



**BIOCOMBUSTÍVEL DE 4ª GERAÇÃO: ANÁLISE DE VIABILIDADE  
ENERGÉTICA E ECONÔMICA**

Camargo, Taís de Santana; Rocha, Carlos Roberto

**RESUMO**

Atualmente o grande desafio tecnológico é o armazenamento de energia em grande escala e próximo aos centros de consumo, para reduzir a sobrecarga da rede elétrica durante os picos de demanda e melhorar a utilização da rede de distribuição e aumentar o aproveitamento de energia renováveis, principalmente de energia solar e eólica em centros urbanos. Para que isso ocorra é necessário o avanço nos estudos de armazenamento de energia. Apesar de todas as pesquisas que já foram elaboradas em torno dessa questão, ainda não foi possível superar esse obstáculo. Uma maneira de mitigar as consequências é a armazenagem de outras formas de energia que posteriormente podem ser convertidas para o uso elétrico. Muitas delas já tem estudos avançados e são amplamente utilizadas, como os biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração. Porém sabe-se que cada qual possui suas limitações. Atualmente, existe uma quarta geração de biocombustível, uma alternativa emergente que promete um grande alívio nos problemas de armazenamento de energia: a tecnologia *Power to Gas* (PtG). O presente artigo de revisão introduz e descreve a tecnologia PtG, e sua viabilidade energética.

**PALAVRAS-CHAVE:** Power-to-gas. Eletrólise. Biocombustível. Energia. Metanação

## **FOURTH GENERATION BIOFUEL: ANALYSIS OF ENERGY AND ECONOMIC VIABILITIES**

### **ABSTRACT**

At present, the major technological challenge is the large-scale energy storage and close to consumption centers, to reduce the electrical network overload during peak of demand and to improve the use of the distribution network and to increase the use of renewable energy, solar and wind energy in urban centers. To make it happen, it is necessary to advance in the studies of energy storage. Despite all the research that has already been elaborated around this question, it has not yet been possible to overcome this obstacle. One way to mitigate the consequences is to store other forms of energy that can later be converted to electrical use. Many of them already have advanced studies and are widely used, such as first, second and third generation biofuels. However, it is known that each one has its limitations. Currently, there is a fourth generation of biofuel, an emerging alternative that promises great relief in energy storage problems: Power to Gas (PtG) technology. This review article introduces and describes PtG technology, and its viability.

**KEY WORDS:** Power-to-gas. Electrolysis. Biofuels. Energy. Methanation

## 1. INTRODUÇÃO

Temos a nosso dispor a maior fonte de energia que poderia existir, o Sol, que além de ser inesgotável e renovável, não provoca danos a natureza e não requer uma grande área de instalação. Mesmo com todas essas vantagens ainda não foi possível o domínio total ao que diz respeito a área energética. Isso se torna evidente quando ocorre o famoso “apagão” e até mesmo pelo fato de que os carros elétricos ainda estão distantes da realidade em grande parte do mundo.

Essa realidade é devido a geração, transmissão e distribuição de eletricidade ainda utilizar do equilíbrio e oferta em tempo real, isso simboliza que é necessário sistemas robustos para atender aos picos de demanda, pois ainda não foi desenvolvido pela engenharia um dispositivo de armazenamento acessível e eficiente que pudesse sanar esse problema.

Entretanto, as tecnologias de armazenamento de energia na forma direta de eletricidade em grande quantidade e com elevado número de ciclos ainda não é economicamente viável, como por exemplo as baterias, que ilustra o quanto, mesmo após tantos anos de utilização da eletricidade, ainda é um desafio a sua armazenagem.

Uma alternativa é converter a energia em outra forma de energia que pode ser armazenada. Esta, por sua vez, pode ser convertida em energia elétrica para atender o excedente de demanda no momento adequado.

Avanços científicos no desenvolvimento de biocombustíveis de quarta geração, que usa de uma combinação de energia fotovoltaica (ou outras fontes renováveis) e a engenharia metabólica microbiana, conhecida como tecnologia *Power-to-Gas* (PtG) tem mostrado um grande potencial no alívio de problemas de armazenamento de energia. Para compreender as vantagens da utilização dessa nova tecnologia é preciso discutir e conhecer os tipos de biocombustíveis que a precederam.

### ***1.1. Biocombustíveis***

Os biocombustíveis podem ser definidos como combustíveis de origem biológica ou natural, produzidos por meio da biomassa e seus derivados. Nesse sentido, os biocombustíveis se tornaram o maior combustível renovável produzido e consumido no mundo, devido as crescentes demandas para substituir os combustíveis fósseis por renováveis, reduzindo assim as emissões de gases de efeito estufa e mitigando as mudanças climáticas.

Dependendo da origem e da tecnologia de produção de biocombustíveis, eles são

geralmente chamados de biocombustível de primeira, segunda e terceira geração e ainda, em direção a bioeconomia sustentável, o biocombustível de quarta geração.

### *1.1.1. Biocombustíveis de Primeira Geração*

Os biocombustíveis de primeira geração são aqueles que se baseiam nas culturas alimentares como matéria-prima, possuindo açúcares, amidos e óleos facilmente atingíveis. Tal combustível mostrou-se promissor quanto a minimizar a combustão de combustíveis fósseis e conseqüentemente diminuir a emissão de CO<sub>2</sub>. No entanto, surgiram preocupações quanto a segurança alimentar, devido a necessidade do aumento da produção de biocombustível, aumentou-se a utilização de pesticidas, e conseqüentemente, por conta da competição pelo alimento, houve um aumento nos preços da matéria-prima. Além de não possuir um bom balanço energético global. Esses aspectos mostram a necessidade de outras fontes de combustível.

Apesar disso, a produção de etanol a partir da cana de açúcar é uma possível exceção, esse parece cumprir com vários critérios de sustentabilidade, como estabelecido segundo senso de consumo de biocombustíveis.

### *1.1.2. Biocombustíveis de Segunda Geração*

O de segunda geração é uma melhora na produção de biocombustível, pois essa é dada a partir da matéria-prima não comestível (palhas, bagaços, espécies de grama), utilizando-se da lignocelulose, o que supera o dilema combustível *versus* alimento. Como são derivados de uma matéria-prima diferente da de primeira geração, exige diferentes tecnologias para extrair a energia, assim, tais matérias-primas podem ser convertidas via dois principais caminhos: uma rota bioquímica ou uma rota termoquímica.

#### *Rota termoquímica:*

Uma das rotas termoquímicas é a gaseificação, que não se trata de uma tecnologia nova, essa vem sendo utilizada para combustíveis fósseis há vários anos. Esse processo permite que os materiais à base de carbono sejam convertidos em monóxido de carbono, hidrogênio e dióxido de carbono, esse processo difere da combustão pois na gaseificação não há oxigênio limitado. Como produto tem-se biocombustíveis sintéticos limpos, que podem ser liquefeitos. Referido como gás de síntese ou *syngas*, a partir do qual uma gama de biocombustíveis de longa cadeia de carbono, como diesel sintético ou combustível de aviação, podem ser produzidos.

A segunda rota termoquímica é conhecida como pirólise, que ocorre na ausência de oxigênio e é aquecida rapidamente (450-600°C), o que rende um bio óleo ou óleo de pirolise, que é um óleo pesado. Esse por sua vez pode ser refinado em outros combustíveis.

Existe também uma terceira rota termoquímica chamada torrefação, que tende a produzir melhores combustíveis. Sua diferença está na temperatura de tratamento, que ao contrário da pirólise é realizada a baixas temperaturas.

#### Rota Bioquímica:

Existem diversos processos químicos e biológicos que podem ser adaptados para a produção de biocombustíveis de segunda geração. Em geral, ocorre a partir de um pré tratamento da biomassa e hidrólise, podendo essa ser tanto enzimática quanto química, seguido de fermentação. São realizados com microrganismos capazes de quebrar a celulose e lignina obtendo os açúcares provenientes da biomassa.

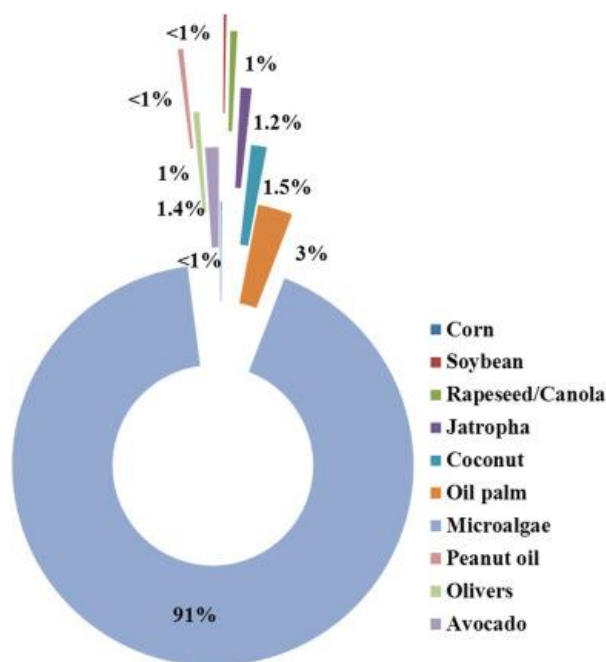
A rota bioquímica mostra-se mais interessante pois o esforço concentrado nas inovações em biologia sintética e no melhoramento genético tem mostrado efeitos favoráveis na utilização dessa tecnologia.

Mesmo que amplamente estudado, o biocombustível de segunda geração, ainda necessita de projetos para maximizar a quantidade de carbono e hidrogênio renovável que pode ser convertido em combustível a partir da biomassa de “segunda geração”.

#### *1.1.3. Biocombustíveis de Terceira Geração*

As desvantagens da primeira e da segunda geração podem ser superadas pelos biocombustíveis de terceira geração (Fig.1). Esses são baseados em algas, dos quais produzem um grande volume de biomassa, que posteriormente pode ser transformado em biodiesel. Pode se tornar uma boa via de produção de combustível pois ocupam menores áreas.

Ainda assim, a tecnologia não é muito sustentável devido à baixa eficiência de conversão de fóton para combustível. Um fator que contribui para essa desvantagem é que o aumento na produção desse biocombustível é, na maioria das vezes, sob condições de estresse, portanto, há uma redução no crescimento da planta e conseqüentemente na produção de biomassa. Por isso, atualmente há pesquisas com foco em revelar espécies que possuem uma maior capacidade de produção de combustível.



**Figura 1.** Produção de biocombustíveis (L/ha) a partir de microalgas e outras matérias primas cultivadas

#### 1.1.4. Biocombustíveis de Quarta Geração

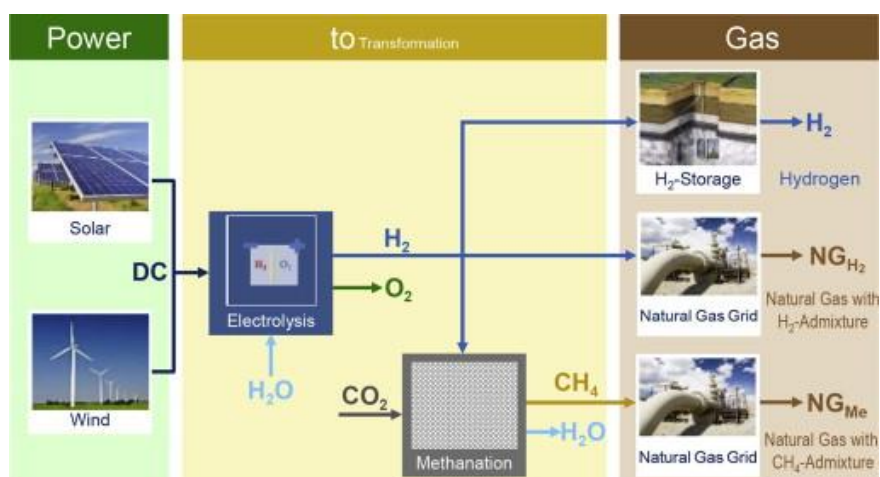
A quarta geração de biocombustível é uma tecnologia emergente, mostrando grande potencial no ramo de armazenagem de energia. É baseado na conversão direta da energia solar em combustível, sem passar pela etapa intermediária, do qual o combustível é transformado da biomassa. O interesse nessa tecnologia vem começado a crescer devido ao aumento da utilização de energia renovável e nos benefícios sustentáveis do consumo de CO<sub>2</sub> como parte do processo.

O processo em cadeia *Power to Gas* (PtG) representa um grande papel no futuro dos sistemas de energia. A energia elétrica renovável pode ser transformada em metano armazenável via eletrólise seguida de metanação, para posteriormente ocorrer o suprimento da demanda excedente. Este então, é considerado um combustível de quarta geração, que vem para superar os obstáculos encontrados em outras gerações de biocombustíveis.

#### 1.2. Tecnologia *Power to Gas* (PtG)

A tecnologia *Power to Gas* (PtG) é um exemplo de tecnologia utilizada na produção de biocombustíveis de quarta geração. Esta tecnologia utiliza do excedente de energia elétrica proveniente de fontes de energia renováveis para produzir hidrogênio (H<sub>2</sub>) e utilizá-lo para reduzir (reagir) com dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e produzir metano (CH<sub>4</sub>), sem passar pela

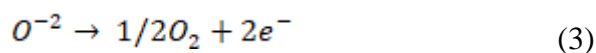
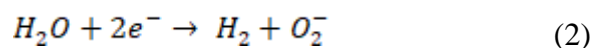
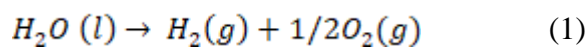
produção de biomassa. A tecnologia Power é dividida em duas etapas: (1) Eletrólise e (2) Metanação. A eletrólise utiliza corrente elétrica para produção de  $H_2$  a partir da dissociação  $H_2$  e  $O_2$  da água ( $H_2O$ ) e a metanação utiliza o hidrogênio para reagir com um suprimento externo  $CO_2$  para produção de metano ( $CH_4$ ). O metano pode ser um substituto do gás natural, podendo ser armazenado, utilizado para geração de energia elétrica e até mesmo injetado diretamente em gasodutos como ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Esquema de produção e utilização de metano ( $CH_4$ )

### 1.3. Eletrólise

O suprimento de energia elétrica de fontes renováveis será necessário para a obtenção de  $H_2$  por um processo eletroquímico com o objetivo de decompor a água em  $H_2$  e  $O_2$ , como mostram as equações (1), (2) e (3). Esse processo é conhecido como eletrólise, seu princípio de funcionamento é resumido na aplicação de potencial elétrico em dois eletrodos.



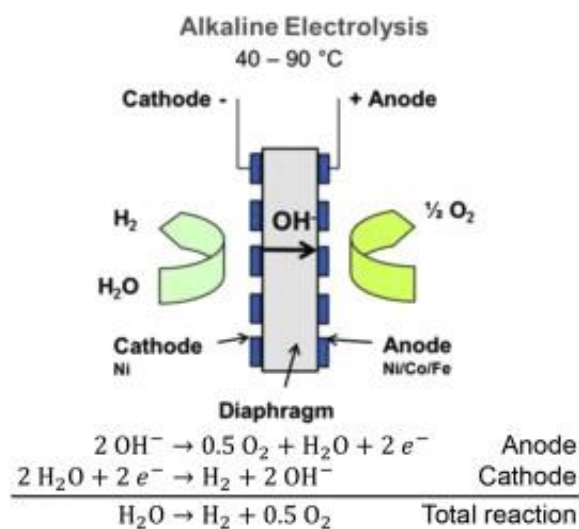
Para uma boa eficiência desse processo é importante que a água utilizada tenha um alto grau de pureza, sendo assim, precisa ser desmineralizada e deionizada.

Duas diferentes tecnologias de eletrólise são interessantes para o processo PtG: a alcalina e a polimérica. Os parâmetros a serem analisados ao escolher o tipo de eletrólise são: eficiência, flexibilidade e tempo de vida. As técnicas e suas características, serão brevemente discutidas nas próximas subseções.

### 1.3.1. Eletrólise alcalina (AEL)

É uma tecnologia relativamente simples e muito bem compreendida, já vem sendo utilizada há anos e por isso é uma alternativa para as plantas de PtG. Os melhores eletrizadores chegam a atingir eficiência de 67%.

O eletrólito consiste de uma solução alcalina (KOH ou NaOH) a pressões de operação até 30 bar e cerca de 80°C (Fig.3).



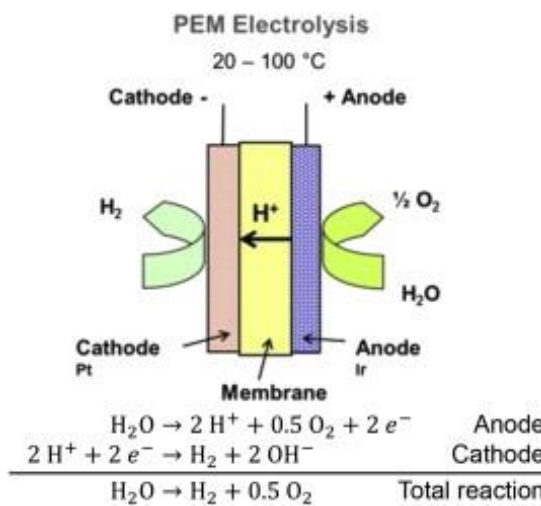
**Figura 3.** Esquema do princípio de operação da eletrolise alcalina da água.

### 1.3.2. Eletrólise a Membrana Polimérica (PEM)

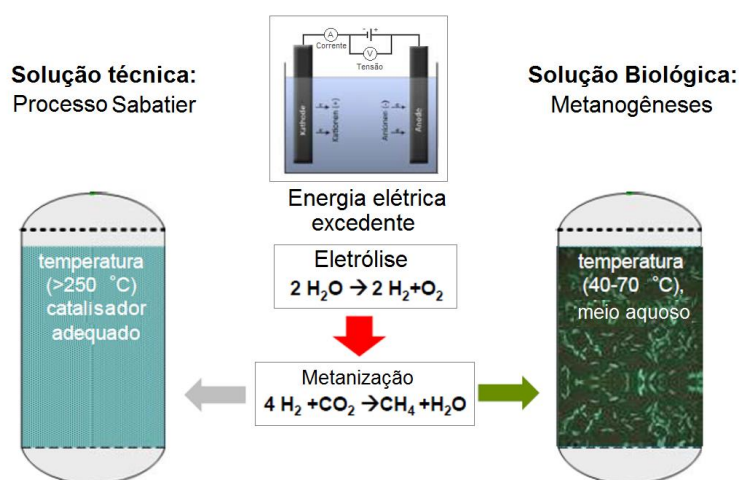
Essa tecnologia é baseada na utilização de membranas poliméricas como eletrólito, operando com uma temperatura e pressão cerca de 80°C e 100 bar, respectivamente. As principais vantagens da PEM (Fig.4) é sua alta flexibilidade e a pureza do produto, fornecendo H<sub>2</sub> de boa qualidade, porém essa tecnologia apresenta maiores custos do que a AEL e ainda um baixo tempo de vida.

Possuindo o produto da hidrólise, o processo em cadeia do PtG segue para a sua etapa principal: a metanação. Essa por sua vez pode ser feita tanto de forma termodinâmica ou biológica (Fig.5)





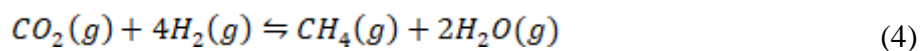
**Figura 4.** Esquema do princípio de operação da eletrolise a membrana polimérica.



**Figura 5.** Tecnologias para produção de metano.

### 1.4. Metanação

Na forma catalítica de obtenção de  $\text{CH}_4$ , utiliza-se da reação de *Sabatier*, que é a hidrogenação catalítica do dióxido de carbono, produzindo o metano como mostra a equação (4).



O processo é operado a altas temperaturas, pois se trata de uma reação exotérmica, assim melhores conversões são atingidas quando o processo é submetido a 250-400°C e com pressões bastante variadas entre 1-80 bar. Podendo atingir até 98% quando operada a condições adequadas. Por conta disso, um dos desafios da reação de *Sabatier* é manter um bom controle de temperatura no reator a fim de prever limitações termodinâmicas.

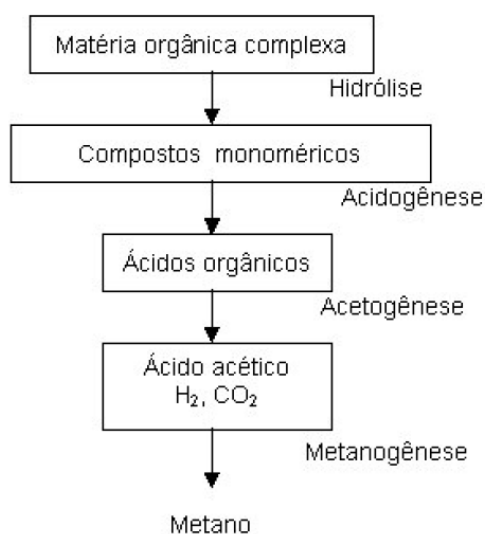
Já o material utilizado para esse processo é bem variado podendo ser metais como Ni, Ru, Rh e Co. Cabe análise econômica para melhor defini-los.

O que distingue o processo termodinâmico do biológico é o catalisador.

Na biometanação utiliza-se de microrganismos metanogênicos como biocatalisadores. A degradação de componentes orgânicos em metano ocorre em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, como ilustra a figura 6.

Inicia-se o processo por meio da hidrólise de um substrato orgânico do qual é transformado em simples monômeros, esse por sua vez sofre um processo chamado acidogênese, resultando em ácidos orgânicos como ácido acético. Subsequente à essa etapa ocorre a formação do metano por meio da metanogênese que é realizada por microrganismos metanogênicos denominados *archeas*.

As *archeas* são um tipo celular estritamente anaeróbicos. O metano é obtido via metanogênese hidrogenotrofica do  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ , esse processo ocorre em temperaturas entre 20 e 70°C e a pressões ambientes. O que faz da biometanação uma maneira viável de obtenção do produto desejado.

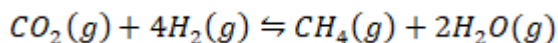


**Figura 6.** Etapas de obtenção do metano por biometanação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Análise da viabilidade energética da tecnologia “Power to Gas”

A principal etapa consumidora de energia é eletrólise, com consumo teórico de 39,4 kWh/kg ou 3,54 kWh/m<sup>3</sup> (nas condições CNPT) de H<sub>2</sub>, considerando um rendimento de 100% de conversão da energia elétrica em produção de H<sub>2</sub>.



Pela reação de metanação, verifica-se que são necessárias 4 moléculas de H<sub>2</sub> para produzir uma molécula de CH<sub>4</sub>, ou seja, 4 m<sup>3</sup> de H<sub>2</sub> para produzir 1 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>. Assim são necessários 4 x 3,54 kWh = 14,16 kWh/m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>. Considerando que a etapa de metanação é levemente exotérmica (exoenergética) e não consome energia.

O poder calorífico inferior do metano (CH<sub>4</sub>) é de 13,88 kWh/kg ou 9,90 kWh/m<sup>3</sup>. Assim a eficiência máxima teórica de conversão de energia elétrica em energia no metano é de 9,90 kWh/m<sup>3</sup> / 14,16 kWh/m<sup>3</sup> = 69,9% (valor máximo teórico).

Há diferentes tecnologias para converter a energia química armazenada no metano em energia produzir novamente em energia elétrica, com eficiências variando de 25 a 60%. Estas tecnologias vão desde motores de combustão interna (ciclo Otto), turbinas a gás (ciclo Brayton), turbinas a vapor (ciclo Rankine), ciclo combinado (Brayton e Rankine) e atualmente as células combustíveis que operam com metano.

Assim se considerarmos a máxima eficiência possível na prática de 60,0% (ciclo combinado, turbina a gás e turbina a vapor), a eficiência global máxima de conversão de energia elétrica em combustível (metano) e posterior conversão em energia elétrica novamente será de 69,9% x 60,0 % = 41,9%. Isto significa que na condição teórica de máxima eficiência, cada 1,0 kWh de energia elétrica armazenada devolverá menos de 0,42 kWh para rede elétrica.

Para condições mais próximas dos reais a eficiência da eletrólise é de 80,0%, resultando em 69,9% x 80,0% = 55,9% de conversão eletricidade em metano e de energia elétrica de 45,0%, resultando em uma eficiência global de 55,9% x 45,0% = 25,2%. Isto significa que para cada 1 kWh gasto na produção e armazenamento em forma de metano, 0,25 kWh será devolvido para a rede elétrica.

## ***2.2. Análise da viabilidade econômica da tecnologia “Power to Gas”***

Considerando uma diferença de custo da energia elétrica no horário de ponta chega a ser de 7 a 9 vezes maior que no horário fora de ponta, esta tecnologia tem potencial de ser utilizada em locais próxima aos grandes centros consumidores de energia elétrica para fornecimento de eletricidade no horário de ponta, também pode ser utilizada em sistema de cogeração e atualmente a grande oportunidade seria seu uso com energia fotovoltaica com fornecimento de 24 horas por dia.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados das análises indicaram que há viabilidade tanto energética quanto econômica para a utilização da tecnologia PtG para armazenamento de energia elétrica em forma de gás combustível ( $\text{CH}_4$ ). Com resultado de recuperação de energia de 0,42 kWh para cada 1,00 kWh armazenado, na condição teórica de máxima eficiência, e de 0,25 kWh para cada 1,00 kWh no estado atual da tecnologia. Nestes resultados são considerados apenas a energia elétrica, se for considerado o aproveitamento da energia térmica em sistema de cogeração este resultados seriam bem melhores.

## **4. CONCLUSÃO**

O objetivo desse artigo é introduzir a tecnologia PtG, e aponta-la como uma alternativa para solucionar os problemas do desequilíbrio entre o suprimento e demanda energética, resultando do aumento da utilização das fontes de energia renovável. Sabe-se que a geração de eletricidade não é dependente da demanda e sim das condições climáticas, assim, torna-se necessário que haja uma armazenagem energética para momentos de alto consumo.

Esse artigo focou primeiramente nos tipos de geração de biocombustíveis, mostrando suas técnicas e limitações. O biocombustível de primeira geração, embora diminua consideravelmente a emissão de poluentes para a atmosfera, por substituir os combustíveis fósseis, ainda se mostra defasado quanto a problemas de segurança alimentar, além disso não possui um bom balanço energético. O biocombustível de segunda geração, supera os problemas alimentares pois a matéria prima provem de alimentos que já cumpriram com seu papel, como o bagaços e palhas, porém ainda há muito o que melhorar quanto quantidade de carbono e hidrogênio renovável que pode ser convertido em combustível a partir da biomassa. O de terceira geração, são baseados em algas que produzem biomassa para a transformação posterior em biodiesel, se mostrou promissora ao superar os obstáculos das primeira e

segunda gerações, porém ainda há o que aprimorar quanto a eficiência em conversão do fóton em combustível. Finalmente, o biocombustível de quarta geração supera todas as limitações anteriormente citadas, e mostra-se forte no campo de armazenagem de energia. Sua principal diferença é que a energia é diretamente convertida em biocombustível (metano) sem a necessidade de passar por uma etapa intermediária de produção de biomassa, além de utilizar um gás poluente como produto da reação.

Existem dois caminhos para a obtenção de metano através da tecnologia PtG. A metanação catalítica e a biometanação, a principal diferença entre eles é o agente catalisador. Sendo a escolha de qual caminho tomar baseada no tamanho da planta e nos tipos de reatores.

Ao analisar a viabilidade econômica dessa tecnologia, obtém-se uma eficiência global que varia entre 25,2% e 41,9%, podendo esta ser uma alternativa aos momentos de alta demanda nos grandes centros consumidores.

## 5. REFERÊNCIAS

- MAITY, Jyoti Prakash et al. Microalgae for third generation biofuel production, mitigation of greenhouse gas emissions and wastewater treatment: Present and future perspectives – A mini review. **Energy**, [s.l.], v. 78, p.104-113, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.003>.
- ABDULLAH, Bawadi et al. Fourth generation biofuel: A review on risks and mitigation strategies. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 107, p.37-50, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.018>.
- SCHIEBAHN, Sebastian et al. Power to gas: Technological overview, systems analysis and economic assessment for a case study in Germany. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 40, n. 12, p.4285-4294, abr. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.01.123>.
- A AUGUSTYN,; GAWLIK, L; PEPIOWSKA, M. Power to Gas – an innovative energy conversion and storage solution. **Iop Conference Series: Earth and Environmental Science**, [s.l.], v. 214, n. 7, p.012041-012589, 23 jan. 2019. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012041>.

SCHIEBAHN, Sebastian et al. Power to gas: Technological overview, systems analysis and economic assessment for a case study in Germany. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 40, n. 12, p.4285-4294, abr. 2015. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.01.123>.

SIMS, Ralph E.h. et al. An overview of second generation biofuel technologies. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 101, n. 6, p.1570-1580, mar. 2010. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.046>.

GÖTZ, Manuel et al. Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 85, p.1371-1390, jan. 2016. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.066>.

QUARTON, Christopher J.; SAMSATLI, Sheila. Power-to-gas for injection into the gas grid: What can we learn from real-life projects, economic assessments and systems modelling?. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 98, p.302-316, dez. 2018. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.007>.

INKERI, Eero et al. Dynamic one-dimensional model for biological methanation in a stirred tank reactor. **Applied Energy**, [s.l.], v. 209, p.95-107, jan. 2018. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.073>.

ARO, Eva-mari. From first generation biofuels to advanced solar biofuels. **Ambio**, [s.l.], v. 45, n. 1, p.24-31, 14 dez. 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-015-0730-0>.

**FROM 1ST- TO 2ND-GENERATION BIOFUEL TECHNOLOGIES.** Itália: Iea Renewable Energy, ago. 2008. Disponível em: <<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/Task-IEAHQ-2nd-generation-Biofuels-Executive-Summary.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

EFFICIENT, Bee Energy. **Second Generation Biofuels.** Disponível em:

<<http://biofuel.org.uk/second-generation-biofuels.html>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

- MONTEIRO, Robson de Souza. **BIOCOMBUSTÍVEIS DE SEGUNDA GERAÇÃO – PRODUTO 3**. Rio de Janeiro: Projeto Apoio Aos DiÁlogos Setoriais União Europeia - Brasil, [20--]. Disponível em:  
<[http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/produto\\_3\\_-\\_robson\\_monteiro1.pdf](http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/produto_3_-_robson_monteiro1.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- LEITE, Nelson et al. Boletim Energético: Os desafios do armazenamento de energia no setor elétrico. **Fgv Energia**, Viçosa, v. 1, n. 1, p.1-4, jan. 2017. Disponível em:  
<<http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/20059/67230-141621-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 18 abr. 2019.
- BIODIESELBR. **Biocombustíveis - Da primeira a quarta geração**. 2008. Disponível em:  
<<https://www.biodieselbr.com/destaques/2007/biocombustiveis-primeira-quarta-geracao-10-03-08>>. Acesso em: 22 abr. 2019.
- BOBOREIRA, Felipe Luz; CRUZ, Antônia Ferreira dos Santos. A IMPORTÂNCIA DO SMART GRID NA REDE ELÉTRICA DE DISTRIBUIÇÃO DO BRASIL. **Unifacts**, Salvador, v. 1, n. 1, p.101-120, abr. 2016.
- KAGAN, Joshua. **Third and Fourth Generation Biofuels: Technologies, Markets and Economics Through 2015**. 2010. Disponível em: <<https://www.woodmac.com/our-expertise/focus/Power--Renewables/third-and-fourth-generation-biofuels/>>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- DRABER, Katia Maria Mandu. **ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO JÁ É REALIDADE**. 2013. 55 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Bioquímica, Usp Lorena, Lorena, 2013. Disponível em:  
<<https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2013/MBI13004.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- S. Schiebahn, T. Grube, M. Robinius, L. Zhao, A. Otto, B. Kumar, *et al.* **Power to gas**; D. Stolten, V. Scherer (Eds.), Transition to renewable energy systems, WILEY-VCH, Weinheim, Germany (2013)
- J. Mergel, M. Carmo, D. Fritz **Status on technologies for hydrogen production by water electrolysis**; D. Stolten, V. Scherer (Eds.), Transition to renewable energy systems, WILEY-VCH, Weinheim, Germany (2013)