

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO A PARTIR DA REFORMA CATALÍTICA DO BIOGÁS NA REGIÃO OESTE DO PARANÁ

HYDROGEN PRODUCTION POTENTIAL IN THE REGION PARANÁ WEST FROM REFORM CATALYTIC BIOGAS

Jessica Vanessa Schaffer¹

Helton José Alves^{1, 2}

Antonio José Marin Neto³

Daniel Gabriel Lopes³

Cristie Luis Kugelmeier¹

Geocris Rodrigues Santos²

Resumo: A região oeste do Paraná é responsável por grande parcela da exportação de carne e leite no estado. No entanto, os dejetos gerados nestas atividades podem ser aproveitados para produção de biogás. Por sua vez, o biogás resulta da fermentação anaeróbia, sendo composto majoritariamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Dentre as várias aplicações do biogás na área energética, uma que se destaca é sua reforma para a produção do gás hidrogênio (H_2), um combustível de elevada capacidade energética e baixíssimo impacto ambiental, podendo ser utilizado em células a combustível, agregando maior valor econômico e energético ao biogás. Neste contexto, quantificou-se o plantel animal, bem como os dejetos gerados pela atividade pecuária, e a capacidade de geração de biogás em cada cidade do oeste paranaense, visando à produção de hidrogênio por processos de reforma catalítica para geração de energia elétrica.

Palavras-Chave: Biogás. Reforma do Metano. Hidrogênio

Abstract: The western Paraná is responsible for a large share of export of meat and milk in the state. However, the waste generated in these activities can be used to produce biogas. On the other hand, biogas result from the anaerobic fermentation, being composed mainly of methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2). Among the many applications of biogas in the energetic area, one that stands out is its reforming to obtaining the hydrogen gas (H_2), a fuel of high energetic capacity and very low pollutant potential, maybe used in fuel cells, adding greater economic and energetic value of biogas. In this context, were quantified the animal breeding as well as the manure generated by the ranching activity, and the ability to generate biogas in each city of the western Paraná, aiming the production of hydrogen by reforming processes to generate energy.

Keywords: Biogas. Reform of Methane. Hydrogen

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o biogás tem sido utilizado no meio rural, principalmente, para a geração de energia elétrica e térmica, sendo capaz de gerar energia suficiente para abastecer a rede elétrica das propriedades produtoras do gás e aquecer ambientes como frigoríficos, secadores de grãos, dentre outros. Porém, os processos atuais que utilizam o biogás para a

¹ Curso de Tecnologia em Biocombustíveis - Universidade Federal do Paraná - UFPR/Setor Palotina.

² Departamento de Engenharias e Exatas - UFPR/Setor Palotina.

³ Hytron - Energia e Gases Especiais/Campinas-SP.

geração de energia, em geral, possuem baixa eficiência. O potencial do biogás deve-se ao elevado teor de metano (CH_4), de 55 a 70 % vol. (Alves et al., 2013; Galbiatti et al., 2010) e o dióxido de carbono (CO_2), o segundo maior componente do biogás, cujo teor pode variar de 30 a 45 % vol.

No entanto, muitos produtores desconhecem os benefícios energéticos deste gás e os riscos que suas atividades oferecem ao meio ambiente. Assim, geralmente os resíduos (principalmente dejetos e urina) são lançados em cursos d'água e por vezes são aplicados na lavoura sem tratamento prévio, contaminando o lençol freático, provocando eutrofização nos rios, entre outros. (Itaipu, 2014).

Casos como estes são comuns no oeste do Paraná, sendo um perigo para o lago de Itaipu, visto que vários afluentes encontram-se neste local, a presença de microrganismos é capaz de produzir e lançar metano na atmosfera, transformando-o em uma fonte emissora de gases do efeito estufa. (Itaipu, 2014).

No entanto, as quantidades excretadas bem como a composição química e física dos dejetos diferem de uma espécie para outra, influenciadas pelo manejo do estercó, espécie, alimentação (dieta) e criação dos animais. (Colatto, 2011). Sendo assim, o potencial poluidor e produção de biogás também diferem. Na Tabela 1, observam-se as médias da produção de dejetos, potencial estimado de biogás ($\text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{sv}^{-1}$) e percentual de metano contido nos dejetos diários das matrizes, segundo a literatura, entre dados teóricos e experimentais.

Tabela 1. Produção teórica de dejetos, potencial estimado de biogás ($\text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{sv}^{-1}$) e percentual de metano contido nos dejetos diários das matrizes

Matriz	Média da produção de dejetos ($\text{kg} \cdot \text{dia}^{-1}$)	Dejetos ($\text{kg} \cdot \text{sv} \cdot \text{dia}^{-1}$)	Produção de biogás ($\text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{sv}^{-1}$)	% de CH_4	Média
Bovinos (Corte/Leite)	10,00	2,50/2,90	0,10/0,13	55 ^{2,4} 60 ^{2,4,5} 70 ³	61,7 ± 7,64
Suínos	2,30	0,30	0,29	50 ^{2,4} 60 ^{3,5} 66 ^{2,4} 70 ³	61,5 ± 8,7
Ovinos	0,90	0,32	0,13	50 ^{2,4}	50 ± 0
Aves	0,18	0,02	0,24	60 ¹ 65 ^{1,2,4}	62,5 ± 3,54

¹Capatan et al., 2013; ²Colatto, 2011; ³Nogueira et al., 2013; ⁴Santos e Junior, 2013; ⁵Schuch, 2012

Nota: SV- Sólidos voláteis

Dentre as diversas possibilidades de uso do biogás, uma rota ainda pouco estudada e explorada é a do hidrogênio. O principal processo utilizado para a produção de H_2 no mundo é o de reforma catalítica a vapor do gás natural. Neste sentido, quando o biogás é purificado para a remoção de contaminantes como o sulfeto de hidrogênio (H_2S) e dessulfurizado (redução do teor de CO_2), possui características muito parecidas com o gás natural, o que pode viabilizar sua reforma para a produção de H_2 . Esta rota possibilita o uso mais nobre para o biogás, o que agrega valor ao produto pelo fato do H_2 ser o combustível que apresenta o maior poder calorífico por unidade de massa conhecido, além de este ser utilizado em processos de alta eficiência energética, como por exemplo, nas células a combustível.

Os processos de reforma de metano mais comuns para a obtenção do gás H_2 são a reforma a vapor (RV), reforma oxidativa parcial (ROP), reforma autotérmica (RA), reforma a seco (RS) e reforma a seco oxidativa (RSO). (Alves et al., 2013).

Porém, o processo de RV do metano é atualmente o mais utilizado pela indústria, devido à viabilidade econômica e eficiência. Trata-se de uma reação entre vapor de água e hidrocarbonetos formando H_2 , CO e CO_2 , como observam-se nas Equações (1), (2) e (3) e Tabela 2 a seguir. (Alves et al., 2013; Ávila-Neto et al., 2009; Braga et al., 2013; Martínez et

al., 2013; Oyama et al., 2012). Estes processos ocorrem no interior de reatores, mais conhecidos como reformadores. 121

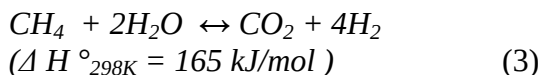
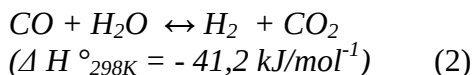
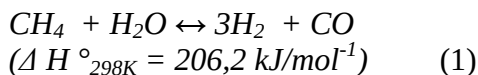


Tabela 2. Produção de H₂ utilizando o metano ou o biogás nos processos convencionais de RV

Temperatura (°C)	Catalisador	H ₂ /CO	Conversão de CH ₄ (%)
600	Ni-Ce _{0,8} Zr _{0,2} O ₂	3,4	70
650	NiMg _{17,4} Al _{1,6} O _{20,8}	3,7	98
700	Ni/Al ₂ O ₃	-	85
715	Ru/Al ₂ O ₃	2,7	90
850	Ni/Al ₂ O ₃	2,1	98
750	Ni/CaO-Al ₂ O ₃	2,5	95
750	Ni/Al ₂ O ₃	2,0	85
750	Ni/Al ₂ O ₃	2,2	96
Razão Molar Média		2,66 mol H ₂ /CO	

Nota: - informação não disponibilizada
Fonte: Alves et al., (2013)

No entanto, o custo/benefício é o ponto chave para produção viável do hidrogênio. Quanto ao grau de pureza exigido para tal, a aplicação do hidrogênio é o que definirá esta questão.

Segundo Hytron (2014) - Energia e Gases Especiais, empresa que fabrica reformadores para a produção de H₂, a eficiência do reformador pela reforma a vapor do metano, pode atingir 74,5 % com um grau de pureza de H₂ de até 99,0 % a uma pressão de 10 bar, o que é representado esquematicamente na Figura 1. Neste caso, para cada 4 m³ de gás natural, ou biogás dessulfurizado, tem-se 1 m³ de H₂.

Ainda segundo Hytron (2014), comparando o biogás ao gás natural tem-se que para cada 2 kg de H₂ (4.0/h) produzidos, são necessários 11 m³. h⁻¹ de gás natural, 30 L.h⁻¹ de água e uma demanda de energia de 5,5 kWh. Se o calor residual do processo for aproveitado, a eficiência global da reação pode chegar a 84 %. Porém, ao considerar o cenário regional utilizando células a combustível tipo HTPEM (Membrana de Troca de Prótons de Alta Temperatura), seria possível alcançar uma eficiência de 50 % gerando 1 kWh a cada 0,73 m³ de hidrogênio. Estes fatores possibilitam uma variedade de opções na hora da escolha dos equipamentos ou processos de reforma, adaptando-se assim às necessidades de cada produtor na região.

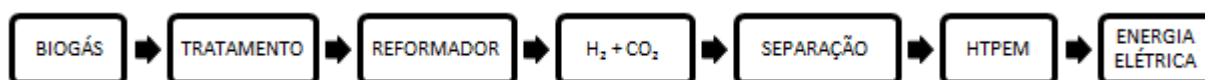


Figura 1. Fluxograma de produção do hidrogênio a partir de reformadores a vapor e uso em células a combustível

Fonte: Hytron, 2014

O presente trabalho teve como principal objetivo, realizar um levantamento do potencial de geração de H_2 pelo processo de reforma do biogás, que é um produto energético amplamente conhecido e produzido na região oeste do Paraná, principalmente a partir de dejetos provenientes da pecuária.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa realizada possui caráter teórico, exploratório e descritivo onde foi realizado o levantamento de publicações em base de dados nacionais e internacionais, como Science Direct, Scielo, Portal Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e IBGE, além de dados fornecidos pela principal empresa no Brasil que atua no ramo de reformadores para H_2 , a Hytron.

Neste contexto, quantificou-se o plantão animal, bem como os dejetos e biogás gerados pela atividade pecuária. É importante ressaltar que apenas os dejetos dos animais foram considerados no estudo, desconsiderando as variáveis de sazonalidade na produção do biogás. Por meio das Equações 4, 5, 6 e 7 calculou-se a quantidade de biogás, CH_4 e H_2 que poderia produzir-se, considerando os dados das Tabelas 1 e 2. O volume de biogás (m^3) foi estimado utilizando a Equação 4, onde calculou-se a soma das variáveis de produção de metano, considerando o número de elementos (plantel) e a quantidade de resíduos gerados por elemento em $kg.sv.dia^{-1}$, como ilustrado na Tabela 1.

$$Vb = \sum_i (Xi.Q.P_{biogás})(4)$$

Onde:

Vb: Volume de biogás (m^3);

$\sum_i$: Soma dos variáveis de produção de biogás;

X_i : Número de elementos em cada item da variável;

Q: Quantidade de sólidos voláteis produzido por item da variável (kg);

$P_{biogás}$: Produção de biogás ($m^3.kg.sv.dia^{-1}$).

As médias de volume de metano (CH_4) ($m^3.dia^{-1}$) foram calculadas por meio da Equação 5, considerando a produção diária de biogás e a percentual médio de metano contido no gás (Tabela 1).

$$CH_4 = \frac{Vb * \%CH_4}{100}(5)$$

Onde:

Vb: Volume de biogás (m^3);

CH_4 : Médias de volume de metano ($m^3.dia^{-1}$);

$\% CH_4$: Porcentagem média de metano contida no biogás.

A partir das Equações (4) e (5) e a estequiometria do processo de reforma a vapor do metano, é possível estimar a quantidade de hidrogênio contido no biogás por meio do CH_4 . Desta forma a quantidade de metano (mol) constituinte no biogás gerado foi calculada por

meio do volume de biogás total (Equação 6), considerando 50; 55; 60; 66; 70% de CH₄ no biogás (Tabela 1) e, pela Constante Universal dos gases ideais. 123

$$Q_{CH_4} = \frac{(Vb.TCH_4).(1000)}{(100).(K)} \quad (6)$$

Onde:

Q_{CH₄}: Quantidade de matéria de CH₄ (mol); Vb: Volume total de biogás produzido (m³);

T_{CH₄}: Variação do percentual do metano no biogás (m³);

K= Const. Universal dos Gases ideais (L).

A Constante Universal dos gases ideais é dada em varias unidades. Porém, quando estes gases estão em condições normais de temperatura e pressão (273 K e a 1atm) assumem a medida em litros (L). Ou seja, cada mol de gás ocupa 22,4 L no espaço (volume molar para gases).(Brownet al., 1997). A quantidade de hidrogênio contido no biogás foi estimada por meio da Equação 7, considerando os resultados obtidos na Equação 6, multiplicado pela razão molar do processo de reforma a vapor do metano (Tabela 2) e pela constante dos gases ideais.

$$V_{H_2} = (Q_{CH_4} . Rm . K)(7)$$

Onde:

V_{H₂} = Volume de H₂ convertidos (L);

Q_{CH₄} = Quantidade de metano (mol);

Rm= Razão molar média obtido via reforma a vapor H₂/CO;

K= Constante dos Gases ideais (L).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no levantamento de dados, pode-se observar na Tabela 3, a estimativa do potencial de produção de biogás na região oeste do Paraná e o volume de metano que poderia ser produzido após purificação do biogás para apresentar teores de CH₄ e CO₂ em torno de 95% e 4%,respectivamente.

O estudo aponta que cada cidade torna-se um caso particular, uma vez que a produção dos gases citados depende diretamente da quantidade de animais existentes no local, sendo possível designar as cidades onde seria economicamente viável a produção do gás H₂. Os potenciais de produção de CH₄ e H₂ da região oeste do Paraná podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 3. Total estimado de Plantel animal, quantidade estimada de dejetos, potencial de produção de biogás e média de metano a partir dos dejetos produzidos no oeste do Paraná

Espécie	Plantel animal	Dejetos (Kg.animal.dia ⁻¹)	Volume de biogás (m ³ . dia ⁻¹)	Média de volume metano (CH ₄) (m ³ . dia ⁻¹)	Média de volume superior (CH ₄) (m ³ . dia ⁻¹)	Média de volume inferior (CH ₄) (m ³ . dia ⁻¹)
Bovinos de Corte	1.179.232	11.792.320	383.250	181.897	204.420	159.373
Bovinos de Leite	313.968	3.139.680	118.366	73.032	82.075	63.989
Suínos	2.229.805	5.128.550	193.993	119.306	136.183	102.428
Ovinos	102.493	92.244	4.264	2.132	-	-
Aves	16.939.321	3.049.078	81.309	50.818	53.696	47.940
Total	20.764.819	23.201.872	781.182	427.185	476.374	373.730

Tabela 4. Média do potencial de produção de metano e volume de hidrogênio convertido para o biogás

Espécie	Média de volume metano (CH ₄) (m ³ . dia ⁻¹)	Média do volume de hidrogênio convertido (m ³ . dia ⁻¹)	Média superior do volume de hidrogênio convertido (m ³ . dia ⁻¹)	Média inferior do volume de hidrogênio convertido (m ³ . dia ⁻¹)
Bovinos de Corte	8.120.381	483.845	543.757	423.933
Bovinos de Leite	3.260.347	194.265	218.319	170.210
Suínos	5.326.147	317.353	362.247	272.459
Ovinos	95.172	5.671	-	-
Aves	2.268.659	135.176	142.832	127.519
Total	9.070.706	1.136.310	1.267.155	994.121

Com base no levantamento realizado, a região oeste do Paraná possui um potencial de geração de biogás de aproximadamente 780.000 m³.dia⁻¹, o que corresponderia a uma produção de cerca de 430.000 m³.dia⁻¹ de CH₄. Existem alguns arranjos estabelecidos na região que configuram cenários promissores para a geração concentrada de biogás com transporte na forma de mini gasodutos e centrais de purificação e uso como é o Condomínio de AgroenergiaAjuricaba localizado no município de Marechal Cândido Rondon. O condomínio possui capacidade para geração de 728 m³.dia⁻¹ de biogás (319 mil m³.ano⁻¹), com composição após purificação, de 95 % de CH₄, 4 % de CO₂ e teores de H₂S entre 50 e 100 ppm, gerando 800 kWh/dia de energia elétrica, através de um grupo gerador operando com motor a combustão interna (ciclo Otto) adaptado a biogás. (Itaipu, 2014).

Neste caso, para o biogás dessulfurizado, a reforma catalítica a vapor é a tecnologia de reforma que se mostra mais eficiente para obtenção do gás H₂. O hidrogênio produzido pode então ser aplicado em células a combustível para geração de energia, onde seu grau de pureza necessário varia conforme a célula utilizada. (Hytron, 2014).

Para o caso citado anteriormente, a célula a combustível tipo HTPEM, é a mais indicada para tal função, uma vez que não há necessidade de utilização de H₂ com elevado grau de pureza, devido ao emprego de elevadas temperaturas de operação. (Hytron, 2014).

Neste cenário, algumas cidades apresentaram maior potencial na produção do hidrogênio em relação a cada matriz considerada no estudo, como podem ser observadas na Figura 2 (a), (b), (c), (d), (e), (f) e Tabela 5.

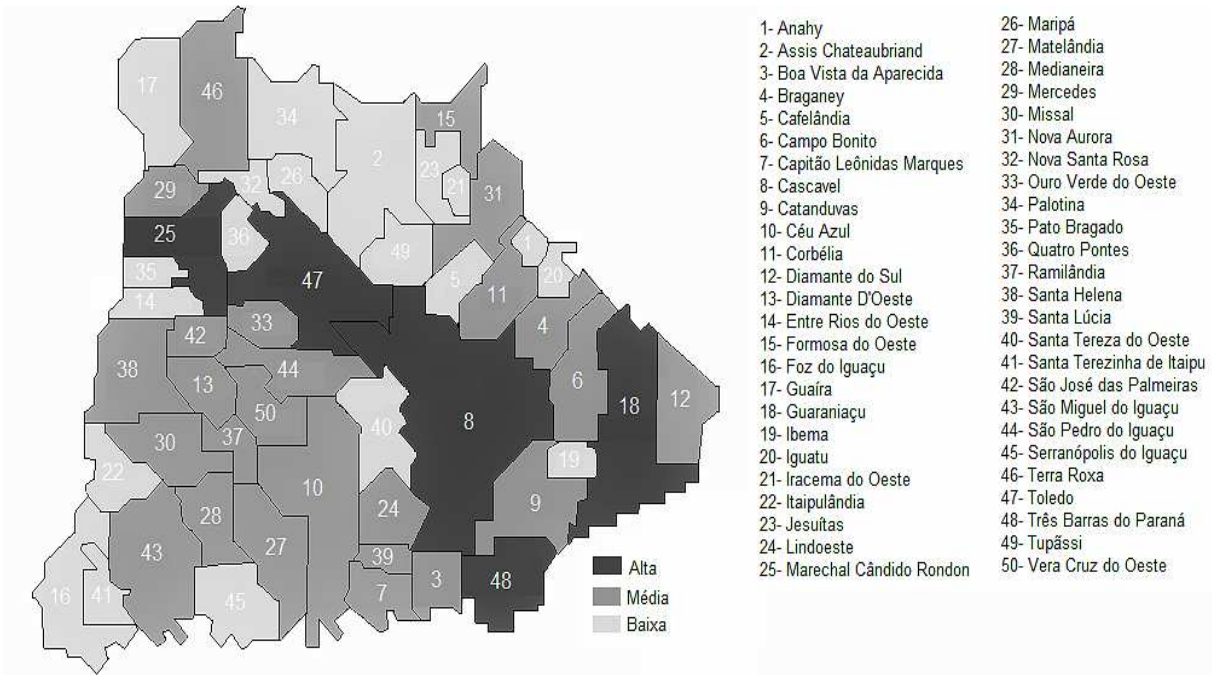


Figura 2(a). Capacidade de produção de H₂ – Bovinos de corte

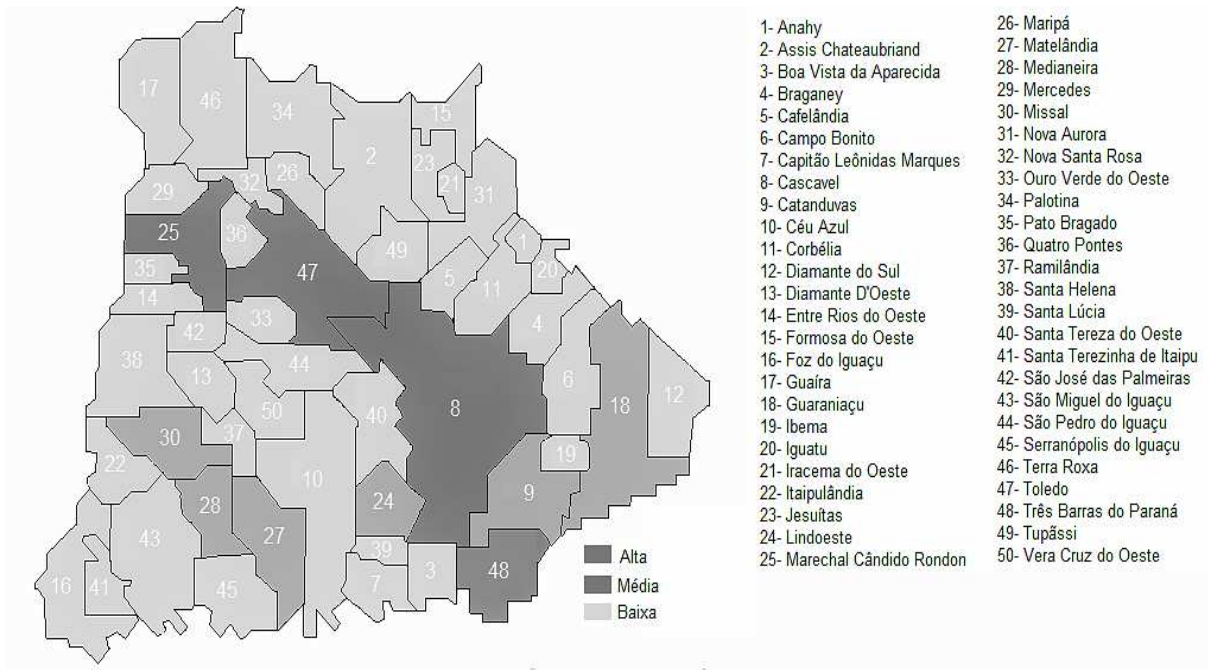


Figura 2(b). Capacidade de produção de H_2 – Bovinos de leite

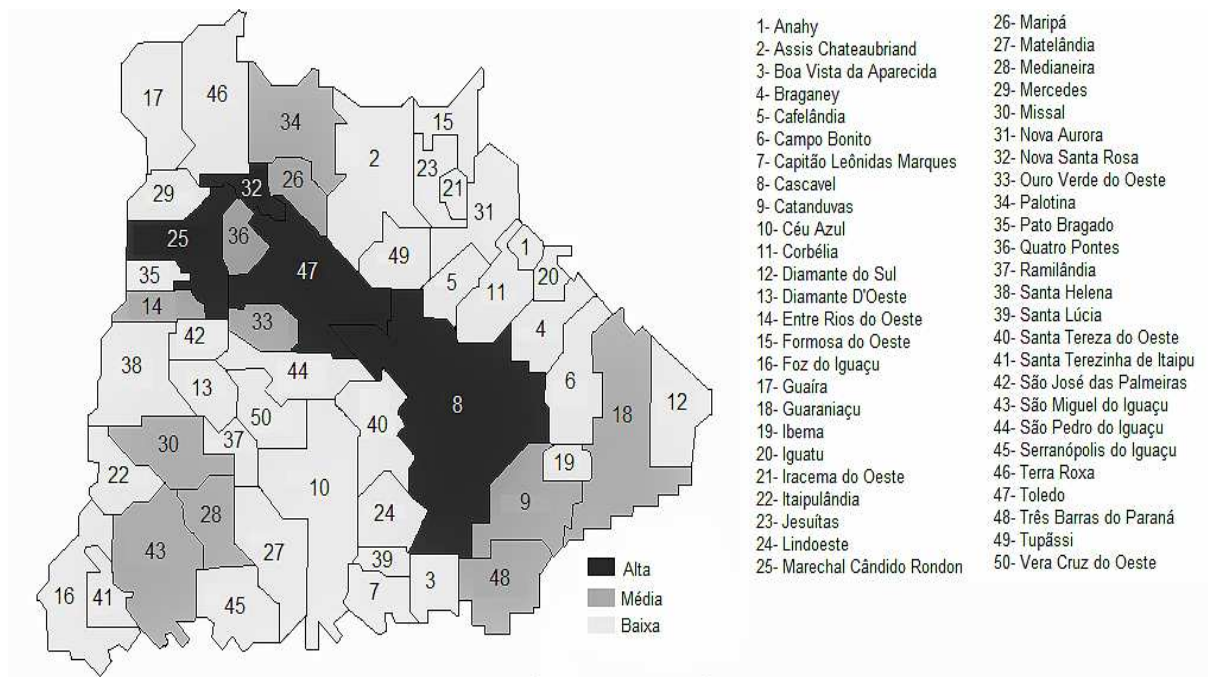


Figura 2(c). Capacidade de produção de H_2 – Suínos

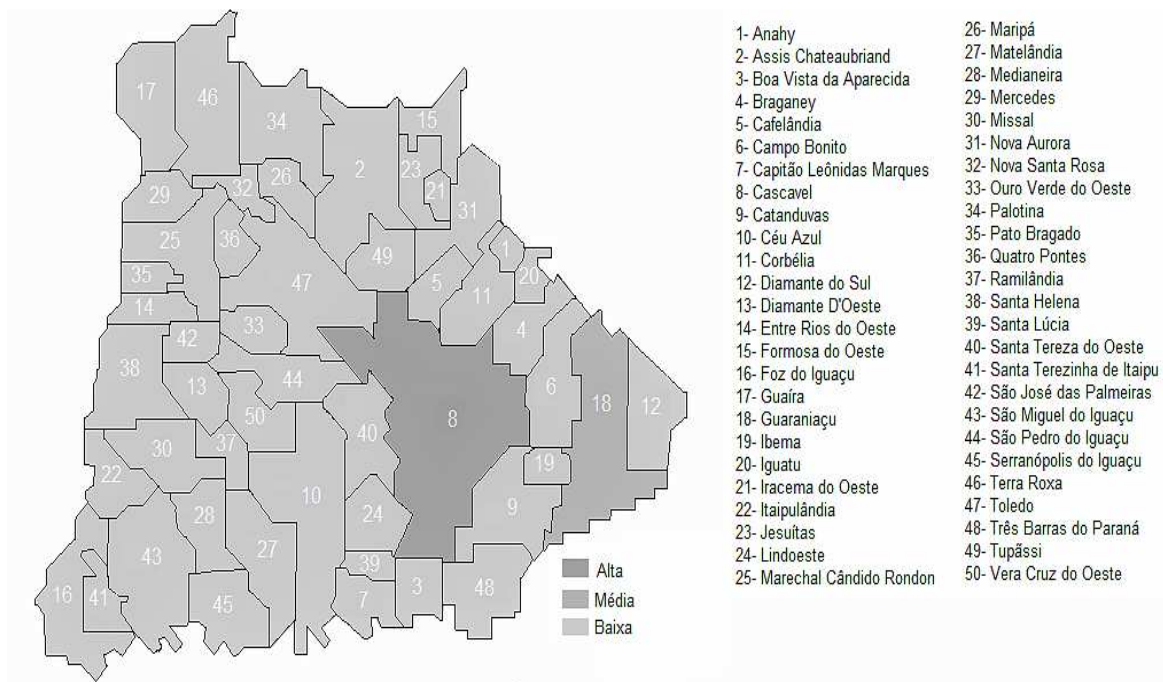


Figura 2(d). Capacidade de produção de H₂ – Ovinos

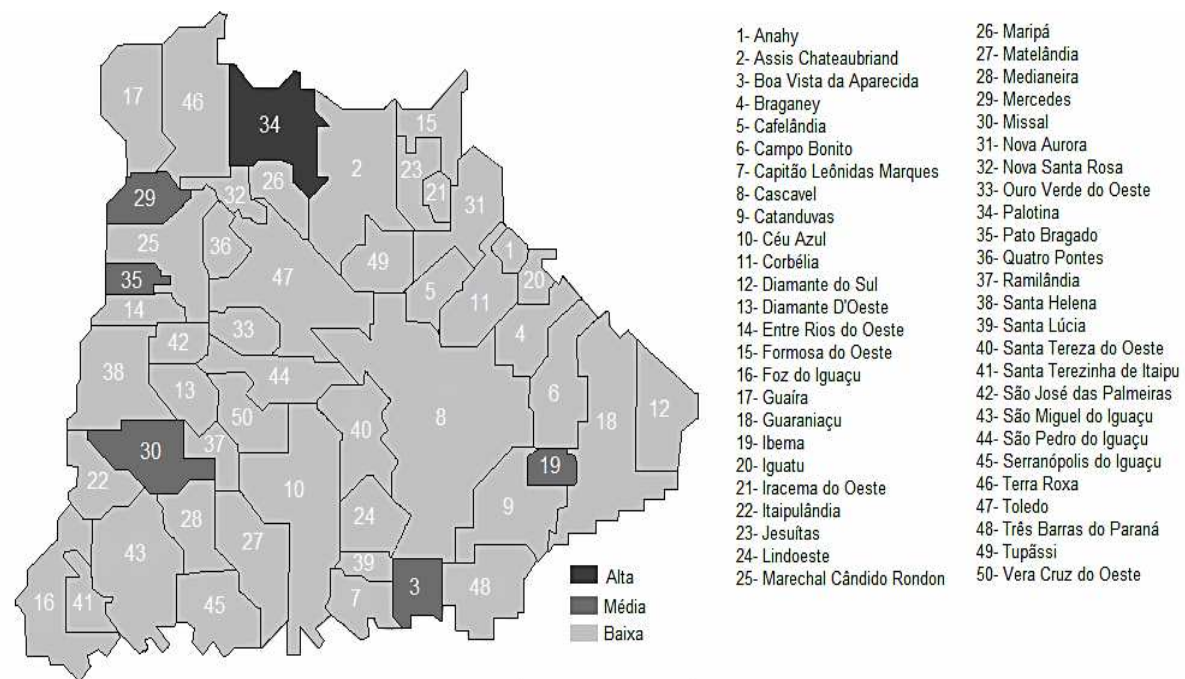


Figura 2(e). Capacidade de produção de H₂ – Aves

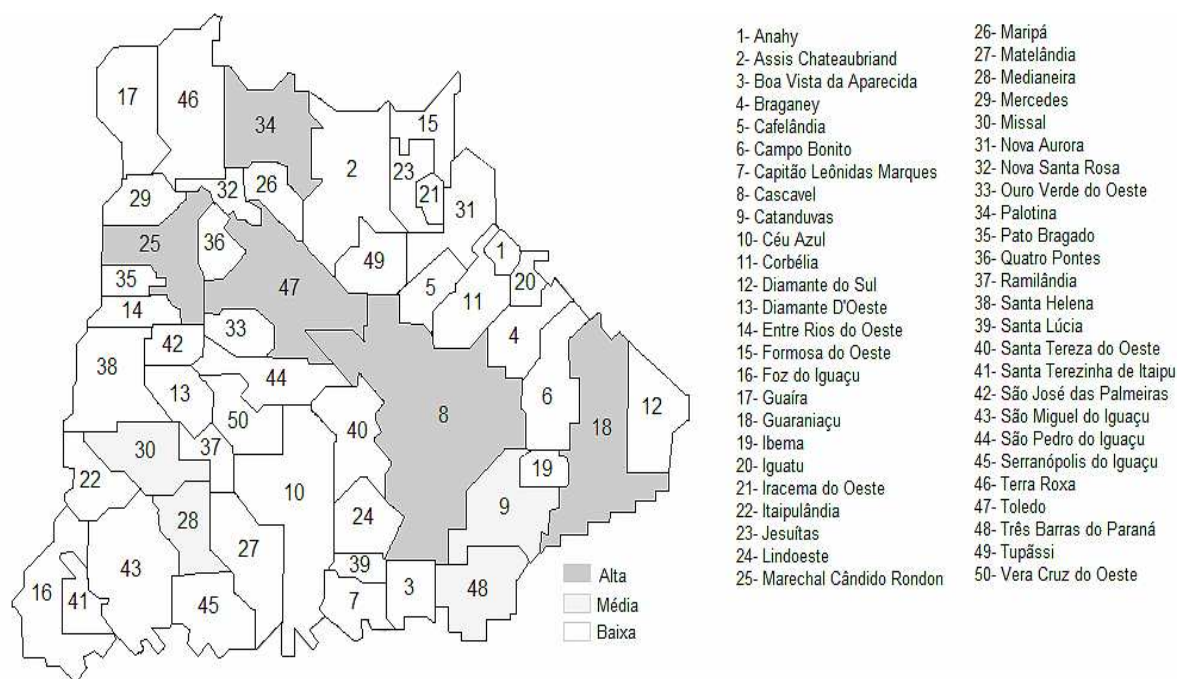


Figura 2(f). Capacidade total de produção de H₂ no oeste do Paraná

Tabela 5. Média das cidades com maior potencial estimado de produção de hidrogênio a partir do biogás na região oeste paranaense

Espécie	Média de hidrogênio convertido (m ³ .dia ⁻¹)				
	Cascavel	Guaraniaçu	Marechal Cândido Rondon	Toledo	Palotina
Bovinos de Corte	36.817	57.935	20.343	18.972	-
Bovinos de Leite	11.916	-	13.242	12.210	-
Suínos	13.155	-	47.080	64.752	-
Ovinos	13.039	-	-	-	-
Aves	-	-	-	-	48.423
Total	74.927	57.935	80.665	95.934	48.423

Com base na tabela 5 e figuras 1, 2 e 3 é possível calcular a quantidade de energia elétrica que seria produzida nestas cidades. Segundo Hytron (2014), 1 kWh pode ser gerado a cada 0,73 m³ de hidrogênio. Assim, a quantidade de energia produzida diariamente a partir de cada variável analisada neste estudo, pode ser calculada considerando a média do volume de H₂ convertidos (m³.dia⁻¹) e a capacidade teórica de geração de energia de uma célula HTPEM (1 kWh/0,73 m³), como observa-se na Tabela 6.

Tabela 6. Média do potencial de produção de kWh/dia a partir do H₂, proveniente do plantel de bovino de corte e leite, suínos, aves e ovinos produzido nas cidades com maior potencial de produção do oeste paranaense

	Cascavel	Guaraniaçu	Marechal Cândido Rondon	Toledo	Palotina
Total hidrogênio convertido (m³.dia⁻¹)	74.927	57.935	80.665	95.934	48.423
Total de kWh.dia⁻¹	102.639	79.363	110.500	131.416	66.332

Assim, a capacidade teórica de geração de energia elétrica destas cidades (como indicado pelo tom de cinza escuro na Figura 2 (f)), seria de 490.250 kWh.dia⁻¹.

Da mesma maneira, por meio da Tabela 7, pode-se observar o potencial teórico de geração de energia elétrica em todo o oeste paranaense.

Tabela 7. Média do potencial de kWh/dia produzido a partir do H₂, proveniente do plantel de bovino de corte e leite, suínos, aves e ovinos na região oeste doparanaense

Espécie	Média de kWh.dia ⁻¹	Média superior de kWh.dia ⁻¹	Média inferior de kWh.dia ⁻¹
Bovinos de Corte	662.801	744.872	580.730
Bovinos de Leite	266.116	299.067	233.164
Suínos	434.730	496.228	373.231
Ovinos	7.768	-	-
Aves	185.172	195.660	174.683
Total	1.556.587	1.735.827	1.361.808

Portanto, seria possível produzir 1.556 MWh.dia⁻¹ em todo o oeste paranaense, o que representa 17 % de todo o consumo diário da região (9.161 MWh.dia⁻¹) no ano de 2012. (Ipardes, 2014).

CONCLUSÃO

O presente trabalho identificou que, quando somada à energia elétrica capaz de ser produzida a partir de dejetos animais provenientes da atividade pecuária de somente cinco municípios da região oeste do Paraná (Figura 2 (f)), seria possível atender à demanda do município de Marechal Cândido Rondon. Este por sua vez, já possui um exemplo prático de melhor aproveitamento do biogás, como citado anteriormente, a Linha Ajuricaba tornou-se referência no assunto, despertado maior interesse por pesquisas e investimentos na área.

Da mesma forma, a tecnologia de célula a combustível que melhor se adequa a esta fonte de H₂, é a HTPEM. Assim, com o elevado potencial de produção de hidrogênio no oeste do Paraná, pode-se produzir 1.556 MWh.dia⁻¹, o que representa 17 % de todo o consumo diário da região (9.161MWh.dia⁻¹)no ano de 2012.

No entanto, um dos maiores problemas enfrentados hoje ainda é o elevado custo para a produção do gás H₂ e também das células a combustível. Paralelamente, a falta de arranjos locais de produtores é um fator limitante para viabilizar a implantação de condomínios de agroenergia, que por sua vez são essenciais para garantir retorno ao investimento em novas tecnologias.

Vale destacar que este estudo inicial não levou em conta uma série de variáveis inerentes aos processos de obtenção do biogás e de reforma do metano, tais como: sazonalidade na produção do biogás, energia gasta pelos próprios equipamentos, dentre outras, sendo necessários futuros estudos mais aprofundados envolvendo este tema.

REFERÊNCIAS

- ALVES, H. J., BLEY, C. J., NIKLEVICZ, R. R., FRIGO, E. P., FRIGO, M. S., ARAÚJO, C. H. C. Overview of hydrogen production technologies from biogas and the applications in fuel cells. *International Journal of Hydrogen*, vol. 38, ed. 13, p. 5215-5225, 2013.
- ÁVILA-NETO, C. N., DANTAS, S.C., SILVA, F. A., FRANCO, T. V., ROMANIELO, L. L., HORI, C. E., ASSIS, A. J. Hydrogen production from methane reforming: Thermodynamic assessment and autothermal reactor design. *Jornal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 1, Ed. 6, p. 205-215, 2009.
- BLEY, C. B. Jr. et al. *Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas*,

- socioeconômicas e ambientais. Foz do Iguaçu / Brasília: Itaipu Binacional, Editora: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik, 2009.
- BRAGA, L. B., SILVEIRA, J. L., SILVA, M. E. da., TUNA, M. E., MACHIN, E. B., PEDROSO, D. T. Hydrogen production by biogas steam reforming: A technical, economic and ecological analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, p. 166-173, 2013.
- BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. Química: Ciência Central. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1997.
- CAPATAN, D.C; CAPATAN, A; ROSSET, N.R; HARZER, J.H. Análise da viabilidade financeira da produção de biogás através de dejetos de equinos. Custos e agronegócio online - UFRPE - v. 8, n. 4 - Out/Dez - 2012. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero4v8/Bio%20gas.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2013.
- COLATTO, L., LANGER, M. Biodigestor – Resíduo Sólido Pecuário para Produção de Energia. *Unoesc & Ciência – ACET*, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2011.
- HYTRON - Energia e Gases Especiais. Disponível em: <<http://www.hytron.com.br/>>. Acesso em: 20/03/2014.
- ITAIPU Binacional. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/>>. Acesso em: 08 dez. 2014.
- IPARDES. *Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social*. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2012/index.html/>. Acesso em 08 dez. 2014.
- MARTÍNEZ, I., ROMANO, M. C., CHIESA, P., GRASA, G., MURILLO, R. Hydrogen production through sorption enhanced steam reforming of natural gas: Thermodynamic plant assessment. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol 38, Issue 35, p. 15180-15199, 2013.
- NOGUEIRA, R. G.S. ; JUNIOR, J. de L.; BRANCO, P. M. P. ; FERREIRA, L. M. S.; JUNIOR, F. P. ; PINEDO, L. Caracterização Qualitativa e Potencial de Produção de Metano do Biogás de Dejetos de Bovinos Confinados em Biodigestores - *III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal*, 2013.
- OYAMA, S. T., HACARLIOGLU, P., GU, Y., LEE, D. Dry reforming of methane has no future for hydrogen production: Comparison with steam reforming at high pressure in standard and membrane reactors. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol 37, Issue 13, p. 10444-10450, 2012.
- SANTOS, E. L. B. dos., JUNIOR, G. de N. Produção de Biogás a partir de Dejetos de Origem Animal. *Tekhne e Logos*, Botucatu, SP, v. 4, n. 2, Agosto, 2013, ISSN 2176 –4808.
- SCHUCH, S. L. *CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA: Potencial de Disseminação na Atividade Agropecuária*. 51 f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia na Agricultura)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Cascavel, 2012.