

A PRODUTIVIDADE DE MILHO NO BRASIL E AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO GRANULOMÉTRICO PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL



Revista
Desafios

Artigo Original
Original Article
Artículo Original

Maize productivity in Brazil and evaluation of the granulometric treatment for ethanol production

Productividad de maíz en Brasil y evaluación del tratamiento granulométrico para la producción de etanol

Luiz Fernando Lopes^{*1}, Maria do Socorro Mascarenhas Santos^{1,2}, Margareth Batistote^{1,2}

¹Laboratório de Biotecnologia, Bioquímica e Biotransformação do Centro de Estudos em Recursos Naturais-CERNA, Química Industrial, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul-UEMS/Dourados-MS, Brasil.

²Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais/PGRN, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul-UEMS/Dourados-MS, Brasil.

**Correspondência: Laboratório de Biotecnologia, Bioquímica e Biotransformação do Centro de Estudos em Recursos Naturais-CERNA, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul-UEMS/Dourados-MS, Brasil. Cidade Universitária de Dourados - Caixa postal 351 - CEP: 79804-97. E-mail: margarethbatistote@gmail.com.*

Artigo recebido em 27/11/2020 aprovado em 03/05/2022 publicado em 17/05/2022.

RESUMO

O agronegócio tem contribuído de forma efetiva para a economia brasileira como a produção de grãos como o milho que pode ser empregado em diferentes processos industriais incluindo a produção de etanol combustível. O estudo visa realizar um levantamento do processo de produção de etanol de milho e a produtividade deste grão no Brasil, aplicar tratamentos granulométricos e o consumo de sólidos solúveis. Uma pesquisa exploratória descritiva foi realizada a respeito do processo de produção de etanol de milho. A moagem foi realizada com moinho manual e a separação da granulometria por peneira de mesh, aos quais foi adicionado as enzimas e obtido um hidrolisado que foi utilizado para a avaliação do consumo de sólidos solúveis pelas leveduras. A produtividade do milho vem aumentando a cada safra principalmente na região Centro-Oeste. O tratamento 3 apresentou um melhor rendimento e propiciou o maior consumo de açúcar pelas leveduras analisadas.

Palavras-chave: Hidrolisado; fermentação; leveduras.

ABSTRACT

Agribusiness has contributed effectively to the Brazilian economy as the production of grains such as corn that can be used in different industrial processes including the production of fuel ethanol. The study aims to carry out a survey of the corn ethanol production process and the productivity of this grain in Brazil, apply granulometric treatments and the consumption of soluble solids. Descriptive exploratory research was carried out regarding the corn ethanol production process. Grinding was carried out with a manual mill and the granulometry was separated by a mesh sieve, to which enzymes were added and a hydrolyzate was obtained that was used to evaluate the consumption of soluble solids by the yeasts. Corn productivity has been increasing with each harvest, mainly in the Center-West region. Treatment 3 showed a better yield and provided the highest sugar consumption by the analyzed yeasts.

Keywords: Hydrolyzate; fermentation; yeast.

RESUMEN

La agroindustria ha contribuido de manera efectiva a la economía brasileña como la producción de granos como el maíz que pueden ser utilizados en diferentes procesos industriales, incluida la producción de etanol combustible. El estudio tiene como objetivo realizar un levantamiento del proceso de producción de etanol de maíz y la productividad de este grano en Brasil, aplicar tratamientos granulométricos y el consumo de sólidos solubles. Se realizó una investigación exploratoria descriptiva respecto al proceso de producción de etanol de maíz. La molienda se realizó con un molino manual y la granulometría se separó por tamiz de malla, al que se le agregaron enzimas y se obtuvo un hidrolizado que sirvió para evaluar el consumo de sólidos solubles por parte de las levaduras. La productividad del maíz ha ido aumentando con cada cosecha, principalmente en la región Centro-Oeste. El tratamiento 3 mostró un mejor rendimiento y proporcionó el mayor consumo de azúcar por parte de las levaduras analizadas.

Palabras clave: Hidrolizado; fermentación; levadura.

INTRODUÇÃO

A demanda por combustíveis e por energia vem crescendo a cada ano, entretanto, grande parte são provenientes de fontes fósseis que estão se esgotando. Este fato tem impulsionado a busca por novas fontes de energia. Assim, as fontes renováveis apresentam-se como promissoras desempenhando um papel cada vez mais importante para a sociedade e para a economia (LIEW et al., 2014). Neste contexto, os biocombustíveis surgem como alternativas promissoras para reduzir a dependência do petróleo como principal matriz energética. Um bom exemplo é o etanol, um combustível produzido a partir de energias renováveis, as biomassas e que pode ser utilizado em motores de combustão interna podendo substituir uma parcela dos combustíveis fósseis (SUHAIMI et al., 2012).

O etanol combustível possui características que o tornam promissor, pois pode ser misturado à gasolina, possui vantagens como de propiciar uma redução nas emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e enxofre na atmosfera (GOLDEMBERG; GUARDABASSI, 2009), sendo também biodegradável (JOHN et al., 2011). Sua produção é realizada principalmente através de processos de biotransformação e podem ser de primeira ou segunda geração (BAEYENS et al., 2015). Para a produção de etanol de primeira geração são utilizadas as matérias-primas ricas em açúcares fermentescíveis, como milho,

mandioca e cana-de-açúcar (ZABED et al., 2017; AZHAR et al., 2017).

De acordo com Manochio et al. (2017), as matérias-primas ideais para a produção de etanol devem ter características como: alta produtividade agrícola, curtos ciclos produtivos, baixo consumo energético, baixo custo de produção entre outras. Neste contexto, destaca-se o milho, uma cultura que apresenta alta capacidade para ser empregada na produção de bioetanol. Esta cultura é originária do México e vem sendo cultivada em todos os continentes, ocupando o equivalente a 147 milhões de hectares em todo o mundo, sendo de grande importância, pois além de fornecer produtos alimentícios é utilizado como matéria-prima para a indústria, dada a natureza das reservas de nutrientes acumuladas em seus grãos (CHIOCHETTA JUNIOR, 2020).

O Brasil tem se destacado como um celeiro de alimentos para o mundo, produzindo e exportando os *commodities* a partir de inúmeras culturas. Neste contexto o agronegócio tem contribuído de forma efetiva para a economia brasileira, com o milho se destacando em produtividade. Nos últimos 20 anos, este grão apresentou um aumento de 193,55% em relação a área de plantio. As cultivares plantadas no Brasil estão apresentando números expressivos, visto que em 2017 foi de aproximadamente 97,84 milhões, em relação à safra de 2018/19 a produção nacional de milho foi de 29,37 bilhões de toneladas, cultivados em 4,74 milhões de hectares, alcançando produtividade

média de 103,23 kg/ha de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018).

Em virtude do Brasil ser um grande produtor de milho, com recorde de safra a cada ano e devido a composição dos seus grãos, esta cultura pode ser explorada como biomassa para diferentes seguimentos industriais, como por exemplo na produção de etanol. Ademais, neste país 90% da produção deste biocombustível está nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (VIDAL, 2020). Os principais polos de produção são o Mato Grosso, que tem produzido super safras deste grão e mais recente o Mato Grosso do Sul. Desta forma o aproveitamento do milho como matéria-prima para a produção de etanol pode alavancar os números de produtividade e rendimento de etanol no Brasil, assim como colaborar para a produção de energia limpa e ambientalmente correta

O milho possui alto teor de amido o que torna viável a sua utilização para diferentes processos, inclusive de bioetanol. Contudo, para que haja um rendimento e uma eficiência de processo é necessário a utilização de enzimas para um pré-tratamento do amido, um carboidrato facilmente encontrado resultante da união de moléculas, insolúvel em água, que se aglomeram em tamanhos variados. Assim, este estudo visa realizar um levantamento do processo de produção de etanol de milho, a produtividade deste grão no Brasil, bem como avaliar os tratamentos de granulometria para a obtenção do hidrolisado e analisar o consumo de sólidos solúveis totais por linhagens de leveduras industriais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Processo de produção de etanol de milho

Foi realizada uma pesquisa exploratória descritiva a respeito do processo de produção de etanol de milho e de suas etapas. Foram utilizados

documentos publicados como artigos, teses, dissertações e sites, os quais ofereceram respaldo a discussão e aprimoramento da pesquisa. Este método caracteriza-se como uma revisão sistemática da literatura, na qual são classificados os estudos, explorados os dados e apresentados os resultados de forma descritiva (ROQUE et al., 2017).

Levantamento do comportamento da safra de milho (2009/10 a 2018/19) no Brasil

Foi realizado uma pesquisa exploratória qualitativa e quantitativa para analisar o panorama do comportamento da safra de milho no Brasil. Para tanto foi realizado um recorte temporal e o período avaliado foi entre as safras 2009/10 a 2018/19.

A coleta de dados foi em base documental nacional de acesso livre e as informações foram compiladas conforme o delineamento do artigo, assim foram observadas e analisadas dentro do recorte temporal quanto a área plantada e a produção no território nacional e em relação as regiões brasileiras.

Para Araújo e Alvarenga (2011), a pesquisa exploratória auxilia na compreensão dos fenômenos pesquisados, uma vez que dentro deste contexto são selecionados os materiais com ordem de importância documental quanto ao seu conteúdo.

Enzimas e microrganismos

As enzimas pectinex, α -amilase e glucoamilase foram obtidas junto a empresa de Biotecnologia Latino-Americana - LNF, Rio Grande do Sul. As leveduras utilizadas foram a FT858 e a Ragi Instam fazem parte da coleção de leveduras do Laboratório de Biotecnologia, Bioquímica e Biotransformação do Centro de Estudos em Recursos Naturais-CERNA da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul-UEMS/Dourados-MS.

Hidrólise e sacarificação do amido do milho

O milho utilizado foi obtido no comércio local, sendo inicialmente triturado de forma mecânica com o auxílio de um moinho manual e posteriormente passou por um processo de separação de tamanho de material triturado utilizando peneiras de mesh, as diferentes granulometrias foram identificadas como Tratamento 1 (9 mesh); Tratamento 2 (16 mesh); Tratamento 3 (32 mesh) e Tratamento 4 (80 mesh).

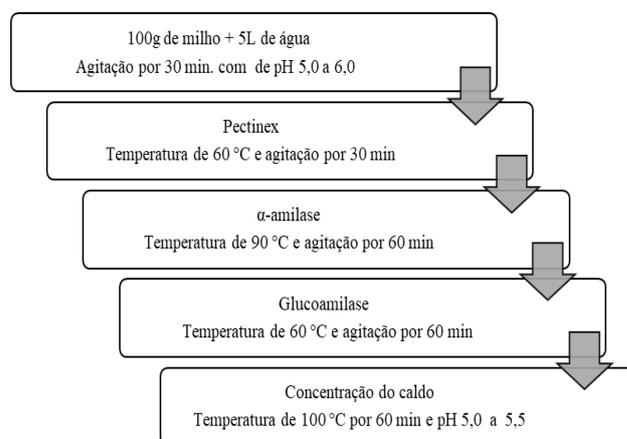
Para a obtenção do hidrolisado foram pesados 100g de cada tratamento e adicionado cinco litros de água. A mistura permaneceu sob aquecimento por 30 minutos. Após este período a temperatura foi elevada a 60 °C, sendo adicionada a enzima pectinex sob agitação constante por 30 min, em seguida a temperatura foi elevada a 90 °C e a α -amilase foi adicionada e após 60 min de agitação a temperatura foi então reduzida a 60 °C e adicionada a Glucoamilase. Após 60 min de reação foi realizado o resfriamento do hidrolisado. A sacarificação foi acompanhada por um refratômetro portátil e o pH por um pHmetro digital de bancada. Após o procedimento o caldo foi novamente aquecido por 60 min a 100 °C para a concentração dos sólidos solúveis totais (°Brix). Posteriormente, o caldo foi filtrado para ser utilizado nos experimentos fermentativos. As etapas foram desenvolvidas conforme o esquema que segue:

Avaliação do consumo de sólidos solúveis (°Brix)

Foram feitos pré-inóculos utilizando o meio YPD 2%, contendo 1,0% (m v⁻¹) de extrato de levedo; 1,0% (m v⁻¹) de peptona; 2,0% (m v⁻¹) de glicose, esterilizados em autoclave a 120 °C por 20 minutos, nos quais foram inoculadas 0,10 gramas das leveduras FT858 e Ragi Instam liofilizadas que permaneceram incubadas a 30 °C por 12 horas a 250 rpm. Após este período as células foram recuperadas por centrifugação

(800rpm/20min), ressuspendidas e lavadas por três vezes consecutivas em solução salina (0,85%), resultando em uma concentração final de 10 mg mL⁻¹ de massa úmida que prontamente foi utilizada nos experimentos fermentativos que foram conduzidos em frascos de erlenmeyers de 125 mL contendo 50 mL do caldo esterilizado que foram dispostos para a incubação a 30 °C. Em tempos pré-definidos foram realizadas as análises de assimilação de açúcar (°Brix) pelas leveduras utilizando um refratômetro portátil. Foi utilizado o caldo de cana nas mesmas condições experimentais como padrão de comparação entre os tratamentos para avaliar a eficiência na assimilação dos açúcares e na fermentação.

Figura 1. Fluxograma do processo de produção do hidrolisado de milho.



Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de etanol de milho passa por etapas distintas para o preparo do substrato a ser fermentado (Figura 2), tendo início com a moagem dos grãos para facilitar a ação das enzimas. Este processo resulta em um licor rico em açúcares conhecido como hidrolisado que então é fermentado pelas leveduras. As etapas mais importantes deste processo são o preparo dos grãos e a hidrólise deste material. Podem ser, ainda, empregados

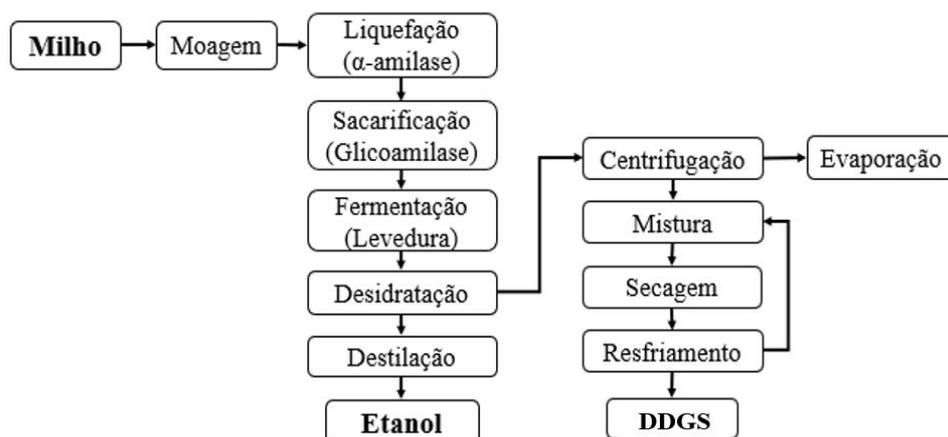
dois métodos para o tratamento dos grãos sendo o processo por via úmida ou por via seca, sendo esta última a mais utilizada consistindo na moagem dos grãos de milho e posterior adição de água e enzimas, as quais promovem a hidrólise do amido em cadeias menores de açúcar, neste caso, o único coproduto do etanol é um suplemento proteico (DDGS - Distillers Dried Grains with Solubles) e o dióxido de carbono (Figura 2).

De acordo com Bortoletto e Alcarde, (2015), na produção de etanol a partir do milho são aplicadas tecnologias modernas que incluem o tratamento de moagem dos grãos e outras como as fermentações com

mosto de alta densidade a partir de milho moído ou triturado que propicia a ação das enzimas na hidrólise.

Na produção de etanol por fermentação, duas etapas são empregadas para hidrolisar o amido, a liquefação e a sacarificação. Na liquefação, o amido é primeiro gelatinizado em alta temperatura, seguido pela conversão de amido liquefeito em produtos de cadeia curta, usando a enzima α -amilase, em seguida, emprega-se a glucoamilase que atua nos grânulos de amido liquefeito promovendo a sacarificação que consiste na formação de glicose a partir de dextrinas (ZABED et al., 2017).

Figura 2. Fluxograma geral do processo de obtenção de bioetanol de milho (via seca).



Fonte: Adaptado de BNDES (2008).

A análise da produção de milho no Brasil demonstra que ao longo das safras de 2009/10 a 2017/18 manteve-se acima das 50 mil toneladas, já na 2018/19 a produção chegou a 100 mil toneladas, não apresentando um aumento da área plantada (Gráfico 1). Tal resultado sugere que o desenvolvimento de tecnologias voltadas ao plantio e ao desenvolvimento de cultivares tenha colaborado para este ganho em produção.

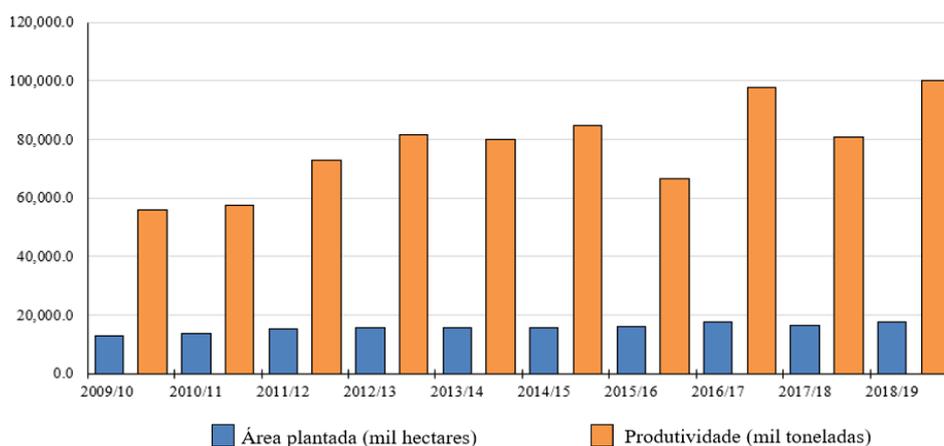
A cadeia produtiva do milho (*Zea mays* L.) constitui um dos segmentos econômicos importantes do agronegócio brasileiro (CONAB, 2017). Seus grãos possuem alto valor nutricional amplamente utilizado na composição de alimentos tanto para consumo humano como animal, uma vez que se trata de uma cultura de baixo custo que possui vantagens pois pode ser cultivado em pequena e grande escala (GALVÃO et al., 2014). O milho é uma das principais culturas plantadas no mundo e o Brasil ocupa a terceira colocação no

ranking de produtividade deste grão de acordo com a Food and Agriculture Organization (FAO, 2020).

O milho, considerado como uma biomassa, além de uma fonte de nutrientes para a alimentação

pode ser também uma matéria-prima para outros processos industriais como a produção de biocombustíveis (MANOCHIO et al., 2017).

Gráfico 1. Evolução da produção de milho no Brasil em relação a área plantada entre as safras de 2009/10 a 2018/19.



Fonte: Elaborada pelos autores. Adaptada de CONAB (2020).

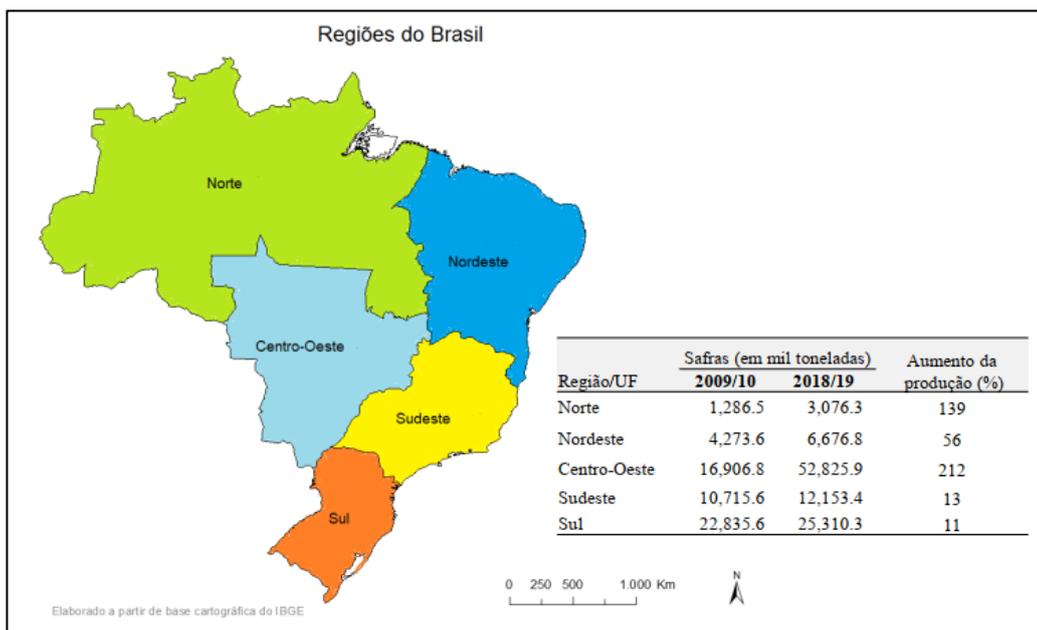
Na análise da produção de milho por região pode-se observar que a região Centro-Oeste vem se destacando, visto que houve um crescimento gradativo ao longo das safras apresentando um crescimento de 212% na safra de 2018/19 em relação a 2009/10 (Figura 3). Possivelmente as condições edafoclimáticas desta região corroborem com os números de produtividade desta cultura e também do desenvolvimento de tecnologias aplicadas a esta cultura bem como nesta região se destaca os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do sul como grandes celeiros de produção deste grão.

De acordo com a CONAB (2017) o aumento da produção de grão está relacionado com fatores como a utilização de novas áreas propensas ao cultivo em novas fronteiras agrícolas e ao desenvolvimento e implementação de tecnologias que aprimoraram a

produtividade de grãos. Tais tecnologias desempenham um papel importante na agricultura, pois propiciam o aumento de produção no campo sem aumento de área plantada.

Outro fator que colabora com o aumento da produção deste grão é a sua utilização na sucessão de culturas, sendo uma alternativa adotada para a quebra do ciclo de algumas pragas e doenças como por exemplo da cultura da soja (GIACHINI et al, 2017), proporcionando, ainda, uma produção de palhada que viabiliza o plantio direto e a ciclagem de nutrientes do solo, entre outras. Estas práticas impulsionaram a produção de milho da região Centro-Oeste, principalmente no estado de Mato Grosso que assumiu o protagonismo na produção deste grão (SOUZA et al, 2018).

Figura 4. Mapa das regiões do Brasil que apresentam o aumento da produção de milho entre as safras de 2009/10 a 2018/19.



Fonte: Elaborada pelos autores. Adaptada de Conab (2020).

A avaliação dos tratamentos de granulometria aplicados aos grãos de milho após a ação enzimática, resultou em um hidrolisado com concentração de sólidos solúveis totais em torno de 20 °Brix e pH na faixa de 5,0 e 5,5 (Tabela 1). O tratamento três apresentou melhor eficiência, visto que estava com concentração de açúcares e pH ideal para fermentação. Neste sentido, sugere-se que o pré-tratamento é um dos parâmetros a ser considerado para uma eficiente disponibilidade de açúcares que estão contidas nos grãos de milho. O tratamento do grão quanto a moagem deve ser um processo bem estruturado e ajustado dentro da planta industrial, uma vez que pode interferir diretamente na qualidade do hidrolisado que deve proporcionar uma condição favorável para que ocorra a fermentação.

Algumas biomassas apresentam cadeias complexas de açúcares necessitando de certos pré-tratamentos antes de serem utilizadas nos processos biotecnológicos, principalmente quando o objetivo é a extração da glicose ou para a aplicação em bioconversão como o caso da produção de bioetanol

por fermentação. O pré-tratamento, geralmente, é utilizado visando a hidrólise que pode correr separadamente antecedendo a fermentação ou de forma simultânea, apresentando nesta última economia e agilidade no processo (GU et al., 2018; KWON et al., 2016). Neste sentido, pode-se inferir que a sacarificação enzimática constitui o gargalo do processo (ALIO et al., 2020). No entanto, a eficiência desta etapa garante rendimento e produtividade que somente será alcançada otimizando os parâmetros operacionais, como carga enzimática, carga sólida, velocidade de agitação, aditivos em meio hidrolisado e tempo de hidrólise (ZHANG et al., 2018).

Estudos realizados por Ramirez-Cadavid et al. (2016), apontaram que o tamanho da partícula do grão de milho influencia no processo e na ação das enzimas resultando no aumentar do rendimento de etanol, uma vez que propicia uma melhora na acessibilidade da enzima sobre o amido. De acordo com Naidu et al. (2007), com partículas de milho menores após a moagem pode-se obter um incremento no rendimento de etanol em torno de 20%.

Tabela 1. Rendimento do hidrolisado e parametros tecnológicos obtidos em cada tratamento após a ação enzimática.

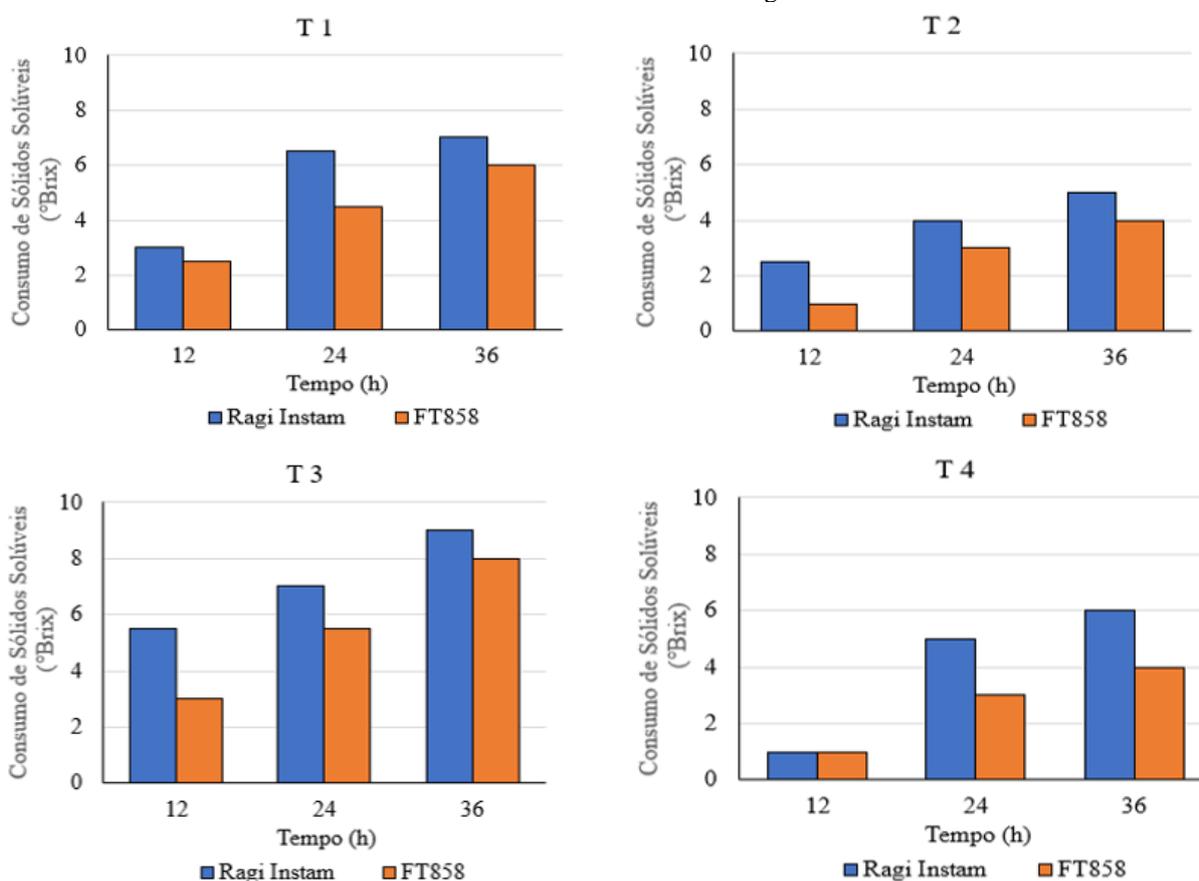
Tratamentos	Rendimento (mL)	Concentração de Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	pH
1	300	19	5,0
2	300	19	5,0
3	300	20	5,5
4	200	18	5,5

Fonte: Elaborada pelos autores com dados da pesquisa.

Na avaliação do consumo de sólidos solúveis pelas leveduras FT858 e Ragi Instam foi similar em ambos os substratos analisados. No entanto, observou-se que no tratamento 3 ocorreu maior consumo de

sólidos solúveis (Gráfico 2). Salienta-se que todas as etapas do processo foram desenvolvidas de forma eficiente o que propiciou uma hábil assimilação dos açúcares pelas leveduras.

Gráfico 2. Assimilação de sólidos solúveis totais (°Brix) pelas leveduras FT858 e Ragi Instam cultivadas em hidrolisado a base de milho com diferentes tratamentos de granulometria.



Fonte: Elaborada pelos autores com dados da pesquisa.

Legenda: T1 (Tratamento 1); T2 (Tratamento 2); T3 (Tratamento 3) e T4 (Tratamento 4).

A levedura tem necessidades nutricionais específicas que atuam no seu desempenho fermentativo, assim o substrato a ser convertido deve conter alguns nutrientes como carbono, nitrogênio, vitaminas e minerais (WALKER; STEWART, 2016).

Nos estudos realizados por Barros et al. (2019), utilizando um hidrolisado a base de resíduo de

mandioca rico em amido, as leveduras Catanduva-1 e Pedra-2 na forma de mix, apresentaram uma melhor conversão do substrato. Nossos resultados em relação ao hidrolisado corroboram com resultados da literatura, uma vez que este substrato apresenta um abundancia de amido. Sugerindo que o milho possui um alto potencial a ser explorado pelo setor

biocombustíveis para produção de etanol, contudo, devem ser aprimoradas novas tecnologias a serem incorporadas ao processo de produção visando aumentar a concentração de sólidos solúveis.

O volume de produção de milho no Brasil na safra de 2018/19 foi de 2,4% com estimativas de alcançar 8,4% na safra 2020/21 e perspectivas de uma produção de 2,7 bilhões de litros, vislumbrando um crescimento na produção de etanol de milho em torno de 60% de acordo com Vidal (2020).

CONCLUSÃO

No processo de produção de etanol de milho, a etapa de tratamento dos grãos é relevante pois facilita a abertura dos grãos para expor os açúcares fermentescíveis para a ação eficiente das enzimas, sendo que o processo mais utilizado é a moagem dos grãos a seco.

A produtividade do milho vem aumentando a cada safra com a utilização de tecnologias propiciando uma redução nos custos de produção com destaque para a região Centro-Oeste que possui uma alta produtividade do milho.

No tratamento 3 com granulometria de 32 mesh possibilitou um melhor rendimento do hidrolisado em relação a concentração de sólidos solúveis (°Brix) e pH. Este tratamento mostrou-se eficiente, uma vez que houve um maior consumo de açúcar pelas leveduras analisadas. A trituração é uma etapa importante para a ser considerada na execução do processo que utiliza o milho como matéria-prima para a produção de etanol.

AGRADECIMENTO

Ao Laboratório de Biotecnologia, Bioquímica e Biotransformação do Centro de Estudos em Recursos Naturais-CERNA da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul-UEMS/Dourados-MS. A CAPES pelas bolsas concedidas para MSMS.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

ALIO, M. A.; TUGUI, O. C.; RUSU, L.; PONS, A.; VIAL, C. Hydrolysis and fermentation steps of a pretreated sawmill mixed feedstock for bioethanol production in a wood biorefinery. **Bioresource Technology**, p. 123412, 2020.

ARAÚJO, R. F.; ALVARENGA, L. A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007. Encontros Bibli: **Revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 16, p. 51-70, 2011.

AZHAR, S. H. M.; ABDULLA, R.; JAMBO, S. A.; MARBAWI, H.; GANSAU, J. A.; FAIK, A. A. M.; RODRIGUES, K. F. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. **Biochemistry and Biophysics Reports**, v. 10, p. 52-61, 2017.

BAEYENS, J.; KANG, Q.; APPELS, L.; DEWIL, R.; LV, Y.; TAN, T. Challenges and opportunities in improving the production of bio-ethanol. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 47, p. 60-88, 2015.

BARROS, R. N.; SANTOS, M. D. S. M.; CARDOSO, C. A. L.; BATISTOTE, M. (2019). A utilização de resíduos agroindustriais para produção de bioetanol. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, p. 31-43, 2019.

BNDES – Banco Nacional Do Desenvolvimento; CGEE – Centro De Gestão E Estudos Estratégicos (Org.). Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Bndes, ed. 1, 316 p, 2008.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Dominante nos EUA, etanol de milho é opção, no Brasil, para safra excedente. **Rev. Visão Agrícola**, 2015.

CHIOCHETTA JUNIOR, J. **Efeito de fertilizantes de liberação gradual de nutrientes na dinâmica do nitrogênio no solo e na produção da cultura do milho (*Zea mays*)** (Doctoral dissertation). 2020.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento Séries Históricas. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 31 de agosto de 2020.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Séries históricas de área plantada, produtividade e produção. Disponível: de <http://www.CONAB.gov.br/conteudos.php?t2&a=1252&filtrar=1&f=1&p=11>

5&e=0&d=0&m=0&s=0&ac=0&tps=0&lvs=0&l=0&ed=0&i=. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

FAO- Food and Agriculture Organization data: production: crops. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 28 de outubro de 2020.

GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V.; TROGELLO, E.; FRITSCHÉ-NETO, R. Sete décadas de evolução do sistema produtivo da cultura do milho. **Revista Ceres**, v. 61, p. 819-828, 2014.

GIACHINI, R. M.; FERREIRA, R. L.; SANTOS, C. A. R.; SILVA, A. G.; RECH, J.; FÁTIMA FERNANDES, A.; SILVA, A. F. Panorama dos sistemas de produção de milho safrinha nas regiões Centro-Oeste e Nordeste do Brasil. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro técnico (**INFOTECA-E**), 2017.

GOLDEMBERG, J.; GUARDABASSI, P. (2009). Are biofuels a feasible option?. **Energy policy**, v. 37, p. 10-14, 2009.

GU, Y. M.; KIM, H.; SANG, B. I.; LEE, J. H. (2018). Effects of water content on ball milling pretreatment and the enzymatic digestibility of corn stover. **Water-Energy Nexus**, v. 1, p. 61-65, 2018.

JOHN, R. P.; ANISHA, G. S.; NAMPOOTHIRI, K. M.; PANDEY, A. Micro and macroalgal biomass: a renewable source for bioethanol. **Bioresource technology**, v. 102, p. 186-193, 2011.

KWON, J. H.; KANG, H.; SANG, B. I.; KIM, Y.; MIN, J.; MITCHELL, R. J.; LEE, J. H. Feasibility of a facile butanol bioproduction using planetary mill pretreatment. **Bioresource technology**, v. 199, p. 283-287, 2016.

LIEW, W. H.; HASSIM, M. H.; NG, D. K. Review of evolution, technology and sustainability assessments of biofuel production. **Journal of Cleaner Production**, v. 71, p. 11-29, 2014.

MANOCHIO, C.; ANDRADE, B. R.; RODRIGUEZ, R. P.; MORAES, B. S. Ethanol from biomass: A comparative overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 80, p. 743-755, 2017.

NAIDU, K.; SINGH, V.; JOHNSTON, D. B.; RAUSCH, K. D.; TUMBLESON, M. E. (2007). Effects of ground corn particle size on ethanol yield and thin stillage soluble solids. **Cereal Chemistry**, v. 84, p. 6-9, 2007.

RAMIREZ-CADAVID, D. A.; KOZYUK, O.; LYLE, P.; MICHEL JR, F. C. Effects of hydrodynamic cavitation on dry mill corn ethanol production. **Process Biochemistry**, 51(4), 500-508, 2016.

ROQUE, G. R.; IZIDORO, C. L.; MEDEIROS CASTRO, R.; MOTA, J. Objetos de Aprendizagem no Ensino Superior de Engenharias: uma análise bibliométrica da evolução dos estudos teórico-empíricos interdisciplinares. **Revista ESPACIOS**, v. 38, 2017.

SOUZA, A. E.; DOS REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no Brasil. **South American Development Society Journal**, v. 4, p. 182, 2018.

SUHAIMI, S. N.; PHANG, L. Y.; MAEDA, T.; ABD-AZIZ, S.; WAKISAKA, M.; SHIRAI, Y.; HASSAN, M. A. (2012). Bioconversion of glycerol for bioethanol production using isolated *Escherichia coli* SS1. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 43, p. 506-516, 2012.

VIDAL, M. F. Produção e mercado de etanol. **Caderno Setorial ETENE**, ano 5, p. 1-10, 2020.

WALKER, G. M.; STEWART, G. G. *Saccharomyces cerevisiae* in the production of fermented beverages. **Beverages**, v. 2, p. 30, 2016.

ZABED, H.; SAHU, J. N.; SUELY, A.; BOYCE, A. N.; FARUQ, G. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 475-501, 2017.

ZHANG, H.; ZHANG, S.; YUAN, H.; LYU, G.; XIE, J. FeCl₃-catalyzed ethanol pretreatment of sugarcane bagasse boosts sugar yields with low enzyme loadings and short hydrolysis time. **Bioresource technology**, v. 249, p. 395-401, 2018.