

**Centro Paula Souza
Etec Professor Rodolpho José Del Guerra
MTec Química**

**Sacarificação Enzimática do Amido de Batata-Doce seguida de Fermentação
para a Produção de Etanol:
Uma Abordagem Sustentável**

Ana Amélia De Melo Lopes ¹
Maria Vitória Miguel Rodrigues ²
Marina da Silva Luvizaro ³
Matheus Cardoso Gundes Pedro⁴
Thayla Escudero Soares⁵

Resumo: O bioetanol, ou etanol de segunda geração, é uma fonte renovável que pode substituir combustíveis derivados do petróleo, e sua produção a partir de biomassa é fundamental para o desenvolvimento de fontes de energia sustentáveis. A batata-doce, rica em amido e amplamente disponível, é considerada uma boa matéria-prima para o bioetanol. A hidrólise enzimática é uma técnica eficiente que converte amidos em açúcares fermentáveis, usados por leveduras para produzir etanol. Este estudo analisa a produção de bioetanol da batata-doce, usando enzimas como alfa-amilase e glucoamilase para transformar amido em glicose. Os resultados indicam que a batata-doce oferece bons rendimentos de açúcares, e fatores como temperatura e pH afetam a eficiência da hidrólise. A produção de bioetanol a partir da batata-doce é viável e promissora para biocombustíveis, ajudando a diversificar matérias-primas e reduzir os impactos ambientais.

Palavras-chave: Bioetanol, hidrólise enzimática, batata-doce, amido, fermentação, leveduras, biocombustíveis.

Abstract: Bioethanol, or second-generation ethanol, is a renewable source that can replace petroleum-derived fuels, and its production from biomass plays a key role in the development of sustainable energy sources. Sweet potatoes, rich in starch and widely available, are considered a good feedstock for bioethanol. Enzymatic hydrolysis is an efficient technique that converts starches into fermentable sugars, used by yeast to produce ethanol. This study analyzes the production of bioethanol from sweet potatoes, using enzymes such as alpha-amylase and glucoamilase to transform starch into glucose. The results indicate that sweet potatoes offer good sugar yields, and factors such as temperature and pH affect the efficiency of hydrolysis. Bioethanol production from sweet potatoes is viable and promising for biofuels, helping to diversify feedstocks and reduce environmental impacts.

Keywords: Bioethanol, enzymatic hydrolysis, sweet potatoes, starch, fermentation, yeast, biofuels.

Alunos do Curso Técnico em Química, da Etec Professor Rodolpho José Del Guerra:

¹e-mail: ana.lopes287@etec.sp.gov.br

²e-mail: maria.rodrigues537@etec.sp.gov.br

³e-mail: marina.luvizaro@etec.sp.gov.br

⁴e-mail: matheus.pedro9@etec.sp.gov.br

⁵e-mail: thayla.soares@etec.sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, pesquisas voltadas ao desenvolvimento de biocombustíveis têm ganhado destaque devido à busca por fontes de energia renováveis que causem menos impactos ambientais e reduzam dependência de combustíveis fósseis (ANP, 2016).

A busca por fontes alternativas de energia tem sido motivada por diversos fatores, especialmente após a crise do petróleo na década de 1970, que marcou o início do Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool). Esse programa impulsionou a utilização de matérias-primas renováveis na produção de biocombustíveis, com o objetivo de reduzir a dependência de derivados do petróleo, promover melhorias ambientais e fortalecer o setor agroindustrial (MASIERO, 2012).

No contexto brasileiro, esse cenário levou à intensificação da produção de etanol, utilizando predominantemente a cana-de-açúcar como insumo principal (MASIERO, 2012). A obtenção de etanol a partir de fontes renováveis ocorre, principalmente, por meio da conversão de açúcares e amidos presentes nas biomassas vegetais (PAVLAK et al., 2011).

A batata-doce surge como uma alternativa promissora de matéria-prima para a produção de etanol, devido ao seu alto rendimento em biomassa e ao expressivo teor de carboidratos, o que possibilita sua utilização em processos fermentativos voltados à geração de biocombustível (MACHADO e ABREU, 2007).

Embora a utilização da batata-doce na produção de etanol ainda seja limitada no cenário nacional, essa cultura demonstra grande potencial. Avanços no melhoramento genético de suas cultivares têm revelado variedades com excelente desempenho na conversão em álcool. Pesquisas indicam que a produtividade de etanol obtida a partir dessas cultivares pode ser até duas vezes superior à alcançada com a cana-de-açúcar (GONÇALVES, 2011).

Este trabalho tem como objetivo principal analisar o potencial da batata-doce como matéria-prima para produção de etanol por meio da sacarificação enzimática seguida de fermentação, destacando aspectos sustentáveis do processo. Os objetivos específicos são os seguintes:

- Investigar o processo de extração do amido da batata-doce como matéria-prima para a produção de bioetanol;

- Analisar as enzimas amilolíticas, como α -amilase e glucoamilase, no processo de conversão do amido em etanol;

Examinar as condições que favorecem a fermentação alcoólica do hidrolisado da batata-doce.

- Avaliar a eficiência da fermentação alcoólica na conversão do amido extraído da batata-doce em bioetanol;

- Estudar os impactos ambientais e econômicos da produção de bioetanol a partir da batata-doce em comparação com outras fontes de biocombustíveis.

Através deste estudo, busca-se contribuir para o avanço da produção de biocombustíveis a partir de fontes renováveis, como a batata-doce, oferecendo uma alternativa mais ecológica e sustentável para o futuro energético global.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Biocombustíveis e sua importância

A produção mundial de biocombustíveis ainda está majoritariamente fundamentada em tecnologias de primeira geração, as quais envolvem a obtenção de etanol a partir de açúcares ou amidos extraídos de culturas como cana-de-açúcar, beterraba, milho, trigo e mandioca. O biodiesel, por sua vez, é produzido a partir de óleos vegetais e gorduras animais, incluindo soja, mamona, dendê, sebo e óleo residual de fritura. Adicionalmente, diversas tecnologias emergentes utilizam materiais lignocelulósicos — como resíduos agroflorestais, madeira proveniente de florestas plantadas, culturas energéticas de ciclo curto e resíduos urbanos — como matérias-primas para a produção de biocombustíveis. Esses recursos apresentam maior disponibilidade, custo reduzido e adaptabilidade a uma ampla gama de condições edafoclimáticas, representando uma alternativa promissora para diversificação da matriz energética. (Leite e Leal, 2007).

A produção de biocombustíveis como etanol, biodiesel e biogás é predominantemente baseada em tecnologias de primeira geração, que utilizam matérias-primas alimentícias ou resíduos orgânicos. Esses biocombustíveis são considerados alternativas mais sustentáveis aos combustíveis fósseis, pois emitem menos gases de efeito estufa e são derivados de fontes renováveis. O etanol é

produzido principalmente a partir da fermentação de açúcares presentes em culturas como cana-de-açúcar, milho e beterraba. O biodiesel é obtido por transesterificação de óleos vegetais ou gorduras animais, como soja, mamona e sebo. Já o biogás é gerado pela digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, como esterco e resíduos alimentares.

Essas tecnologias oferecem vantagens significativas em termos de menor impacto ambiental, pois contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa em comparação com os combustíveis fósseis. Além disso, as matérias-primas utilizadas são mais abundantes e, em muitos casos, mais econômicas. No entanto, é importante considerar que a produção de biocombustíveis de primeira geração pode competir com a produção de alimentos e exigir grandes áreas de cultivo, o que pode levar ao uso intensivo de recursos naturais e ao desmatamento.

Portanto, embora as tecnologias de primeira geração representem um avanço significativo na busca por fontes de energia mais sustentáveis, é essencial avaliar cuidadosamente seus impactos ambientais e sociais. A transição para biocombustíveis de segunda e terceira geração, que utilizam matérias-primas não alimentícias e resíduos, pode oferecer soluções mais equilibradas, minimizando os conflitos com a produção de alimentos e reduzindo os impactos ambientais associados.

2.2 A batata-doce

A batata-doce (*Ipomoea batatas L.*) é uma das raízes tuberosas mais difundidas no Brasil (SILVA, LOPES, MAGALHÃES, 2010). O estado com maior produção é o Rio Grande do Sul, seguido por Paraná e São Paulo, este último responsável por 12% da produção nacional (LEONEL, OLIVEIRA, FILHO, 2005).

Com alto teor calórico, a batata-doce é rica em amido, o qual representa cerca de 85% dos seus carboidratos. Comparada a outras fontes amiláceas, apresenta maior concentração de matéria seca, lipídios, fibras e cálcio em relação à batata comum, além de conter mais carboidratos e lipídios que o inhame e mais proteína que a mandioca. Também possui vitaminas, sobretudo das classes A e B, sendo, portanto, um alimento importante para famílias de baixa renda quando comparada, por exemplo, com o arroz (Vericimo, 2010).

A Tabela 1 apresenta a composição química de 100 g de batata-doce. De suas raízes, é possível extrair amido, o qual pode ser utilizado como matéria-prima em diversos produtos. A composição da batata-doce, contudo, pode variar de acordo com a variedade plantada, a idade da planta e as condições de cultivo (ARAÚJO, 2008). Em virtude de sua elevada concentração de amido, a batata-doce tem despertado o interesse da indústria, competindo parcialmente com a mandioca na produção de glicose, raspas de fécula e outros derivados (Vericimo, 2010).

Tabela 1- Composição da Batata-Doce

Componente	Unidade	Batata-doce
Umidade	%	70
Carboidratos totais	G	26,1
Proteína	G	1,5
Lipídios	G	0,3
Cálcio	Mg	32
Fósforo	Mg	39
Ferro	Mg	0,7
Fibras digeríveis	G	3,9
Energia	Kcal	111

Fonte: Vericimo, 2010

O amido pode ser hidrolisado à glicose e outros açúcares redutores, que podem ser fermentados, gerando o etanol. A hidrólise do amido é feita por meio do rompimento das suas ligações glicosídicas gerando açúcares menores, através da hidrólise enzimática ou química (ácida), sendo que a catálise enzimática promove maior especificidade quanto à reação e ao substrato (TORRES, LEONEL e MISCHAN, 2012). A hidrólise do matéria amiláceo, seja por via ácida ou enzimática, é um passo fundamental para produção de bioetanol, visto as leveduras assimilam os açúcares mais simples obtidos na quebra das moléculas de amido (SCHWEINBERGER et al., 2018). Geralmente, a via ácida se apresenta como um processo economicamente mais vantajoso devido a sua rapidez e baixo custo quando comparado com a via enzimática (WANG et al., 2014). Porém, a hidrólise ácida possui certas desvantagens, como: problemas de corrosão dos equipamentos; operação em temperaturas e

pressões mais elevadas; certa destruição dos açúcares e necessidade de posterior neutralização, produzindo uma quantidade significativa de sal que pode ser prejudicial à levedura (Cereda, 2003; Machado e Abreu, 2006).

2.3 Hidrólise enzimática da batata-doce

As enzimas que atuam na quebra do amido são denominadas amilolíticas e se classificam em dois principais grupos, conforme sua forma de ação: endoamilases e exoamilases. As endoamilases, como a conhecida α -amilase catalisam a quebra das ligações α -1,4, o que resulta na formação de oligossacarídeos tanto lineares quanto ramificados. Por outro lado, as exoamilases, entre as quais a glucoamilase é a mais frequentemente utilizada, atuam nas extremidades das cadeias de amilose e amilopectina, promovendo a hidrólise tanto das ligações α -1,4 quanto das α -1,6. Segundo Cinelli (2012), essas enzimas desempenham papel fundamental na conversão enzimática do amido, sendo escolhidas conforme o tipo de produto desejado no processo. Estas enzimas são adicionadas em etapas distintas durante o processo de sacarificação pois possuem condições ótimas de pH e temperatura diferentes (Schweinberger, 2016).

As enzimas comerciais são produzidas por empresas como DuPont (Genencor), Novozymes, Prozyn e DSM. Apesar das tentativas de padronização internacional, cada produtor declara à sua maneira a atividade enzimática das preparações que o mesmo comercializa. As unidades são expressas em condições diferentes de ensaio, dificultando a comparação de atividades a partir das fichas técnicas dos produtos (Cereda, 2003).

O emprego de temperaturas no entorno de 90° C não apenas favorece a ação da α -amilase, mas também promove a gelatinização do amido, que nesta condição tem sua susceptibilidade ao ataque enzimático aumentada significativamente. Sobre as enzimas de sacarificação, estas possuem valores ótimos de pH entre 4 – 4,5 e temperatura no entorno de 65° C (Cereda, 2003; Masiero, 2012; Vohra et al., 2014).

2.4 Produção de etanol a partir do amido da batata-doce

No Brasil, a cana-de-açúcar é a base da produção de etanol em escala industrial, pois seus carboidratos se encontram armazenados como sacarose, que após aquecimento pode ser diretamente fermentada (LIMA et al., 2001).

De maneira geral, a fermentação alcoólica pode ser definida como um processo biológico em que os carboidratos são degradados por via anaeróbia, originando etanol e gás carbônico. Além desses produtos principais, outras substâncias em menor proporção, como glicerol e ácido acético, também são formadas (JONES et al., 1981; SOUZA; QUEIROZ, 1995). Os substratos empregados são variados: desde matérias-primas açucaradas, como melaço, mel, caldo de cana, beterraba e frutas, até materiais ricos em amido, como grãos, tubérculos e raízes.

3 METODOLOGIA

3.1 Preparação da batata-doce

A batata doce in natura foi cortada e colocada em estufa a 60° C por 4 horas. Logo após, foram triturados aproximadamente 500g da batata com a mesma quantidade de água em um liquidificador.

3.2 Hidrólise Enzimática da batata-doce

A batata doce triturada com a água foi dividida em duas partes iguais. Cada uma das partes foi aquecida na chapa aquecedora até 90°C, foi adicionado 0,5mL da enzima alfa-amilase (Prodooze) 0,5 mL, mantendo-se nesta temperatura, sob agitação, por 1 hora. Logo após as amostras foram resfriadas para 60°C. Adicionou-se aproximadamente 3 ml de HCl em ambas as amostras até pH igual a 4,0.

Nesta temperatura, foram adicionados 0,5mL da segunda enzima, glicamilase (Endozym), mantendo por mais 1 hora sob agitação. O °Brix com refratômetro da marca Vodex foi medido nas duas amostras.

3.3 Fermentação da batata-doce

O pH foi corrigido para 4,0 com HCl e adicionou-se uma solução tampão 4,0.

Adicionou-se 10 gramas de levedura na amostra 1 e 10 gramas de fermento seco na amostra 2. As amostras foram transferidas para kitassatos e mantidas em agitação por 24 horas, conforme mostrado na Imagem 1. Foi colocada uma solução de Ca(OH)₂ na saída da mangueira para reagir com o CO₂ liberado na fermentação e formar o carbonato de cálcio.

Imagem 1- Fermentação da batata-doce



Fonte: Arquivo Pessoal (2025)

Após as 24 horas, mediu-se o °Brix novamente e cessou a fermentação.

3.4 Destilação do mosto

Após os ensaios de fermentação, o mosto foi submetido a destilação para a obtenção do álcool puro. A destilação durou cerca de duas horas e meia, até não haver mais etanol para destilar.

O álcool nas amostras foi determinado através da reação com dicromato de amônio em meio ácido, o qual passa de alaranjado para verde devido a reação de oxidação que acontece na presença do etanol, conforme Imagem 2.

Imagem 2- Determinação de Etanol com dicromato de amônio em meio ácido (H₂SO₄)



Fonte: Arquivo Pessoal (2025)

Para verificar a pureza do etanol obtido, a amostra foi submetida ao teste de congelamento, colocando-a no congelador para observar se haveria solidificação. Como o ponto de fusão do etanol é de aproximadamente $-114,18\text{ }^{\circ}\text{C}$, a ausência de congelamento a temperaturas normais de congelamento confirmou que o etanol produzido estava em boa condição e com a pureza esperada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

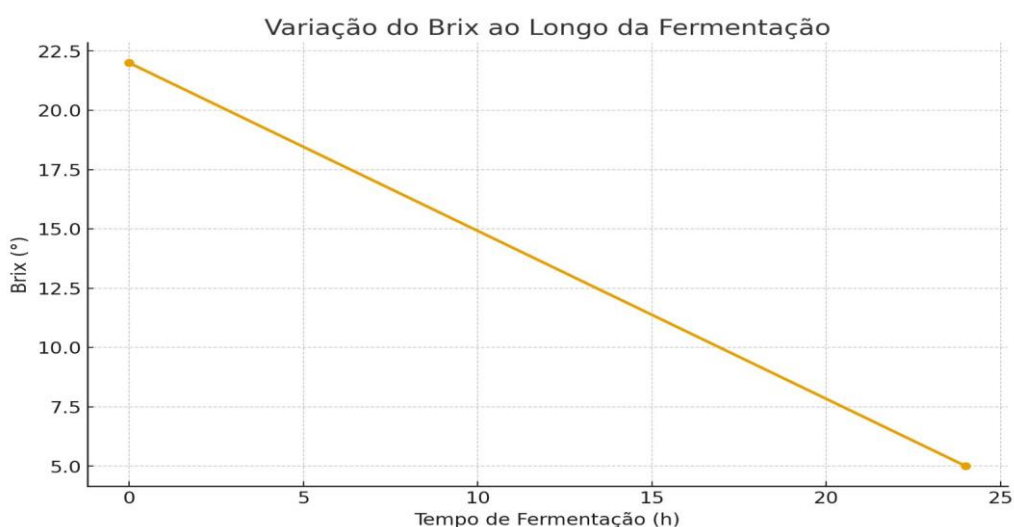
A tabela abaixo mostra as medidas do °Brix antes e após a fermentação, percebe-se que, inicialmente o Brix é elevado o que indica uma quantidade alta de açúcares no mosto. Após as 24 horas de fermentação, o Brix diminui, indicando que os açúcares foram consumidos pelas leveduras, transformando-se em etanol. O Gráfico 1 mostra a variação do Brix ao longo da Fermentação.

Tabela 2- Variação do Brix durante a Fermentação

	° Brix	Tempo de Fermentação	°C (Graus Celsius)
Inicial	22	0 h	30°C
FINAL	5	24 h	20°C

Fonte: Arquivo Pessoal (2025)

Gráfico 1- Variação do Brix ao Longo da Fermentação



Fonte: Arquivo Pessoal (2025)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo a produção de bioetanol a partir da batata-doce, uma alternativa viável e sustentável para a obtenção de etanol de fontes renováveis. Através dos processos de fermentação, destilação e análise química, foi possível confirmar que a produção de etanol a partir da batata-doce é eficiente.

Os resultados obtidos indicaram que a fermentação da batata-doce gerou uma concentração de etanol adequada para os processos subsequentes. A destilação foi bem-sucedida, evidenciada pela obtenção de um líquido transparente, com características típicas do etanol, e pela não solidificação do produto a temperaturas baixas, comprovando a pureza e a qualidade do etanol produzido.

Além disso, o teste com dicromato em meio ácido foi positivo, o que confirmou a presença de etanol na amostra. Este teste, que consiste na oxidação do etanol a ácido acético, resultou na alteração de cor esperada, validando a produção do álcool.

Portanto, o experimento demonstrou que a batata-doce é uma matéria-prima promissora para a produção de bioetanol, com bons resultados em todos os testes realizados. Este estudo contribui para o desenvolvimento de processos mais sustentáveis e econômicos de produção de etanol, utilizando recursos renováveis como a batata-doce, que possui baixo custo e grande potencial de produção no Brasil.

REFERÊNCIAS

ALTINTAS, M. M. et al. Ethanol fermentation capacity of thermophilic yeast strains. *Biotechnology Letters*, Dordrecht, v. 25, n. 1, p. 35-39, 2003.

AMORIM, H. V. *Fermentações alcoólicas*. Piracicaba: FEALQ, 2005.

ARAÚJO, Valéria Querino. *Propriedades funcionais e térmicas do amido de batata-doce (Ipomoea batatas L.) nativo e modificado*. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

CINELLI, B. A. *Produção de etanol a partir da fermentação simultânea à hidrólise do amido granular de resíduo agroindustrial*. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

JONES, R. P.; PAMMENT, N.; GREENFIELD, P. F. Alcohol fermentation by yeasts—the effect of environmental and other variables. *Process Biochemistry*, London, v. 16, n. 3, p. 42-49, 1981.

LEITE, Rogério Cezar de Cerqueira; LEAL, Manoel Régis L. V. O biocombustível no Brasil. *Novos Estudos – CEBRAP*, São Paulo, n. 78, p. 15-21, 2007.

LEONEL, Magali; OLIVEIRA, Marcelo Álvares de; FILHO, Jaime Duarte. Espécies tuberosas tropicais como matérias-primas amiláceas. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, Botucatu, v. 1, p. 49-68, out. 2005.

LIMA, U. A. et al. *Produção de álcool: tecnologia e perspectivas*. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

REVISTA FT. Inovações em propulsão sustentável: a evolução dos veículos movidos a biocombustíveis. *Revista FT*, 2024. ISSN 1678-0817. Qualis B2.

SCHWEINBERGER, C. M. Inovação e otimização no processo de produção de etanol a partir de batata-doce. 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/143930>, Acesso em 28/08/25