



ANÁLISE COMPARATIVA DO BIOGÁS: PROCESSO EM BIODIGESTORES E DE ATERRO SANITÁRIO

Raimar Barbosa Santos

Universidade Salvador, Brasil
rai.engenharia@hotmail.com

Ana Katerine de Carvalho Lima

Universidade Salvador, Brasil
ana.lobato@pro.unifacs.br

RESUMO

Os combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás natural, representam as principais fontes de energia no mundo, no entanto, são finitas e não renováveis. Além disso, a queima destas fontes de energia geram, sobretudo, poluição ambiental, chuvas ácidas e a degradação da camada de ozônio. Por conta disso, atualmente, busca-se cada vez mais alternativas energéticas menos agressivas ao meio ambiente e com poder energético satisfatório. Entre as fontes de energia renovável, o biogás, se apresenta como alternativa potencial em substituição ao gás natural, principalmente por reduzir emissões de poluentes atmosféricos. Para tanto, este trabalho tem por objetivo comparar o biogás produzido em aterro sanitário (BA) e o biogás produzido em biodigestores (BD), discutindo o potencial energético e o impacto ambiental entre esses biocombustíveis. Conclui-se, portanto, que o biogás produzido em biodigestores apresenta-se mais atrativo do ponto de vista energético e ambiental, sendo, todavia, mais recomendado para o uso, uma vez que existe a busca por um mundo mais sustentável.

Palavras-chaves: Biogás; Impacto Ambiental; Potencial Energético.

ABSTRACT

Fossil fuels such as oil, coal and natural gas represent the main sources of energy in the world, however, they are finite and non-renewable. Moreover, the burning of these energy sources generate, especially, environmental pollution, acid rain and depletion of the ozone layer. Because of that, today, we seek to increasingly alternative energy less harmful to the environment and satisfactory energy power. Among the sources of renewable energy, biogas is an alternative potential to replace natural gas, mainly by reducing emissions of air pollutants. Therefore, this study aims to compare the biogas produced in the landfill (BA) and the biogas produced in digesters (BD), discussing its energy potential and environmental impact of these biofuels. It follows, therefore, that the biogas produced in digesters is presented, the energy and environmental point of view, more attractive and recommended for use, since the search for a more sustainable world is constant.

Keyword: Biogas; Environmental Impact; Energy Potential.

1 INTRODUÇÃO

As principais fontes de energia do mundo são representadas pelos combustíveis fósseis, tais como petróleo, carvão e gás natural. No entanto, por não serem renováveis, estas fontes de energia são finitas e, portanto, a busca por outras fontes de energia em substituição aos combustíveis fósseis tem se tornado evidente, não só sob o aspecto sustentável, mas também sob o ponto de vista ambiental. Neste contexto, as fontes de energia renováveis como hídrica, nuclear, eólica, fotovoltaica e a proveniente da biomassa (como

lenha, biodiesel e biogás) se apresentam como alternativas potenciais nos âmbitos energético, ambiental e estratégico para substituição dos combustíveis fósseis.

Dentre as matérias-primas utilizadas para produção de combustíveis renováveis, destaca-se a biomassa, visto que o Brasil apresenta vários aspectos favoráveis para a utilização deste tipo de fonte de energia, como sua localização, o clima e a extensão territorial (SANTOS et al., 2014). As fontes de energia da biomassa mais importantes são madeira, resíduos agrícolas, resíduos sólidos, resíduos de processamento de alimentos, plantas aquáticas e alga. Como fonte potencial de energia, a biomassa pode ser convertida em eletricidade ou em combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (VASSILEV, 2010). O biogás apresenta-se como uma das fontes promissoras de energia, principalmente em aplicações desenvolvidas para gás natural. Esse biocombustível apresenta características distintas em função de sua origem, por essa razão surgiu o interesse em fazer uma análise comparativa entre o BA e o BD, sob os aspectos energético e ambiental.

2 BIOGÁS

O biogás é um biocombustível com grande potencial de aplicação, podendo inclusive ter um papel importante no incremento da parcela de energia renovável utilizada no setor dos transportes. Esse biocombustível apresenta excelentes propriedades de combustão, podendo ser utilizado como combustível para veículos, tal como para a produção de energia elétrica e calor (JARDIM, 2015).

Como pode ser obtido a partir de diversos materiais orgânicos e sob diferentes condições de digestão anaeróbica o mesmo poderá apresentar diferentes composições e serem, por exemplo, classificados como BA e BD. A qualidade do biogás produzido é influenciada por variáveis como umidade, acidez, presença de substâncias não combustíveis (CO_2) e corrosivas (H_2S), tamanho de partículas, tempo de disposição dos resíduos e impermeabilidade ao ar (FEITOSA, 2010).

O biogás de aterro é obtido da disposição de resíduos sólidos (lixo) confinados e cobertos por uma camada de terra por um determinado período. Esses resíduos após dispostos em aterros sanitários podem se decompor de duas formas distintas. A primeira, aeróbica, acontece no período de decomposição do lixo no solo, ocorrendo à redução de oxigênio e assim formando a segunda fase, anaeróbica, onde a ação dos microrganismos transformam a matéria orgânica em biogás, chamado biogás de aterro (MONTAGNA, 2013).

O processo de biodigestão anaeróbica consiste na ação de um complexo de cultura mista de microrganismos, capazes de metabolizar carboidratos, lipídios e proteínas com intuito de produzir o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e material celular.

Quando ocorre em condições controladas de processo a biodigestão anaeróbica pode ocorrer em biorreatores biológicos anaeróbicos, chamados de biodigestores. Esses podem ter diferentes configurações como lagoa anaeróbica, reatores anaeróbico de contato e reator anaeróbico de membrana.

O biogás produzido por processo de digestão anaeróbica em aterro sanitário e em biodigestores consistem principalmente na geração de dois gases, metano (CH_4) e o monóxido de carbono (CO_2). Além destes elementos, outros em menor quantidade, também são encontrados: H_2 (hidrogênio), NH_3 (amônia), H_2S (sulfeto de hidrogênio), O_2 (oxigênio), CO (monóxido de carbono), N (nitrogênio) e H_2O (água). O uso de

substratos, tecnologia de fermentação, método de coleta podem afetar sua composição. O potencial energético do biogás é estabelecido em função da quantidade de CH_4 contido no gás, o que determina o seu poder calorífico (MONTAGNA, 2013). Na Tabela 1 estão listadas as composições do biogás de aterro e biogás de biodigestores.

Tabela 1 - Propriedade e composição do BA e BD

Parâmetros	Unidades	Biogás de aterro	Biogás de biodigestor
CH_4	% mol	35 - 60	60 - 70
Hidrocarbonetos pesados	% mol	0	0
H_2	% mol	0 - 3	0
CO_2	% mol	15 - 40	30 - 40
H_2O	% mol	1 - 5	1 - 5
N_2	% mol	15	0,2
O_2	% mol	1	0
H_2S	PPM	0 - 100	0 - 1000
NH_3	PPM	5	0 - 100

Fonte: Sun (2015)

O biogás em condições normais de produção apresenta teor de monóxido de carbono inferior a 0,1%, mas com as impurezas presentes esse percentual aumenta e torna-o tóxico e letal. A baixa densidade faz com que o volume ocupado pelo gás seja significativo, lhe conferindo desvantagens para armazenagem, transporte e utilização. Por se tratar de uma mistura gasosa, o biogás apresenta uma série de impurezas, com destaque para os compostos de enxofre e amoníaco apresentados na Tabela 1. Um dos impactos causados pelas impurezas é a combinação de concentração de sulfeto de hidrogênio e amoníaco, que é corrosiva para diversos materiais, tais como cobre latão e aço podendo se tornar tóxico dependendo das condições de reação com os mesmos (ANDERSON; KARLSSON; EJLETSSON; SVENSSON, 2004; BISHOP, 2004).

Segundo (Ryckebosch et al., 2011) essas impurezas, se não retiradas e/ou tratadas, podem gerar várias consequências, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Impurezas e impactos do biogás

Impureza	Impacto
Água	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em compressores, tanques de armazenamento e motores devido à reação com H₂S, NH₃ e CO₂ formando ácidos; • Acumulação de água nas tubagens; • Condensação e/ou congelamento a pressões elevadas;
Poeiras	<ul style="list-style-type: none"> • Atascamento devido ao depósito em motores e tanques de armazenamento;
H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em compressores, tanques de armazenamento e motores; • Concentração tóxica de H₂S (>5 cm³/m³) permanece no biogás; • SO₂ e SO₃ são formados quando da combustão, os quais são mais tóxicos que o H₂S e em conjunto com a água provocam corrosão;
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Afeta o poder calorífico inferior;
Siloxanos	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de SiO₂ e micro cristais de quartzo durante a combustão; • Depósito em velas de ignição, válvulas e cabeças de cilindros provocando abrasão nas superfícies;
NH ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosivo quando dissolvido em água;
Cl ⁻³	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em motores de combustão;
F	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em motores de combustão.

Fonte: (RYCKEBOSCH et al., 2011)

O tratamento dessas impurezas acontece por meio de vários processos, considerando fatores econômicos, processuais, qualidade e valores pretendidos do biogás (RYCKEBOSCH, 2011).

3 POTENCIALIDADE ENERGÉTICA DOS GASES

Para avaliar e comparar dois biocombustíveis, do ponto de vista energético, é importante inicialmente conhecer suas composições e características como a composição química elementar, composição imediata e principalmente o poder calorífico (LORA et al., 2016).

A composição química elementar é a característica técnica mais importante de um combustível, sendo, portanto, composto em porcentagem de massa de carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N), umidade (W) e material residual ou cinzas (A). Essa análise é importante para avaliação do processo de combustão dos gases e determinação do poder calorífico.

Já a composição imediata de um combustível é o conteúdo em porcentagem de massa de carbono fixo (CF), voláteis (V), umidade (W) e cinzas (A).

A fração mássica de carbono fixo (CF) representa o carbono sólido da biomassa resultante no processo de pirólise depois da liberação dos voláteis, excluindo a quantidade de cinzas e umidade. O carbono da biomassa é decorrente da fixação fotossintética de CO₂. Como o carbono fixo depende do material volátil, ele não pode ser determinado diretamente (PACIONI, 2013).

Os voláteis (V) têm um papel importante durante a ignição e as etapas iniciais de combustão dos gases, sendo, portanto, liberados quando o combustível é aquecido, exceto a umidade. Por ter uma quantidade

elevada de voláteis, os biocombustíveis são de fácil ignição (PACIONI, 2013).

A umidade é muito relevante para o desempenho da conversão térmica, portanto, é a característica principal no que tange ao desempenho energético dos gases. É a primeira a ser analisada. O aumento do teor de umidade diminui o poder calorífico, torna necessário o projeto de equipamentos maiores e causa dificuldades na manutenção (PACIONI, 2013).

E por fim, as cinzas que estão associadas aos resíduos sólidos inorgânicos remanescentes da oxidação completa da biomassa. A quantidade total de cinzas é muito variável, podendo ser entre 1 %, para o caso da madeira, até 40 % para resíduos agrícolas, por exemplo. A matéria inorgânica presente nas cinzas desempenha um papel muito importante na utilização adequada da biomassa como combustível (GARCIA et al., 2012). Neste trabalho, foi analisado o poder calorífico entre os gases (Tabela 3).

Tabela 3 - Poder calorífico inferior

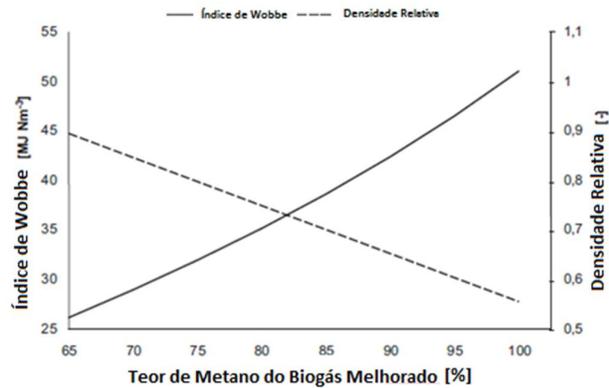
Parâmetros	Unidades	Biogás de aterro	Biogás de biodigestores
Poder calorífico	Mj/Nm ³	16	23

Fonte: Sun (2015)

O poder calorífico é a quantidade de energia liberada durante a combustão completa da unidade de massa (1 kg) ou unidade de volume (1 m³) do combustível, podendo ser medida em MJ/Nm³, kJ/kg, kcal/kg, kJ/m³, kcal/m³. Portanto, observa-se na Tabela 3 que o poder calorífico do BD é maior que o poder calorífico do BA. O poder calorífico superior (PCS) é quando se considera o calor latente de vaporização do vapor de água gerado pela reação de combustão durante a queima do combustível com o ar seco. Já o poder calorífico inferior (PCI) não considera o calor latente de vaporização do vapor de água na combustão. Entretanto, em instalações industriais, geralmente a temperatura dos gases de saída é maior que a temperatura de condensação, portanto o calor latente não é possível de ser recuperado. Devido a esta consideração, o PCI é mais aplicado para os cálculos de rendimento e viabilidade econômica (FRANCISCO, 2012).

Para aumentar o poder calorífico do biogás é necessária a redução da concentração de CO₂ que interfere na densidade relativa e, por consequência, no índice de Wobbe, ver Figura 1.

Figura 1 - Aumento de metano durante o tratamento do biogás



Fonte: Hagen (2016)

Com o aumento do poder calorífico, a densidade diminui e o índice de Wobbe aumenta. Após o tratamento pode-se conseguir um biogás com 95 – 97% de CH₄ e 1 – 3% CO₂.

4 TECNOLOGIA DE CONVERSÃO DO BIOGÁS

O processo de conversão do biogás em energia pode ser efetuado por diferentes tecnologias. O conceito desta conversão é transformar energia química contida nas moléculas do gás em energia mecânica por um processo de combustão controlada (COELHO, 2016).

As tecnologias comumente utilizadas na geração energia elétrica com biogás são: motores de combustão interna de ciclo Otto e microturbinas a gás (MACEDO, 2016).

O princípio de funcionamento do motor de combustão interna acontece em quatro tempos: aspiração da mistura ar-combustível, compressão no interior dos cilindros, combustão por centelha e emissão dos gases. É o mais utilizado com relação aos demais por apresentar maior rendimento elétrico, baixo custo de investimento e facilidade de operação. A principal desvantagem é representada pelas elevadas emissões de NO_x e CO (MELO, 2014). Cabe salientar que estes motores devem ser adaptados para utilização do biogás.

Nas microturbinas a gás, o ar aspirado é forçado para seu interior à alta velocidade e pressão, onde é misturado ao biogás e queimado na câmara de combustão. A combustão resulta em gases quentes e o calor dos gases de exaustão pode ser aproveitado para aquecimento do ar de combustão. São equipamentos que apresentam um investimento inicial maior, alto custo de operação e manutenção, além de necessitar de um sistema de limpeza do rígido do biogás, quando comparadas aos motores de combustão interna (MELO, 2014).

5 IMPACTOS AMBIENTAIS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

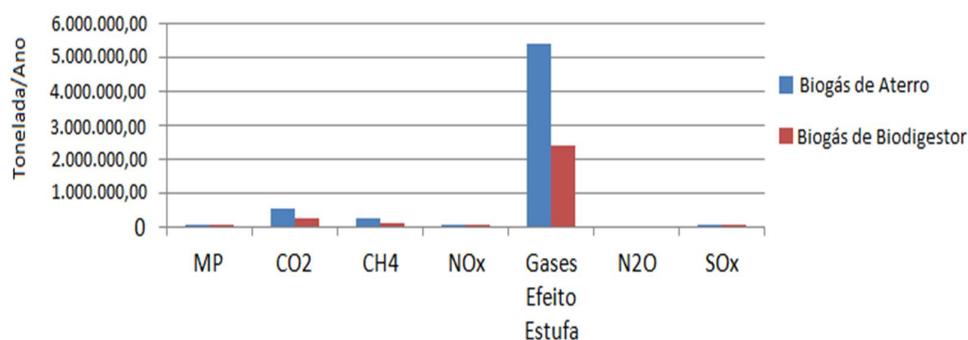
A poluição do ar tem sido um tema extensivamente pesquisado nos últimos anos, o que se caracteriza, portanto, como um fator de grande importância na busca da preservação do meio ambiente e na implementação de um desenvolvimento sustentável, pois seus efeitos afetam de diversas formas a saúde humana, os ecossistemas e os materiais (FRANCISCO, 2012). Em razão disso, vem se discutindo e buscando substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energia renováveis, por emitirem, em sua combustão, menores poluentes atmosféricos. Assim, grande parte destes poluentes atmosféricos, como: dióxido de carbono (CO_2), vapor d'água, metano (CH_4), óxido nitroso (NO_x), material particulado (MP), óxido de nitrogênio (N_2O) e óxido de enxofre (SO_x), entre outros, vem sendo lançados na atmosfera. O aumento da concentração destes gases favorece a absorção da energia solar na terra elevando a temperatura. Mesmo tendo menores níveis de degradação atmosférica comparado aos fósseis, a queima do biogás também gera grande parte de poluentes. Na Tabela 4 e na Figura 2 são apresentados os agentes poluidores e o volume lançados na atmosfera para cada tipo de biogás.

Tabela 4 - Emissões atmosférica (ton/ano)

Emissões atmosféricas	MP	CO_2	CH_4	NO_x	Gases efeito estufa	N_2O	SO_x
Biogás de aterro	9,91	543.949,02	232.327,58	349,97	5.422.831,54	0,01	33,99
Biogás de biodigestores	3,92	251.211,74	102.584,67	613,83	2.405.457,9	0,10	15,38

Fonte: Chaves (2016)

Figura 2 – Emissões atmosféricas



De acordo com a Tabela 4, o BA apresenta os gases de efeito estufa como o maior contribuidor da poluição ambiental com 5.422.831,54 toneladas/ano em relação às outras características emissoras e até mesmo emissões do BD que indicou 2.405.457,9 toneladas/ano. Pode-se observar também que o BA apresenta

a maior emissão de metano na atmosfera com 232.327,58 toneladas/ano. Além dos gases de efeito estufa e do metano, principais poluidores do meio ambiente, o monóxido de carbono gerado pelo BA é de 543.949,02 de toneladas representando mais de 50% do monóxido de carbono gerado pelo BD.

As emissões desses gases são indesejadas, pois contribui para o aquecimento global, chuvas ácidas, poluição atmosférica e problemas respiratórios, dentre outros. A Tabela 5 mostra detalhadamente os poluentes, as fontes e os efeitos à saúde.

A análise de gases de exaustão é de suma importância para conhecer seus mecanismos de formação e sua concentração no ambiente, melhorando, assim, sua detecção e controle. As quantidades aceitáveis para cada um dos gases de exaustão são fornecidas pela Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 003 de 28 de junho de 1990.

Tabela 5 - Poluentes atmosféricos, suas fontes de emissão e seus efeitos

Poluentes	Fontes	Efeitos sobre a Saúde
Monóxido de carbono (CO)	Veículos e Indústrias	Reduz oxigenação do sangue, causa tontura, afeta sistema nervoso, pulmonar, redução do reflexo e acuidade visual.
Óxido de nitrogênio (NO _x)	Combustão em geral e veículos	Desconforto respiratório, diminuição da resistência e alteração celular.
Óxido de enxofre (SO _x)	Veículos e Indústrias	Inflamação na mucosa das vias respiratórias, aumento de incidência a rinite, faringe e bronquite.
Material particulado (MP)	Veículos e Indústrias	Alergia, asma, bronquite e infecções gripais.
Metano (CH ₄)	Biodegradação e Combustão	Aquecimento global.

Fonte: Ministério do meio ambiente (2016)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto neste presente trabalho conclui-se que os dois tipos de biogás apresentam diferentes composições de acordo como é produzido ou originado, apresentando algumas diferenças em suas composições. Foi observado também o quão é importante realizar limpeza do biogás seja ele produzido de quaisquer origens, a fim de retirar impurezas e atribuir ao energético melhor qualidade no seu uso, principalmente melhorando seu potencial energético. Uma das características do gás, poder calorífico inferior, mostra qual potencial energético, ou seja, energia liberada na queima do gás na geração de energia mecânica ou térmica. Assim sendo, BD apresenta um valor energético 70% maior que o biogás de aterro o que lhe confere maior rendimento. Do ponto de vista ambiental, percebe-se que o BA, em sua queima, é mais agressivo do que o BD tendo somente os poluentes, óxido de nitrogênio (NO_x) e o óxido de Enxofre (SO_x), como indicadores negativos. Desta forma, o BD apresenta-se, do ponto de vista energético e ambiental, mais atrativo e recomendado para o uso.

REFERÊNCIAS

ANDERSSON, F. A.; KARLSSON, ANNA; EJLETSSON, J; SVENSSON, B. Occurrence and abatement of volatile sulfur compounds during biogas production. **Journal of the air & waste management association**, v. 54, n. 7, p. 855-861, 2004.

BISHOP, J. Digester gas unpopular as power fuel. **Water Environment & Technology**, v. 16 n. 7 p. 24-6, 2004.

CHAVES, G.G.; SOARES, R. F.; SEO, M. S. E. Análise comparativa do desempenho ambiental de processos de destinação de resíduos sólidos urbanos com reaproveitamento energético. **Revista InterfacEHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 1, 2015.

COELHO; S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6, 2006, Campinas, SP. **Anais...** Campinas, SP, 2006.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. São Paulo, SP: Universidade Federal de São Paulo, Instituto de Eletrotécnica e Energia, Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2006.

FEITOSA, S. A.; SILVA, F. C.; SILVA, F. G.; SILVA, M. R. Análise da produção e aproveitamento energético do biogás no aterro sanitário da cidade de porto velho-Ro. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 2010, Ilhéus, Brazil. **Anais...** 2010, Ilhéus, Brazil

FRANSCISO, R. P. **Estudo termoquímico da queima de combustíveis em caldeiras usando balanços de energia**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) - Universidade Federal São João Del Rei, Minas Gerais, 2012.

GARCIA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Characterization of spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource Technology**. v. 103, n. 1, p. 249-258, 2012.

HAGEN, M; POLMAN, E; JENSEN, J; MYKEN, A; JONSSON, O; DAHL, A. **Adding gas from biomass to the gas grid**. Final Report, nºXVII/4.1030/Z/99-412, 2001.

JARDIM, C. A. M. **Valorização Econômica do Biogás: Geração Elétrica vs. Produção de Biometano para Injeção na Rede**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Instituto Politécnico Setubal, 2013.

LANTZ, M.; SVENSSON, M.; B. JÖRNSSON, L.; BÖRJESSON, P. The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden: Incentives, barriers and potentials. **Energy Policy**, v. 35, p. 1830-1843, 2006.

LORA, E. E. S.; SOLOMON, K. R. **Análise comparativa da utilização da biomassa com tecnologias convencionais de geração aplicando a eficiência ecológica**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas, SP. **Anais...** 2004, Campinas, SP.

MACEDO, L. V.; JOHNSTON, G; CORDARO, V. M; PÉCOR, V; TOTTI, P; BARBI, F; KRANS, PATRÍCIA; NOJIRI, E. **Manual para aproveitamento do biogás**. Volume I – Aterros Sanitários, 2009. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha12/manual_iclej_brazil.pdf> Acesso em: 10 jun. 2016.

MARCHESIN, D. M; PIRES, G. S; GONÇALVES, G. R. L; RIBEIRO, P. E. M. J; ORTEGA, J. M; KOLTERMANN, P. I. A viabilidade da implantação de biodigestores para geração de energia elétrica na fazenda rancho alegre situada no município de campo grande-MS. In: REUNIÃO ANUAL SBPC, 58., 2006, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina: SBPC/UFSC, 2006.

MELO, R. A.; GRASSI, R. **Avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado no aterro sanitário do município de Francisco Beltrão – PR**. Monografia (Trabalho Final de Curso) do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2014.

MONTAGNA, T. B. **Biogás produzido em aterro sanitário como fonte de energia**. Monografia (Trabalho Final de Curso) – União de Ensino do Sudoeste do Paraná, Paraná, 2013.

Brasil. Ministério da Agricultura e do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>>. Acessado em: 10 jun. 2016.

PACIONI, R. T. **Gaseificação de biochars de bagaço de maçã e de borra de café com CO₂**: Estudo científico. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

RYCKEBOSCH, E.; DROUILLON, M.;VERVAEREN, H. **Techniques for transformation of biogas to Biomethane, Biomass & Bioenergy**, v. 35, n.5, p. 1633-1645, 2011.

SANTOS, H.; JUNGER, D. L.; SOARES, A. B.; **Casaca de Arroz: Uma alternativa promissora**. Orbital: The Electronic Journal of Chemistry. v. 6, n. 4, p. 267 – 275, 2014.

SUN, Q.; LI, H.; YAN, J.; LIU, L.; YU, Z.; YU, X. Selection of appropriate biogas upgrading technology – review of gas cleaning, upgrading and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 51, p. 521 – 532, 2015.

VASSILEV, S; VASSILEVA, C; BAXTER, D. **Trace element concentrations and associations in some biomass ashes**. Fuel, v. 129, p. 292 – 313, 2014.

VASSILEV, S; BAXTER, D; ANDERSEN, L. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, v. 89, n.5, p. 913 - 933, 2010.

VASSILEV, S; BAXTER, D; ANDERSEN, L; VASSILEVA, C; MORGAN; T. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. **Fuel**, v. 94, p. 1 - 33, 2012.