



PERSPECTIVAS PARA ETANOL 2G COM A PARTICIPAÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS E LEVEDURAS: ANÁLISE A PARTIR DE UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

MÁRCIA APARECIDA SILVA; LILIAN DE ARAÚJO PANTOJA

RESUMO

Os biocombustíveis representam hoje uma significativa contribuição na matriz energética brasileira. A busca pelo etanol extraído de celulose está mobilizando um número crescente de pesquisadores ao redor do mundo, estimulados por políticas de pesquisa voltadas para ampliar a produtividade no setor bioenergético. O presente artigo destaca uma revisão bibliográfica com a descrição de inovações da participação de fungos filamentosos e leveduras na produção de etanol de segunda geração (2G). O etanol 2G apresenta um potencial aliado para minimizar o aquecimento global, bem como para atender a demanda energética frente à flutuação dos preços dos combustíveis fósseis e ao esgotamento de suas reservas. A presente revisão tem como objetivo estabelecer critérios para a seleção dos artigos a partir da busca para identificar as bases de dados a serem consultadas de maneira a justificar a pertinência da participação de microorganismos no uso biotecnológico para geração de etanol 2G. A metodologia usada apontou numericamente os resultados de buscas através das palavras chaves, suas combinações e título. Delimitou-se o tema em uma síntese crítica e análise a partir da leitura de artigos obtidos na consulta. Segundo aponta a literatura, é possível produzir etanol de segunda geração a partir de hidrolisado de celulose, com o uso de diferentes rotas tecnológicas, o que pode ser adaptado à diferentes regiões do País, o que torna o etanol 2G competitivo e atraente para investimentos cada vez mais elevados a médio e longo prazo. Por fim, conclui na pertinência do tema escolhido e da promissora perspectiva para utilização de fungos filamentosos e leveduras nas diversas etapas de produção de etanol 2G em fonte renovável da matriz energética brasileira.

Palavras-chave: biocombustíveis; fonte renovável ; E2G; biotecnologia; matriz energética

1 INTRODUÇÃO

A importância da revisão bibliográfica é pontuada por Carvalho (2011) destaca que todas as áreas de pesquisa, independentemente da sua classificação, exigem uma pesquisa bibliográfica prévia visando ao levantamento de trabalhos realizados anteriormente sobre o mesmo tema.

As perspectivas para produção de etanol 2G no Brasil apontam para aumento em pesquisas e instituições públicas e privadas, ou em parcerias, frente à demanda por incremento na matriz energética, bem como pela busca de destinação em fonte renovável de produtos e coprodutos de matéria lignocelulósica.

Segundo, BNDES(2008), as expectativas atuais apontam que o E2G deve se tornar um paradigma no setor sucroenergético a partir de 2030 se a maior parte dos problemas apontados for contornada.

A presente revisão tem como objetivo estabelecer critérios para a seleção dos artigos a partir da busca para identificar as bases de dados a serem consultadas de maneira a justificar a pertinência da participação de microorganismos no uso biotecnológico para geração de etanol 2G.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Como definição de estratégia de busca, Miguéis *et al.* (2012), aponta que face aos resultados apurados, pode-se afirmar que as palavras-chave representam uma fonte de acesso vantajosa aos artigos científicos, o que valoriza a importância das palavras-chave escolhidas pelos autores para a representação da informação dos artigos indexados pela base de dados.

As palavras-chave: etanol segunda geração; fungos filamentosos; levedura, foram conjugadas para expandir a busca e fornecer fontes atualizadas de produção acadêmica. Os dados foram agregados em seis itens descritos no Quadro 1, conforme metodologia preconizada por Sampaio:

Quadro 1: Definição de dados para a revisão sistemática

Itens abordados	Respostas
1.1 Pergunta científica	Qual o papel dos fungos filamentosos para produção de etanol de segunda geração? Qual o papel das leveduras para a produção de etanol de segunda geração?
1.2 Pergunta científica	Quais as perspectivas para produção de etanol de segunda geração com a participação de fungos filamentosos?
1.3 Pergunta científica	Quais as perspectivas para a produção de etanol de segunda geração com a participação de leveduras?
1.4 Estratégia de busca	Uso de palavras chave e suas combinações. Tema e título completo
2.0 Resumo crítico	Síntese apresentada neste artigo

Fonte: Elaboração autora, (2022)

Delimitou-se o tema em uma síntese crítica e análise a partir da leitura de artigos obtidos na consulta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para organização do levantamento e posterior análise dos artigos, estabeleceu-se a descrição das palavras chave e a combinação das mesmas, de acordo com o tema, bem como foi procedido um a organização em abreviações das palavras chave, conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Descrição de palavras chave, suas combinações e resultados de busca

Filtros	Descrição	Levantamento Google Acadêmico	Artigos selecionadas relacionadas a descrição
2.1	Etanol 2G	60.900	05
2.2	Etanol e fungos filamentosos	9.030	05
2.3	Etanol e Leveduras	26.700	05
2.4	Etanol 2G; fungos filamentosos; leveduras	3.714	05
	Perspectivas para o etanol 2G com a participação de fungos filamentosos e leveduras:	0	
2.5	análise a partir de uma revisão sistemática		-
Fonte: Autora (2022)			

Tendo em vista a necessidade de fermentação de carboidratos como xilose e celobiose para garantir uma eficiente produção de etanol 2G, muitos trabalhos tiveram como enfoque a caracterização metabólica de diferentes linhagens selvagens de leveduras, isoladas de matéria vegetal em decomposição, diante desses carboidratos. Considerando o potencial de aplicação de diferentes espécies de leveduras selvagens na fabricação do etanol de segunda geração, é possível inferir que as próprias matérias primas empregadas na produção desse combustível possam fornecer os microrganismos fermentadores para esse processo.

Aponta-se em Brasil (2022), que a busca por alternativas de fontes renováveis de energia, em substituição às fontes não renováveis, tem aspecto importante, segundo dados da Resenha Energética Brasileira, ano base 2017, publicada em junho de 2018, a Oferta Interna de Energia- OIE (energia necessária para movimentar a economia de uma região, em um determinado espaço de tempo), no Brasil, foi de 293,5 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo, que corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão), ou Mtep, e equivaleu a 2,12% da energia mundial. Nessa OIE, houve a participação de 43,2% de fontes renováveis e 56,8 % de fontes não-renováveis.

A tendência do país é que o consumo de fontes não renováveis para geração de energia decaia em 4% de 2017 até 2027, e paralelamente a isso, a participação das fontes renováveis aumente 4% Brasil (2022).

O bioetanol é incolor, volátil, inflamável e totalmente solúvel em água e quando produzido por meio da fermentação da sacarose. Comercialmente, é conhecido como álcool etílico e sua fórmula molecular é C_2H_5OH ou C_2H_6O . O etanol é hoje um produto de diversas aplicações no mercado, largamente utilizado como combustível automotivo na forma hidratada ou misturado à gasolina Leonel (1999).

O etanol é um biocombustível que substitui a gasolina e outros combustíveis fósseis em motores de combustão interna com ignição por centelha. Ele é produzido especialmente via fermentação de açúcares. A produção de etanol no Brasil atingiu 27,76 bilhões de litros na safra 2017/2018, e a expectativa da produção de etanol, no primeiro levantamento as safras 2018/2019, é de 28,16 bilhões de litros CONAB (2018). O processo de obtenção de etanol de segunda geração, também conhecido como etanol celulósico, advém da utilização do material lignocelulósico encontrado nas plantas e antes não aproveitado para este fim.

Existem vários microorganismos capazes de fermentar os carboidratos em etanol em condições sem oxigênio, entre eles bactérias, leveduras ou fungos, a fim de obter energia Lynd (1996), destaca-se os fungos filamentosos e as leveduras, que participam ativamente na produção de etanol de segunda geração e tem sido objeto de pesquisas para incrementar o processo de produção do etanol 2G no Brasil.

A produção de etanol é realizada através da conversão microbiológica de materiais de biomassa por fermentação. Esse processo consiste basicamente em: (1) converter biomassa em açúcares fermentescíveis; (2) fermentar açúcares em etanol; (3) separar e purificar o etanol. A princípio, a fermentação gera etanol com uma quantidade considerável de água. Por meio da destilação, remove-se a maior parte de água e obtém-se uma mistura com cerca 95% de etanol puro, denominando-se etanol hidratado. Se a água residual for retirada, denomina-se o produto como etanol anidro, tornando-o adequado para ser misturado com gasolina Zurbier (2008).

De acordo com Prompt (2012), para ocorrer a fermentação da biomassa lignocelulósica, é necessário que os microrganismos sejam hábeis em fermentar vários açúcares. Assim sendo, essa habilidade que as leveduras estudadas neste trabalho apresentaram de realizar fermentação em mosto contendo sacarose, glicose, frutose e, principalmente xilose (7,5 ou 15%), é uma característica importante para a produção de etanol de segunda geração. Entretanto, seria interessante averiguar o consumo de açúcares, para avaliar qual dessas fontes de carbono está sendo metabolizada pelas leveduras e a quantidade consumida.

A degradação da biomassa lignocelulósica ocorre principalmente por enzimas produzidas e secretadas por microrganismos, incluindo bactérias, leveduras e fungos filamentosos. Dentre esses microrganismos, os fungos filamentosos se destacam como a principal fonte das enzimas comerciais, pois são capazes de produzir em altas concentrações uma variedade de enzimas que possuem atividades complementares.

A principal vantagem da produção de biocombustíveis de segunda geração em relação aos de primeira geração é uso de matérias-primas não comestíveis, não concorrendo com o setor alimentício Saito (2006).

Assim como já demonstrado por da Cunha *et al.*, (2011), os resultados de fermentação com hidrolisados enzimáticos de bagaço de cana-de-açúcar sugerem que, a partir de estudos mais aprofundados, as novas espécies de leveduras fermentadoras de xilose possam ser futuramente utilizadas para produção de bioetanol diretamente a partir da biomassa lignocelulósica. Os resultados, de Cunha *et al.*, (2011), sugerem que futuros experimentos, incluindo a clonagem e expressão destes genes na levedura industrial *S. cerevisiae*, possa contribuir para uma maior eficiência na fermentação de pentoses para a produção de bioetanol a partir da biomassa lignocelulósica.

4 CONCLUSÃO

O mercado de etanol é crescente e, para atender esse mercado, apesar dos investimentos tecnológicos que ainda devem ser feitos na cadeia produtiva, a produção de etanol de segunda geração torna-se atrativa para a indústria do setor sucroenergético, uma vez que é uma

alternativa para o maior aproveitamento da biomassa da cana e de outros resíduos agrícolas, pois são fontes renováveis de energia.

O uso de células íntegras de fungos filamentosos com atividade lipolítica ligada ao micélio vem despertando grande interesse de investigação pelo seu potencial de uso na biotecnologia, pois sua aplicação pode reduzir consideravelmente os custos de um processo enzimático.

A técnica de imobilização, confere as vantagens do ponto de vista comercial, industrial, projetando perspectivas promissoras para a produção de bioetanol de segunda geração com a participação de fungos filamentosos e leveduras em diversas etapas do processo. Além da questão relacionada ao custo e características das enzimas, destaca-se que os desafios atuais para a implantação do processo de conversão da biomassa em larga escala estão diretamente relacionados à necessidade de minimizar a adsorção improdutiva das enzimas na lignina, visando aumentar a eficiência da etapa de hidrólise enzimática e, conseqüentemente, a redução do custo no processo global para a que seja possível viabilizar a produção sustentável do etanol 2G a partir de recursos renováveis.

REFERÊNCIAS

- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social & CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioetanol de cana de açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, BNDES/ CGEE.2008.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Fontes de Energia**. Disponível em: . Acesso em: 16 de dezembro de 2022.
- CARVALHO, A. S.; OLIVEIRA, M. F. B; RIBEIRO, A. A. **Aspectos relevantes na confecção de uma revisão sistemática e metanálise**. Evidência, Araxá, v. 7, n. 7, p. 229-236, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, Brasília. Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar. Brasília, v.5, n.1, 66p, maio 2018.
- CUNHA P., F., Hickert, L. R., Sehnem, N. T., de Souza-Cruz, P. B., Rosa, C. A., & Ayub, M. Z. **Conversion of sugars present in rice hull hydrolysates into ethanol by *Spathaspora arborariae*, *Saccharomyces cerevisiae*, and their co-fermentations**. *Bioresource Technology*, 102, 4218-4225. 2011.
- LEONEL, M. et al. **Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 19, p. 241–245, 1999.
- LORENZI, B. R.; ANDRADE, T. H. N. **O etanol de segunda geração no Brasil: políticas e redes sociotécnicas**. *Revista Brasileira de Ciências Sociais* - vol. 34 Nº 100, 2019.
- MAROTTI, B. S.; Gonçalves, D. B.; Cortez, D. V.; de Castro, H. F.; **XX Simpósio Nacional de Bioprocessos, XI Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassa, Fortaleza, Brasil**. 10.17648/sinaferm-2015-33518. 2015.
- MIGUÉIS, A.; NEVES, B.; SILVA, A. L.; TRINDADE, A.; BERNARDES, J. A. **A importância das palavras-chave dos artigos científicos da área das ciências farmacêuticas, depositadas no estudo geral: estudo comparativo com os termos atribuídos na mediline**. 2012. Disponível em: DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/issn.2178-2075.v4i2p112-125>
- PIEROBON, L. R. P.. Sistema de geração de energia de baixo custo utilizando biogás proveniente de aterro sanitário. 154 p.. Tese(Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.
- LYND, L. R. **Overview and evaluation of fuel ethanol from cellulosic biomass: technology, economics, the environment, and policy**. *Annual reviews, energy environment*, v. 21, p. 403– 465, 1996.
- PROMPT; A. H. **Análise da fermentação de glicose e xilose por leveduras *Spathaspora* isoladas de madeira em decomposição**. 2012. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Centro de Ciências

Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/100823/315055.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 dezembro. 2022.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C.. **Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica**. Rev. bras. fisioter., São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev. 2007.

SAITO, I. et al. **Produção de etanol a partir de hidrolisado obtido por tratamento hidrotérmico de farelo de mandioca**. Revista Energia na Agricultura, v. 21, p. 34–44, 2006.

SOUZA, L. G. A. **Redes de inovação em etanol de segunda geração**. p. 215, 2013.

ZURBIER, P; VOOREN, J. V. D. **Introduction to sugarcane ethanol contributions to climate change mitigation and the environment**. In: ZUURBIER, P; VOOREN, J. V. D (Ed.). Sugarcane ethanol: Contributions to climate change mitigation and the environment. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2008. P. 19-27.