



Hidrogênio, o combustível do futuro

Hydrogen, the fuel of the future

Anderson Soares de Almeida ⁽¹⁾; Josefa Geane de Souza ⁽²⁾;
Luiz Carlos Neto Madeiro ⁽³⁾; Marília Layse Alves da Costa ⁽⁴⁾;
Amanda Lima Cunha ⁽⁵⁾; Millena Araujo Rodrigues ⁽⁶⁾; Aldenir Feitosa dos Santos ⁽⁷⁾

Página | 356

⁽¹⁾Graduando em Licenciatura em Química; Universidade Estadual de Alagoas; Arapiraca-AL; anderson123soares@outlook.com;

⁽²⁾Graduada em Licenciatura em Química; Instituição Universidade Estadual de Alagoas; Campo Alegre-AL; geannysouzalc@hotmail.com;

⁽³⁾Graduado em Licenciatura em Química; Universidade Estadual de Alagoas; Campo Alegre-AL; luizcarlosnm@hotmail.com;

⁽⁴⁾Graduada em Ciências Biológicas; Universidade Estadual de Alagoas; Arapiraca-AL; marilialayse237@gmail.com;

⁽⁵⁾Mestranda em Agricultura e Ambiente; Universidade Federal de Alagoas; Arapiraca-AL; amandalima2012.quimica@gmail.com;

⁽⁶⁾Graduada em Ciências Biológicas; Universidade Estadual de Alagoas; Arapiraca-AL; millenarlenna@gmail.com;

⁽⁷⁾Pós-doutorado em Compostos Bioativos, Universidade Estadual de Alagoas e Centro Universitário Cesmact, Arapiraca-AL e Maceió-AL; aldenirfeitosa@gmail.com

Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

Recebido em: 09 de março de 2018; Aceito em: 15 de abril de 2019; publicado em 19 de 05 de 2019. Copyright © Autor, 2019.

RESUMO: Com a evolução dos recursos energéticos e a grande utilização dos combustíveis fósseis, a emissão de gases poluentes como o dióxido de carbono, cresceu gradativamente agravando o aquecimento global, causado serias preocupações com o futuro do planeta. O hidrogênio surge como um vetor energético que apresenta propriedades que o coloca como o combustível do futuro, numa possível substituição dos combustíveis fósseis. Dentre essas propriedades destaca-se o fato de não emitir gases poluentes na atmosfera, uma vez que em sua combustão há apenas a liberação de água e energia. O presente trabalho objetivou realizar um levantamento bibliográfico de artigos publicados entre 2013 e 2017 nas bases Scielo, Google Acadêmico e Periódico Capes, sobre as técnicas de produção de hidrogênio. Entre os métodos de obtenção de hidrogênio destaca-se a eletrólise da água ou mesmo por métodos biológicos por espécies de bactérias fotossintetizantes, cianobactérias ou algas e métodos fermentativos. Pesquisas que envolvam os mais variados aspectos na implantação da economia de hidrogênio devem ser intensificadas para a maior viabilidade de suas tecnologias e possível introdução deste combustível nas matrizes energéticas do mundo.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrólise, bactérias, energia.

ABSTRACT: With the evolution of energy resources and the large use of fossil fuels, the emission of polluting gases such as carbon dioxide, has gradually increased worsening global warming, caused serious concerns about the future of the planet. Hydrogen emerges as an energetic vector that presents properties that place it as the fuel of the future, in a possible substitution of fossil fuels. Among these properties, it is worth noting that it does not emit polluting gases in the atmosphere, since in its combustion there is only the release of water and energy. The present work aimed to carry out a bibliographic survey of articles published between 2013 and 2017 in Scielo, Google Academic and Periodical Capes bases, undergoes the techniques of hydrogen production. Among the methods of obtaining hydrogen, the electrolysis of water or even by biological methods by species of photosynthetic bacteria, cyanobacteria or algae, and fermentative methods are noteworthy. Research involving the most varied aspects in the implementation of the hydrogen economy must be intensified for the greater viability of its technologies and possible introduction of this fuel into the world's energy matrixes.

KEYWORDS: Electrolysis, bacteria, energy.

INTRODUÇÃO

Durante anos o mundo utiliza energias provenientes de fontes não renováveis como o petróleo, mas não é só o fato dessas fontes poderem se esgotar que preocupa a humanidade. Atualmente a preocupação global é o aquecimento da terra e a procura por fontes energéticas mais limpas (SILVA e CARMO, 2017).

Com o crescente aumento na demanda energética mundial, o esgotamento dos combustíveis fósseis e os vários problemas ambientais associados ao uso de tais produtos, tem-se buscado novas fontes de energia menos poluentes e renováveis. Assegurar a geração de energia, considerando as preocupações com o meio ambiente, tem-se consolidado como um dos desafios da atualidade. A discussão acerca do efeito estufa vem acentuando nos últimos tempos, tentando encontrar novas formas de energia limpa. É nessa conjuntura que a produção de hidrogênio surge como uma alternativa interessante. Dentre as alternativas estudadas, o hidrogênio tem ganhado destaque, sendo considerado por muitos como o combustível do futuro, principalmente pelo fato de liberar apenas água em sua combustão (SILVA *et al.*, 2016).

As pesquisas sobre o hidrogênio estão sendo concentradas na geração de energia elétrica, térmica e de água pura através das células a combustível, dispositivos que transformam energia química em energia elétrica sem causar danos ao ambiente (DA SILVA *et al.*, 2016).

O hidrogênio não é uma fonte de energia primária, ele ocupa uma posição de veículo energético, ou seja, um portador de energia que não existe na atmosfera de forma livre, sendo necessário produzi-lo, transportá-lo e armazená-lo antes de usar e ainda encontrar soluções tecnológicas eficientes, econômicas e seguras para o seu manuseio (BRAGA, 2014). Portanto, neste trabalho serão mostradas através de pesquisas bibliográficas as condições tecnológicas que estão sendo usadas e estudadas para que o hidrogênio possa ser comercialmente vendido, isto é, as tecnologias usadas desde a produção até o consumo pela população, mostrando as dificuldades técnicas e econômicas de se obter um combustível limpo.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Inicialmente foi realizada uma busca bibliográfica em artigos provenientes de periódicos, monografias e dissertações na base Scielo, Google Acadêmico e Periódico Capes. Foram utilizados, para busca dos artigos, os seguintes descritores; obtenção de hidrogênio, hidrogênio combustível e energias renováveis. Foram obtidos 550 artigos que após serem submetidos a análise dos títulos possibilitaram a recuperação de 90 artigos publicados entre 2013 e 2017. Estes artigos tiveram seus resumos/abstract analisados, o que possibilitou a seleção de 20 artigos. Os critérios de inclusão para seleção destes artigos foram: classificação de combustíveis, métodos biológicos e não biológicos para obtenção de hidrogênio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Combustíveis: conceito e classificação

De maneira geral denomina-se combustível qualquer substância que reage com o oxigênio (ou outro comburente) de forma a produzir calor, chamas, e gases, constituindo uma reação exotérmica (GOLDEMBERG, 2015).

Os combustíveis podem ser classificados em:

- Combustíveis fósseis
- Combustíveis renováveis

Os combustíveis fósseis são aqueles que se originam de animais, vegetais e micro-organismos fossilizados há milhares de anos e que sofreram transformações complexas. Já os combustíveis renováveis, são combustíveis que usam como matéria prima, elementos renováveis da natureza, como a cana-de-açúcar, utilizadas para a fabricação de álcool e vários vegetais como a mamona utilizada para a fabricação do biodiesel ou óleos vegetais (GOLDEMBERG, 2015).

De acordo com De Sá e Cols (2014), 40% do hidrogênio é produzido através da reforma de hidrocarbonetos, e 30% desse gás é produzido pela oxidação de hidrocarbonetos, já 18% é produzido por meio da gaseificação do carvão e 5% através da eletrólise da água. A tabela 1 apresenta os principais métodos de obtenção do H₂. Na

atualidade a produção de hidrogênio por meios biológicos representam apenas 1% nesse cenário. Entretanto, espera-se que esses métodos biológicos progridam com os surgimentos de novas técnicas.

Tabela 1. Principais métodos de obtenção de hidrogênio (SÁ *et al.*, 2014)

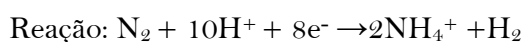
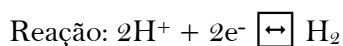
Insumo	Métodos
Combustível fóssil	Reforma de hidrocarbonetos Gaseificação do carvão Oxidação de hidrocarbonetos
Água	Eletrólise Processos foto-eletrólise
Biomassa	Processos biológicos (biofotólise da água, fotofermentação e fermentação anaeróbia) Transformações da biomassa

Métodos Biológicos de Produção de H₂

Fotossintéticos

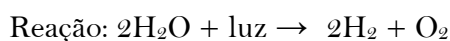
Com essa tecnologia biológica alguns micróbios fotossintéticos produzem H₂ nas suas atividades metabólicas usando a energia luminosa. Com esse recurso de sistemas catalíticos e de engenharia, o grau de produção de hidrogênio pode atingir os 24% de rendimento. Esse tipo de processo pode ser realizado por bactérias fotossintetizantes, cianobactérias e algas. A radiação solar é utilizada para converter água, compostos de enxofre ou compostos orgânicos, em hidrogênio (SÁ *et al.*, 2014).

As células podem produzir o hidrogênio com base em duas enzimas diferentes: com a hidrogenase ou a nitrogenase. Os microorganismos que realizam essa reação sob certas condições são as algas verdes e as cianobactérias que produzem H₂ através do processo de biofotólise da água. Já as bactérias fotossintetizantes fazem através da foto decomposição de compostos orgânicos (SÁ *et al.*, 2014).



Biofotólise da água

Biofotólise é a ação da luz sobre um sistema biológico que resulta na decomposição de um substrato, geralmente água, para produzir hidrogênio. A biofotólise representada pela reação pode ser do tipo direto, através de algas verdes, ou indiretas, através de cianobactérias(DE SÁ et al.,2014).



Biofotólise direta (algas verdes)

A biofotólise direta para a produção de hidrogênio é um processo biológico que utiliza sistemas de microalgas fotossintetizantes para converter energia solar em energia química na forma de hidrogênio. As algas verdes (Figura 1) produzem hidrogênio depois de um período de adaptação, sob condições anaeróbicas no escuro durante o qual a hidrogenase é ativada e sintetizada. A reação apresenta a equação química da biofotólise direta. A absorção da luz gera elétrons que são transferidos para uma molécula de ferredoxina, que transporta elétrons em processos biológicos, a enzima hidrogenase recebe esses elétrons para combiná-los com os prótons para formar e liberar o H_2 (figura 2). (DE SÁ et al.,2014).

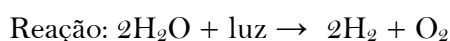


Figura 1: Alga verde *Chlamydomonas reinhardtii*

Fonte: Cura Para La Ceguera Sólo Podría Provenir de Las Algas.

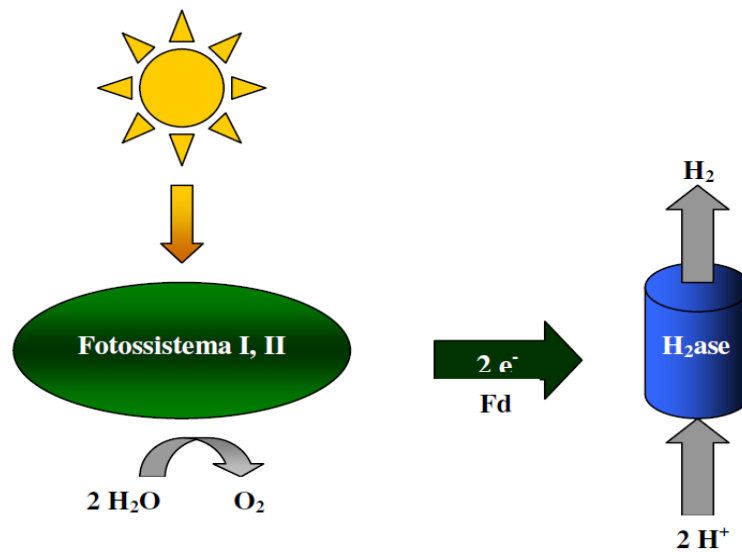


Figura 2: Biofotólise direta **Fd (ferrodoxina)**. **H₂ase (hidrogenase)**

Fonte: (SÁ *et al.*,2014)

Biofotólise indireta (cianobactérias)

As cianobactérias (figura 3) também produzem hidrogênio pelo processo de biofotólise. Elas são consideradas boas candidatas num sistema produtor de hidrogênio por apresentarem requisitos nutricionais simples. A partir da energia solar e da água, elas formam hidrogênio e oxigênio, sem desprender CO₂. Utilizam o N₂ e CO₂ atmosférico como fonte de nitrogênio e carbono, água como fonte de elétrons e a luz como fonte de energia (SÁ *et al.*,2014).

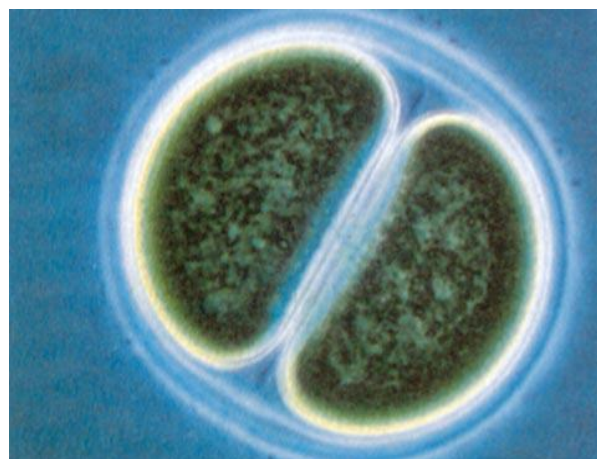


Figura 3: cianobactérias.

Fonte: Infopédia Dicionários Porto Editora, Artigos de Apoio.

Nas cianobactérias fixadoras de nitrogênio dois tipos de enzimas têm a capacidade de produzir H_2 : a nitrogenase, a hidrogenase de assimilação e a hidrogenase bidirecional. A nitrogenase catalisa a redução do nitrogênio com liberação obrigatória de hidrogênio; a hidrogenase de assimilação recicla o hidrogênio liberado pela ação da nitrogenase; e a hidrogenase bidirecional que pode funcionar tanto no sentido de produção como no de consumo de hidrogênio, (figura 4) (SÁ *et al.*,2014).

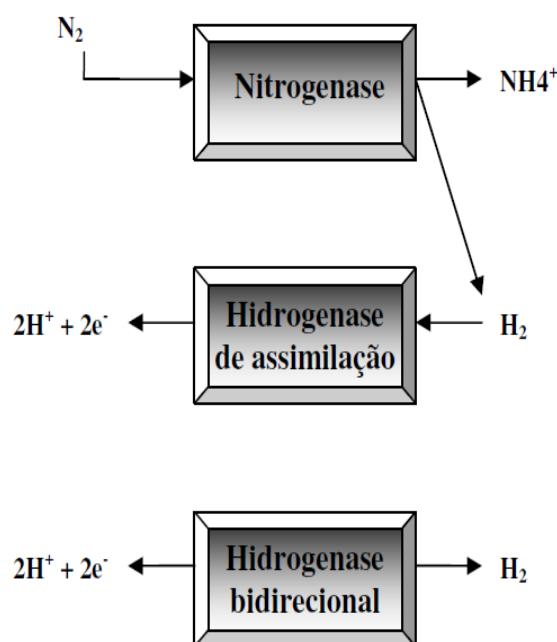


Figura 4: Enzimas do processo de biofotólise indireta

Fonte: (SÁ *et al.*,2014).

Foto -decomposição de compostos orgânicos

As bactérias fotossintetizantes (figura 5) são boas candidatas a um sistema microbiológico de produção de hidrogênio por apresentarem vantagens, tais como: alta conversão de hidrogênio, habilidade de usar amplo espectro de luz, habilidade de consumir substratos orgânicos (reação apresentada abaixo) derivados de resíduos, o que favorece o uso dessas bactérias num sistema produtor de hidrogênio em associação com o tratamento de efluentes (SÁ *et al.*,2014).

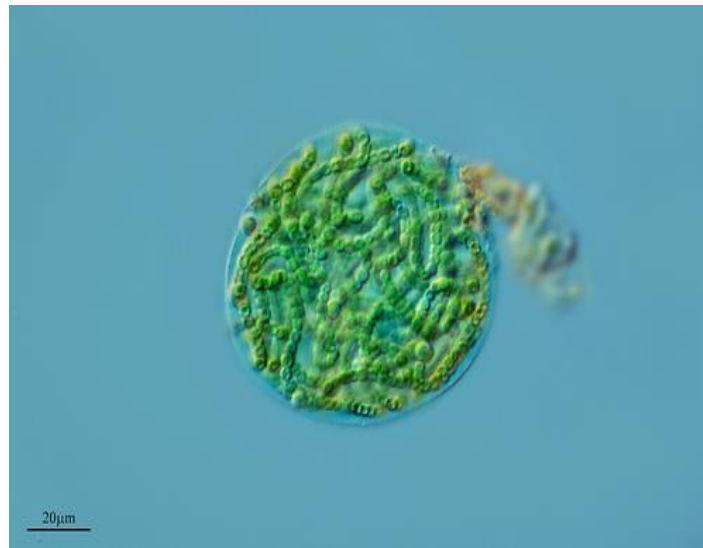


Figura 5: bactéria fotossintetizante.

Fonte: Editoriais | Ciência e Tecnologia.

A produção fotobiológica de hidrogênio pode ser realizada por bactérias fotossintéticas, utilizando a radiação solar para converter H_2O , compostos de enxofre ou compostos orgânicos, em hidrogênio, (figura 6) apresenta a foto decomposição de compostos orgânicos (BRAGA, 2014).

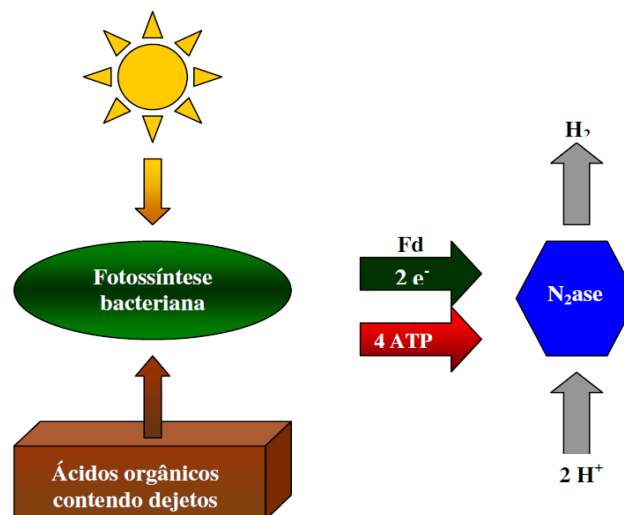


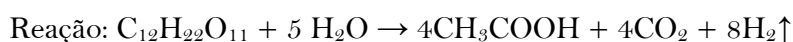
Figura 6: Esquema da foto decomposição de compostos orgânicos.
Fd (ferrodoxina). ATP(trifosfato de adenosina). H_2ase (hidrogenase)

Fonte: (SÁ *et al.*,2014).

Métodos fermentativos

Os métodos fermentativos de resíduos orgânicos é destaque na síntese de hidrogênio, pois tal processo utiliza matérias-primas de origem renovável. A biotransformação anaeróbica ocorre com o emprego de micro-organismos que transformam substâncias orgânicas em metano, dióxido de carbono, gás sulfídrico e gás amônia. As reações químicas predominantes são: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (SANTOS *et al.*,2012).

Inicialmente ocorre a hidrólise que consiste na quebra de moléculas em compostos relativamente simples. Na obtenção do hidrogênio a reação deve ser interrompida na fase acidogênica, de forma a inativar a fase matanogênica que o hidrogênio produzido é consumido. Do ponto de vista ambiental, é um processo vantajoso, pois os resíduos são empregados para obter um combustível renovável (SANTOS *et al.*,2012).



Uso da bactéria Púrpura Não Sulfurosa *Rhodopseudomona palustris*

As cepas da bactéria (figura 7) foram cultivadas em meio basal RCV e mantidas a 30 graus Celsius com intensidade luminosa e pH em torno de 6,8. O sistema de fotofermentação foi composto por frascos de penicilina de 50 ml de capacidade, com o auxílio de seringas graduadas de volume 10 ml acopladas para coleta do hidrogênio produzido. Observou-se que a cepa utilizada foi capaz de produzir hidrogênio quando mantida em meio RCV suplementado com soro de queijo (lactose), extrato de levedura nas concentrações 1g\L e glutamato de sódio 2,54 g\L, produzindo um volume de 0,0000087,89 mol de hidrogênio por litro. Os autores identificaram a lactose obtida do permeado de soro de leite, seria a responsável pelo aumento na geração de hidrogênio da cepa *Rhodopseudomana* (BESSA *et al.*,2014).

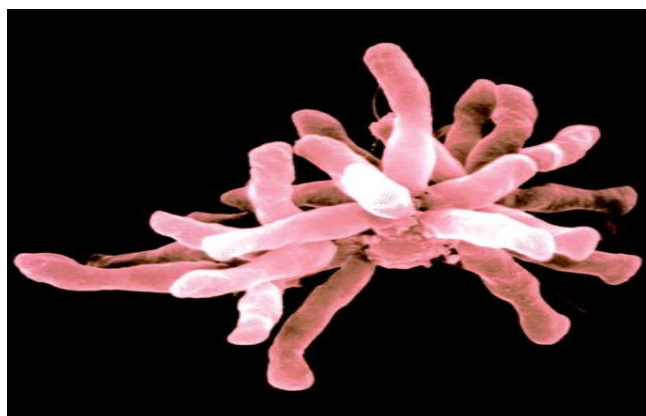


Figura 7: bactéria *Rhodospseudomonas palustris*.

Fonte: Pinterest • O catálogo de ideias do mundo todo.

Métodos não Biológicos de Produção de H₂

Eletrólise

Estudos realizados por (GALLINA et al.,2014) utilizaram aços inoxidáveis como eletrodos na geração de hidrogênio, as técnicas empregadas no estudo foram polarização potenciodinâmica catódica e cronoamperometria. Os resultados mostram que a produção de gás hidrogênio é economicamente viável em relação há estudos realizados por outros pesquisadores, sendo cerca de 20% mais eficiente o uso de aço inoxidável 304 em relação á platina, que é cerca de 20000 vezes mais cara que o aço, (figura 8) representação da eletrólise, a reação abaixo expõe o processo geral da eletrólise.

Reação: $2\text{H}_2\text{O} + \text{eletricidade} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

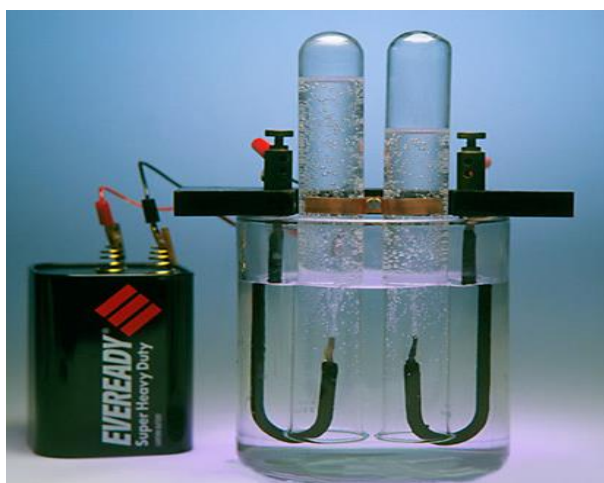
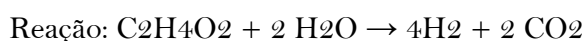
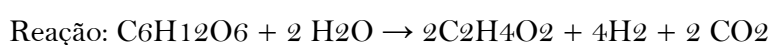


Figura 8: Simulação da eletrólise da água na obtenção de hidrogênio.

Fonte: Explicatorium.

Obtenção de hidrogênio aliado ao tratamento de águas residuais

A obtenção de hidrogênio aliado ao tratamento das águas residuais industriais e urbanas está cada vez mais se obtendo relevância internacional. A fim de propiciar viabilidade e eficiência no tratamento, é necessária a remoção dos resíduos orgânicos após o processo de fermentação escura. Os gases aglomerados após essa fase são predominantemente ácidos acéticos e butírico, onde são metabolizados pela ação de bactérias anaeróbias fotoheterotróficas. Este processamento pode completar o ciclo de bio-tratamento de rejeitos e ampliar a produção de biohidrogênio (JARA et al).



Essa é uma forma alternativa para colaborar com a demanda de energia, igualmente, esse processo não gera gases de efeito estufa, então favorece o meio ambiente. Ademais, esses sistemas possuem características promissoras para países de clima tropical como o Brasil, no qual apresenta temperaturas médias cerca de 25 graus Celsius, são favoráveis para o crescimento microbiano (JARA *et al*).

Utilização de ácidos orgânicos por consórcios Fotoheterotróficos

Uma alternativa renovável para transformação em biocombustíveis e biogás são os resíduos lignocelulósicos como o bagaço de cana. Esses rejeitos possuem em suas composições, concentrações consideráveis de substâncias poliméricas como celulose, hemicelulose e lignina onde podem desprender compostos fermentescíveis para produção de energia mediante o uso de procedimentos de pré-tratamento (ADARME, 2015).

De maneira geral as técnicas de pré-tratamento de biomassa lignocelulósicas podem ser classificadas em físicos, químicos e biológicos. Estes pré-tratamentos tem o objetivo de promover uma divisão dos três componentes principais da biomassa, possibilitando as etapas seguintes da cadeia produtiva dos biocombustíveis e bio-produtos. Entre os procedimentos de pré-tratamento clássicos, ressaltamos os processos físico-químicos utilizando ácidos inorgânicos concentrados e diluídos com temperaturas elevadas, e o processo chamado como auto-hidrólise. Entretanto, novas pesquisas estão sendo voltadas para novos procedimentos físicos e técnicas híbridas junção de métodos químicos, físicos e biológicos, que englobam uso de raios gama, feixes de elétrons e

micro-ondas, e agentes oxidantes fortes como, ozonização, peroxidação, para o pré-tratamento de resíduos lignocelulósicos (ADARME, 2015).

As técnicas utilizadas são com o uso de substâncias oxidativas avançadas, são consideradas como integrante das técnicas híbridas e destacam-se por converter a grande maioria das substâncias orgânicas em gás carbônico, água e ânions inorgânicos, por meio de reações de quebra que necessita de espécies transitórias oxidantes, principalmente radicais hidroxilas. Esses procedimentos utilizam ozônio, peróxido de hidrogênio, luz ultravioleta (UV) e combinações com compostos e sais de metais de transição, como agentes oxidantes. Esses agentes são considerados tecnologias eficientes e promissoras que favorecem a quebra da solubilidade e até modificações estruturais dos constituintes da biomassa, em sua maioria lignina e hemicelulose (ADARME, 2015).

Dentre as vantagens do pré-tratamento com esses compostos está nas condições de reações, isto é, pode ser realizada a temperatura ambiente, e não leva à produção de substâncias intermediárias tóxicas, como exemplo, 2-furfuradeído (FF) e 5-hidroximetil-2-furfuradeído (HMF), (figura 9) situações onde ocorre nos métodos tradicionais (ADARME, 2015).

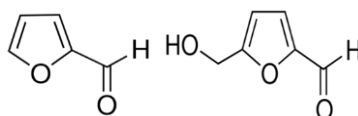


Figura 9: Estruturas 2-furfuradeído (FF) e 5-hidroximetil-2-furfuradeído (HMF).

Fonte: SIGMA-ALDRICA

Viabilidades econômicas

O hidrogênio deverá ser uma importante fonte de energia da indústria automotiva dentro de mais ou menos dez anos. A economia baseada no hidrogênio não irá ocorrer enquanto métodos de baixo custo e confiabilidade não forem identificados e estabelecidos em três áreas básicas: produção, distribuição e armazenamento (VARGAS et al.,2006).

Pesquisadores envolvidos com projetos de produção de hidrogênio defendem a posição de que é injusto fazer análises de custos baseadas na atualidade. A tecnologia que envolve o hidrogênio está em pleno desenvolvimento, estando em muitos lugares em fase de testes e em outros ainda é desconhecida (BRAGA, 2014).

CONCLUSÃO

Diante do que foi exposto neste trabalho, o hidrogênio apresenta-se como fonte de energia limpa e alternativa podendo assim substituir a atual matriz energética baseada na queima de combustíveis fósseis. Para que essa mudança aconteça serão necessários diversos avanços tecnológicos para o desenvolvimento dos processos de produção de hidrogênio para que se tornem mais eficientes e completamente livres de emissões, além de tecnologias que possam diminuir os custos tanto da produção, quanto do armazenamento, transporte e distribuição desse gás.

REFERÊNCIAS

1. ADARME, Oscar Fernando Herrera. Produção de metano e hidrogênio com hidrolisados gerados no tratamento oxidativo do bagaço de cana-de-açúcar. 2015.
2. BESSA, L. P. et al. Produção de hidrogênio através do uso de bactéria púrpura não sulfurosa *Rhodopseudomonas Palustris*. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 1, p. 670-674, 2014.
3. BRAGA, Lúcia Bollini. Aspectos técnico, econômicos e ecológicos de processos de produção de hidrogênio. 2014.
4. Cura Para La Ceguera Sólo Podría Provenir de Las Algas. Disponível em: <https://www.tierrapost.net/cura-para-la-ceguera-solo-podria-provenir-de-las-algas/> e acessado em 27 | 12 | 17.
5. DA SILVA, Inara Amoroso. Hidrogênio: Combustível do Futuro. Ensaio e Ciência: C. Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 20, n. 2, p. 122-126, 2016.
6. DE SÁ, V.; CAMAROTAN, M. C.; FERREIRA-LEITÃO, V. S. Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia—aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros. Química Nova, v. 37, n. 5, p. 857-867, 2014.
7. DOS SANTOS, Kenia Gabriela et al. FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA: UMA ALTERNATIVA PARA A PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO¹. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 1, p. 1-12, 2012.
8. Explicatorium. Disponível em: <http://www.explicatorium.com/cfq-7/transformacoes-corrente-eletrica.html> e acessado em 12 | 01 | 18.

9. Editoriais | Ciência e Tecnologia. Disponível em:
<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2012/janeiro/pesquisadoras-da-usp-estudam-biodiesel-a-partir-de> e acessado em 27 | 12 | 17.
10. GOLDEMBERG José. Energia e Sustentabilidade. Revista de Cultura e Extensão USP, v. 14, p. 33-43, 2015.
11. GALLINA, André L.; DIAS, Bianca V.; RODRIGUES, Paulo Rogério P. Aplicação de aços inoxidáveis na geração de hidrogênio como combustível. Revista Virtual de Química, v. 6, n. 2, p. 224-234, 2014.
12. Infopédia Dicionários Porto Editora, Artigos de Apoio. Disponível em:
[https://www.infopedia.pt/\\$cianobacterias](https://www.infopedia.pt/$cianobacterias) e acessado em 12 | 01 | 18.
13. JARA, Abraham Ríos et al. UTILIZAÇÃO DE ACIDOS ORGÂNICOS POR CONSÓRCIOS FOTOHETEROTRÓFICOS GERADORES DE H₂.
14. Pinterest . O catálogo de ideias do mundo todo. Disponível em:
<https://br.pinterest.com/pin/108860515967655361/> e acessado em 12 | 01 | 18.
15. SILVA, Rayssa Guimarães; DO CARMO, Marlon José. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: UMA PROPOSTA PARA MELHORIA DA GESTÃO ENERGÉTICA. **InterSciencePlace**, v. 12, n. 2, 2017.
16. SIGMA-ALDRICH. Disponível em:
<https://www.fishersci.pt/pt/en/catalog/search/products?keyword=Honeywell+ACS&nav=&page=2&offset=30> e acessado em 20 | 02 | 18.
17. Vargas RA, Chiba R, Franco EG, Seo ESM. Hidrogênio: O Vetor Energético do Futuro? Centro de Ciências e Tecnologia de Materiais (CCTM). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). Universidade de São Paulo (USP).