



GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ANIMAIS

A. P. Andrade Filho *^{1,2}

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

²UNIUBE – Mestrado Profissional em Engenharia Química

Resumo - O presente artigo tem o intuito de realizar uma explanação do processo de geração de energia elétrica através do biogás, desde a caracterização do substrato, seu processamento através dos processos de biodigestão anaeróbia, pré-tratamento, análise da disponibilidade da matéria prima, e dos índices de qualidade do biogás requeridos para o emprego no processo de geração de energia elétrica, de acordo com as normatizações e legislações vigentes no país.

Palavras-Chave – Geração de energia elétrica, Biogás, cogeração de energia.

GENERATION OF ELECTRICITY WITH BIOGAS FROM ANIMALS WASTES

Abstract - This article aims to explain the process of generating electricity using biogas since the substrate characterization, its processing through anaerobic biodigestion processes and pre-treatment of the substrate, analysis of the availability of the raw material and the indexes quality of biogas required for use in the electric power generation process in accordance with the regulations and legislation in force in the country.

Keywords – Generation of electricity, Biogas, energy cogeneration.

I. INTRODUÇÃO

Existe no Brasil grande oportunidade para a geração de energia elétrica a partir do Biogás, em especial quando o substrato é proveniente de resíduos animais, uma vez que o Brasil apenas no que tange a criação de bovinos, de acordo com senso realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e divulgado em Setembro de 2019 é o país com o maior rebanho comercial do mundo com cerca de 213,5 milhões de animais.

A conversão dos resíduos orgânicos oriundos da atividade agropecuária, muitas vezes descartados de forma insustentável, pode se tornar um diferencial competitivo para a economia brasileira, além de contribuir para a redução dos GEE (Gases de Efeito Estufa) os quais são nocivos ao meio ambiente.

Fatores adicionais como altas tarifas de energia elétrica, e a indisponibilidade de energia elétrica em algumas regiões do país carentes de investimento no setor, abriram espaço para que em especial o setor agropecuário e em particular criadores de animais para corte e leite, investissem em geração própria, uma vez que os mesmos já possuem a disponibilidade da matéria prima que é eliminada em forma de dejetos orgânicos pelos animais da propriedade.

A fim de fomentar esta demanda, há no país diversos incentivos financeiros à disposição dos produtores rurais, alguns inclusive por meio de programas do governo federal como o PROGER (Programa de Geração de Emprego e Renda), e linhas de financiamento pelo próprio BNDES para a geração de energia elétrica distribuída.

Como grande parte do biogás é composto por metano (CH₄) isso lhe confere características de alto poder calorífico, podendo ser utilizado como fonte de energia para a geração de energia elétrica, térmica e na produção de biometano e gás carbônico (CO₂) (GEHRING, C. G, 2014).

Apesar do processo de degradação da matéria prima ocorrer de maneira natural no meio ambiente, com tecnologias adequadas, como os biodigestores, a biodigestão anaeróbia pode ser utilizada para o tratamento de resíduos sólidos e líquidos, pois há um processo de reciclagem e recuperação desses materiais, que acaba por produzir, além do biogás, uma parte líquida digerida, conhecida como digestato.

Características do local onde é produzido o biogás, como temperatura e umidade influenciam de maneira significativa a qualidade e volume de produção do gás, a homogeneidade do substrato também é fator de alta relevância uma vez que alguns tipos de bactérias não se adaptam tão bem em substratos heterogêneos.

O correto manejo desta tecnologia aliado a estudos de eficiência por diversas instituições de pesquisa do setor no Brasil e no mundo, tem possibilitado aos produtores otimizarem a produção do biogás e conseqüentemente elevarem a produção de energia elétrica que poderão tornar o Brasil no futuro um dos maiores geradores de energia elétrica oriunda de resíduos animais do mundo.

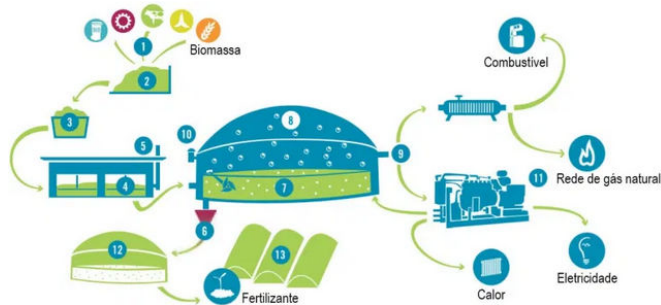
II. REFERENCIAL TEÓRICO E ANÁLISE DOS DADOS

O processo de produção e aproveitamento energético do biogás envolve, basicamente, as seguintes etapas: pré-

*sonney.engenharia@gmail.com

tratamento do substrato; digestão anaeróbia no biodigestor; armazenagem, tratamento e valorização do digestato; tratamento, armazenamento e transporte de biogás; aplicação do biogás na geração de energia elétrica e/ou calor; e, produção, armazenamento e transporte de biometano.

Figura 01 – Cadeia de produção e uso do Biogás



Fonte: CIBiogás(2019)

Na primeira etapa do processo o substrato ou biomassa é acumulado em tanques ou vasos, sendo encaminhadas para os processos de lavagem e pré-tratamento, à seguir a biomassa passa por filtros para redução de odores e para sanitização, e então encaminhada para o biodigestor, dentro do mesmo o biogás é produzido e armazenado, onde seu caminho de saída se dá pelo tubo de alimentação da linha de gás, ou pela saída de emergência na parte superior do biodigestor.

O processo de degradação da matéria orgânica escolhido neste estudo foi o anaeróbico, que é um processo mediado pela ação microbiana, por meio da atividade conjunta de vários grupos de células anaeróbias, em diferentes níveis tróficos, que convertem matéria orgânica complexa em gases e lodo sem a presença de oxigênio.

Figura 01 – Biodigestor tipo Lagoa Coberta com utilização de bactéria anaeróbica



Fonte: CIBIOGÁS, 2019

A escolha do processo de degradação anaeróbico em relação ao processo aeróbico, apresenta diversas vantagens como a aplicabilidade em pequena escala, baixo consumo de energia, produção de metano com elevado teor calorífico, tolerância a elevadas cargas orgânicas, baixa produção de sólidos, sendo que nos processos aeróbicos a produção pode chegar a dez vezes o volume de sólidos, o que tornaria o sistema menos eficiente.

O composto de gases proveniente desse processo é chamado de biogás, sendo constituído principalmente por

metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), contendo também pequenas quantidades de hidrogênio (H₂), amônia (NH₃) e outros gases em menor quantidade (GEHRING, C. G,2014).

Para que haja eficiência na produção de biogás, o primeiro passo é conhecer as características dos substratos que podem ser utilizados e analisar as possibilidades de misturas e melhoria do potencial de produção de biogás, no caso do presente artigo o substrato considerado são as fezes dos bovinos e suínos. O segundo passo é preparar esse substrato para que o processo ocorra com mais eficiência dentro do biodigestor, o que chamamos de pré-tratamento do substrato.

CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DAS ESPÉCIES ANIMAIS

É de suma importância conhecer os substratos que serão utilizados, pois a sua composição irá influenciar a escolha do biodigestor, manejo a ser adotado e também a eficiência do biodigestor na geração de biogás.

O que define o potencial de produção de biogás é a concentração de sólidos voláteis (SV), que está relacionado à fração biodegradável do substrato que será efetivamente transformado em biogás, já os sólidos totais (ST), indicam a quantidade de matéria orgânica e mineral no substrato.

O potencial máximo de produção de metano de um substrato pode ser dado em metros cúbicos de metano por quilo de sólidos voláteis (m³ CH₄.kgSV⁻¹) ou em metros cúbicos de metano por quilo de substrato (m³ CH₄.kg.Substrato⁻¹).

Tabela 01 – Características dos substratos da pecuária

	Substratos	ST (%)	SV/ST (%)	m ³ CH ₄ .kgSV ⁻¹	m ³ CH ₄ .kg substrato ⁻¹
Pecuária	Dejetos de bovino de leite (com restos de ração) ¹	8,5	85	0,193	0,014
	Dejetos de bovino ²	8-11	75 - 82	0,12 - ,3	0,012 - 0,018
	Dejetos de suíno ²	7	75 - 85	0,2 - 0,45	0,025 - 0,030
	Esterco de galinhas ²	32	63 - 80	0,15 - 0,27	0,042 - 0,054

Fonte: REGO, HERNANDEZ, 2006.

Vale salientar a importância de se entender que esses parâmetros são gerados em laboratório, onde o ambiente é controlado e monitorado, e podem variar muito conforme as características da atividade produtiva e da região onde o substrato é produzido, bem como o tipo de alimentação que é fornecido aos animais.

Tabela 02 – Capacidade de geração de biogás de reatores UASB e BCL para dejetos de suínos

Geração de biogás	Qualidade do biogás				Potencial de produção	
	(m ³ .d ⁻¹)	H ₂ S (ppm)	CO ₂ (%)	CH ₄ (%)	(m ³ biogás.kg.SV ⁻¹)	(m ³ CH ₄ .kg.SV ⁻¹)
UASB escala piloto ⁸	0,69	189	25	74	1,56	1,15
UASB ⁹	0,83	124	21	76	1,43	1,09
BCL ¹⁰	0,32	322	29	67	0,31	0,21
BCL ¹¹	0,21	536	34	62	0,33	0,20

Fonte: REGO, HERNANDEZ, 2006.

O tipo de biodigestor utilizado também irá influenciar na quantidade de biogás gerado, além de outros fatores como temperatura, índice de homogeneidade do substrato e o PH. Os reatores mais indicados são o UASB – Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente; e BCL - Biodigestor do tipo Lagoa Coberta. É importante manter a uniformidade na característica

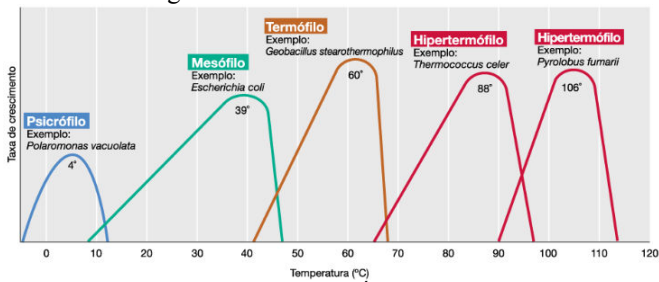
do substrato e das condições físico-químicas durante o processo de biodigestão anaeróbia, para que os organismos se reproduzam e cresçam. O substrato é o "alimento" para os micro-organismos poderem metabolizar, e, assim, reproduzir novas células (anabolismo) e produzir energia (catabolismo) para o seu crescimento. Os principais fatores abióticos que influenciam a produção de biogás são: presença de oxigênio no ambiente; temperatura; potencial de hidrogênio (pH); alcalinidade; sulfato; acidez; tamanho das partículas; produção e consumo de ácidos orgânicos; e nutrientes.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS

Ainda na fase inicial do processo o substrato deve ser encaminhado ao biodigestor através de processos que permitam retirar partículas grandes ou inertes, triturar, aquecer, misturar entre outros processos afim de garantir uma maior eficiência no processo de geração do metano e redução do tempo de produção.

O fator temperatura em especial é bastante crítico pois os processos anaeróbicos, como muitos outros sistemas biológicos, são fortemente dependentes da temperatura, pois a velocidade de reação dos processos biológicos depende da velocidade de crescimento dos micro-organismos e, por sua vez, da temperatura do meio. Para a atividade microbiana, são, normalmente, consideradas três faixas termais de temperatura: *psicrófilo*, *mesófilo* e *termófilo*. Dentro de cada faixa de temperatura, existe um intervalo para o qual ocorre a máxima taxa de crescimento, que é a determinação da temperatura ótima em cada uma das faixas de operação.

Figura 03 – Relações entre temperatura e crescimento de micro-organismos de diferentes classes térmicas



Fonte: CIBIOGÁS, 2019

Tabela 03 - Faixa termal e tempo de retenção típico na digestão anaeróbia.

Micro-organismo de acordo com a classe termal	Mínimo (°C)	Ótimo (°C)	Máximo (°C)	Tempo mínimo de retenção
Psicrófilos	4-10	15-18	20-25	70-100 dias
Mesófilos	15-20	25-35	35-45	30-60 dias
Termófilos	25-45	50-60	75-80	15-20 dias

Fonte: LA FARGE (1979)

Os micro-organismos produtores de gás metano apresentam um crescimento máximo na faixa *mesófila* e na faixa *termófila*, mas, no geral, são mais sensíveis às flutuações de temperatura do que outros micro-organismos no processo, a escolha da temperatura de operação depende de fatores econômicos e operacionais, assim prefere-se a utilização de temperaturas mesófilas.

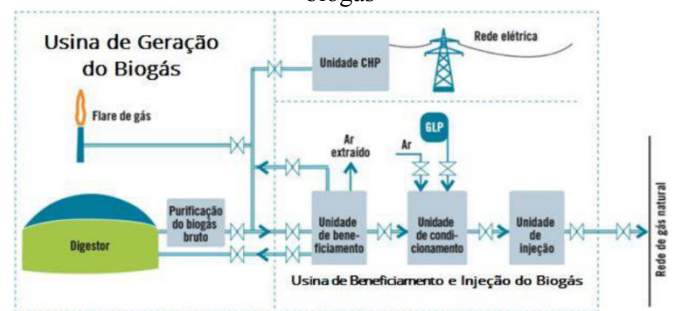
TRATAMENTO PARA RETIRADA DE IMPUREZAS

Como o biogás é composto inicialmente por uma variedade de gases gerados no processo de degradação da matéria orgânica, se faz necessário o processo de tratamento para determinadas finalidades de sua utilização.

Dependendo da aplicabilidade do gás produzido, o mesmo poderá ser usado nas condições em que é gerado ou deverá passar por tratamento antes de sua utilização. Esse tratamento geralmente consiste na remoção da umidade, redução de H₂S e remoção de sólidos suspensos, e caso for destinado para uso como combustível ou comprimido em cilindros de pressão, o tratamento consistirá, principalmente, na separação do metano e do dióxido de carbono, além da retirada de componentes gasosos indesejáveis (H₂S, NH₃ e vestígios de outros gases).

Para fins de utilização em geração de energia elétrica o biogás deve atender à parâmetros de qualidade estipulados pelos órgãos reguladores e fabricantes de geradores elétricos.

Figura 04 – Fluxograma dos processos de tratamento do biogás



Fonte: CIBIOGÁS, 2019

O tratamento do biogás para adequação a geração de energia elétrica consiste basicamente na retirada de elementos não combustíveis que reduzem a eficiência na conversão de energia, tais como umidade, CO₂ (dióxido de carbono) e H₂S (sulfeto de hidrogênio).

Tabela 04 – Principais gases que compõem o biogás

Gás	Sigla	Concentração o no Biogás (%)	Poder calorífico (kWh.kg ⁻¹)	
			Inferior	Superior
Metano	CH ₄	50 - 80	13,88	15,40
Dióxido de carbono	CO ₂	20 - 40	-	-
Hidrogênio	H ₂	1 - 3	33,29	39,40
Nitrogênio	N ₂	0,5 - 0,3	-	-
Sulfeto de hidrogênio e outros	H ₂ S, CO e NH ₃	1 - 5	4,22; 2,8 e 5,16	4,58; 2,8 e 6,23

Fonte: COLDEBELLA, 2006; REGO, HERNANDEZ, 2006.

Fonte: COLDEBELLA, 2006; REGO, HERNANDEZ, 2006.

Tabela 06 – Características do gás após a Purificação

Parâmetros	Purificação	Refino	Purificação + Refino
	Concentração		
Metano (CH ₄)	66%	99%	94%
Dióxido de Carbono (CO ₂)	33%	0,80%	5%
Oxigênio (O ₂)	0,70%	0,08%	0,70%
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	0-100 ppm	0 ppm	0 ppm
Hidrogênio (H ₂)	191 ppm	6 ppm	0 ppm
Ponto de Orvalho		-66°C	
Eficiência na remoção de CO ₂		97,41%	87%
Eficiência na remoção de H ₂ S	98,50%	100%	100,00%

Fonte: COLDEBELLA, 2006; REGO, HERNANDEZ, 2006.

CAPACIDADE ENERGÉTICA DO BIOGÁS

A utilização do biogás como recurso energético se deve ao metano, quando puro em condições normais de pressão (1 atm), tem um poder calorífico inferior de 9,9 kWh/m³. O biogás com um teor de metano entre 50 e 80% terá um poder calorífico entre 4,95 e 7,92 kWh/m³ (COLDEBELLA et al, 2006).

Em outro estudo, Santos (2000) estipula que 1 m³ de biogás equivale a 6,5 kWh de energia elétrica, e considerando a eficiência dos sistemas de cogeração variando entre 30 e 38%, a correspondência seria de 2,0 a 2,5 kWh/m³, o que está bem próximo dos resultados encontrados no estudo realizado por Coldebella et al (2006) que foram de 32,3% de eficiência em cogeneradores e 2,1 kWh para 1m³.

Na tabela abaixo é possível avaliar o potencial energético do Biogás frente a outros materiais combustíveis:

Tabela 05 – Comparação entre biogás e outros combustíveis

Combustíveis	1m ³ de Biogás equivale à:
Gasolina 0,98 litros	Gasolina 0,98 litros
Álcool 1,34 litros	Álcool 1,34 litros
Óleo cru 0,72 litros	Óleo cru 0,72 litros
Gás Natural 1,50 m ³	Gás Natural 1,50 m ³
Carvão 1,51 m ³	Carvão 1,51 m ³
Eletricidade 2,21 kWh	Eletricidade 2,21 kWh

Fonte: FARRET (1999)

TECNOLOGIAS PARA A GERAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA

A transformação do motor para a utilizar exclusivamente o biogás ou o gás natural, é chamado de *ottolização*, e inclui a execução de uma série de alterações mecânicas visando a otimização de seu funcionamento com o gás combustível.

Os motores de *Ciclo Otto* foram especialmente desenvolvidos para operar a gás e funcionam sob o princípio dos motores Otto. Esta tecnologia é a mais utilizada atualmente e seu funcionamento ocorre a partir da mistura de ar com o combustível no cilindro do motor, onde ocorre a explosão devido à ignição e compressão da mistura. A força da explosão é transferida ao pistão, que por sua vez desce e sobe em um movimento periódico. Esse movimento é transformado em movimento rotativo e ligado ao eixo do gerador (MACHADO, 2014).

Os motores *com ignição a compressão* trabalham sob o princípio do motor a Diesel. Nem sempre são utilizados motores especialmente desenvolvidos para a combustão de gás, o que exige que sejam adaptados, modificando alguns componentes (*ottolização*), dentre eles: remoção da bomba injetora, inserção de carburador e um sistema de ignição por centelha, redução da taxa de compressão, entre outros.

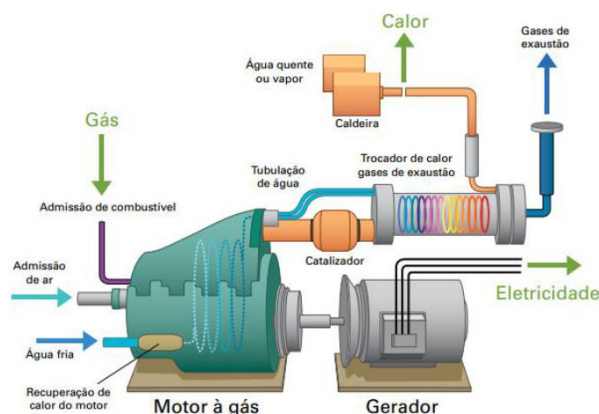
Os motores de *combustão interna* por sua vez, são motores térmicos que tem por finalidade transformar energia calorífica em energia mecânica, através da queima de combustível e vapor dentro de um cilindro (ALMEIDA, 2016).

Nesse caso, o biogás é utilizado como combustível em um motor de combustão interna para movimentar um gerador de energia elétrica – Grupo Motor Gerador.

As microturbinas a gás (Ciclo Brayton), são motores de combustão interna que transformam energia química em energia mecânica, sendo compostas por três grupos de elementos: os compressores, o combustor e as turbinas.

O *compressor* comprime o ar para dentro da câmara de combustão, onde o biogás é injetado. Dentro da câmara é formada uma mistura de gases em alta pressão explosiva. A queima do biogás, a pressão constante, eleva a temperatura da câmara e provoca uma reação em cadeia com as novas misturas de combustível (biogás) e oxigênio injetados.

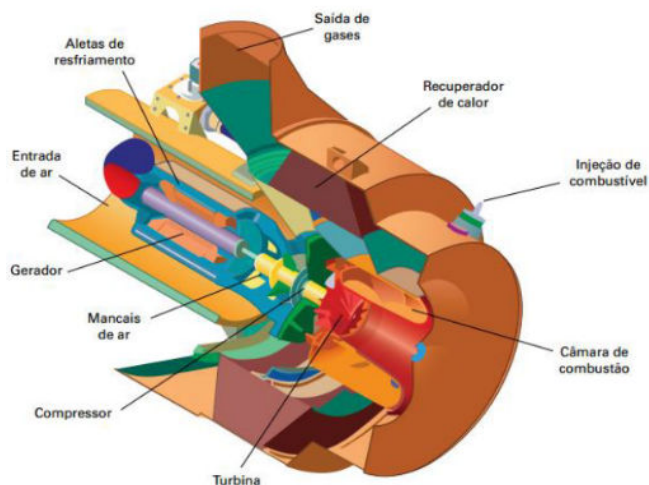
Figura 05 - Esquema de utilização de um motor de combustão interna



Fonte: GEHRING, 2014

A expansão dos gases liberados pela queima do combustível movimenta as *turbinas*, devido a diferença de pressão interna e externa. Essa energia mecânica pode ser transformada em energia elétrica, quando há um gerador acoplado à turbina (GEHRING, 2014)

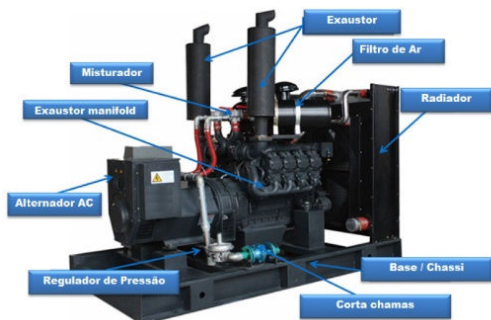
Figura 06 - Esquema de utilização



Fonte: GEHRING, 2014

A tecnologia mais utilizada, principalmente para plantas de biogás de pequena e média escala, são os motores de combustão interna, especificamente ciclo Otto, pois as plantas são de escalas menores que 500 kW. Já o uso de turbinas a vapor se viabiliza em usinas acima de 20 MW.

Figura 07 – Gerador elétrico à biogás

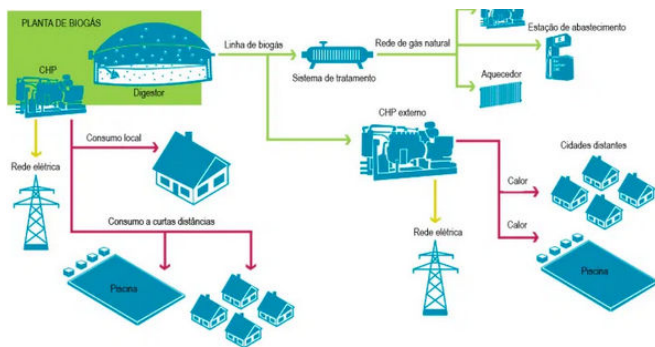


Fonte: CIBIOGÁS, 2019

COGERAÇÃO

É o processo de geração coincidente de calor e energia elétrica e/ou mecânica, ou a recuperação de calor rejeitado para a produção de potência. Quando a energia disponibilizada pelo combustível é primeiramente aproveitada para a geração de energia elétrica e/ou mecânica, e em seguida para o aproveitamento de calor útil chamamos de Topping, mas quando o primeiro aproveitamento da energia disponibilizada pelo combustível se dá para o aproveitamento de calor útil e em seguida a energia residual do vapor é utilizada para a geração de energia elétrica e/ou mecânica classificamos esse processo de Bottoming.

Figura 08 – CHP (Combined Heat and Power Plant) – Usina combinada de calor e energia elétrica.



Fonte: CIBIOGÁS, 2019

III. RESULTADOS DE ANÁLISE E DISCUSSÃO

Um bovino adulto urina, em média, 8 a 12 vezes e defeca 11 a 16 vezes por dia. Em cada evento produz 1,6 a 2,2 litros de urina e 1,5 a 2,7 kg de fezes, o que cobre áreas de 0,28 e 0,09 m², respectivamente (Mathews & Sollenberger, 1996).

Sendo assim, podemos ilustrar de maneira pragmática que um único animal bovino, produzindo em

média 45 kg de dejetos por dia, geraria dejetos suficientes para gerar biogás, que por sua vez transformado em energia elétrica conseguiria manter acesa 01 lâmpada de 90W dezoito horas por dia. A tabela abaixo relaciona a média de dejetos diária do animal, o potencial de geração de metano considerando 0,012 m³ por Kg de dejetos, e o equivalente em energia elétrica (Kwh), considerando uma eficiência do gerador de 30%.

Tabela 07 – Energia em kwh/dia por animal (* Fezes + Urina)

Animal	Dejeto [kg/dia]	Metano [m3/dia/animal]	Energia [Kwh/dia]
Suínos matrizes	16	0,19	0,56
Bovino de leite	45	0,54	1,61

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020

$$\text{Energia [Kwh]} = 0,090 \text{ Kw} \times 18 \text{ horas} = 1,62 \text{ Kwh}$$

Durante 30 dias a geração total seria de 48,30 Kwh.

SISTEMA DE COMPENSAÇÃO ENERGÉTICA

A energia elétrica gerada a partir do biogás pode ser enquadrada como Geração Distribuída (GD), pois a partir do dia 1º de março de 2015, entrou em vigor a Resolução Normativa 687 da Anatel, que tem como objetivo aprimorar o que foi estabelecido na resolução 482 de 2012, tornando possível instalar pequenas usinas geradoras, como as microturbinas eólicas, geradores de biomassa e de energia solar fotovoltaica.

De acordo com as novas regras, será considerada como microgeração a instalação de geradores com potência de até 75kW. Acima dessa potência, com valor de até 5MW, já é possível considerar como minigeração.

No que diz respeito ao consumo da energia gerada, quando a quantidade for superior à energia utilizada, serão gerados créditos, que poderão ser compensados pelo prazo de até 60 meses.

O consumidor também poderá utilizar esses créditos excedentes para compensar em alguma outra unidade consumidora, caso essa conste como registrada em seu CPF.

A geração distribuída permite que diversos consumidores se unam, seja em cooperativa ou consórcio, e instalem um micro ou um minigerador, e passem a utilizar a energia gerada a partir deles com o intuito de diminuir o valor de suas contas de energia elétrica ao final do mês. Mesmo que o sistema esteja instalado em apenas uma unidade medidora do condomínio, o crédito de compensação será abatido das contas de todos os participantes da mesma forma, desde que a geração esteja localizada na mesma área de propriedade desse condomínio.

IV. CONCLUSÕES

A produção de energia elétrica através do biogás, obtida a partir de dejetos animais, depende de muitas variáveis, como a quantidade de dejetos produzidos, a composição dos mesmos e o tipo de alimentação dos animais, além de fatores externos como o clima, tipo de confinamento e, temperatura e a eficiência do biodigestor, mas como foi

apresentado no artigo é possível com o emprego correto da tecnologia elaborar sistemas com eficiência elevada e com isso maximizar os lucros.

REFERÊNCIAS

- [1] CIBIOGÁS. Nota Técnica: Nº 02/2019 – Panorama do biogás no Brasil em 2018. Foz do Iguaçu, março de 2019.
- [2] ABIOGÁS. Conheça o potencial brasileiro de biogás por fonte em 2018. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/>>. Acesso em: 06 de abril de 2020.
- [3] REGO, E. E.;HERNANDEZ, F. D. M. Eletricidade por digestão anaeróbia: contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. In: AGRENER GD: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006.Anais...Campinas: UNICAMP, 2006.
- [4] COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. Dissertação (Dissertação em engenharia agrícola / engenharia de sistemas agroindústrias) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
- [5] LA FARGE, B. Le biogaz. Procédés de fermentation méthanique.Paris: Masson,1979.
- [6] MATHEWS, B.W.; TRIland soil nutrient distribution on Hawaiian grasslands. p. 29:119-120. In: BUCHANAN-SMITH, J.G. et al. (eds.)Proc. Int. Grassl. Congress, 18th. Winnipeg and Saskatoon,Canada, 1997
- [7] GASPAS, R. M. B. L. Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo – PR. Dissertação (Dissertação em engenharia de produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- [8] GARZON, S. Mecanismos de transformacion de energia, 2014. Disponível em: <<http://mecanismosdetransformacion1003.blogspot.com.br/2014/05/mecanismos-de-transformacion-de-energia.html>>. Acesso em: 01 jun. 2017.
- [9] GEHRING, C. G. Análise da geração de energia elétrica a partir do biogás produzido na fermentação anaeróbica de vinhaça. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia Elétrica de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.
- [10] KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Editora Agronômica "Ceres", 1985.
- [11] MARTINELLI, L. C. Máquinas Térmicas II. Pinambi: DeTEC, 2002. 135p.
- [12] NOYOLA, A., ORGAN-SAGASTUME, J. M. & LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 5 (1), 93–114. 2006
- [13] COSTA, R.; KUNZ, A. Partida e operação de reator UASB em escala de bancada para remoção de carga orgânica em dejetos de suínos. In: JORNADA DE INICIAÇÃO
- [14] FEMA – Fundação Estadual de Meio Ambiente. Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria. Belo Horizonte, 2015.
- [15] FARRET, Felix Alberto. Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica. Santa Maria: Editora da UFSM, 1999.