

**Produção de hidrogênio a partir de biogás**

Laira Cristina Gênero<sup>1</sup>, Marília Guerini<sup>1</sup>, Queila Torres<sup>1</sup>, Elisandro Pires Frigo<sup>1</sup>, Emanuelle Zanon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UFPR – Universidade Federal do Paraná – Campus Palotina  
e-mail: emanuellezanon22@gmail.com

**Resumo:** A liberação de gases que causam o efeito estufa (CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>) aumenta, a cada ano, devido à queima de combustíveis fósseis e de florestas, ao mau uso das técnicas agrícolas e ao crescimento industrial. Recentemente, intensificou – se, no mundo inteiro, a busca por energias que liberem menos gases nocivos à atmosfera, levando – se em conta que as atuais formas de produção de energia trazem, quase sempre, um impacto negativo para o meio ambiente em sua totalidade. Uma das maiores fontes de emissões de metano são os aterros usados para a disposição de resíduos sólidos urbanos, por exemplo. Logo, a captação e utilização do gás produzido é uma opção para a redução da emissão dos gases causadores do efeito estufa. Projetos deste tipo possibilitam a diversificação da matriz energética atualmente existente, através do uso de fontes alternativas como a biomassa e o biogás. Hoje em dia, há um crescente interesse na produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis; com isso, o hidrogênio pode ser produzido a partir da reforma do biogás, conhecido como biohidrogênio (bio-H<sub>2</sub>).

**Palavras chave:** combustíveis fósseis, fontes renováveis e biohidrogênio.

**Production of hydrogen from biogas.**

**Abstract:** The release of gases that cause the greenhouse gases (CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>) increases every year due to burning fossil fuels and forests, the misuse of agricultural and industrial growth. Recently, intensified over the world, the search for energy to release less harmful gases to the atmosphere, taking into account that current forms of energy production bring almost always a negative impact to the environment as a whole. One of the largest sources of methane are landfills used for the disposal of municipal solid waste, for example. Thus, uptake and utilization of gas produced is an option for reducing the emission of greenhouse gases. Projects of this type enable the diversification of the energy matrix currently exists

through the use of alternative sources such as biomass and biogas. Nowadays, there is growing interest in the production of hydrogen from renewable sources, with this, hydrogen can be produced from biogas reform, known as biohydrogen (bio-H<sub>2</sub>).

**Keywords:** Fossil fuel, renewable sources, biohydrogen.

### Introdução

A escassez de recursos naturais não renováveis, assim como o aumento da demanda global de energia e suas implicações ambientais têm estimulado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias alternativas de suprimento energético, tais como a produção de H<sub>2</sub>.

O hidrogênio tem sido cada vez mais visto como uma possibilidade energética, devido ao seu baixo impacto ambiental e alto valor energético. O fato de poder ser armazenado e consumido quando necessário, além de ser convertido na fonte primária original (eletricidade, por exemplo), ou em outra forma de energia, faz do hidrogênio um excelente vetor energético, servindo de elo de ligação e de conversão entre diferentes fontes e formas de energia.

Sabe-se que a queima de combustíveis fósseis aumenta o teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera; entretanto, com a utilização da biomassa como fonte de energia, o processo se torna contrário, ou seja, não ocorre o aumento de CO<sub>2</sub>. O uso do biogás seria de grande valia, propiciando a produção de hidrogênio, pois, utiliza o CO<sub>2</sub> como oxidante na reação de reforma do metano.

Ao propor uma forma eficiente de reforma entre esses dois gases, que em grande parte são responsáveis pelo efeito estufa, forneceria uma forma renovável de provisão do hidrogênio.

O hidrogênio não é uma substância nova. Antonie Lavoisier (1743 – 1794) e Henry Cavendish (1731 – 1810) descreveram pela primeira vez o hidrogênio no final do século 18. Em 1839, Christian Friedrich Schonbien (1799 – 1868) e Willian Robert Grove (1811 – 1896) publicaram seus trabalhos sobre células a combustível, no qual descreviam a primeira célula eletromecânica que combinava hidrogênio com o oxigênio (ar) para produzir eletricidade e calor (Winter, 2005).

A maioria do hidrogênio produzido atualmente no mundo está associada ao petróleo (78%), sendo apenas 4% de origem renovável utilizando, basicamente, a hidroeletricidade (Silva et al., 2003).

Segundo Adamson (2004), produção de hidrogênio pode ser dividida em três grupos: fotobiológico, foto-eletromecânico e termoquímico. Destacam-se:

- Gás natural – o processo de reforma do gás natural é o mais utilizado em plantas comerciais para a produção de hidrogênio. Seu custo de produção depende basicamente do custo da planta. Normalmente, o custo do hidrogênio varia de 52 a 68% do custo do gás natural;
- Eletrólise – o hidrogênio também pode ser produzido através da eletrólise da água. A energia elétrica necessária para o processo pode ser de um sistema não renovável ou renovável. A eficiência no processo de conversão depende da eficiência do processo de produção da energia elétrica.

Os benefícios de uma economia baseada em hidrogênio são: diversificação da produção de energia e segurança no fornecimento, diminuição da poluição urbana e, diminuição dos gases do efeito estufa, Adamson (2004).

### *Produção de Hidrogênio*

O hidrogênio pode ser produzido a partir de fontes primárias de energia, tais como combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural); a partir de intermediários químicos, tais como os produtos de refinaria, amônia e etanol, por exemplo, e a partir de fontes alternativas de energia tais como biomassa, biogás e gás de lixo, (Pietrogrande e Bezzeccheri, 1993).

Para obtê-lo é necessário extraí-lo de substâncias onde ele está presente, como a água e os compostos orgânicos. Existem vários processos de extração do hidrogênio e todos eles requerem energia (Tolmasquin, 2003).

Atualmente, a maior porcentagem de produção de H<sub>2</sub> ocorre por refinação de hidrocarbonetos. Porém, a produção por processos químicos e eletroquímicos revela-se pouco sustentável do ponto de vista do balanço energético, dada a quantidade de energia gasta para produzi-lo e armazená-lo. Assim, as tecnologias de produção de H<sub>2</sub> por via biológica (bioH<sub>2</sub>) têm sido estudadas como uma alternativa sustentável aos processos convencionais, principalmente porque permitem a utilização de fontes renováveis e ocorrem em condições de temperatura ambiente e à pressão atmosférica (Das e Veziroglu, 2008).

### *Viabilidade Econômica*

O uso do hidrogênio como vetor energético tem sido extensamente analisado e, há certo consenso nas vantagens de integrá-lo desta forma a sistemas de suprimento de energia no futuro. De certa forma, o hidrogênio e a eletricidade seriam complementares, entretanto,

difícil prever de que forma (que estrutura de transporte/armazenamento). Para isso, é essencial a produção de hidrogênio competitivamente em escalas compatíveis com as da eletricidade. Não se sabe ainda como isto seria feito (rotas), mas há inúmeros projetos visando o uso de fontes energéticas diferentes (Boudries e Dizene, 2008).

Soluções regionais seriam as indicadas, e o Brasil deve analisar suas possibilidades. O uso ideal para a energia elétrica seria através de célula combustível (não combustão direta). Possivelmente, as aplicações referentes à geração estacionária serão o primeiro mercado para o hidrogênio, porém não se espera, além de algumas aplicações iniciais, impactos significativos no período 2000 – 2020 (Boudries e Dizene, 2008).

O uso futuro do hidrogênio em larga escala dependerá, também, do estabelecimento de uma infraestrutura adequada e uma escala de produção/uso essencial, contando com normas e padrões de segurança.

Devem-se levar em consideração as possíveis implicações dessas emissões, podendo ocasionar o resfriamento da estratosfera, intensificação da destruição da camada de ozônio, aumento de nuvens de partículas cobertas de gelo, mudanças na química da troposfera e nas interações entre a atmosfera e a biosfera (Boudries e Dizene, 2008).

### *Energia Renovável – Gestão De Resíduos*

As energias renováveis são consideradas energias alternativas ao modelo energético tradicional, tanto pela sua disponibilidade (presente e futura) garantida – diferente dos combustíveis fósseis que precisam de milhares de anos para se formar – como pelo seu menor impacto ambiental.

Existem diversos tipos de energias renováveis: energia solar, energia das marés, energia das hidroelétricas, energia eólica, energia geotérmica e a biomassa, destacada logo abaixo:

### *Biomassa*

Entende-se por biomassa toda a matéria de origem vegetal, seja ela a floresta nativa ou plantada, as culturas agrícolas e seus resíduos, como o bagaço de cana, casca de arroz ou de café, galhos de árvores, óleos vegetais ou de espécies plantadas, além do lixo urbano e esterco de animais (Gaspar, 2003).

O Brasil é um país naturalmente rico em biomassa e seus processos de transformação, desses recursos em energia, combustíveis e produtos como alimentos e materiais são inúmeros.

É, portanto, toda a matéria viva presente em um lugar, um combustível fóssil de origem biológica, onde através dele, é possível produzir a chamada energia renovável. Estudos indicam que, atualmente, um sétimo da energia mundial está sendo obtida por esse processo, e venha a ter cada vez mais importância no contexto energético global. Através da sua transformação, podem-se produzir biocombustíveis líquidos ou gasosos por sua queima direta, (Gaspar, 2003).

Exemplos de biomassa: lenha, carvão vegetal, óleos vegetais, cana de açúcar, álcool, pro-álcool, cogeração no setor sucroalcooleiro, resíduos rurais, urbanos e industriais.

### *Energia Não Renovável*

As energias não renováveis são recursos que, quando utilizados, não podem ser repostos pela ação humana ou pela natureza, a um prazo útil.

Os combustíveis fósseis, como os nucleares, são considerados não renováveis, pois a capacidade de renovação é muito reduzida comparada com a utilização que deles fazemos. As reservas destas fontes energéticas irão ser esgotadas, ao contrário das energias renováveis.

Consideram-se fontes de energias não renováveis: carvão, petróleo e gás natural. São, também, consideradas energias “suja” uma vez que da sua utilização e exploração decorrem graves danos para o meio ambiente e para a sociedade. Logo, são designadas de convencionais, pois seu uso está generalizado, existindo uma grande dependência, principalmente economicamente.

A energia nuclear surgiu como uma solução possível para o problema do efeito estufa, uma vez que nesse processo não são emitidos gases poluentes para a atmosfera. Os riscos inerentes a esta forma de produção de energia elétrica, como o perigo de explosão nuclear, fugas radioativas, contaminação e o custo elevado de construção e manutenção deste tipo de instalação, faz com que este seja um assunto de frequentes discussões públicas.

### *Gás Natural*

O gás natural tem uma origem muito semelhante à do petróleo, ou seja, formou-se durante milhões de anos a partir de sedimentos de animais e plantas, encontrando-se em jazidas subterrâneas. A única diferença entre os dois é que este pode ser diretamente utilizado, sem necessidade de refinação.

É utilizado como combustível, tanto na indústria, como em nossas casas e prevê-se que as suas reservas se esgotem nos próximos 60 anos (BP Statistical Review, 2012).

### *Combustível Gasoso (Energia Renovável) – Biogás*

O biogás é o nome atribuído à mistura gasosa (combustível), resultante da fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato a digerir. De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano e por dióxido de carbono, estando o seu poder calorífico diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa (Deublein, D. et al., 2008).

Os processos de fermentação anaeróbia que produzem metano foram, desde sempre, utilizados pelo homem para o tratamento de esgotos, nos sistemas conhecidos por “fossas sépticas”. Serviam tanto para tratar os esgotos domésticos de pequenas comunidades, quanto os resíduos da indústria agroalimentar ou agropecuária. Com o passar dos tempos estes sistemas simplificados de tratamento evoluíram nos países desenvolvidos, quando começaram a serem utilizados os chamados “digestores”, para efetuar a digestão de lamas resultantes da sedimentação primária e do tratamento biológico aeróbio dos esgotos (Deublein, D. et al., 2008).

Hoje, existem duas situações possíveis para o aproveitamento do biogás: queima direta (aquecedores, esquentadores, fogões, caldeiras) e à conversão de biogás em eletricidade, permitindo a produção de energia elétrica e térmica. Assim, os sistemas que produzem o biogás, podem tornar a exploração pecuária auto-suficiente em termos energéticos, contribuindo para a resolução de problemas de poluição de efluentes. Tais efluentes são geralmente tratados em processos de lagunagem, sendo depois utilizados em rega de terrenos agrícolas ou lançados em linhas de água (Deublein, D. et al., 2008).

Atualmente existem vários estudos sobre a produção de energia a partir do biogás, dos quais a grande maioria sobre o aproveitamento de lixo doméstico para a geração de energia e, a produção de hidrogênio a partir do biogás, foco do trabalho.

### *Processo De Produção Do Biogás*

O biogás é produzido através da degradação da matéria orgânica por bactérias. A digestão anaeróbia é um processo segundo o qual, algumas espécies de bactérias, que atuam na ausência de oxigênio, atacam as estruturas de materiais orgânicos complexos para produzir compostos simples: metano, dióxido de carbono, água, etc; extraíndo simultaneamente a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento. A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbica, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de

bactérias. Distinguem-se duas fases nos processos de fermentação metanogênica: a primeira fase é uma transformação das moléculas orgânicas em ácidos, sais ou gases e a segunda, é a transformação destes numa mistura gasosa essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono (Deublein, D. et al., 2008).

O biogás, apesar de ser constituído principalmente de metano, apresenta a seguinte composição:

- Metano (CH<sub>4</sub>) 50 a 75%
- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) 25 a 40%
- Hidrogênio (H<sub>2</sub>) 1 a 3%
- Nitrogênio (N<sub>2</sub>) 0,5 a 2,5%
- Oxigênio (O<sub>2</sub>) 0,1 a 1%
- Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S) 0,1 a 0,5%
- Amoníaco (NH<sub>3</sub>) 0,1 a 0,5%
- Monóxido de Carbono (CO) 0 a 0,1%
- Água (H<sub>2</sub>O) variável.

O rendimento da transformação da energia contida no biogás em energia elétrica gira em torno de 25%, contra 65% quando transformada em energia térmica.

Em síntese são grandes os benefícios atribuídos ao uso do biogás, tanto pela preservação dos recursos locais, como a retirada de lenha próxima à residência rural evitando problemas como erosão do solo. Por ser um gás higiênico produz menos fumaça quando comparado ao gás de bujão, evitando assim resíduos de fuligem nas panelas e demais utensílios de cozinha e, podendo agregar valores econômicos a propriedades suinocultoras, por exemplo.

### *Biohidrogênio*

A produção de biohidrogênio por via biológica resulta da atividade de microrganismos como bactérias, por degradação de carboidratos como substrato (resíduos agroindustriais ou outros subprodutos orgânicos de processos industriais), ou microalgas por bio-fotólise da água.

Uma das vantagens da produção de hidrogênio por via biológica, sobre os processos químicos convencionais, reside no fato dos microrganismos serem seletivos para o substrato, mesmo quando este se encontra em mistura com outros compostos.

Isto consiste em uma vantagem, pois permite não só minimizar ou mesmo suprimir a necessidade de aplicação de passos intermediários de purificação, como utilizar um maior espectro de resíduos industriais, como substratos no processo fermentativo. Logo, minimiza-se a necessidade de isolar e purificar o substrato fundamental ao processo, traduzindo-se num maior espectro de compostos a utilizar, havendo menos necessidade de tratamentos químicos (Drapcho et al., 2008).

Contribui com uma pequena porção, cerca de 1%, para o total produzido, sendo que se espera que esta cresça exponencialmente, com o acompanhar da inovação e desenvolvimento de novas técnicas e processos (Drapcho et al., 2008).

Pode ocorrer por três tipos de processos, nomeadamente:

- Bio-fotólise da água (algas ou cianobactérias);
- Fermentação anaeróbia no escuro (bactérias anaeróbias estritas ou facultativas);
- Sistema híbrido (bactérias fotossintéticas e fermentativas).

#### *Bio-Fotólise*

A produção de  $H_2$  a partir da bio-fotólise da molécula de água, por algas e cianobactérias, consiste na conversão desta molécula em íons hidrogênio e moléculas de oxigênio, através da fotossíntese. Os íons hidrogênio são depois convertidos a hidrogênio molecular através da enzima hidrogenase. Assim, os microrganismos fotoautotróficos possuem mecanismo de captura de energia solar para a produção de oxigênio e hidrogênio.

Pode ser considerada economicamente viável e sustentável em termos da utilização de água como fonte renovável e consumo de  $CO_2$ . Contudo, este processo apresenta algumas limitações, como a inibição da enzima hidrogenase em presença de  $O_2$  e o fato de não ser possível metabolizar resíduos industriais, não contribuindo assim para a diminuição da sua carga orgânica (Kapdan et al., 2006). Nesse aspecto, a fermentação no escuro e a fotofermentação são consideradas como vantajosas, pois a produção de  $H_2$  pode ser realizada a partir de resíduos, associando dois fatores, o tratamento de um efluente e a produção de “energia limpa” (Kapdan et al., 2006).

#### *Fermentação Anaeróbia No Escuro*

A produção de  $H_2$  por bactérias anaeróbias, no escuro, ocorre com oxidação de diferentes substratos orgânicos (carboidratos) em condições anóxicas, isso é, na ausência de  $O_2$  como aceitador de elétrons.



Ou seja, enquanto que em condições de aerobiose, o  $O_2$  é reduzido à molécula de água, em condições anaeróbias são os íons  $H^+$  que são reduzidos a hidrogênio molecular ( $H_2$ ), atuando como aceitadores de elétrons. A oxidação dos substratos orgânicos fornece a energia necessária para o crescimento metabólico das bactérias (crescimento heterotrófico). Esta oxidação gera elétrons, os quais se distribuem de modo a manter a neutralidade eletrônica (Das e Veziroglu, 2008). Essa distribuição eletrônica deve-se à presença de ferredoxina, que atua como transportadora de elétrons em reações redox biológicas.

Da produção de  $H_2$  por fermentação resultam também outros compostos (subprodutos), cujas concentrações e taxas de produção dependem de parâmetros físico-químicos como a concentração de biomassa e de substrato, o pH e a temperatura do processo (Drapcho et al., 2008).

A fermentação anaeróbia permite a produção de elevados volumes de  $H_2$ , pela utilização de um largo espectro de fontes de carbono como substrato, incluindo subprodutos e resíduos de indústrias agroalimentares, com ou sem pré-tratamento antes da sua utilização (Das e Veziroglu, 2008). Entre eles podem-se referir os subprodutos da produção de biodiesel, contendo glicerol, e os hidrolisados obtidos pelo tratamento enzimático da pasta de papel, contendo glucose, xilose e celobiose (Marques et al., 2007).

### *Sistema Híbrido*

Alguns dos subprodutos da produção de  $H_2$  são os ácidos gordos voláteis (AGV), os quais são nefastos para o meio ambiente. Assim, com vista ao tratamento do meio resultante da fermentação, vários outros processos podem ser utilizados em seguimento (formando um sistema híbrido), com a produção de outros gases com valor energético, como o biogás ou até mesmo o próprio hidrogênio.

Nesse contexto, a conversão de biogás em hidrogênio mostra-se uma alternativa interessante sabendo-se, principalmente, que o hidrogênio pode substituir os atuais combustíveis fósseis produzindo energia limpa. Assim, com o objetivo de desenvolver uma economia do hidrogênio, este, tem recebido bastante atenção.

## **Material e Métodos**

### *Estudo de Caso*

Produção de hidrogênio a partir de efluente da suinocultura e estimativa do seu poder energético; Engenharia Química e doutoranda em Saneamento Ambiental: Viviane Trevisan e

Engenheiro Civil – Mecânico; Dr. do Departamento de obras hidráulicas IPH: Luiz Olinto Monteggia.

A decomposição anaeróbia dos dejetos provenientes da suinocultura produz o biogás, sendo este liberado para a atmosfera. O gás hidrogênio, produzido a partir desses dejetos suínos são utilizados como fontes de energia, além de preservar as reservas energéticas disponíveis e diminuir as emissões nocivas resultantes do processo de combustão, contribuindo para a redução dos impactos ambientais gerados pela disposição inadequada desses resíduos.

O objetivo deste estudo de caso é entender como foram estudados os efeitos do pH e da temperatura, na fase acidogênica, e da concentração de hidrogênio do biogás produzidos a partir de efluentes líquidos da suinocultura, estimando a quantidade de energia produzida a partir do biogás, com e sem hidrogênio, sendo este produzido no reator acidogênico e no reator metanogênico.

De acordo com Trevisan e Monteggia, o efluente utilizado foi a água da lavagem de pocilgas, armazenada sob condições de refrigeração na temperatura de 4°C. O efluente inserido no reator acidogênico era composto por 80 % de efluente suíno e 20 % de água. O sistema era constituído por um reator anaeróbio acidogênico.

Ainda segundo Trevisan e Monteggia, os teores de metano e hidrogênio foram analisados por cromatografia a gás. O cálculo da quantidade estimada de energia produzida a partir dos efluentes produzidos pelo rebanho suíno da região sul foi realizado levando-se em consideração as eficiências de remoção de matéria orgânica e do volume e composição do biogás produzido em cada reator, nas melhores condições mostradas pelo estudo. Para fins de comparação fez-se o cálculo da quantidade de energia produzida com e sem a presença de hidrogênio no biogás.

## **Resultados e Discussão**

### *Visão Geral/Análise*

O biogás produzido pela decomposição anaeróbia da biomassa pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção.

Os resíduos oriundos da atividade suinícola apresentam grandes quantidades de matéria orgânica. A DBO<sub>5</sub> dos dejetos suínos oscila entre 30.000 e 52.000 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, ou seja, em torno de 260 vezes superior a do esgoto doméstico (200 a 500 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>); (Fernandes e Oliveira, 2006). Devido a essas características, alguns países como a Espanha e Alemanha

buscaram alternativas que agregassem a produção energética ao tratamento/manejo dos dejetos suínos.

O hidrogênio gerado na digestão anaeróbia possui o maior potencial energético que o metano, 28.700 Kcal/Kg para o hidrogênio e 12.000 Kcal/kg para o metano, reduzindo significativamente a emissão de gás carbônico e de outros compostos poluidores durante a sua queima (Martinez-Pérez et al., 2007).

O pH é um fator determinante na produção do hidrogênio, devido aos efeitos sobre as enzimas hidrogenases e sobre as rotas metabólicas envolvidas no processo. Além disso, o pH do meio produz efeitos sobre os microrganismos, tais como: mudanças nas características da membrana celular influenciando na ingestão dos nutrientes, influencia sobre a atividade enzimática durante o processo metabólico e, influencia no aparecimento de substâncias tóxicas no meio.

A temperatura é outro fator que influencia nas atividades fisiológicas dos microrganismos e na taxa de formação dos produtos de fermentação. A produção de hidrogênio é instável quando a temperatura do meio sofre variações e, necessitam de um tempo de adaptação para se estabilizar.

#### *Relato Da Situação*

O efluente utilizado consistiu na água de lavagem de pocilgas, armazenado sob condições de refrigeração na temperatura de 4°C. O efluente inserido no reator acidogênico era composto por 80% de efluente suíno e 20% de água.

O sistema era constituído por um reator anaeróbico acidogênico com volume útil de 19 litros, o qual foi operado na temperatura ambiente e com tempo de detenção hidráulica de 24 horas, seguido por um reator anaeróbico metanogênico com volume útil de 38 litros, operado na temperatura de 35°C e com tempo de detenção hidráulica de 48 horas.

#### *Problemas Do Caso/Conclusão*

Comparando-se o reator acidogênico e o reator metanogênico observa-se que a presença de hidrogênio provocou um aumento de 6% no potencial energético do biogás. Esse potencial pode ser aumentado se os reatores possuírem controladores de pH, o que manteria o processo constante, além de aumentar o tempo de detenção hidráulica e, por consequência, a porcentagem de hidrogênio presente no biogás.

Em termos de consumo de energia, atualmente a região Sul consome cerca de 199 GWh/dia (ONS, 2008), e a energia resultante da queima do biogás com o hidrogênio, produzido a partir dos dejetos da suinocultura, corresponde a 2,5% dessa demanda.

A partir dos resultados obtidos, os processos de produção do biohidrogênio, com foco nos efluentes da suinocultura mostraram-se promissor, uma vez que a presença desse elemento aumenta o poder energético do biogás. Além disso, a biomassa utilizada é renovável e atualmente carece de tratamento adequado, pois os efluentes das criações, na maior parte dos casos, são dispostos de maneira inadequada no meio ambiente, provocando a poluição de mananciais e do solo.

Por fim, o pH exerceu maior influência que a temperatura no aumento da concentração de hidrogênio em relação ao biogás formado. A concentração máxima de hidrogênio foi obtida quando o pH do efluente de entrada foi ajustado para 5,0 e quando a temperatura do reator acidogênico ficou em 35°C. Logo, a presença de hidrogênio no biogás conferiu maior poder energético ao mesmo, quando comparado com o biogás sem hidrogênio.

### **Conclusão**

Conclui-se que o hidrogênio tem potencial para cada vez mais suprir as necessidades das gerações de energia, sendo estas obtidas de diferentes fontes e formas.

Com os valores econômicos agregados, o seu baixo impacto ambiental, a diminuição da poluição urbana e a diminuição da emissão de gases do efeito estufa, somam-se ao fato de este poder ser armazenado e consumido quando necessário, fazendo do hidrogênio um excelente vetor energético. Serve, também, de pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias alternativas.

O uso do biogás na propriedade rural é o fato que mais chama a atenção, pois os benefícios agregados a ele, por exemplo, são significativos, como a retirada de lenha próxima à residência rural, evitando problemas como a erosão do solo.

Por ser um gás higiênico produz-se menos fumaça quando comparado ao gás de bujão, evitando assim resíduos de fuligem nas panelas e demais utensílios de cozinha, comentados no decorrer do trabalho.

Além disso, conclui-se que o biohidrogênio é o hidrogênio produzido através de processos biológicos, integrando os princípios de desenvolvimento sustentável e da minimização e tratamento de resíduos, numa clara aproximação as chamadas tecnologias verdes.

**Referências Bibliográficas**

ADAMSON, K. A.; Hydrogen from renewable resources - the hundred year commitment. **Energy Policy** v. 32 p. 1231-1242.

BOUDRIES, R.; DIZENE, R.; Potentialities of hydrogen production in Algeria. **International Journal of Hydrogen Energy**; v. 33 p. 4476 - 4487.

BP Statistical Review of World Energy, **BP Statistical Review of World Energy June 2012**, British Petroleum, 2011 49 p.

DAS, D.; VEZIROGLU, T.; Advances in biological hydrogen production processes". **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, p. 6046-6057.

DEUBLEIN, D. et al. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction. Weinheim: Editora Wiley-VCH, 2008. 443p.

DRAPCHO, C.M.; NHUAN, N.P.; WALKER, T.H.; "Biofuel Engineering Process Technology." The McGraw Hill Companies, Inc. 2008. 385 p.

FERNANDES, G. F. R.; OLIVEIRA, R. A. Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**. v. 26 (1), p. 243-256, 2006.

GASPAR, R. M. B. L.; Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: estudo de caso na região de Toledo-PR. 119p. Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

KAPDAN, I. K.; KARGI, F.; Bio-hydrogen production from waste materials. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 35. p. 569-582.

MARQUES, S., ALVES, L., ROSEIRO, J., GÍRIO, F. Conversion of recycled paper sludge to ethanol by SHF and SSF using *Pichia stipitis*. **Biomass and Energy**, v. 32, p. 400-406.

MARTÍNEZ-PÉREZ, N.; CHERRYMAN, S. J.; PREMIER, G. C.; DINSDALE, R. M.; HAWKES, D. L.; HAWKES, F. R.; KYAZZE, G.; GUWY, A. J. The potential for hydrogen-enriched biogas production from crops: Scenarios in the UK. **Biomass and Bioenergy**. v.31, p. 95–104.

PIETROGRANDE, P.; BEZZECHEI, M., Fuel Processing. In: BLOMEN, L.J.M.J.; MUGERWA, M.N. **Fuel Cell System**, New York: Plenum Press, 1993. 614p.

SILVA, E.P. “Energia a partir do uso do hidrogênio” in M. T. Tolmasquim (org.), **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003, UFRJ, Rio de Janeiro.

TOLMASQUIM, M.T., **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**, Editora Interciência, 2003.

TREVISAN, V.; MONTEGGIA, L. O; Produção de hidrogênio a partir de efluente da suinocultura e estimativa de seu poder energético. UFRGS, Porto Alegre,

WINTER, C. J.; Into the hydrogen energy economy-milestones. **International Journal of Hydrogen Energy**. v. 30 (2005) p 681-685.

---

**Recebido para publicação em:** 10/12/2012

**Aceito para publicação em:** 29/12/2012