

Produção de energia pela biodigestão anaeróbia de efluentes: o caso da bovinocultura

Caroline Monique Tietz¹, Pedro Rodrigo Hillesheim Soares¹, Kenia Gabriela dos Santos¹

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina. Rua Pioneiro n. 2153, CEP: 85950-000, Jardim Dallas, Palotina, PR.

carol.tietz@hotmail.com, pedrosxe@gmail.com, keniagabriela.santos@gmail.com

Resumo: Em áreas rurais são produzidos, a cada dia, grandes volumes de dejetos de animais em sistemas de confinamento de bovinos. Neste sentido, os biodigestores representam alternativa atraente para tratamento desta matéria orgânica e conversão em biogás e lodo, respectivamente aplicáveis como fonte energética e biofertilizante. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão sobre a biodigestão anaeróbia dos efluentes bovinos, como um processo capaz de garantir a autossustentabilidade energética, diminuir a poluição nos biomas, melhorar a questão sanitária das instalações e propiciar vantagens econômicas com práticas sustentáveis.

Palavras-chave: biogás, biodigestor, sustentabilidade.

Energy production by anaerobic digestion of sewage: the case of cattle

Abstract: Large volumes of animal waste in containment cattle systems are produced in rural areas every day. In this sense, the biodigesters represent an attractive alternative for treatment of organic matter and conversion into biogas and sludge, respectively applicable as an energy source and as a biofertilizer. Thus, the aim of this study was to conduct a review on the anaerobic digestion of cattle waste as a process capable of ensure energy self-sufficiency, reduce biomes pollution, improve the health issue of facilities and provide economic benefits to sustainable practices.

Key words: biogas, biodigester, sustainability.

Introdução

Devido ao crescimento populacional e ao aumento da demanda por produtos de origem animal, a atividade agropecuária no Brasil passou por uma rápida expansão, resultando na exploração intensiva de animais que são agrupados em grande número e, conseqüentemente, em um aumento na geração de dejetos, o que dificulta o seu tratamento e disposição (Amorin et al., 2004).

Paralelamente, percebe-se também, um crescimento do desejo de criação de uma sociedade rural que seja autossuficiente, produzindo praticamente tudo que se requer para

cobrir as necessidades materiais, sobrando excedentes suficientes para serem vendidos ou trocados por recursos essenciais que faltam ao sistema (Castro e Cortez, 1998).

Frente a esses fatos, o governo brasileiro vem criando nos últimos anos programas de fomento, incentivo não só ao uso mais eficiente da energia de vários setores econômicos, mas principalmente na criação de uma diversidade de fontes energéticas renováveis, capaz de propiciar um desenvolvimento mais sustentável no espaço rural, visto que nossa matriz energética é altamente dependente do comportamento dos recursos hídricos (Faria, 2011).

Esse esforço iniciou-se com o Plano Nacional de Agroenergia 2006 – 2011 (2006), apresentando como objetivos o desenvolvimento e transferência de conhecimentos para a produção agropecuária mais sustentável, fomentar a utilização da energia renovável, aumentar a produtividade animal e vegetal, expandir a agricultura voltada à produção energética, agregação de valor, reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE), geração de empregos no campo e diminuir a dependência dos combustíveis fósseis.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), publicado em 2011, o Brasil destaca-se na produção de energia renovável por apresentar uma matriz energética mais limpa, com alta participação de fontes renováveis, que representaram cerca de 45,5% da oferta interna de energia em 2010, todavia 74% dessa matriz está baseada essencialmente na geração hidrelétrica.

O Brasil é um dos poucos países do mundo que conta com condições privilegiadas para o cultivo de biomassa. O biogás, obtido a partir dos dejetos rurais, se apresenta como uma importante alternativa energética, que certamente deverá crescer na matriz energética renovável (Bermann, 2001).

Segundo Lopez et al. (2010), o Brasil vem se configurando como uma potência na produção de energia limpa, pois vem se modernizando e investindo em pesquisas, tecnologias e avanços das políticas públicas, no que se refere a diversificação de fontes energéticas; atração de investidores, fabricantes de equipamentos e projetistas de tecnologias, visando à maximização da eficiência energética tanto no espaço rural quanto urbano.

De acordo com Gliessman (2005), a modernização das atividades rurais das últimas décadas tem se baseado em um processo de emprego de quantidades cada vez maiores de energia na agricultura e pecuária, com o objetivo de aumentar o seu rendimento. Grande parte desse aporte energético agregado em toda a cadeia vem, direta ou indiretamente, de combustíveis fósseis não renováveis, além do fato de que investimos muito mais energia e recursos naturais do que conseguimos de volta com esse alimento.

A bovinocultura brasileira vem sofrendo mudanças significativas, tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo, por todo seu complexo industrial, visando principalmente o abastecimento do mercado com uma carne de qualidade, preço competitivo e ecologicamente correta (Assenheimer, 2007).

O rebanho bovino brasileiro é um dos maiores do mundo. Segundo dados de 2012 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o efetivo nacional de bovinos em 2011 chegou a 212,7 milhões de cabeças, com maiores concentrações no Centro-Oeste, Norte e Sudeste. Entretanto, a atividade da bovinocultura apresenta um grande potencial de externalidades aos ecossistemas e à saúde pública, principalmente no que tange a questão dos efluentes gerados e ao consumo energético na produção de carne e leite, proveniente de fontes não renováveis, gerando a necessidade por parte dos produtores rurais em atuarem conforme as legislações ambientais e normas vigentes das grandes organizações do complexo agroindustrial, no que se refere à busca de soluções estratégicas para a mitigação dos impactos negativos, diminuição dos custos de produção e a cogeração energética no espaço rural (Galinkin e Bley, 2009).

Este trabalho de pesquisa teve como objetivo realizar uma revisão sobre a biodigestão anaeróbia dos efluentes bovinos como um processo capaz de garantir a autossustentabilidade energética, diminuir a poluição nos biomas, melhorar a questão sanitária das instalações e propiciar vantagens econômicas com práticas sustentáveis.

Material e Métodos

Este estudo constitui-se de uma revisão da literatura com o objeto de retratar a biodigestão anaeróbia dos efluentes bovinos como um processo capaz de garantir a autossustentabilidade energética, diminuir a poluição nos biomas, melhorar a questão sanitária das instalações e propiciar vantagens econômicas com práticas sustentáveis (ativo ambiental).

Os trabalhos investigados para a produção deste foram consultados através dos bancos de dados Scielo, Science Direct, Taylor e Francis Online, American Chemical Society, etc. As principais palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram “biogás” e “digestão anaeróbia”.

Resultados e Discussão

Biogás: produção e características

Segundo Faria (2012), o biogás pode ser definido como um produto obtido a partir da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos. Sua composição é a porcentagem de gases, que varia de acordo com o substrato a ser biodigerido, as condições de funcionamento da biodigestão, o tipo de biodigestor a ser utilizado, entre outros fatores.

Na Tabela 1 está descrita a composição média dos gases produzidos a partir da biodigestão anaeróbia.

Tabela 1. Composição da mistura gasosa do biogás

Gases	Intervalo (%)
Metano (CH ₄)	40 – 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 – 40
Hidrogênio (H ₂)	1 – 3
Nitrogênio (N ₂)	0,5 – 2,5
Oxigênio (O ₂)	0,1 – 1
Ácido Sulfídrico (H ₂ S)	0,1 – 0,5
Amônia (NH ₃)	0,1 – 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,1

Fonte: Adaptado de Faria (2012).

O biogás se constitui em uma fonte de energia alternativa e colabora para a redução dos problemas ambientais. É constituído principalmente por metano e dióxido de carbono. A quantidade de biogás produto da decomposição anaeróbia corresponde somente a 2,0 a 4,0% do peso da matéria orgânica utilizada no processo (Mendonça, 2009; Salomon, 2007).

Segundo Teixeira (2001), 0,70 m³ de biogás é equivalente a 1 KWh de energia elétrica e apresenta um poder calorífico entre 5.000 a 6.000 Kcal/m³, porém pode ultrapassar o patamar dos 10.000 Kcal/m³ uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura. A equivalência energética do biogás em relação a outros energéticos é determinada levando em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão.

Observa-se na Tabela 2 a relação entre biogás e outros tipos de combustíveis.

Tabela 2. Comparação entre biogás e outros combustíveis

Combustíveis	1 m³ de biogás equivale a
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 Kg
Álcool hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 Kw

Fonte: Gaspar (2003).

1,428 Kw

Todo esse processo de digestão anaeróbia desencadeia em três fases, ocasionando deslocamento físico e transformações biológicas e químicas (Silva, 2007).

A primeira fase é marcada pelas transformações de substâncias complexas em simples (hidrólise) pela atuação das bactérias aeróbicas e microaeróbicas que irão decompor carboidratos, gorduras e proteínas em matéria orgânica solúvel. Na segunda fase, boa parte dessa matéria orgânica servirá como meio de cultura às bactérias saprófitas (facultativas), que liberaram vários ácidos e produtos de degradação intermediária (CO₂ e H₂O), chamada de fase acidogênica. Por último a fase metanogênica, que transformará esses ácidos, principalmente o ácido acético em: H₂S, H₂O, NH₃ e CH₄. Por sua vez, essa fase exige intenso cuidado, pois as bactérias metanogênicas podem ser afetadas por inúmeros fatores, diminuindo sensivelmente a produção de gás e a diminuição de DQO e DBO (Louzada, 2006; Abreu, 2007; Salomon, 2007; Mendonça, 2009; Faria, 2012).

Dentre os fatores que afetam as bactérias metanogênica pode-se citar:

- Tipos de Resíduos: Quanto maior a porção de sólidos voláteis dos efluentes, maior será a produção de biogás. Os dejetos de animais com estômago simples, como de aves e suínos, produzem mais gases quando comparados com os ruminantes, já que esses apresentam no rumem um processo primário, natural de metanogênese (Comastri Filho, 1981).
- Relação carbono/nitrogênio: De acordo com Prakasan (1989), a relação de carbono para nitrogênio ideal para a maior produção de gás metano está na faixa de 20 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio.
- Temperatura: Apesar de muitos autores terem opiniões diferentes sobre qual é a faixa de temperatura ideal para ocorrer a digestão anaeróbia, a grande maioria concorda que acima de 10 °C o sistema funciona. Conforme Maurer e Winkler (1980) e Nogueira (1986), para otimizar a digestão anaeróbia, dentro da faixa mesofílica, as temperaturas devem se aproximar da faixa ideal de 30 a 35 °C. Grande parte dos

biodigestores são planejados de maneira subterrânea a fim de evitar as drásticas diferenças de temperaturas durante o ano. Estudos mostram que o aquecimento dos efluentes e a agitação mecânica podem também contribuir para a eficiência energética, entretanto ainda se tem poucos estudos sobre o rendimento e viabilidade econômica, principalmente quando se volta aos pequenos e médios criadores de bovinos.

- pH: Alterações no pH do meio afetam sensivelmente as bactérias envolvidas na digestão anaeróbia, podendo apresentar-se de formas variadas, alterando suas estruturas e, portanto, perdendo suas características originais, aumentando ou diminuindo a toxicidade delas. Sendo assim, deve-se buscar uma faixa de pH apropriada que proporcione o desenvolvimento da maior parte dos micro-organismos relacionados ao processo, uma vez que o pH está relacionado às concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, resultante do equilíbrio entre populações de micro-organismos e a alcalinidade total do sistema. Assim, um desequilíbrio no sistema resulta no acúmulo de ácidos orgânicos no meio e logo, queda do pH (Faria, 2012; Pereira et al., 2009). Segundo Fulford (1988), o nível ideal de pH é entre 6 e 8. No início do processo, a formação de ácido orgânico pode reduzir o pH para menos que 7. Então, as bactérias metanogênicas começam a transformar ácidos em produtos gasosos e o pH retorna a um nível próximo do neutro. Em condições de alta acidez, recomenda-se a adição de modificadores de pH para aumentar a produção de metano.

- Materiais tóxicos: A presença de algumas substâncias orgânicas, químicas e/ou físicas pode comprometer o potencial biótico das bactérias responsáveis na produção do metano. Dentre eles estão algumas substâncias e seus limites máximos, com base nos estudos experimentais de Teixeira (2001): cloreto de sódio (4.000 ppm), detergente (20 a 40 ppm), potássio (2.500 a 4.500 ppm), cálcio (2.500 a 4.500 ppm) e magnésio (1.000 a 1.500 ppm), além dos antibióticos, desinfetantes e pesticidas.

Segundo Gonsalves Neto e Carvalho (2010), a frequência diária de defecação pelos bovinos varia muito, desde 2,4 a 15,5 vezes por animal por dia, ocupando uma área também variável, de 0,05 a 0,5 m² por animal por dia.

Oliveira (1993) registrou que a produção média de resíduos líquidos de bovinos de leite é da ordem de 9,4 L por dia e de esterco, de 10 a 15 kg por animal por dia.

Spedding (1971) *apud* Siqueira Junior (2005) relatou que a produção por kg de peso de um bovino, em termos de matéria seca é cerca de 16,4 g de fezes e 1,7 a 7,2 g de urina por

dia, isso considerando que a quantidade de urina varia em função da atividade animal, do consumo de água e da temperatura do ar.

Assenheimer (2007), também mencionou a quantidade de dejetos produzidos por dia por bovinos com peso de 453 kg, sendo 9,1 kg de urina e 23,5 kg de esterco. O mesmo autor citou que a distribuição dos minerais consumidos por vaca em lactação alcança 10% que é retido pelo animal e 90% são eliminados na forma de urina e fezes. Na Tabela 3 observa-se a forma de excreção dos nutrientes ingeridos.

Tabela 3. Forma de excreção dos nutrientes ingeridos

Elemento	Urina (%)	Fezes (%)
N	76-82	18-24
K	70-90	13-30
P	Traços	95+
Mg	30-10	70-90
S	6-90	10-94
Ca	Traços	99

Fonte: Adaptado de Wilkinson e Lowrey (1973).

Segundo Overcash et al. (1983) *apud* Assenheimer (2007), cada gado leiteiro excreta diariamente cerca de 145 g de nitrogênio, 131,5 g de potássio e 42,7 g de fósforo em esterco fresco.

A média anual de esterco produzido por uma vaca de estábulo de 400 kg varia de 11.200 a 11.400 kg, segundo Osaki (1991). O autor ainda relata que os dejetos sólidos (secos) possuem 1,11% de N, 0,68% de P₂O₅, 0,67% de K₂O, 0,72% de CaO e 0,43% MgO.

A característica e o volume de material excretados, via fezes e urina dos animais, varia amplamente em função da qualidade e quantidade de alimento consumido, bem como da necessidade do animal (Siqueira Junior, 2005).

Benefícios da biodigestão anaeróbia

Os biodigestores quando planejados e implantados de maneira eficiente geram inúmeros benefícios aos bovinocultores, vantagens que se tornam mais ou menos interessantes, com base nas características da unidade de produção, volume de dejetos produzidos, necessidade energética e também o grau de eficiências das tecnologias voltadas à produção energética (Faria, 2011). Em termos gerais, a biodigestão anaeróbia traz como benefícios:

- Produção de gás combustível (Paula, 2006).

- Controle de poluição: A resolução nº 20 de 1986, do CONAMA, estabelece os valores máximos para DBO de 60 mg/L e de oxigênio disperso de maior ou igual a 5 mg/L para os efluentes serem lançados em corpos de água. De acordo com Nogueira (1986), a biodigestão anaeróbica é muito eficiente na redução de DBO e DQO, por meio da redução dos sólidos orgânicos, além de remover patógenos em uma ordem de 90%.

- Biossólido: após o processo de estabilização biológica dos efluentes o material sólido, chamado de biossólido, apresenta teores consideráveis de nutrientes na forma de matéria orgânica. Esse biossólido não só contribui para a redução do uso de fertilizantes químicos, como também pode ser utilizado na fabricação de tijolos, matéria-prima na fabricação de ração e ainda na conversão em óleo combustível (Silva, 2004).

- Águas residuárias: A parte líquida resultante do processo de tratamento anaeróbio é também rica em nutrientes e pode ser usada na fertirrigação de forrageiras importantes na alimentação dos animais ou em atividades agrícolas complementares (Mendonça, 2009).

O biogás, obtido pela digestão anaeróbia, pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural, contribuindo para a redução dos custos de produção. No Brasil, os biodigestores rurais vêm sendo utilizados, principalmente, para saneamento rural (BiodieselBr, 2013).

Biodigestores no espaço rural

Para que ocorra o tratamento de resíduos sólidos e efluentes, subprodutos orgânicos da produção rural, torna-se necessário submetê-los a um processamento composto por uma fase anaeróbica, nos chamados biodigestores, durante um determinado tempo de detenção hidráulica, objetivando-se obter a redução da carga orgânica bruta do efluente a partir da ação de micro-organismos especializados, típicos de situações de total ausência de oxigênio (Galinkin e Bley, 2009).

Um biodigestor compõe-se basicamente de uma câmara de fermentação fechada, na qual a biomassa sofre digestão pelas bactérias anaeróbicas, resultando na formação de biofertilizante e produtos gasosos. Em outras palavras, trata-se de um recipiente fechado e vedado, construído de alvenaria, concreto ou outros materiais, no qual é depositado o material orgânico a ser degradado para ocorrer a etapa de fermentação (Neves, 2010).

Quanto ao seu funcionamento, os biodigestores podem ser classificados em contínuos, quando a carga de matéria orgânica for diária, e descontínuos (batelada), quando não há a constância de geração de resíduos ou baixo consumo de gás (Neves, 2010).

Para Teixeira (2001), um biodigestor é considerado rural quando possui uma câmara de fermentação com volume inferior a 100 m³ e processa as matérias-primas (vegetais e dejetos animais) líquidas com elevado teor de sólidos.

O tipo ideal de biodigestor rural depende de vários fatores: qualidade e quantidade de resíduos gerados pelos animais; condições ambientais do local; mão-de-obra qualificada para a construção, manutenção e operações dos biodigestores; distância da fonte de biomassa e o consumo de gás; dimensionamento dos equipamentos, filtros do gás sulfídrico, gasômetro e geradores necessários para suprir as necessidades (Oliveira, 2009).

Tal aparelho, contudo, não produz o biogás, mas oferece as condições propícias para que as bactérias metanogênicas atuem sobre a biomassa, liberando o biogás (Coldebella, 2006).

Existem inúmeros modelos de biodigestores, cada um com sua particularidade, mas todos com o mesmo fim: criar condições anaeróbias para permitir que a biomassa seja degradada. Os modelos indiano, chinês e canadense estão entre os mais difundidos e estudados (Prati, 2010).

O clima tropical, predominante na maior parte do Brasil, favorece os ciclos biológicos que promovem a degradação anaeróbia, sendo em relação à biodiversidade detritívora, quanto das próprias condições climáticas em si, com temperaturas médias anuais que garantem os processos biológicos. Por outro lado, as condições climáticas frias por períodos prolongados em países do Hemisfério Norte reduzem e chegam até a paralisar as atividades dos ciclos biológicos, e também restringem a biodiversidade detritívora, em geral menos intensa que a encontrada no clima tropical, limitando ou pelo menos encarecendo (pois requer energia térmica para ocorrer) o emprego da biodigestão nessas regiões (Galinkin e Bley, 2009).

Geração de energia

A produção de energia elétrica a partir da biomassa, atualmente, é muito defendida como uma alternativa importante para países em desenvolvimento e também outros países, em várias cadeias do agronegócio. O Brasil nos últimos anos vem desenvolvendo uma série de pesquisas e inovações tecnológicas, a fim de transformar a biomassa em uma viável e importante fonte de cogeração energética, tendo como foco: a avicultura, bovinocultura e a suinocultura, almejando a sustentabilidade desses empreendimentos rurais (Galinkin e Bley, 2009).

Segundo Florentino (2003), os biodigestores tem sido alvo de grande destaque tendo em vista a crise de energia no espaço rural e consequente busca por fontes alternativas, ressaltando que os biodigestores são importantes no intenso processo de modernização das empresas rurais, que demandam energia e geram inúmeros resíduos provenientes da criação de animais e de culturas que podem ocasionar sérios problemas ambientais e de ordem sanitária, que por sua vez vem se colocando como a maior barreira as exportações de carne ao grande mercado dos países desenvolvidos.

Para se transformar o biogás em energia elétrica é necessária a utilização de motores de combustão a gás e posteriormente um gerador de energia elétrica. Em alguns casos pode-se utilizar um cilindro de compressão, para garantir a constante vazão e pressão dos gases para o motor. Cabe salientar que para utilização em motores a gasolina é necessário que se faça a conversão para biogás, a mesma deve ser feita por um mecânico e não exige grandes alterações, porém, modelos específicos apresentam melhores rendimentos. Deve-se uma maior atenção na instalação de filtros para o biogás, visto que o mesmo apresenta teores consideráveis de gás sulfídrico e dióxido de carbono que comprometem significativamente a vida útil dos motores, comprometendo a eficiência na cogeração (Faria, 2011).

Geração distribuída

Convencionalmente, a Política Energética Brasileira, assim como todas as políticas mundiais, procura atender às demandas por energia segundo o conceito de energia firme, ou seja, energia na maior quantidade, na melhor qualidade e na máxima estabilidade possível. Isso define opções de geração a partir de grandes empreendimentos e determina empreendimentos centralizados e dotados de alta tecnologia de geração, como é o caso da hidroeletricidade e também a termoeletricidade a carvão, a gás e nuclear (Gaspar, 2003).

No entanto, o sistema convencional pode ser complementado, o que significa aumentar a sua eficiência, por uma modalidade de geração descentralizada de energia conhecida como geração distribuída, que consiste em gerar energia e conectar a rede de distribuição no local aonde a energia será consumida (Trevisan, 2011).

Significa um modelo complementar de geração e distribuição de energia no varejo, que além de viabilizar empreendimentos de geração em micro escalas (abaixo de 1 MW), localizados na zona de carga, ou consumo, evitam-se os custos das linhas e subestações de transmissão. Portanto a geração distribuída proporciona um modelo de geração elétrica descentralizado, oposto diametralmente, mas complementar ao modelo centralizado em vigor e descentralizando este produz também energia de altíssima qualidade e de forma contínua,

mas desconcentrada das operações e desconcentra também os benefícios do desenvolvimento econômico que os empreendimentos de energia são capazes de produzir (Trevisan, 2011).

A geração distribuída, portanto, propõe uma nova perspectiva sobre o modelo do sistema elétrico, que apresenta várias vantagens em relação ao modo convencional (INEE, 2001):

- Viabiliza a eficiência energética regional a partir da sua renovabilidade;
- Adéquam os custos da energia de atividades economicamente críticas;
- Descentraliza a geração viabilizando unidades geradoras de pequeno porte
- Viabiliza o emprego das fontes renováveis disponíveis;
- Fornece energia adequada ao tipo de consumo e;
- Produz amplos efeitos econômicos locais e regionais.

Esta geração começa a vencer as resistências que a mantiveram fora das possibilidades de emprego como metodologia central para viabilizar todas as fontes de energias renováveis, a partir de micro unidades geradoras. Desde o Decreto 5.163 de 2004 instituindo a geração distribuída no Brasil, vários eventos promovidos pela Agencia Nacional de Energia (ANEEL) marcaram a evolução da modalidade, permitindo às pequenas unidades de geração de energia em baixa tensão, conectarem a energia produzida em paralelo às redes oficiais de distribuição (Gaspar, 2003).

Informações do Ministério das Minas e Energia indicam que 15% de toda a eletricidade gerada no País é perdida no transporte. Estima-se que reduzir 10% dessa perda equivaleria à produção de uma usina hidrelétrica do porte da do Rio Madeira. Como a geração distribuída não se utiliza de linhas de transmissão, os benefícios indiretos de sua adoção podem equivaler a estas cifras (Galinkin e Bley, 2009).

Além dos aspectos energéticos que por si a justificariam como uma maneira sustentável de geração, são os aspectos econômicos os que mais consolidam esse conceito. E ainda em termos regionais, há os aspectos microeconômicos, com a irrigação das economias locais, como serviços de planejamento/projetos, instalações, manutenção e outras; comércio de equipamentos, geradores, motores, painéis de comando, peças de reposição e outros; além de todo o segmento industrial relacionado (Galinkin e Bley, 2009).

Considerações Finais

O emprego energético do biogás, a partir dos dejetos bovinos apresenta inúmeros benefícios e aplicabilidades, quando bem planejado e executado dentro dos parâmetros

técnicos e econômicos, conforme as características peculiares de cada unidade de produção e o devido controle dos fatores ambientais. Os custos de produção de biogás e geração de energia à atividade rural em questão estão diretamente relacionados à quantidade de biogás que se produz e ao investimento destinado à construção do biodigestor, motores e geradores.

Em relação ao tempo de retorno do investimento, torna-se atrativo com a intensificação do uso do sistema, porém seria interessante também que o excesso de energia gerado nas propriedades pudesse ser comercializado com as concessionárias e lançado na rede elétrica.

Referências

ABREU, E.F. **Estudo da diversidade microbiana metanogênica em reatores UASB tratando esgoto sanitário**. 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

AMORIN, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, v.24, n.1, p.16-24, 2004.

ASSENHEIMER, A. **Tratamento de dejetos bovinos em sistema intensivo de produção de leite com aeração mecânica**. 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Marechal Cândido Rondon, 2007.

BEN. **Balço Energético Nacional 2012 – Ano Base 2011**. Brasília: Elaborado pelo MME – Ministério de Minas e Energia e pela EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2012. 53p.

BERMANN, C. **Energia no Brasil: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável**. São Paulo: Editora Livraria da Física, FAESE, 2001. 99p.

BIODIESELBR. **Biogás**. 2013. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas.htm>. Acesso em: 03 jun. 2013.

CASTRO, L.R.; CORTEZ, L.A.B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.97-102, 1998.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2006.

COLDEBELLA, A.; SOUZA, S.N.M.; FERRI, P.; KOLLING, E.M. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Revista Informe Gepec**, v.12, n.2, p.44-55, 2008.

COMASTRI FILHO, J.A. **Biogás: independência energética do Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: Editora Embrapa, 1981. 53p.

CONAMA. **Resolução Conama nº 20, de 18 de junho de 1986**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res2086.html>. Acesso em: 03 jun. 2013.

FARIA, R.A.P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso**. 2012. 63p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FARIA, R.L.A geração de energia pela biodigestão anaeróbica de efluentes: o caso da suinocultura. **Revista Online Complexus – Instituto Superior de Engenharia Arquitetura e Design – CEUNSP**, Salto, ano 2, n.3, p.28-43, 2011.

FLORENTINO, H.O. Mathematical tool to size rural digesters. **Revista Ciência Agrícola**, Piracicaba, v.60, n.1, 2003.

FULFORD, D. **Running a biogas program: a handbook**. London: Intermediate Technology Publications, 1988. Disponível em: <http://ebookbrowse.net/running-a-biogas-programme-handbook-1988-pdf-d310046417>. Acesso em: 24 nov. 2012.

GALINKIN, M.; BLEY, C. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2 ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009. 140p.

GASPAR, R.M.B.L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase à agregação de valor: um estudo de caso da Região de Toledo – PR**. Florianópolis: UFSC, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2003. 106p.

GLIESSMAN, S. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 658p.

GONSALVES NETO, J.; CARVALHO, J.A. Comportamento eliminatório de ruminantes. **Revista Nutritime**, artigo 112, v.7, n.3, p.1225-1242, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=2&z=t&o%20=24&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1>. Acesso em: 28 out. 2012.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Notas sobre geração distribuída**. Julho de 2001. Disponível em: http://www.inee.org.br/down_loads/forum/Notas%20sobre%20GD.pdf. Acesso em: 05 jun. 2013.

LOPEZ, A.; ATTUY, G.; PALUDETTO, H. Energia Renovável Avança na Matriz. **Análise Energia**. São Paulo: Editora Análise Editorial, 3º ed., 2010. p.15-26.

LOUZADA, A.G. **Avaliação da atividade metanogênica específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes do sistema UASB + BFs**. 2006. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2006.

MAURER, M.; WINKLER, J.P. **Biogas Theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen**. Karlsruhe: Verlag C.F. Müller, 1980. 142p.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2012**. ed. rev. Brasília: Embrapa, Informação: Tecnológica, 2006. 110p.

MENDONÇA, E.F. **Tratamento anaeróbio de efluentes oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular**. 2009. 62p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2009.

NEVES, V.L.V. **Construção de biodigestor para a produção de biogás a partir da fermentação de esterco bovino**. 2010. 56p. Trabalho de Graduação (Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade Tecnológica de Araçatuba, Araçatuba, 2010.

NOGUEIRA, L.A.H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Editora Nobel, 1986. 93p.

OLIVEIRA, P.A.V. (coordenador). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA Documentos, 1993. 188p.

OLIVEIRA, R.D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. 79p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.

OSAKI, F. **Calagem e adubação**. 2 ed. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991. 503p.

PAULA, A.N. **Biogás: o combustível do futuro**. 2006. 62p. Monografia (Pós-Graduação *LatoSensu* em Fontes Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras - Departamento de Engenharia, Lavras, 2006.

PEREIRA, E.L.; CAMPOS, C.M.M.; MONTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água**, v.4, n.3, p.157-168, 2009.

PRAKASAN, K; CARVALHO, R; FILHO, J.V; PERAZZO NETO, A. **Tecnologia do biogás**. Arca: UFPB, 1984. 94p.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. 2010. 83p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SALOMON, K.R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade.** 2007. 219p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007.

SILVA, V.R.O. **Efeito de antibióticos utilizados em suinocultura sobre a digestão anaeróbia de efluentes.** 2007. 99p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SILVA, W.T.L. **Método de aproveitamento biossólido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia.** Relatório técnico. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 50p.

SIQUEIRA JUNIOR, L.A. **Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira.** 2005. 93p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

TEIXEIRA, V. **Biogás.** Universidade Federal de Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

TREVISAN, A.S. **Efeitos da geração distribuída em sistemas de distribuição de baixa tensão.** 115p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WILKINSON, S.R.; LOWREY, R.W. Cycling of mineral nutrients in pasture ecosystems. Ed. **Chemistry and biochemistry of herbage.** London, Academic Press, v.2, p.247-315, 1973.

Recebido para publicação em: 10/07/2013

Aceito para publicação em: 05/09/2013