Capivari. Capivari, São Paulo, 2018, 20p.

PITARELLO, A.P. **Avaliação da susceptibilidade do bagaço e da palha de cana-de-açúcar à bioconversão via pré-tratamento a vapor e hidrólise enzimática.** Dissertação (Mestrado em Química Orgânica), Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade do Paraná, Curitiba, 2007, 142p.

ROMÃO, B.B. **Produção de etanol por hidrólise ácida de melão de soja.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011, 93f.

SENNA, P. P.; ANSANELLI, S. L. M. **Etanol de primeira ou de segunda geração? Uma comparação entre ciclos produtivos,** Anais do 1º Encontro da Nacional de Economia Industrial e Inovação BlucherEngineeringProceeding, v.3, n.4. p.1497-1510, 2016.

SILVA, C. E. F. **Avaliação do potencial de uso dos resíduos do processamento de frutas na produção de etanol 2G.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2014, 101f.