



Produção comparativa de etanol da cana-de-açúcar, batata inglesa e beterraba por fermentação

Comparative production of ethanol from sugarcane, english potatoes and beet by fermentation

Luciana F. Cardoso, Daniele Oliveira, Fábio F. Oliveira, Fernanda P. Gullo-Luzente*

Faculdade de Farmácia, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Paulista, São José do Rio Pardo, Brasil.

RESUMO

Introdução: A busca por combustíveis de fontes renováveis é de extrema importância para o meio ambiente, uma vez têm menor liberação de gases tóxicos durante a combustão. O etanol é um exemplo de combustível de fonte renovável e pode ser obtido pelo processo de fermentação de leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae* e matérias-primas que possuem açúcar como cana-de-açúcar e beterraba, ou matérias-primas amiláceas como a batata. **Objetivo:** Este trabalho tem por objetivo avaliar a produção de etanol a partir da fermentação do caldo de cana-de-açúcar, beterraba e batata inglesa e comparar o teor de etanol obtido por cada substrato. **Métodos:** Foi realizada a fermentação em erlenmeyer com substratos marcerados e fermento biológico, na proporção 1:10 e nas seguintes condições 30° C, 8 horas, sob agitação. Para o substrato batata, foi adicionada a etapa de sacarificação com uma solução de ácido sulfúrico 1 % v/v. Em seguida, as amostras repousaram em temperatura ambiente por 15 horas para a dosagem de etanol, o qual foi realizado por densímetro e comparado o teor alcoólico dos três processos de fermentação. **Resultados:** Os dados obtidos demonstraram que a cana-de-açúcar apresentou uma média de rendimento em etanol de 9,83%, seguido da batata com uma média de 1,7%, e a beterraba com média de 1,24%. **Conclusão:** Desta forma, a cana-de-açúcar mostrou melhor fonte para produção de bioteno, tanto pelo maior teor alcoólico obtido, quanto pela facilidade na produção.

Palavras-chave: Etanol; cana-de-açúcar, batata, beterraba.

ABSTRACT

Introduction: The search for fuels from renewable sources is extremely important for the environment, since they have less release of toxic gases during combustion. Ethanol is an example of a renewable source fuel and can be obtained through the fermentation process of yeasts of the species *Saccharomyces cerevisiae* and raw materials that contain sugar such as sugar cane and beet, or starchy raw materials such as potatoes. **Objective:** This work aims to evaluate the production of ethanol from the fermentation of sugarcane, beet and potato potatoes and to compare the ethanol content obtained by each substrate. **Methods:** The fermentation was carried out in conical flasks with marcerated substrates and biological yeast, in the proportion 1:10 and in the following conditions 30° C, 8 hours, under agitation. For the potato substrate, the saccharification step was added with a 1% v / v sulfuric acid solution. Then, the samples rested at room temperature for 15 hours for the measurement of ethanol, which was carried out by a densimeter and compared the alcohol content of the three fermentation processes. **Results:** The data obtained showed that sugarcane had an average ethanol yield of 9.83%, followed by potatoes with an average of 1.7%, and beet with an average of 1.24%. **Conclusion:** Thus, the sugarcane showed the best source for the production of bioteno, both because of the higher alcohol content obtained and because of the ease of production.

Keywords: Ethanol, sugarcane, potato, beet.

*Autor correspondente (corresponding author): Fernanda P. Gullo-Luzente
Faculdade de Farmácia, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Paulista.
Rua Santa Terezinha, 160, Centro, São José do Rio Pardo, São Paulo, Brasil.
CEP 13720-000
E-mail: fernanda.luzente@docente.unip.br
Recebido (received): 23/01/2020 / Aceito (accepted): 25/05/2020

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, há grande preocupação com o fornecimento de matérias-primas renováveis para as indústrias gerar produtos sustentáveis e com menor danos ambientais. Como por exemplo, a produção de biocombustível renovável que possa cumprir com uma redução considerável de emissão de gases (ROCHA, 2010). O etanol é considerado um excelente combustível para minimizar impactos ambientais, pois não contém certos poluentes como o benzeno que é prejudicial ao meio ambiente, entre outros (PETROBRAS, 2013).

Países como Brasil, Estados Unidos e países europeus utilizam o etanol como combustível por atender exigências ambientais, uma vez que sua produção e queima não contribui consideravelmente para o aumento completo de gás carbônico na atmosfera, além de deter elevada octanagem e promover maior calor de vaporização, ainda é um excelente combustível para motores híbridos e pode ser misturado com petróleo ou usado puro em motores específicos (ROCHA, 2010).

Desde os anos 20, o uso do etanol como combustível cresceu consideravelmente; porém com maior relevância no final dos anos de 1975 com a fundação do Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), com o intuito de diminuir o uso do petróleo para a produção de combustível. O Brasil é o segundo país com maior produção de etanol, ficando atrás somente dos Estados Unidos, além de ser um dos principais produtores e exportadores de cana-de-açúcar e juntos lideram a produção de etanol somando em torno de 80 % da produção (LEITE e LEAL, 2007).

O etanol é produzido por processos fermentativos com a ação de leveduras, principalmente da espécie *Saccharomyces cerevisiae* e matérias-primas renováveis que apresentam como componente amido ou açúcares. Para ser produzido a partir de matérias-primas que contenham amido como, por exemplo, a batata há necessidade de processos biotecnológicos capazes de converter o amido em açúcar. As matérias-primas que já possuem açúcares em sua composição como a cana-de-açúcar e a beterraba é necessário apenas a extração do açúcar para a produção (SEBRAE, 2013).

A fermentação alcoólica é um processo de liberação de energia que ocorre sem a participação do oxigênio, no qual açúcares, principalmente a sacarose, glicose e frutose são degradados no interior da célula de microrganismos formando etanol e gás carbônico como metabolitos secundários, como demonstrado na Figura 1 (MISSAWA, 2009).

O uso do etanol como combustível vem crescendo cada vez mais, e com isso vem aumentando o número de desenvolvimento de carros flex fuel, ou seja, aqueles modelos que podem ser abastecidos com gasolina, etanol ou uma mistura dos dois. Sua combustão em motores libera baixas concentrações de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos e óxidos de enxofre (SO), quando comparados a combustíveis fósseis (CAVALCANTE, 2010).

O presente trabalho teve como objetivo, quantificar e comparar a produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas, a cana-de-açúcar, batata inglesa e beterraba, assim como comparar os resultados com dados os estudos já publicados, com a finalidade de acrescentar

dados biotecnológicos na literatura sobre a possibilidade do uso de diferentes fontes para a produção de bioetanol.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O processo de fermentação foi realizado utilizando o fermento biológico, adquirido comercialmente, e as matérias-primas (cana-de-açúcar, batata inglesa e beterraba) cada uma com suas especificações. Para a fermentação com caldo de cana-de-açúcar, foram utilizados 1000 mL de melaço de cana-de-açúcar e o fermento biológico (levedura) na proporção de 1:10. A mistura foi incubada 30° C por oito horas sob agitação e após o este tempo, a mistura permaneceu em repouso, temperatura ambiente por mais 15 horas, totalizando 23 horas de fermentação.

Para a fermentação da batata inglesa, foram necessárias etapas intermediárias para o processo de sacarificação, uma vez que a batata apresenta substrato amiláceo e não possui açúcar em sua composição. Tal processo foi capaz de conversão do amido em açúcares fermentáveis. O processo sacarificação foi realizado por hidrólise ácida conforme descrito por OLIVEIRA et al., 2009; onde foram utilizados 500 g de batata inglesa triturada e uma solução de ácido sulfúrico a 1% v/v, esta mistura foi autoclavada por 60 minutos a uma temperatura de 127° C / 1,5 atm, para quebrar o amido em açúcares. A hidrólise foi atestada pela reação com a solução de Lugol (iodo); sendo esta etapa é fundamental para comprovar que houve realmente a quebra do amido, uma vez que o amido na presença de iodo forma uma coloração roxa, a medida que vai quebrando o amido em açúcar não forma mais esta coloração na solução. Após esta etapa, o caldo foi coado e foi corrigido o pH da amostra com bicarbonato de sódio para pH igual a 5 (faixa ideal para a fermentação). Em seguida, o processo de fermentação ocorreu da mesma forma descrita para caldo de cana-de-açúcar.

Para a fermentação da beterraba, foram utilizados 500 g da beterraba triturada, coado e transferido para erlenmeyer e completando o volume para 1000 mL com água destilada. A fermentação ocorreu como descrito acima e o conteúdo da fermentação foi transferido para uma proveta para determinar a porcentagem de etanol. Houve o controle da temperatura durante todos os processos de fermentação, a qual não variou entre 22 a 26°C, permanecendo em temperatura ótima para o processo. Todos os processos foram realizados em duplicata e em experimentos independentes.

O teor de etanol produzido pelos processos de fermentação foi dosado por densímetro. Para isso foi necessário determinar a densidade da matéria-prima antes do processo de fermentação (densidade inicial) e após a fermentação (densidade final). Para a determinação da densidade, o conteúdo a ser avaliado foi transferido para uma proveta juntamente com o densímetro e termômetro. Para estabelecer a densidade inicial e final, foi verificada a temperatura e usada a tabela de correção de acordo com de GRÄBENWASSER, 2018, para que obter um resultado preciso da densidade. Após a determinação das densidades, foram realizados os cálculos de Gräbenwasser para obter o teor alcóolico, conforme a fórmula: Concentração alcoólica = (Densidade inicial – Densidade final) x 131.

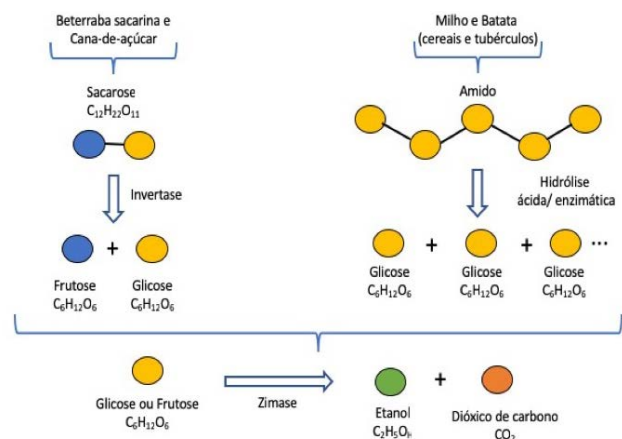


Figura 1. Esquema representativo do processo de fermentação a partir da beterraba, cana-de-açúcar, milho e batata. Fonte: Adaptado de GUPTA e DEMIRBAS, 2010)

3. RESULTADOS

Para a dosagem de etanol produzido pelos sistemas de fermentação, foi utilizado densímetro com correção por temperatura. Na Tabela 1 estão demonstrados os dados de densidade corrigida no início da fermentação, quanto à quantidade em volume do substrato macerado, temperatura inicial, média da densidade inicial e a quantidade de fermento biológico adicionada para o processo de fermentação. Assim como, estão demonstrados os dados obtidos no final do processo de fermentação (após 23 horas de reação) como a temperatura final, a média da densidade final e a média do rendimento de etanol obtido em porcentagem.

Tendo em vista as diferentes fontes de carboidratos estudadas para a produção do etanol, comparando a produtividade entre a cana-de-açúcar, batata e a beterraba em relação aos processos de produção são muito semelhantes. Porém, a cana-de-açúcar demonstrou ser a mais vantajosa, segundo os resultados obtidos no presente trabalho, tendo uma média de rendimento em etanol de 9,83 %, seguido pela batata inglesa com 1,7 % de rendimento e a beterraba com 1,24 % de rendimento de etanol, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Dados coletados no início e final do processo de fermentação.

Anterior a fermentação	Volume de substrato	Temperatura Inicial	Média da densidade inicial	Fermento Biológico
Cana-de-açúcar	500 ml	24 °C	1095,9	100 g
Batata	500 ml	26 °C	1031,4	100 g
Beterraba	500 ml	22 °C	1010,4	100 g

Posterior a fermentação	Volume de substrato	Temperatura Final	Média da densidade final	Média do rendimento de etanol
Cana-de-açúcar	500 ml	24 °C	1020,9	9,83 %
Batata inglesa	500 ml	24 °C	1018,4	1,7 %
Beterraba	500 ml	24 °C	1000,9	1,24 %

4. DISCUSSÃO

Diante os dados obtidos em nosso trabalho, o substrato capaz de produzir maior rendimento em etanol foi a cana-de-açúcar. Da mesma forma, pode-se observar em outros estudos, como por exemplo o realizado por Sampaio em 2013, a mesma efetividade da cana-de-açúcar quando se tem uma produção de etanol em larga escala, mostrando que com uma tonelada de

cana é possível obter 86 litros de etanol hidratado. Esse elevado rendimento pode ocorrer devido ao fato da cana-de-açúcar possuir sacarose em sua composição, o que torna o processo mais simples, mais barato e com um alto rendimento em produção de etanol. Outra grande vantagem do uso desse substrato é a colheita, podendo ser cortadas de cinco a seis vezes em um único ciclo de plantio, tendo a necessidade de ser replantada apenas a cada seis anos. O bagaço como subproduto do processo pode ser utilizado para gerar a própria eletricidade das usinas produtoras de etanol (SAMPAIO, 2013).

A produtividade do etanol a partir da cana-de-açúcar, em larga escala, se dá por meio do processo de fermentação denominado batelada alimentada. Este processo é o mais utilizado nas destilarias do Brasil, considerando que a cana já possui açúcar em sua composição, o processo se torna mais simples. Neste trabalho a produção de etanol ocorreu a partir do caldo de cana-de-açúcar adquirido comercialmente. Em seguida foi realizada a fermentação por adição de fermento biológico na proporção 1:10 fermentação dura em torno de 23 horas, onde o caldo é transformado em etanol através de processos enzimáticos realizados pelo próprio microrganismo (SAMPAIO, 2013).

A produtividade do etanol de cana-de-açúcar se destaca quando comparada a quantidade de biocombustível obtida por unidade de área que possui produtividade superior as demais fontes utilizadas. Segundo dados obtidos no trabalho de Sampaio realizado em 2013, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, devido a grande extensão de terras e ao clima favorável, e o segundo maior produtor de etanol utilizando como matéria prima a cana-de-açúcar. Ainda neste trabalho, o autor demonstra o sistema de produção de etanol passo a passo e o reaproveitamento dos resíduos gerados durante o processo. Dados obtidos em cerca de 60 usinas no Estado de São Paulo mostram que com uma tonelada de cana-de-açúcar é possível obter 86 litros de etanol hidratado, sendo que, em torno de 80 % do total do etanol é produzido pelo processo de fermentação em batelada alimentada e a outra parte do etanol é produzida por fermentação contínua (SAMPAIO, 2013).

Assim, podemos considerar a cana-de-açúcar como uma matéria-prima vantajosa frente a outras existentes, além de ter baixo percentual de emissão de gases e ter um custo relativamente baixo, por já conter açúcar em sua composição.

Quando analisamos a produção do etanol a partir da batata inglesa, observamos um menor rendimento quando comparado com a cana-de-açúcar e maior rendimento que a beterraba. No entanto, por ser uma matéria-prima amilácea, torna o processo um pouco mais caro, pois necessita de processos biotecnológicos para quebrar o amido em açúcar fermentável, como demonstrado na metodologia deste trabalho. Nossos resultados mostraram uma média de rendimento em etanol de 1,7 % e observamos que há poucos trabalhos na literatura que mostram a produção de etanol a partir dessa matéria-prima (MONTEIRO, 2011).

A batata é cultivada por todo o mundo, pois as suas exigências quanto a clima e solo são baixas se adaptando mais facilmente a diferentes regiões. O processo

de produção de etanol por batata se inicia desde a colheita, onde é necessário retirar toda a terra que esteja grudada à batata e passar por processos para eliminar contaminantes. Após esses processos, as batatas passam por processo de lavagem, cozimento com alta pressão, e por fim, o conteúdo passa por um esmagador para formar um purê, o qual é utilizado para o processo de fermentação (MONTEIRO, 2011).

Segundo o estudo realizado por Monteiro em 2011, a batata apresenta algumas vantagens quando comparada a outras fontes de bioetanol, uma das vantagens é o percentual perdido da produção anual de batata cerca de 5 % a 20 %, por não se apresentar nos padrões para a comercialização, outra grande vantagem é a alta produtividade da batata por hectare que pode chegar a cerca de 40 t/h quando cultivada devidamente de forma correta. O autor aponta uma boa produção de etanol por unidade de área, de acordo com seu estudo a produtividade se situa entre 1665 e 2796 litros de etanol por hectare conforme a produtividade da batata. Desta forma, a batata seria uma aposta razoável para a produção de bioetanol, pois o investimento no seu cultivo seria bem inferior ao de outras culturas como milho e o trigo.

Ao avaliarmos a capacidade da beterraba produzir etanol, classificamos esta como o substrato com menor rendimento. Por ser uma matéria-prima que já possui açúcar em sua composição, o processo de produção de etanol é mais simples. Outra vantagem do uso da beterraba como substrato é que os produtos secundários gerados após o processo de produção de etanol como por exemplo, a polpa prensada em peletes enriquecida com melaço, pode ser reaproveitada como forragem para alimentação animal, como visto no trabalho de Martins em 2015. Porém ambas precisam ser replantadas a cada colheita, sendo uma grande desvantagem frente à cana-de-açúcar, sendo que a beterraba depende de outros fatores principalmente ligados ao clima (MARTINS, 2015).

A produção de etanol por beterraba é um processo semelhante ao de etanol por cana-de-açúcar, uma vez que, já possui açúcar em sua composição (OLIVEIRA; SERRA; MAGALHÃES, 2012). Sua origem vem da Europa, onde ainda é utilizada com principal fonte de etanol, sendo o seu maior produtor a França. No processo de preparo para a fermentação, após serem lavadas, as beterrabas são cortadas em fatias finas para aumentar a superfície de contato para a extração da sacarose. Essas fatias são lavadas em difusor com água quente para a aumenta a concentração do açúcar, formando um xarope espesso, o qual é submetido ao processo de fermentação e após passar por centrifugação, origina-se dois produtos: o caldo fermentado, onde possui a fase líquida e onde se encontra o etanol, e as leveduras que são responsáveis pelo processo de fermentação. Os produtos secundários produzidos durante o processo; como por exemplo, a polpa prensada em peletes enriquecida com melaço, é utilizada como forragem para alimentação animal (MARTINS, 2015).

Em relação ao etanol de beterraba, nos estudos feito por Martins em 2015, demonstra que a alta concentração de açúcar, em torno de 15 %, sendo assim uma tonelada de beterraba pode render em torno de 100 L de etanol. Outra vantagem da beterraba é a elevada produção de

etanol por hectare de terreno agrícola, cerca de 70 t/ha, e ainda é possível o total aproveitamento de produtos secundários produzidos durante o processo; como por exemplo, a polpa prensada em peletes enriquecida com melaço, que é utilizada como forragem para alimentação animal, base para a produção de bebidas alcoólicas ou como substrato para a produção de fermento de pão (MARTINS, 2015).

Apesar das tantas vantagens, a beterraba precisa ser replantada todos os anos por sementes e a safra dura menos de um trimestre; as usinas que utilizam a beterraba como matéria-prima, geram eletricidade com o uso de fontes não renováveis, fazendo com que a produção tenha um custo alto e causando grande poluição ambiental (MARTINS, 2015). Diante disso, pode concluir que a produção de etanol por beterraba é viável, mas talvez não para o Brasil, pois depende de muitos fatores, inclusive ligados ao clima.

Outras fontes de açúcar já foram relatadas como alternativas para a produção do etanol, como por exemplo, estudos realizados por ROCHA em 2010 mostra um excelente resultado para a produção de bioetanol a partir do pedúnculo de caju (*Anacardium occidentale* L.) (ROCHA, 2010), microalga *Scenedesmus obliquus* (MIRANDA, 2011), milho (MARQUES e CUNHA, 2008).

5. CONCLUSÃO

Diante o exposto podemos concluir que os avanços na biotecnologia envolvendo a produção de combustíveis são de grande importância na atualidade. Os resultados obtidos no presente trabalho, corroboram com dados da literatura e reafirmam que o uso da cana de açúcar é a melhor matéria-prima para a produção de etanol, visto que apresentou maior produção de etanol que a batata inglesa e a beterraba e utiliza processos biotecnológicos simples e de baixo custo.

CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram que não existe qualquer conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, H.P.M. Aspectos jurídicos relativos ao etanol brasileiro e as barreiras não-tarifárias à sua importação. *Rev. Direito E-nergia*. v.2, p. 1-25, 2010.
- GRÄBENWASSER Cerveja Caseira de Joinville, 2018. <https://sites.google.com/site/grabenwasser/como-fazer-serveja/appendice/tabela-de-correcao-dodensimetro>, 2018. (accessed 20.09.2018).
- GUPTA, R.B.; DEMIRBAS, A. *Gasoline, Diesel and Ethanol Biofuels from Grasses and Plants*, Nova Iorque: Cambridge University Press. 2010.
- LEITE, R.C.C.; LEAL, M.R.L.V. O biocombustível no Brasil. *Novos Estudos CEBRAP*. v.78, 15-21, 2007.
- MARQUES, S.J.P.; CUNHA, M.E.T. Produção de álcool combustível utilizando milho. *UNOPAR Científica Exatas Tecnol.*, v.7, 45-51, 2008.
- MARTINS, R.V. Etanol de beterraba. *Intr@ciência*. v.10, 1-16, 2015.
- MIRANDA, J.R.P.C. Produção de bioetanol a partir da microalga *Scenedesmus obliquus*. 2011. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Lisboa.
- MISSAWA, S.K. Modificação de linhagens industriais

- de *Saccharomyces cerevisiae* para o aumento da produtividade de álcool e floculação condicional. 2009. (Tese de Doutorado). UNICAMP, Universidade de Campinas.
- MONTEIRO, S.F.A. Avaliação das potencialidades de produção de bioetanol em Portugal. 2011 (Dissertação de mestrado) FEUP.
- OLIVEIRA, L.M.; SERRA, J.C.V.; MAGALHÃES, K.B. Estudo comparativo das diferentes tecnologias utilizadas para produção de etanol. *Geoambiente Online: Revista Eletrônica do Curso de Geografia*. v.19, 1-23, 2012.
- OLIVEIRA, C.E.; MARCHI, M.I.; REGINATTO, V.P.; TOLDI, M. Estudo e preparação do etanol a partir da mandioca. *UNIVATES*. v.1, 1-7, 2009.
- Petrobras. Etanol: A Opção Ecológica. Escola de Química / UFRJ. 2013.
- ROCHA, M.V.P. Produção de bioetanol a partir de pedúnculo de caju (*Anacardium occidentale* L.) por fermentação submersa. 2010. (Tese de doutorado); UFRN, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química-PPGEQ, Natal/RN, Brasil.
- SAMPAIO, C.M.S. Avaliação do setor sucroalcooleiro brasileiro quanto ao atendimento a requisitos de sustentabilidade da produção de etanol combustível. 2013. (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – RJ.
- SEBRAE, 2013. O que é etanol? <<http://www.sebrae.com.br/setor/agroenergia/osetor/etanol/o-que-e>> (accessed 20.09.2018).