

Conceitos socioambientais aplicados ao processo de hidrólise alcalina da sucata de alumínio para geração de hidrogênio

Socioenvironmental concepts applied to the aluminium scrap hydrolysis for hydrogen generation

Camila Sanzovo Barbosa dos Santos, discente do mestrado de Tecnologia e Sociedade da UTFPR.

camilasantos@alunos.utfpr.edu.br

Maclóvia Correa Silva, Doutora, professora permanente da UTFPR.
macloviasilva@utfpr.edu.br

Resumo

O presente artigo traz alguns tópicos relacionados a produção de hidrogênio como energia renovável, sendo o seu principal objetivo a avaliação do processo de hidrólise alcalina da sucata de alumínio como tecnologia apropriada dentro dos critérios socioambientais. Esta inovação para geração do gás hidrogênio como cogenerator de energia em uma termoeletrica é uma pesquisa caracterizada como descritiva, tendo como método pesquisa bibliográfica. Os resultados esperados consistem no levantamento de informações que permitam avaliar o processo anunciado por meio de critérios sociais e ambientais, a fim de trazer uma opção tecnológica que contribua para a sustentabilidade.

Palavras-chave: Produção de Hidrogênio; Hidrólise Alcalina; Socioambiental.

Abstract

This article presents some topics related to the production of hydrogen as renewable energy. Its main objective is to investigate the process of alkaline hydrolysis as an appropriate technology within the socioenvironmental criteria. This innovation for generation of hydrogen gas as a cogenerator of energy in a thermoelectric is a research characterized as descriptive, having as method bibliographical research. The expected results are the collection of information to evaluate the process announced through social and environmental criteria, in order to bring a technological option that purview the concepts of sustainability.

Keywords: Hydrogen production; Alkaline hydrolysis; Socioenvironmental;

1. Introdução

A tecnologia de utilização do hidrogênio como vetor energético é apontada por muitos especialistas como o combustível substituto dos derivados do petróleo neste século (RIFKIN, 2012; ROSA, 2015; SILVA, 2014). Principalmente pela importância já hoje presente de limitar a emissão de dióxido de carbono na atmosfera, sendo este o objetivo de muitas conferências que buscam elaborar um acordo internacional para redução dessas emissões a fim de mitigar os efeitos do aquecimento global (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016).

Além desse fator ambiental, a mudança para um regime energético centralizado no hidrogênio possuiria um poder expresso de emancipação e transformação de sujeitos nas estruturas sociais, sendo elas tanto política e civil quanto a própria infraestrutura econômica (TRIGUEIRO, 2009). Este novo modelo energético somado com outras fontes renováveis de energia, internet e a noção de rede proporcionaria a chamada geração distributiva, onde tenderia a produção de energia pelo próprio consumidor final, que são os atuais clientes das concessionárias, fato já parcialmente praticado e difundido em alguns países da Europa (RIFKIN, 2016).

Esta conectividade interligando os usuários finais possibilitaria o estabelecimento de uma sociedade mais sustentável com os recursos locais e regionais do ambiente. Para que isso ocorra é necessário que especificidades locais sejam consideradas, além de questões como recursos humanos e naturais disponíveis que permitam atender uma determinada região, nos levando ao conceito de *tecnologia apropriada* de Darrow (1981) e Schumacher (1993).

Atualmente, as tecnologias disponíveis para produção de hidrogênio em grande escala não estão tecnicamente consolidadas (CGEE, 2010). No entanto, o hidrogênio já é um insumo químico de grande aplicação em diversos setores industriais, além da possibilidade de ser produzido com base em todas as fontes de energia, sendo elas renováveis ou não, de gerar eletricidade em processos de alta eficiência como as células a combustível e de ser um elemento fundamental na produção de combustíveis sintéticos (SILVA, 2014).

De acordo com o estudo de Moreira et al.(2013), os quais compararam o número acumulado de patentes no USPTO de tecnologias de produção de hidrogênio no período de 1980 a 2009, em relação aos depósitos dos EUA, o Brasil ainda se encontra em uma posição muito inferior de desenvolvimento tecnológico, no entanto, este pode se configurar como um dos países com maior potencial energético a partir de fontes renováveis (IEA, 2015).

Dentre os diversos processos de inovação patenteáveis neste setor, a técnica aprimorada de hidrólise alcalina possui uma prospecção positiva para geração de hidrogênio além de outras aplicabilidades comerciais aos seus subprodutos que permitem atender alguns requisitos da sustentabilidade (EVOLUÇÕES HIDROGÁS, 2015).

Partindo deste contexto introdutório, o presente artigo tem como objeto de estudo o processo de hidrólise alcalina da sucata de alumínio, trazendo como problemática se esta tecnologia de geração de hidrogênio é apropriada de acordo com os critérios socioambientais. Para isto será apresentado ao longo do texto alguns aspectos gerais no âmbito social e ambiental referente a esta tecnologia a fim de avaliá-la e auxiliar no processo inovativo e sustentável no âmbito nacional.

2. Revisão

2.1 Conceitos

Por se tratar de um processo de fornecimento de energia, este artigo não poderia iniciar sua base científica sem trazer a definição de alguns conceitos fundamentais: o que são fontes de energia e qual o significado do termo renovável.

A Energia de uma forma mais geral pode ser definida como “causa ou resultado da variação dos estados de substâncias e sistemas” (SILVA, 2014, p. 29), presente em qualquer processo ou modificando os estados das coisas, sejam eles naturais ou artificiais, orgânicos ou inorgânicos (ASSIREU et al., 2015; SILVA, 2014). Transformando-se ou aleatorizando-se assim como os recursos minerais quando são processados em metais e depois são descartados os produtos, como exemplo: latas de alumínio usadas, onde o consumível não é a energia, mas sim o fato de que a energia ainda não foi aleatorizada (ROSA, 2015, p. 6).

Em relação às fontes de energia é de conhecimento comum que são recursos dos quais se pode obter energia (WIKIPÉDIA, 2017). Ressaltando que se utiliza o termo *recurso* pelo fato de existir em maior abundância e aparentemente valor econômico (ROSA, 2015, p.19).

Atualmente, as fontes energéticas são conhecidas como fundamentais e derivadas. As primeiras são originadas de processos primários da natureza, a energia disponível antes de ser convertida ou transformada. Enquanto as derivadas, que são obtidas das fundamentais, representam essencialmente as transformações e /ou diferentes formas daquelas, tais como a energia elétrica, da biomassa, calor, entre outras (SILVA, 2014).

Quanto à determinação *renovável* das fontes, em princípio, todas podem ser produzidas e repostas na natureza, partindo do princípio que a energia concentrada em forma material na Terra, seja em minérios metálicos, seja em combustíveis, é relativamente fixa, considerando-se um prazo geológico de relevância (RIFKIN, 2003, pág.45). Da mesma forma, em princípio, nenhuma fonte pode ser considerada inesgotável (SILVA, 2014). Entretanto, para várias delas, o processo de reposição natural envolve milhares de anos como também sua reposição artificial é totalmente inviável.

Assim, devido a função da escala de disponibilização esses recursos são classificados em renováveis e não renováveis. Sendo designadas renováveis aquelas fontes cuja reconstituição pode ser feita sem grandes dificuldades em prazos de apenas alguns anos, numa escala humana de tempo (ASSIREU et al., 2015; SILVA, 2014). Em contra partida as que estão inseridas em uma escala geológica para sua renovabilidade são consideradas não renováveis (RIFKIN, 2003; SILVA, 2014).

Complementado as definições, segundo a *Internacional Energy Agency* - IEA (2017) energia renovável é energia derivada de processos naturais/primários (por exemplo, luz solar e vento) que são reabastecidos a um ritmo mais rápido do que são consumidos. Solar, eólica, geotérmica, hidrelétrica e algumas formas de biomassa são fontes comuns de energia renovável.

2.2 Hidrogênio Sustentável

O hidrogênio é o elemento químico mais abundante do universo, porém raramente é encontrado isolado na natureza, por ser quimicamente ativo se combina com outros elementos como o oxigênio, formando água e outros compostos orgânicos, sendo o oceano o seu maior reservatório (ACAR e DINCER, 2013). Desta forma é necessário extraí-lo de outras substâncias para utilizá-lo, consumindo algum tipo de energia primária para sua produção (GODOY, 2013; MOYA, 2016). Por conta disso é designado como um vetor energético, um armazenador/carregador de energia, sendo outro termo para fonte secundária (LINARDI, 2011).

A economia do hidrogênio possui algumas vantagens que podem ser sintetizadas como: (i) segurança energética por meio da redução da dependência de petróleo, (ii) alta eficiência e facilidade de conversão de energia (iii) produção de água sem emissões, (iv) diferentes formas de armazenamento (por exemplo: gasosa, líquida ou em conjunto com hidretos metálicos), (v) transporte de longa distância (vi) viabilidade econômica, potencializando os futuros mercados globais de energia (ACAR e DINCER, 2012, 2013, 2015).

Desta forma, com quase zero ou zero emissões de uso final e recursos continuamente reabastecidos, o hidrogênio é um vetor sustentável de energia. Por outro lado, a maioria dos métodos de produção de hidrogênio não são maduros, resultando assim em altos custos de produção e/ou baixa eficiência (DINCER e ACAR, 2015).

Para aproveitar ao máximo a economia do hidrogênio esta precisa ser produzida a partir de fontes renováveis ou com baixo custo. Na literatura, existem vários estudos enfocando como hidrogênio pode ser uma solução mais eficaz desempenhando um papel de contribuição para a sustentabilidade (DINCER, 2012, 2013; ANDREWS; SHABANI, 2014; DINCER e ACAR, 2015; MANSOURI; CALAY, 2012; NATERER et al., 2013; PAULISTA, 2015; VOLDSUND et al., 2016).

Dentre os possíveis métodos de produção de hidrogênio estudados na literatura, o processo de reformulação a vapor de gás natural é o processo mais comumente utilizado, resultando em emissões de GEE consideráveis. Cerca de 50% da procura global de hidrogênio é satisfeita com a reforma a vapor do gás natural, 30% provêm da reforma do petróleo, 18% da gasificação do carvão, 3,9% da eletrólise da água e 0,1% de outras fontes (DINCER e BALTA, 2011). Para eliminar os efeitos adversos da utilização de combustíveis fósseis na saúde humana e no meio ambiente, o hidrogênio deve ser produzido a partir de fontes limpas e abundantes com métodos ambientalmente benignos, tal conceito é denominado produção de hidrogênio verde (DINCER e ACAR, 2015).

Dentre os vários autores que previamente estudaram a produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis, especificamente com água, LODHI (1987) é considerado um pioneiro em análise da dissociação a alta temperatura, separação termoquímica, eletrólise e fotólise da água. Mais tarde, LODHI (2004) classificou a energia solar, mar/oceano, hidro, eólica e nuclear como fontes primárias verdes para produção de hidrogênio. Ainda, listou materiais verdes para sua geração como água do mar, sulfeto de hidrogênio e biomassa. Desta forma, os métodos para produção de hidrogênio podem ser denominados *verdes* com base na sua fonte de energia primária e/ou do material de extração (MILTNER et al., 2010).

2.3 Cenário Mundial

A sociedade moderna demanda muitos tipos de serviços a fim de manter um bom padrão de vida: alimento, eletricidade, água e espaços aquecidos, ar-condicionado, combustíveis, remédios, entre outras várias substâncias químicas e materiais, etc. Os métodos atuais no fornecimento de produção destas comodidades são primariamente concedidos por combustíveis fósseis (NATERER et al., 2013).

Os quais se enquadram nas fontes não renováveis, conforme mostrado na Figura 1, a qual exibe respectivamente as fontes de energia para o mundo entre 1971 e 2014, no qual se nota uma fornecimento de 2.5 vezes maior e uma mudança significativa em sua distribuição.

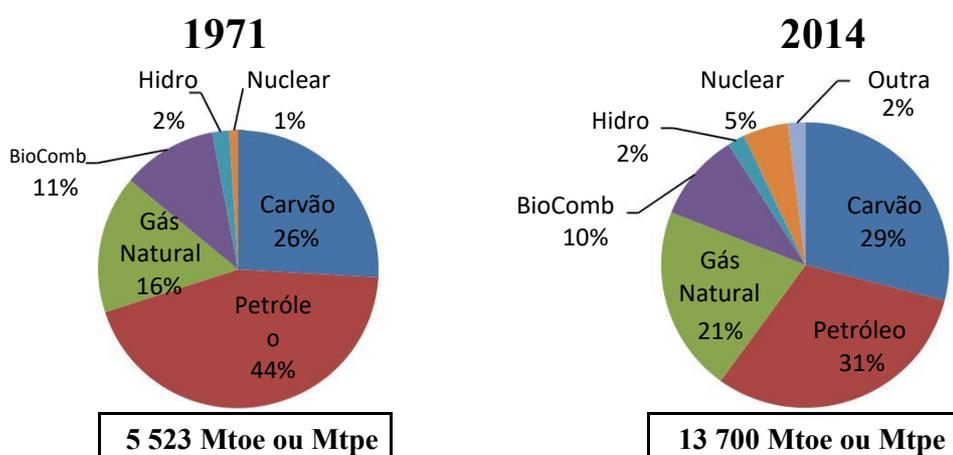


Figura 1 – Total de suprimento energético primário por combustível. Fonte: IEA (2016, p.4).

Nota-se que a maior parte dos recursos renováveis (geotérmicos, biomassa, hidroelétricos, solar e eólico) ainda contribui pouco no cenário mundial de energia. De acordo com o IEA (2008), sem uma ação decisiva, as emissões de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas com a energia serão mais do que duplicadas até 2050 e o aumento pela procura de energia fóssil ocasionará inseguranças ao seu fornecimento.

Este cenário explica as motivações mundiais para o desenvolvimento limpo e métodos de produção eficientes, os quais irão eventualmente ser capazes em substituir ou suplementar os processos tradicionais por meio da incorporação de fontes renováveis de energia e tecnologias de hidrogênio (NATERER et al., 2013).

Segundo o GLOBAL CARBON CAPTURE AND STORAGE INSTITUTE apud IEA (2016), projetos de larga escala estão sendo definidos de acordo com os parâmetros do instituto a fim de instalações industriais intensivas em emissões captem, transportem e armazenem anualmente de 400 a 800 mil toneladas de CO₂. Os efeitos destas ações podem ser visualizados pela Figura 2 abaixo, a qual exibe que com apenas 15 projetos operacionais de larga escala teve uma taxa total de captura potencial de 28 MtCO₂ no ano de 2015, no entanto, apenas 7.5 milhões de toneladas de captura de CO₂ foi armazenada com monitoração e verificação apropriada, tais projetos são detalhados no *The Global Status of CCS* (2015). Vale destacar que apenas o projeto *Quest* na areais petrolíferas do Canadá capta até 1 milhão de toneladas de CO₂ (MtCO₂) por ano a partir da produção de

hidrogênio no *Scotford Oil Sands Upgrader* para armazenamento a uma profundidade de cerca de 2 km em um aquífero salino *onshore* (IEA, 2015, p.30).

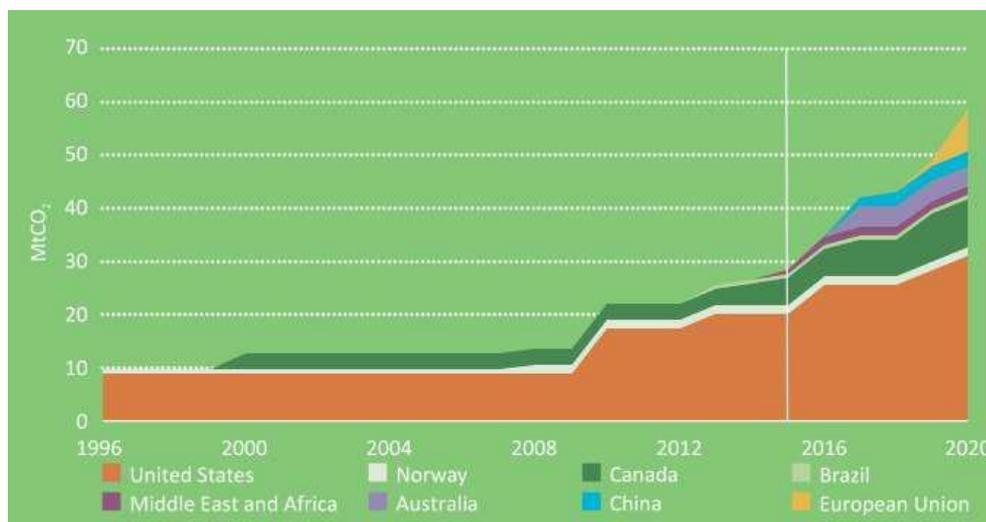


Figura 2 – Potencial de captura de CO₂ em larga escala. Fonte: (IEA, 2015, p.31)

2.4 Aproveitamento Integrado das Fontes Renováveis de Energia

A INTERNACIONAL ENERGY AGENCY (2016) relatou que em 2015 a capacidade de geração global de energia renovável subiu por volta de 5% e agora possui a somatório por volta de 23% da geração global de eletricidade total. Sendo a China o possuidor do maior mercado com um valor estimado de 23% da geração de eletricidade renovável global, seguida pela União Européia com 17% e os Estados Unidos com 11%.

O aproveitamento em larga escala das fontes renováveis de energia demanda processos de conversão de eletricidade em combustíveis, pois a fração de energia elétrica em todos os países corresponde a uma fração minoritária.

Além disso, a maioria das fontes renováveis produz energia de forma irregular, em razão da sazonalidade, o que exige o uso de sistemas complementares para garantir o suprimento. Quando os sistemas de produção de energia elétrica dessas fontes estão conectados às redes de transmissão e distribuição, em que grande quantidade de outros sistemas de natureza diversa está presente, as flutuações produzidas são compensadas entre si e/ou corrigidas por manobras na operação das usinas. (...) No entanto, quando os sistemas de fontes sazonais estão em grande quantidade e/ou a capacidade das fontes controladas não é suficiente para corrigir as variações, a rede atinge um nível de distorção inaceitável (SILVA, 2014, p.290-291).

Quanto à produção de combustíveis, obtidos diretamente no caso da biomassa, o aproveitamento das outras fontes renováveis de energia está associado a processos de conversão de energia elétrica em combustíveis de interesse prático (SILVA, 2014, p. 293). E o interesse maior é a geração de hidrogênio, um vetor de energia limpa, o qual pode ser produzido com base em praticamente todas as fontes de energia, renováveis ou não, com baixo ou zero carbono (ex. nuclear, água, biomassa, solar). Consequentemente hidrogênio pode ser convertido em eletricidade, em células sintéticas, em calor ou mesmo ser elemento fundamental na produção de combustíveis sintéticos (NATERER et al., 2013; SILVA, 2014).

2.5 Processo de Produção de Hidrogênio

Uma técnica relativamente antiga, a produção de hidrogênio possui numerosos processos, os quais incluem: químicos, eletrolíticos, termolíticos, fotolíticos e biológicos. Podendo se encaixar em categorias de grande, média e pequena escala, como também para uso de geração de eletricidade residencial e aquecimento da água de forma compacta ou local (ROSA, 2015).

São amplamente conhecidos os processos para obtenção de hidrogênio que utilizam pelo menos um metal em uma reação de hidrólise - reação química que envolve a quebra de uma molécula por ação da molécula de água (HUA et al., 2003; LÓPEZ-MIRANDA e ROSAS, 2015; YAN et al., 2015). Um dos métodos mais usados na obtenção de hidrogênio é a reação de um álcali com alumínio, pelo caráter anfótero (substância que pode-se comportar como um ácido ou como uma base dependendo do reagente) do alumínio, que reage tanto com ácidos quanto com bases (ILYUKHINA et al., 2012).

Ao entrar em contato com a solução de NaOH, o alumínio metálico forma um hidróxido metálico complexo de Na e Al, gerando H₂ gasoso. Numa equivalência teórica de que 1 g de Al para produção de 1360 ml de H₂ em condições ambientais (HO e HUANG, 2015). As sequências das reações (BERNARDES et al., 2014) são:

I. Formação do NaAl(OH)₄ (Equação 1):



II. Decomposição do intermediário (Equação 2):



Nesse método, o alumínio se dissolve na solução aquosa de NaOH e libera hidrogênio, formando um aluminato. Este processo provou-se ser um bom candidato para geração de hidrogênio por não emitir CO₂, além do subproduto hidróxido de alumínio ter valor agregado por ser amplamente utilizado em tratamento de água, incêndio e fabricação de papel (HO e HUANG, 2015).

Embora este método apresente benefícios para geração de hidrogênio, algumas questões críticas tornam o processo ineficiente. O primeiro apontamento seria a inviabilidade de recolhimento de hidrogênio, uma vez que essas reações são rápidas devido a elevada temperatura da reação química, liberando vapor de água que prejudica a pureza do hidrogênio, como também por não apresentar estabilidade duradoura, impedindo uma obtenção regular do hidrogênio (ZOU et al., 2013).

Outro desafio é a formação de uma película de óxido denso que protege a superfície do alumínio contra o processo de corrosão, limitando a produção de hidrogênio (DUDOLADOV et al., 2016). Por conta disso é adicionada a solução aquosa alcalina que normalmente atua como catalisador para dissolver tal película de óxido por reação química, no entanto, o uso de solução alcalina forte causa corrosão e poluição ambiental (HO e HUANG, 2015).

Recentemente, a fim de melhorar a eficiência de geração de hidrogênio muitos estudos estão sendo desenvolvidos com o intuito de romper a película de óxido passivo e reter

continuamente a reação Al-H₂O (HUANG et al., 2011; ILYUKHINA et al., 2012; NIU et al., 2014; WANG et al., 2014; YANG et al., WANG, 2015).

O processo químico proposto pela empresa HIDROGÁS LTDA (2015) resolve essas inconveniências com a combinação de um ácido com os demais componentes, o qual estabiliza a temperatura da reação química e conseqüentemente a obtenção mais efetiva e contínua de hidrogênio, possibilitando o fornecimento de um fluxo com pressão suficiente para uso direto (Figura 3).

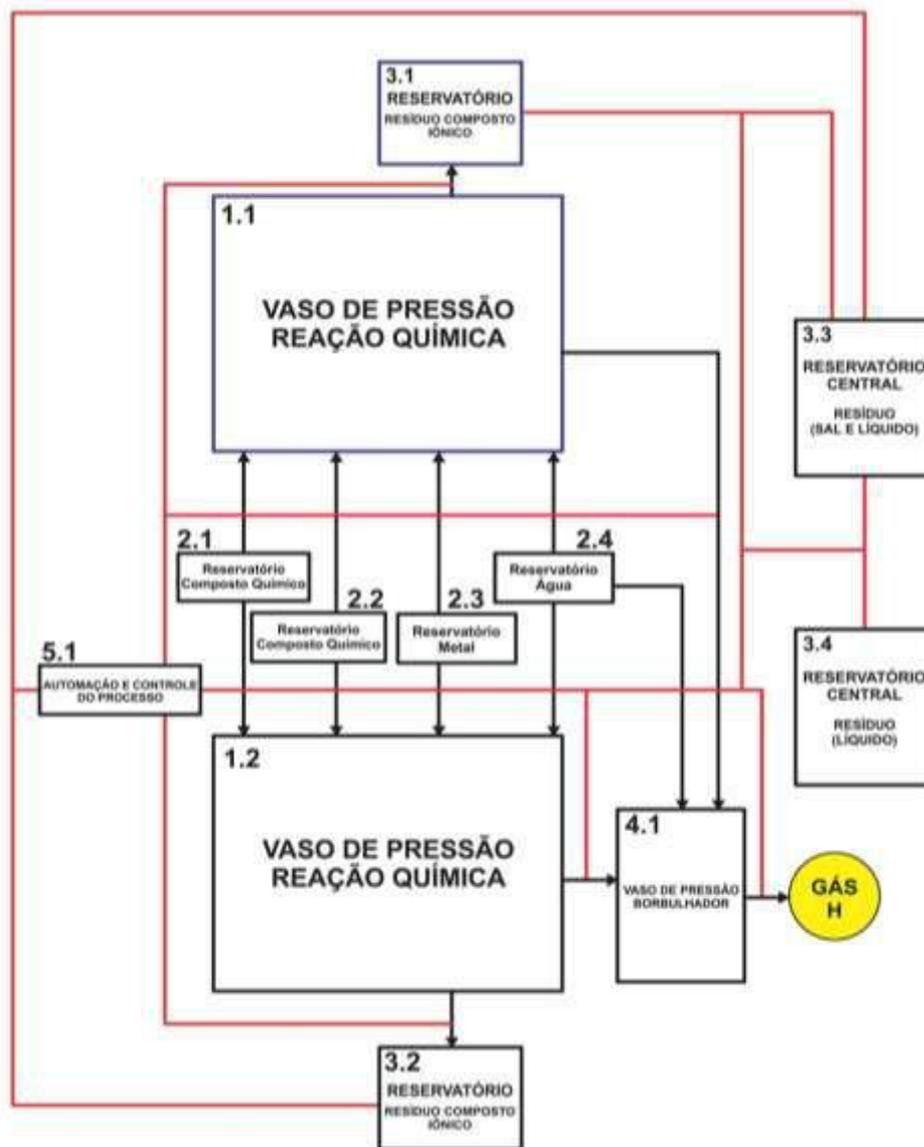


Figura 3 – Fluxograma do processo de hidrólise alcalina. Fonte: (EVOLUÇÕES HIDROGÁS, 2016).

Outro resultado adicional da reação inovadora seria ao final da reação química a formação de um hidróxido, fortemente alcalino e não corrosivo, com pH acima de 12. Tais características conferem a este subproduto sua aplicação em diversas áreas da indústria tais como: alumínio, construção civil, farmacêutica, petroquímica, celulose, tratamento de água e resíduos industriais, entre outras (TEIXEIRA, 2003; HO e HUANG, 2015).

3. Procedimentos Metodológicos

Seguindo o critério de classificação de Gil (2010), o qual é embasado segundo os objetivos, é possível delimitar esta pesquisa como descritiva, por conta da preocupação central em estabelecer a relação entre o fenômeno de hidrólise da sucata do alumínio (Al) para geração de hidrogênio com os critérios socioambientais, utilizando informações disponíveis no site e patente da empresa para efeito de estudo.

Os critérios socioambientais a serem analisados são:

- a) **Processo:** origem dos reagentes (hidróxido de sódio e ácido sulfúrico) e matéria-prima (água e sucata de alumínio);
- b) **Conceito:** em qual categoria de fonte de energia este processo seria classificado (renovável ou não-renovável).
- c) **Espacial:** lugares que seriam apropriados para instalação da indústria segundo a demanda dos consumidores.
- d) **Temporal:** conjunto do cenário atual.

Sob o ponto de vista ambiental e social, se insere o conceito de tecnologia apropriada, do economista E.F. Schumacher (1993) com a obra *Small is Beautiful*. A qual se correlaciona com a ideia de sustentabilidade elencada com inovação tecnológica, baseada na análise e evidenciação de Barbieri (2010) que destaca a necessidade de planejar a inovação levantando em consideração os pontos supracitados.

Ainda, Marconi e Lakatos (2012) destacam que toda pesquisa implica em levantamento de dados de variadas fontes, quaisquer que sejam os métodos ou técnicas empregadas. Observando os critérios para classificação das técnicas de pesquisa pode-se constatar que esta se categoriza como pesquisa bibliográfica, uma vez que utiliza fontes secundárias, sendo a base teórica fundamentada em artigos científicos selecionados no *Internacional Journal of Hydrogen Energy, Renewable & Sustainable Energy*, que consiste em uma base de dados que fornece um intercâmbio e disseminação de novas tecnologias no campo da energia do hidrogênio entre cientistas e engenheiros em todo o mundo.

4. Resultados

4.2 Processo

O hidróxido de sódio ou soda caustica constitui um dos produtos químicos mais amplamente utilizados pelas indústrias como papel, alumina, têxtil, galvanoplastia, detergente e águas residuais. Atualmente a água do mar, lagos, rios e rochas são fontes de extração, e dependendo da fonte pode-se classificar este recurso natural como renovável (SILVA, 2014). Para fins industriais os processos utilizados para produção de soda são eletrólise da solução de cloreto de sódio com mercúrio, diafragmas ou células de membrana (MARTINS, 2011).

Por mais que este setor tenha grande magnitude poucos são os estudos que têm analisado o impacto desta indústria no meio ambiente por meio da Avaliação do Ciclo de Vida - ACV ou *Life Cycle Assessments- LCA* (ALVAREZ-GAITAN et al., 2013; HONG et al., 2014). Tal necessidade é apontada devido às significativas emissões de carbono e

lançamento de compostos tóxicos para o ambiente local, como metais pesados e organoclorados, além de melhoria do desempenho ambiental em sua extração, transformação e transporte (HONG et al., 2014). Ainda, visto o consumo crescente de energia LIMA et al., (2010) complementam indicando a necessidade eminente do avanço tecnológico e diminuição do consumo de energia para a produção do álcali.

Segundo HONG et al., (2014), mais estudos que aumentem o banco de dados do inventário de ciclo de vida para a produção de soda cáustica são requeridos a fim de reconstruir e transformar as indústrias cloro-soda, pois com uma avaliação sistêmica e conjunta de fatores econômicos, sociais, políticos e ambientais é possível que tais produtos químicos contribuam com a sustentabilidade.

O enxofre, cuja principal aplicação é na produção de ácido sulfúrico, possui fontes variadas e abundantes, sendo encontrado em ordem decrescente em: depósitos de enxofre elementar, o H_2S recuperado do gás natural, do petróleo, da pirita (FeS_2). A maioria dos solos contém teores altos de enxofre nutriente, sendo os principais usos no setor industrial. Seu ciclo biogeoquímico permite que este recurso natural seja repostado (MANAHAN, 2016). Os principais problemas ambientais dos óxidos de enxofre (SO_x) são: acidificação do solo, eutrofização e acidificação do água e poluição atmosférica. A origem deste poluente atmosférico esta relacionado a queima de carvão em termoelétricas (DAVIS e MASTEN, 2016).

Em relação às matérias-primas, a água utilizada na reação é do oceano, não necessitando de tratamento preliminar para fins de geração de hidrogênio, portanto, considerado um recurso renovável (HUSSAIN et al., 2017). Em contrapartida o processo de obtenção do alumínio é energeticamente elevado, o que não compensaria para produzir H_2 , no entanto, é proposta a utilização de sucatas de alumínio, as quais podem ser latas de bebidas entre outros tipos de alumínio recicláveis, indicando mais uma alternativa de reutilização deste material (BERNARDES et al., 2014).

4.3 Conceito

Conforme a literatura exposta neste artigo, o conceito de energia renovável para produção de hidrogênio está diretamente relacionado a fonte primária e secundária de energia (LODHI, 1987, 2004; DINCER e ACAR, 2015). Atualmente na matriz energética este processo de hidrólise alcalina da sucata de alumínio não esta inserido, no entanto, como o economia do hidrogênio é uma tendência tecnológica para os próximos anos, estudos que classifiquem os processos em renováveis e não-renováveis em relação aos processos de produção de hidrogênio são pertinentes (DINCER e ACAR, 2015).

Visto que hidróxido de sódio, ácido sulfúrico, água e alumínio são recursos abundantes, pode-se a primeira vista indicar tal processo de geração de hidrogênio como uma fonte energética alternativa. Agora, em relação ao termo *hidrogênio verde*, este processo depende muito do desempenho ambiental e social dos fornecedores de insumos químicos (MILTNER et al., 2010).

4.4 Espacial e Temporal

Os lugares que seriam apropriados para aplicação deste processo seriam em termoelétricas, pois o hidrogênio pode ser usado como combustível primário, diminuindo a taxa de uso de combustíveis como o gás natural, diesel e carvão mineral. O que

contribuiria para a redução de poluentes atmosféricos, como os óxidos de enxofre e dióxido de carbono, melhorando a qualidade de vida das comunidades ao redor de tais empreendimentos (SCHUMACHER, 1993). A implantação desta técnica exige uma planta industrial específica, cujos principais equipamentos e modificações são: conjuntos de vasos de pressão (para as reações químicas), dosadores (para abastecimento dos processos) e reservatórios de matérias-primas líquida e sólida (Figura 4).

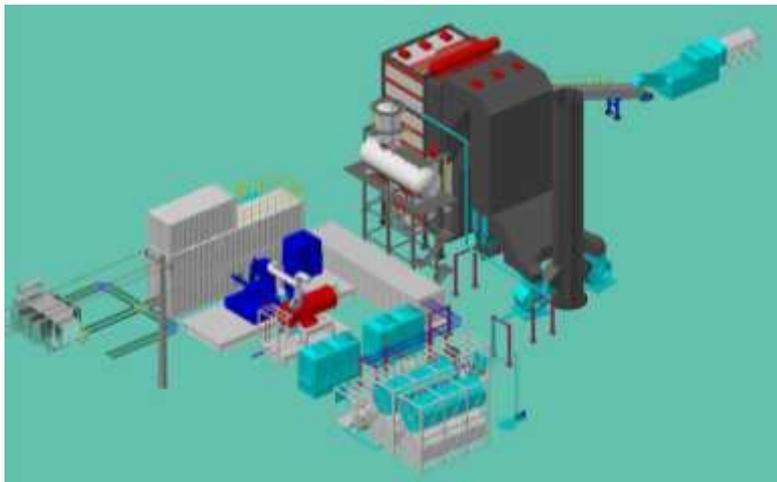


Figura 4 – Sugestão de aplicação do processo em termoeletricas. Fontes: (EVOLUÇÕES HIDROGÁS, 2016).

Como vantagens deste processo pode-se destacar que a energia necessária para a quebra da molécula da água é fornecida pela própria reação química, como também não há necessidade de armazenamento do hidrogênio, já que a pressão constante fornecida pela reação química é suficiente para levar o gás até o ponto de queima. Já as desvantagens consideradas seriam a falta de embasamento científico para comparação deste processo de produção de hidrogênio com outros métodos disponíveis na literatura e o fato de se utilizar como reagentes produtos que podem gerar impactos ambientais negativos caso a cadeia de produção não siga as exigências normativas.

Em relação aos resíduos sólidos e líquidos da reação química, todo este material que se apresenta como um composto iônico fortemente alcalino, paradoxalmente não corrosivo, possui uma gama ampla de aplicações industriais: antioxidante inorgânico, elevador de alcalinidade, hidróxidos fortemente alcalinos, coagulante líquidos para o tratamento de água e efluentes, solvente para massa de cimento com características refratárias, neutralizados de corrosividade de substâncias ácidas e composto eletrolítico preparado para obtenção de gás hidrogênio (HIDROGRÁS, 2016; DINCER e ACAR, 2015). Desse modo, não se realiza o descarte deste material no meio ambiente, pois o mesmo gera totalmente valor agregado em seu reaproveitamento na indústria.

É importante ressaltar que esta tecnologia contribuiria para a rede internacional do hidrogênio (*HEW – World Hydrogen Energy Web*), que acarretariam na reorganização na cultura, nos modos de vida e nas formas de se fazer negócio, proporcionando a criação de redes descentralizadas de energia de hidrogênio, que de acordo com o processo apresentado neste artigo provavelmente seriam localizados em regiões próximas a oceanos, formando arranjos produtivos locais.

Esta nova narrativa apoia-se em cinco pilares, os quais são: (1) Transição das energias fósseis para as renováveis; (2) Transformação do estoque de construções de todo mundo

em microusinas de coleta e de distribuição de energia (3) Tecnologias de armazenamento; (4) Integração e partilha do fluxo de energia de maneira descentralizada; e (5) Sistema de transportes interligados ao sistema descentralizado de redes inteligentes (RIFKIN, 2012).

De acordo com Vieira Pinto (2005), a democracia é o regime que interessa aos “homens comuns”, onde a ideia de “era tecnológica” é uma operação ideológica com a qual cada grupo apresenta sua versão de “fim da história”. Sendo assim, Rifkin (2012) vislumbra a mudança dramática na configuração do poder, onde a política de reglobalização é da base para o topo.

Dentro dessa visão, podemos também abrir a caixa preta da constituição de tecnologias ou mesmo de sistemas tecnológicos, restaurando “a humanidade essencial do processo de design tecnológico” (STAUDENMAIER, 1998), detectando a interação social e cultural com a própria expansão de sistemas tecnológicos (HUGHES, 2008).

A conversão do hidrogênio na “energia do povo” depende, em larga escala, do modo como ele será processado nas fases iniciais de seu desenvolvimento. Para que isso ocorra, é necessário que instituições públicas, organizações sem fins lucrativos e principalmente o setor privado realizem parcerias adequadas entre interesses comerciais e não comerciais (RIFKIN, 2002).

5 Considerações Finais

Ao fim desta exposição dos cenários, conceitos e processos é importante destacar a ideia de que a participação social em conjunto com empresas, podem auxiliar nas decisões relativas a novas tecnologias, principalmente aquelas que caminham em direção a sustentabilidade.

De fato, a mudança de regime energético para a economia do hidrogênio é um processo eminentemente coletivo e traz grandes oportunidades e desafios para o Brasil. Por mais que seja uma potencia em energias renováveis, existem muitos obstáculos para a mudança profunda de sua política energética a fim de contribuir com a geração distributiva (RIFKIN, 2012).

Sendo assim, pode-se inferir que o processo de hidrólise alcalina apresenta contribuições significativas para o amadurecimento da tecnologia do hidrogênio, como também traz aspectos socioambientais interessantes. Apesar da abordagem concentrada nas informações superficiais disponibilizadas pela retentora da patente, espera-se que essa técnica se torne obsoleta em um futuro próximo a fim de beneficiar a sociedade, não porque fundamentos mudam, mas porque diferentes fundamentos são invocados (ROSA, 2015).

Referências

ACAR, C.; DINCER, I. ScienceDirect Comparative assessment of hydrogen production methods from renewable and non-renewable sources. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 1, p. 1–12, 2013.

ALVAREZ-GAITAN, J. P. et al. A hybrid life cycle assessment of water treatment chemicals: an Australian experience. **The International Journal of Life Cycle**

Assessment, v. 18, n. 7, p. 1291–1301, 2013.

ANDREWS, J.; SHABANI, B. The role of hydrogen in a global sustainable energy strategy. **WILEY INTERDISCIPLINARY REVIEWS-ENERGY AND ENVIRONMENT**, v. 3, n. 5, p. 474–489, 2014.

ASSIREU, A. T. et al. Capítulo 9 - Fontes Alternativas de Energia BT - Ciências Ambientais para Engenharia. In: Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2015. p. 251–307.

BERNARDES, L. H. et al. PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VIA CORROSÃO ALCALINA DE LATAS DE ALUMÍNIO RECICLÁVEIS. **X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica**, v. 1, n. 2, p. 8–11, 2014.

BRAGA, L. . **ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E DE SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO RENOVÁVEL**. [s.l.] Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de Engenharia Ambiental**. 3^a edition ed. [s.l.] AMGH Editora Ltda, 2016.

DINCER, I. Green methods for hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 2, p. 1954–1971, 2012.

DINCER, I.; ACAR, C. ScienceDirect Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 40, n. 34, p. 11094–11111, 2015.

DINCER, I.; BALTA, M. T. Operating characteristics of transcritical CO₂ heat pump for simultaneous water cooling and heating. **Archives of Thermodynamics**, v. 33, n. 4, p. 23–40, 2011.

DINCER, I.; ZAMFIRESCU, C. Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 21, p. 16266–16286, 2012.

DUDOLADOV, A. O. et al. Generation of hydrogen by aluminium oxidation in aqueous solutions at low temperatures. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 41, n. 4, p. 2230–2237, 2016.

GLOBAL, C. C. S. **Institute, The Global Status of CCS: 2015, Summary Report**. [s.l: s.n.].

GODOY, G. A. R. **Rodovia do hidrogênio Brasil - Paraguai: estudo técnico , econômico e ambiental**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2013.

HO, C. Y.; HUANG, C. H. Enhancement of hydrogen generation using waste aluminum cans hydrolysis in low alkaline de-ionized water. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 41, n. 6, p. 3741–3747, 2015.

HONG, J. et al. Life cycle assessment of caustic soda production: A case study in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 113–120, 2014.

HUA, D. et al. Hydrogen production from catalytic hydrolysis of sodium borohydride solution using nickel boride catalyst. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 28, n. 10, p. 1095–1100, 2003.

HUANG, X.-N. et al. Effects of amalgam on hydrogen generation by hydrolysis of aluminum with water. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 36, n. 23, 2011.

HUSSAIN, A.; ARIF, S. M.; ASLAM, M. Emerging renewable and sustainable energy technologies : State of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, n. June 2015, p. 12–28, 2017.

IEA. Technology Roadmap. **SpringerReference**, p. 81, 2015.

ILYUKHINA, A. V.; ILYUKHIN, A. S.; SHKOLNIKOV, E. I. Hydrogen generation from water by means of activated aluminum. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, n. 21, p. 16382–16387, nov. 2012.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Tracking Clean Energy Progress 2016. **Technology**, p. 1–82, 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Key world energy trends - excerpt from: world energy balances. **Iea**, p. 19, 2016.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Renewable energy**. Disponível em: <<https://www.iea.org/about/faqs/renewableenergy/>>. Acesso em: 16 mar. 2017.

LIMA, P. R. et al. Energy loss in electrochemical diaphragm process of chlorine and alkali industry - A collateral effect of the undesirable generation of chlorate. **Energy**, v. 35, n. 5, p. 2174–2178, 2010.

LINARDI, M. HIDROGÊNIO E CÉLULAS A COMBUSTÍVEL: PROGRAMA BRASILEIRO DE I&D MARCELO. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 23, n. April 2010, p. 2–11, 2011.

LODHI, M. Hydrogen production from renewable sources of energy. **International journal of hydrogen energy**, v. 12, n. 7, p. 461–468, 1987.

LODHI, M. A. K. Helio-hydro and helio-thermal production of hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 29, n. 11, p. 1099–1113, 2004.

LÓPEZ-MIRANDA, J. L.; ROSAS, G. Hydrogen generation by aluminum hydrolysis using the Fe₂Al₅ intermetallic compound. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 1, p. 3–8, 2015.

MANAHAN, S. E. **Química Ambiental**. [s.l: s.n.].

MANSOURI, I.; CALAY, R. K. **Sustainable hydrogen evaluation in logistics; SHEL. WHEC 2012 CONFERENCE PROCEEDINGS - 19TH WORLD HYDROGEN ENERGY CONFERENCE**. **Anais...**: Energy Procedia.2012

MARTINS, M. M. S. Biblioteca digital. **Programa de Incentivo à Produção do Conhecimento Técnico e Científico na Área da Cultura da FCRB**, 2011.

MILTNER, A. et al. Renewable hydrogen production: A technical evaluation based on process simulation. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. SUPPL. 1, p. S51–S62, 2010.

MOREIRA, R. et al. Patentes depositadas em âmbito nacional como indicador de desenvolvimento das tecnologias de produção de hidrogênio. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 748–751, 2013.

MOYA, J. R. G. Nanotubos de TiO₂ Sensibilizados com Quantum Dots de CdS e suas aplicações para a Geração de Hidrogênio mediante Fotocatálise e Fotoeletrocatalise. **Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco**, 2016.

NATERER, G. F.; DINCER, I.; ZAMFIRESCU, C. **Hydrogen Production from Nuclear Energy**. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=UFDAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 4 jan. 2017.

NIU, F. et al. Hydrogen Generation from Hydrolysis of Ball-Milled Al/C Composite Materials: Effects of Processing Parameters. **Energy Technology**, v. 2, n. 7, p. 593–597, 2014.

RIFKIN, J. **A economia do hidrogênio**. [s.l.] M. Books do Brasil Editora Ltda, 2003.

RIFKIN, J. **A terceira revolução industrial: como o poder lateral está transformando a energia, economia e mundo**. São Paulo: M.Books do Brasil Editora Ltda, 2012.

RIFKIN, J. **Sociedade com custo marginal zero**. 3^a ed. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2016.

ROSA, A. V. DA. **Processos de energias renováveis**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVA, E. P. DA. **Fontes renováveis de energia: produção de energia para um desenvolvimento sustentável**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

TEIXEIRA, J. **Utilização de resíduos alcalinos de indústrias de celulose na correção da acidez do solo**. [s.l: s.n.].

TRIGUEIRO, M. G. S. **Sociologia da tecnologia: bioprospeção e legitimação**. [s.l: s.n.].

VOLDSUND, M.; JORDAL, K.; ANANTHARAMAN, R. Hydrogen production with CO₂ capture. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 41, n. 9, p. 4969–4992, 2016.

WANG, M. et al. The intensification technologies to water electrolysis for hydrogen production - A review. **RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS**, v. 29, p. 573–588, jan. 2014.

WIKIPÉDIA. **Fonte energética**. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fonte_energética>. Acesso em: 16 mar. 2017.

YAN, W.; WANG, D.; BOTTE, G. G. Template-assisted synthesis of Ni-Co bimetallic nanowires for urea electrocatalytic oxidation. **JOURNAL OF APPLIED ELECTROCHEMISTRY**, v. 45, n. 11, SI, p. 1217–1222, nov. 2015.

YANG, N.; WANG, R. Sustainable technologies for the reclamation of greenhouse gas CO₂. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 103, p. 784–792, 2015.

ZOU, H. et al. Hydrogen production by hydrolysis of aluminum. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 578, p. 380–384, 2013.