

# USINA EÓLICA HÍBRIDA, COM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COMPOSTA POR MÓDULO DE CÉLULA À COMBUSTÍVEL

HYBRID WIND POWER PLANT WITH HYDROGEN PRODUCTION SYSTEM FOR POWER GENERATION ELECTRIC CONSIST OF CELL MODULE FUEL

FABIO HENRIQUE DA SILVA<sup>1\*</sup>, JOÃO HENRIQUE DANTAS<sup>2</sup>

1. Aluno do curso de graduação em Engenharia Elétrica da UNINGÁ – Centro Universitário Ingá; 2. Orientador do trabalho de conclusão do Engenharia Elétrica da UNINGÁ – Centro Universitário Ingá.

\*Rua Américo Brasiliense, 456, Jardim Novo Panorama, Sarandi, Paraná, Brasil. CEP: 87113-160. [fabiohc@hotmail.com](mailto:fabiohc@hotmail.com)

Recebido em 11/09/2016. Aceito para publicação em 16/11/2016

## RESUMO

O uso indiscriminado sem qualquer planejamento acelerou a escassez iminente dos recursos naturais. Diante disso, há a necessidade de redução dos desperdícios e recuperação imediata do que já foi degradado. Concomitante, a demanda de energia elétrica é crescente e influencia diretamente no crescimento da economia de um país. A recuperação dos recursos surge de tecnologias mais eficientes e menos agressivas ao meio ambiente, sendo estas oriundas de fontes renováveis de energia. A utilização de hidrogênio para geração de eletricidade através de células a combustível, tem como objetivo principal corrigir a intermitência na produção dos parques eólicos, além de contribuir na superação de uma deficiência no armazenamento de energia dessas centrais geradoras. Ou seja, utilizar o excedente da energia eólica para produzir hidrogênio por meio da eletrólise da água, que pode ser armazenado e utilizado quando houver alta demanda e baixa produção energética por vias eólicas, construindo assim um sistema de geração de energia elétrica mais eficiente, renovável e contínuo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia eólica, hidrogênio, células a combustível, eletrólise.

## ABSTRACT

Indiscriminate use without any planning accelerated the imminent scarcity of natural resources. Therefore, there is the need to reduce waste and immediate recovery of which has been degraded. Concomitantly, the electricity demand is growing and directly influences the growth of the economy of a country. The recovery of the resources arises from technologies more efficient and less harmful to the environment. The being derived from renewable energy sources. The use of hydrogen for electricity generation using fuel cells, aims to correct the intermittence in the production of wind farms, as well as contributing to overcome a deficiency in energy storage of these

power plants. That is, use surplus wind power to produce hydrogen through the electrolysis of water that can be stored and used when there is high demand and low energy production by wind-way, thus building a system of more efficient power generation, renewable and continuous.

**KEYWORDS:** Wind power, hydrogen, fuel cells, electrolysis.

## 1. INTRODUÇÃO

Ao refletirmos sobre os caminhos que a humanidade percorreu para atingir o seu estado atual de desenvolvimento, percebemos que o uso dos recursos naturais, antes considerados como inesgotáveis, poderiam tornar-se escassos. O que conseqüentemente, prejudicaria a manutenção do modo de vida adotado pela sociedade.

Desde o século XIX, recursos naturais foram consumidos a fim de gerar produtos acabados com valor agregado. A preocupação com os efeitos causados pelo uso indiscriminado desses recursos, levaram algumas organizações, a promoverem encontros para debater a problemática do consumo desenfreado de recursos naturais e seus impactos no futuro da economia.

A Organização das Nações Unidas (ONU), realizou em 1972, a Conferência de Estocolmo. Nela foi elaborada a Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, que sugeriu a inserção da problemática ambiental entre as prioridades de cada governo<sup>1</sup>. Assim verifica-se que a preocupação com o meio ambiente e também sobre a produção de energia não é atual. Houve sempre uma busca por soluções e alerta da possível escassez dos recursos naturais e os impactos que sua falta poderiam causar. A solução para evitar os problemas decorrentes dos impactos ambientais causados por aumento na produção de energia, é a redução dos seus efeitos poluidores e promoção do uso de

fontes renováveis.

Observa-se que inúmeros especialistas relacionam o aumento da emissão de gases de efeito estufa, o dióxido de carbono CO<sub>2</sub> e o metano CH<sub>4</sub>, ao aumento da temperatura da biosfera terrestre, ou seja, o aquecimento global. Este fator, associado à redução das reservas de fontes fósseis de energia, ao aumento do preço do petróleo e da demanda energética mundial, principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, têm motivado a utilização de fontes renováveis de energia<sup>2</sup>.

Uma estratégia menos agressiva ao meio ambiente para produção de energia são as hidrelétricas. No Brasil, essa fonte supre a maior parte da energia consumida no país, porém, a necessidade de grandes reservatórios causa inundação de áreas produtivas e a vegetação submersa sofre decomposição, conseqüentemente, libera metano e gás carbônico<sup>3</sup>.

As termoelétricas, usinas movidas a combustível fóssil é a segunda maior fonte de energia utilizada no Brasil, ocupando 27,57% da matriz energética nacional e também liberam muitos gases causadores do efeito estufa<sup>4</sup>.

Uma grande oportunidade de geração de energia limpa e renovável é a energia eólica. Ela foi a maior responsável pela demanda de contratação de energia no leilão realizado em 2015, representando 80% do mercado, cerca de 538,8MW dos 699,498MW do total demandado<sup>5</sup>. Sendo que neste mesmo ano o Brasil se tornou o 10º maior gerador de energia eólica no mundo<sup>6</sup>. Porém, sua limitação principal é a impossibilidade de armazenamento da força motriz, pois em períodos de baixo consumo de energia, o excedente não é aproveitado e por vezes em períodos de alta demanda de consumo, não há a quantidade necessária de vento disponível.

No momento atual, o hidrogênio é o grande pretendente a vetor energético, ou seja, armazenador de energia do futuro. Com a preocupação em descobrir fontes de energias limpas, pesquisas apontam seu potencial e o revelam como possível sucessor do uso dos combustíveis fósseis. Muitos estudos sobre o gás, estão voltados para a geração de energia elétrica, através das “células a combustível”, pois ele é o elemento químico mais básico e abundante na natureza, e sua combustão é totalmente limpa<sup>7</sup>.

Diante deste potencial, empresas como a especialista em energias renováveis ENERTRAG, desenvolveu a primeira usina eólica híbrida. Essas usinas geram energia elétrica e o excedente é utilizado para produção de hidrogênio, que pode então, ser armazenado e utilizado em células a combustível para geração de energia elétrica, no momento em que a produção eólica não supre a demanda<sup>8</sup>. Permite ainda, o transporte para outras regiões, de modo a suprir a demanda do mercado industrial por hidrogênio. Assim, frente aos efeitos já gerados devido ao consumo desenfreado dos recursos naturais, a impossibilidade da redução do consumo e a viabilidade de

implantação de fontes com maior eficiência, tende-se a iniciar o processo de implantação e substituição das fontes que emitem CO<sub>2</sub> na atmosfera.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento bibliográfico deste trabalho tem como base artigos, revistas científicas e órgãos reguladores responsáveis pelo sistema nacional de energia. Aborda as principais informações referentes à geração de energia elétrica por meio de parques eólicos híbridos, ou seja, aqueles acoplados a sistemas de produção e consumo de hidrogênio, que visam maior potencial de produção. O foco do trabalho está nas vantagens e desvantagens na aplicação dessa tecnologia nos parques já em operação, principalmente frente à qualidade da energia gerada, efeitos ambientais e limitações tecnológicas.

## 3. DISCUSSÃO

### Energia eólica

A energia eólica é uma fonte de origem renovável, considerada uma promissora fonte natural de energia com baixo impacto ambiental<sup>9</sup>.

É uma forma de energia cinética contida nas massas de ar em movimento provocada pelas diferenças de temperaturas existentes na superfície do planeta, ou seja, o vento. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética dos ventos em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade<sup>10</sup>.

Os aerogeradores instalados em grupo no mesmo local, é chamado de parque eólico, que são utilizadas para a geração de energia elétrica. Elas chegam a consistir de várias centenas de turbinas eólicas individuais, que pode cobrir uma grande área<sup>9</sup>.

O impacto ambiental causado pelo sistema eólico para a produção de energia, fica relacionado ao ruído gerado pelo giro de suas pás. Porém o desenvolvimento tecnológico, juntamente com as novas exigências de um mercado crescente, promoveram um aprimoramento na diminuição dos níveis de ruído produzido pelas turbinas eólicas<sup>11</sup>.

O avanço da tecnologia, permitiu o desenvolvimento de equipamentos mais potentes, antes as turbinas chegavam a 20 metros de diâmetro, que atingiam um potencial em média de 50 kW (quilowatts). Hoje, chegam a superar os 100 metros de diâmetro, o que permite uma única turbina, atingir uma potência de 5 mil Kw<sup>10</sup>.

A energia eólica aparece como uma grande fonte de energia a ser explorada, pois atinge grandes vantagens como: energia limpa, renovável e impacto ambiental relativamente pequeno. Mas a grande deficiência é a sua intermitência, ou seja, nem sempre há vento quando a

geração de eletricidade é necessária, o que faz buscar uma alternativa de armazenamento de energia para corrigir essa falha natural.

### Hidrogênio - Fonte de Energia

O hidrogênio é o mais simples elemento químico encontrado em nosso planeta, aproximadamente 76% da massa do Universo é composta por ele. Devido sua estrutura molecular o hidrogênio não se encontra naturalmente na terra, e a sua concentração na atmosfera é muito reduzida, e por se tratar de que o mesmo encontra-se combinado com outros elementos, não pode ser considerado como uma energia primária, como é o caso do petróleo e o gás natural, sendo assim um vetor de energia<sup>12</sup>.

A ideia de utilizar o hidrogênio como um intermediário energético, utilizando a energia elétrica produzida através de fontes renováveis como a hidráulica, eólica e solar, transformando eletricidade em energia transportável e armazenável, vem sendo considerada como uma das formas mais eficientes e ambientalmente interessantes, principalmente quando vinculada à aplicação de células a combustível<sup>12</sup>.

O hidrogênio comparado com outros combustíveis, possui a maior energia por unidade de peso. É por esta vantagem que ele é usado nos programas espaciais, onde o peso é um fator essencial. Outro ponto positivo, é a quantidade de energia liberada durante a sua reação, que é maior que a combustão de combustíveis fósseis, conforme demonstra a Tabela 1. Logo para um determinado consumo energético, a massa utilizada hidrogênio é menor que a quantidade de massa de um hidrocarboneto<sup>13</sup>.

**Tabela 1.** Poder calorífico de combustível

Combustível	Valor do Poder Calorífico Superior (a 25° C e 1atm)	Valor do Poder Calorífico Inferior (a 25° C e 1atm)
Hidrogênio	141,86 KJ/g	119,93 KJ/g
Metano	55,53 KJ/g	50,02 KJ/g
Propano	50,36 KJ/g	45,6 KJ/g
Gasolina	47,5 KJ/g	44,5 KJ/g
Gasóleo	44,8 KJ/g	42,5 KJ/g
Metanol	19,96 KJ/g	18,08 KJ/g

Fonte: SANTOS; SANTOS, 2005<sup>14</sup>.

Hoje grande parte do hidrogênio produzido no mundo vem de fontes não renováveis, tais como, o gás natural, responsável por 48%, o petróleo 30% e o carvão 18%. O hidrogênio produzido através da eletrólise é responsável por apenas 4%, no entanto o hidrogênio pode ser obtido por meio de fontes renováveis, como solar, hidráulica, eólica e a biomassa<sup>15</sup>.

É notório a necessidade de uma infraestrutura de comercialização do hidrogênio, desse modo, muitos in-

vestimentos estão ocorrendo em pesquisas sobre seu armazenamento e transporte.

No Brasil, o etanol poderá ser uma grande fonte de produção de hidrogênio, devido a infraestrutura já construída para este combustível, e devido ao fato de ser o segundo maior produtor de etanol no mundo. Considerando que o etanol é uma fonte de energia renovável, pesquisas sobre produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio, estão sendo feitas com tecnologia para utilização de células a combustível<sup>16</sup>.

É imprescindível saber que os combustíveis fósseis, e derivados de petróleo, gás natural e carvão, que contribui com o fornecimento de grande parte da energia utilizada no mundo, poderá deixar de ser a principal fonte, pois sua escassez aumentará o preço e prejudicará a economia dos países<sup>17</sup>. Assim se faz necessário dar importância às fontes de energia renováveis, e compreender que cada vez mais elas serão protagonistas no cenário energético mundial.

As tecnologias disponíveis para produção de hidrogênio são a eletrólise e a reforma a vapor de gases ou combustíveis que contenham em sua cadeia carbônica hidrogênio. A segunda utiliza tecnologia convencional de produção de hidrogênio que requer consumo de combustíveis fósseis, o que acarreta em emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)<sup>18</sup>. Mas a primeira pode ser realizada utilizando de fontes renováveis.

Hoje, a maneira mais viável de produzir o hidrogênio é a partir do gás natural, derivados do petróleo e carvão. Mas nestes casos, a emissão de poluentes na atmosfera é muito relevante e o hidrogênio produzido desta forma, é voltada para utilização de reagentes químicos, pois na função de produzir energia, são utilizados os próprios combustíveis. Sendo assim, os principais meios sustentáveis de produção consideráveis de hidrogênio que podem ser aplicados no Brasil, a curto e médio prazo são, a eletrólise da água a partir de energias renováveis e reforma de etanol<sup>2</sup>.

### Eletrólise da Água

A produção de hidrogênio através da eletrólise da água é um método simples, com necessidade de poucas etapas e totalmente limpo ao meio ambiente para ser aplicado a célula a combustível. Tendo somente a desvantagem de ser um processo de alto custo. Mas, novos materiais e condições de operações de eletrólise da água estão sendo pesquisados, para que sua utilização seja economicamente mais viável<sup>17</sup>.

A eletrólise da água consiste na decomposição da molécula, por meio de corrente elétrica e do acréscimo de um eletrólito, logo, a eletrólise da água consiste na quebra de sua molécula em hidrogênio e oxigênio de acordo com equação  $2H_2O + \text{eletricidade} \rightarrow 2H_2 + O_2$ <sup>14</sup>.

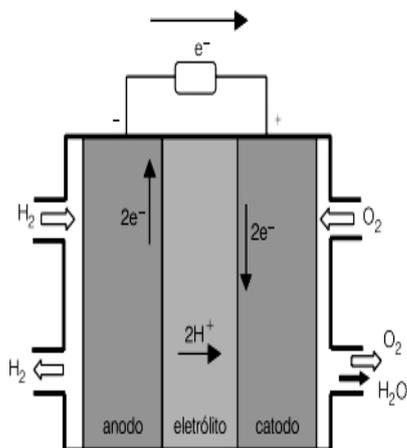
Ela ocorre quando passamos uma corrente contínua

por uma solução aquosa de sal. A carga elétrica quebra a ligação quimicamente entre os átomos de hidrogênio e o de oxigênio e separa os átomos. OH<sup>+</sup> é descarregado no cátodo (polo negativo) formando H<sub>2</sub>, e o OH<sup>-</sup> é descarregado no ânodo (polo positivo) gerando O<sub>2</sub>, desta forma, o H<sub>2</sub> se concentra no cátodo e o O<sub>2</sub> se concentra no ânodo<sup>17</sup>, obtendo-se desta maneira o gás hidrogênio.

**Célula a combustível**

Uma célula combustível é, basicamente uma bateria<sup>2</sup>, que devido a um processo eletroquímico transforma energia química de um combustível, principalmente o hidrogênio em eletricidade, calor e água. Esse processo mistura hidrogênio com o oxigênio presente no ar, sendo um sistema de processo inverso da eletrólise, sua eficiência energética é superior aos motores de combustão interna. Sua principal característica ambiental está em não emitir, os gases poluentes que são liberados por máquinas térmicas convencionais<sup>19</sup>.

A célula a combustível gera energia elétrica conforme os reagentes vão sendo introduzidos em seu sistema. O hidrogênio é oxidado ao ânodo, ao mesmo tempo em que o oxigênio é reduzido ao catodo. Neste processo é onde ocorre a combustão química, movendo os elétrons através do circuito e completando a reação, produzindo uma corrente contínua, a energia elétrica<sup>20</sup>.



**Figura 1.** Esquema da célula a combustível. Fonte: VILLULLAS; TICIANELLI; GONZALEZ, 2002<sup>20</sup>.

A categorização em relação às células a combustíveis mais comuns se refere ao tipo de eletrólito empregado na célula, destacando-se as Células a Combustível Alcalina (AFC), Célula a Combustível de Ácido Fosfórico (PAFC), Célula a Combustível de Membrana Protônica (PEMFC), Célula a Combustível de Carbono Fundido (MCFC), Célula a Combustível de Óxido Sólido (SOFC) e Célula a Combustível de Metanol Direto (DMFC). Cada célula detém aplicações próprias, temperatura de operação e diferentes materiais. Na tabela 2 expõe os tipos de célula a combustível e suas aplicações, eficiên-

cias e potências de saída<sup>21</sup>.

**Tabela 2:** Tipo célula a combustível e características de produção energética.

TIPO	POTÊNCIA	TEMPERATURA (Cº)	EFICIÊNCIA TÍPICA (%)	APLICAÇÃO
AFC	300W a 5kW	50 a 200	55 a 60	Veículos
PAFC	< 200 KW	150 a 210	42 a 47	Geração Estacionária
PENF	50 a 250 kW	60 a 110	45 a 65	Veículos/Geração
DMFC	50 a 250KW	45 a 100	50 a 55	Veículos
MCFC	10kW a 2MW	630 a 650	55 a 60	Geração Estacionária
SOFC	<100kW	800 a 100	40 a 45	Geração Estacionária

Fonte: PER, 2016.

As células a combustível possuem uma alta eficiência, o que lhe garante um melhor aproveitamento do hidrogênio, mesmo a baixas temperaturas, atingindo de 55% a 60% de eficiência para o sistema de corrente contínua. Deve-se ressaltar que a eficiência da célula não é sua única vantagem de operação, mas sim, o seu fator ecológico, com baixíssima emissão de poluentes, e ainda por serem silenciosas, compactas e de fácil manutenção. Por estes motivos, cria-se uma grande expectativa do futuro mercado<sup>22</sup>.

**4. CONCLUSÃO**

Existe uma preocupação internacional com os efeitos causados pela a emissão de gases poluentes, provenientes da geração de energia elétrica, oriunda dos combustíveis fósseis, que causam o aquecimento global e o efeito estufa. Isso leva a buscar fontes alternativas de produção de energia de origem renovável, que não agrida o meio ambiente e que supra a necessidade de demanda.

A energia eólica vem ganhando destaque e despertando muito interesse. Essa modalidade de produção tem capacidade de gerar energia elétrica limpa e renovável e quando acoplada a sistemas de eletrólise da água, pode produzir hidrogênio quando houver excedente de produção frente ao consumo.

As vantagens em inserir um equipamento adicional, está principalmente relacionada ao aumento da eficiência dos parques eólicos. Afinal, esses poderão fornecer energia à rede consumidora, independentemente da presença ou ausência de vento. O que propicia maior segurança ao sistema elétrico nacional, além de gerar energia de melhor qualidade, que está associada à frequência e tensão gerada pelas turbinas. Estes parâmetros nem sempre correspondem aos padrões estabelecidos pelo sistema nacional e exigem processos de correção de fator de potência, ângulo de fase e frequência, por meio de equipamentos que exigem altos custos de manutenção.

O ponto fraco deste processo é a produção de hidro-

gênio através da eletrólise, pois, o seu custo está acima da reforma a vapor do gás natural. Mas vale ressaltar que o gás natural não é uma fonte renovável, e conforme este produto fica cada vez mais escasso no mercado, a eletrólise tende a ficar mais competitiva.

No caso de inserção de células combustíveis, por mais que sua implantação seja de custo elevado comparadas as tecnologias atuais, este sistema produz energia contínua, que é mais simples tecnicamente, para adequar a energia produzida pelas usinas aos padrões exigidos pelo sistema nacional. Outros pontos positivos estendem-se para a preservação do meio ambiente. Isto decorrente de sua produção de energia totalmente limpa, não gerando gases nocivos ao meio ambiente. Vale ressaltar que os módulos não produzem nenhum tipo de poluição sonora, diferentemente dos motores a combustão convencionais, a associação dessa nova tecnologia, irá ampliar a capacidade de produção do parque eólico, tornando um sistema confiavelmente eficiente.

É considerável que os combustíveis fósseis (combustíveis líquidos e outros derivados de petróleo, de gás natural e carvão) possam continuar a fornecer grande parte da energia utilizada no mundo, contudo a sua contribuição tende a cair conforme a produção de hidrogênio e a implementação de células a combustíveis como geradores de energia forem aumentando, elevando a importância das fontes de energia renováveis, substituindo gradualmente as fontes de energia derivadas dos combustíveis fósseis.

Essa opção visa também uma melhora pela economia do país, e fundamentalmente, a sustentabilidade do meio ambiente, bem como, a eficiência energética, uma vez que, permite que as fontes renováveis intermitentes estejam sempre disponíveis desafiando a necessidade de consumo de fontes de origem fósseis.

Os benefícios na geração de energia através das fontes renováveis são bastante promissoras, mas ainda assim, existem muitas situações que interferem numa total transferência das fontes atuais a fontes menos agressivas ao meio ambiente, assim sendo, não podem ser compreendidas como uma total substituição para as fontes energéticas tradicionais, mas sim um passo inicial para busca de um futuro energético mais sustentável.

## REFERÊNCIAS

- [01] UNEP. *United Nations Environment Programme. Stockholm 1972 - Report of the united nations conference on the human environment*. Disponível em: <<http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=97>>. Acesso em 9 de outubro de 2016.
- [02] CGEE. CENTRO DE GESTÃO E ESTUDO ESTRATÉGICOS. Hidrogênio energético no Brasil: subsídios para políticas de competitividade, 2010-2025; Tecnologias críticas e sensíveis em setores prioritários. 7. ed. Brasília: CGEE, 2010. 68 p.
- [03] Dos Santos MA. Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas. Rio de Janeiro, 2000. 111f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [04] ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Capacidade de Geração do Brasil – Banco de Informações de Geração. 6. out. 20016. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 10 de agosto de 2016.
- [05] ABE Eólica. Associação Brasileira de Energia Eólica. Energia eólica: um potencial cada vez mais explorado. 13. out. 2015. Disponível em: <<http://www.portalabeeolica.org.br/index.php/noticias/3991-energia-e%C3%B3lica-um-potencial-cada-vez-mais-explorado.html>>. Acesso em 5 de outubro de 2016.
- [06] Portal Brasil. Meio Ambiente. Energia renovável representa mais de 42% da matriz energética brasileira. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/11/energia-renovavel-representa-mais-de-42-da-matriz-energetica-brasileira>>. Acesso em 9 de outubro de 2016.
- [07] Vargas RA, Chiba R, Franco EG, Seo ESM. Hidrogênio: O vetor energético do futuro?. São Paulo, 2006. p. 1. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2006/eventos/15435.pdf>>. Acesso em 10 de outubro de 2016.
- [08] DW. *Made for Minds*: Alemanha inicia construção de usina híbrida à base de vento, biomassa e hidrogênio. 23 abr. 2009. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt-br/alemanha-inicia-constru%C3%A7%C3%A3o-de-usina-h%C3%ADbrida-%C3%A0-base-de-vento-biomassa-e-hidrog%C3%AAnio/a-4200782>>. Acesso em 5 de outubro de 2016.
- [09] Mota HS. Análise Técnico Econômica de Unidade Geradoras de Energia Distribuída. São Paulo, SP, p. 31-33, 2011.
- [10] ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p.
- [11] Tercio R. A energia eólica e o meio ambiente. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022002000100002&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022002000100002&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em 5 de outubro de 2016.
- [12] Estêvão TER. O Hidrogênio como combustível. Porto, 2008. 89f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58102/1/000129289.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2016.
- [13] Almeida READ. Produção de hidrogênio, Assistido por energia eólica. Lisboa, 2010. 60f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- [14] Santos FM, Santos FA. O combustível “hidrogênio”. Rev. Educ., Ciênc. Tecnol. n.31, 2005.
- [15] Silva EP, Camargo JC, Sordi A, Santos AMR. O Futuro dos Recursos: Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento. MultiCiência: Rev. Inter. dos Centros e Núcleos da Unicamp. Campinas, 2003.

- [16] Bonturim E, *et al.* Sustentabilidade: A tecnologia do Hidrogênio na geração de energia elétrica. *Interfacehs: Rev. de Saúde, Meio Ambi. e Sustent.* v.6, n.3, p.16-25, 2011. Disponível em:  
<[http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/08/3\\_D\\_OSSIE\\_vol6n3.pdf](http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/08/3_D_OSSIE_vol6n3.pdf)>. Acesso em 4 de outubro de 2016.
- [17] Botton JP. Líquidos Iônicos como Eletrólitos para Reações Eletroquímicas. Porto Alegre, 2007. p. 3. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [18] Levin DB, Pitt L, Love M. *Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application.* *International Journal Of Hydrogen Energy*, v.29, n.2, p.173-185, 2004.
- [19] Linardi M. Introdução à Ciência e Tecnologia de Células a Combustível. Artliber Editora, São Paulo 2010.
- [20] Villullas HM, Ticianelli EA, Gonzalez ER. Célula a Combustível: Energia Limpa a Partir de Fontes Renováveis. *Rev. Quím. Nova. na Escola, São Paulo*, v. 15, p. 28-34, maio. 2002. Disponível em:<<http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc15/v15a06.pdf>>. Acesso em 5 de outubro de 2016.
- [21] Miranda LHTG, Seo ESM, Vilela A. Células a combustível como alternativa para redução de CO2 equivalente na frota de veículos leves. *Interfacehs: Rev. De Saúde, Meio Ambi. e Susten.* São Paulo, v.8, n.2, p.158-181, dez. 2013. Disponível em: <[http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/09/87\\_Secao-InterfacEHS.pdf](http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2013/09/87_Secao-InterfacEHS.pdf)>. Acesso em 4 de outubro. 2016.
- [22] Electrocell. O que é célula a combustível. Como funciona a célula a combustível? Disponível em <<http://www.electrocell.com.br>>. Acesso em 4 de outubro de 2016.
- [23] PER – PORTAL DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS. Hidrogênio. Tecnologias: *Fuel Cells*. Disponível em:<[http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID\\_conteudo=28&ID\\_area=6&ID\\_sub\\_area=18](http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=28&ID_area=6&ID_sub_area=18)>. Acesso em 5 outubro de 2016.