

PROJETO DE UNIDADE DE BIOENERGIA E TRATAMENTO DE RESÍDUOS DE ABATEDOUROS DE AVES DE CORTE

Ângela da Costa Nogueira¹, Emanuelle Maria Cabral Avelino Silva², Mônica Tejo Cavalcanti³, José Nilton Silva⁴

^{1,3,4} Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

² Universidade Estadual da Paraíba – UEPB

angela.nogueira@eq.ufcg.edu.br, emanuellecavelino@gmail.com, monicatejoc@yahoo.com.br,

nilton@eq.ufcg.edu.br

RESUMO: O uso de biodigestores em unidade agroindustriais pode apresenta diversas vantagens para o processo produtivo, tendo como principal aplicação o reaproveitamento do resíduo orgânico para a geração de bioenergia biofertilizante, além da contribuição ambiental com a redução das emissões e descarte da matéria com alta carga orgânica. Um dos tipos de biodigestores mais indicados para agroindústrias de médio e grande porte é o canadense, por apresentar custo de investimento e de manutenção atrativos. Buscando contribuir com o desenvolvimento e aplicação de tecnologias de energias limpas, esse trabalho trata do dimensionamento de uma unidade de produção de biogás a partir de resíduos gerados por abatedouro de aves de corte localizada no município de Monteiro-PB. O biodigestor projetado tem capacidade de produção de 380,16 Nm³ de biogás/dia. O sistema projetado possibilita tratar 9,72 m³ diários de substrato. O balanço econômico do processo mostrou que o processo pode ser viável economicamente quando são considerados todos os termos monetários do processo, principalmente os lucros gerados com os créditos de carbono. A unidade baseada na tecnologia do biodigestor canadense contribui de forma significativa para o tratamento e geração de energia por cogeração. O uso de geomembranas de polietileno de alta densidade nos equipamentos é uma alternativa para o sistema que possibilitou diminuir os custos de investimento, melhorando a acessibilidade da tecnologia para agroindústrias de médio e grande porte.

Palavras-chave: biodigestores, tecnologias, biogás.

INTRODUÇÃO

A utilização de energias alternativas que contribuam para o melhor condicionamento ambiental e mitiguem as consequências das mudanças climáticas é uma necessidade dos dias atuais. Além disso, disseminar tecnologias de produção de bioenergia e tratamento de resíduos, no âmbito da obtenção de energia e melhoria ambiental, com o aproveitamento de materiais residuais, vem se tornando uma alternativa bastante promissora, sendo utilizado a digestão anaeróbica em biodigestores.

A biodigestão de resíduos orgânicos resultante de atividades agrícolas, pecuárias e industriais é uma prática que possibilita melhorar o ciclo ambiental e socioeconômico de unidades produtivas industriais ou agroindustriais (COLATTO e LANGER, 2009; SILVA et al., 2016). As melhorias com a utilização de biodigestores estão associadas com o tratamento de resíduos, a produção de energia que pode ser utilizada no próprio processo ou fornecido para concessionária responsável pela a energia elétrica (MARTINS e OLIVEIRA, 2011).

Dentre os diversos tipos de biodigestores, Moreno (2011), destacam-se os biodigestores do tipo canadense, como apresentado na Figura 1, que são formados por um sistema constituído por um tanque de alimentação, um tanque revestido por geomembrana de alta densidade, um gasômetro inflável também de geomembrana, e um tanque de saída. O biogás formado tem sua saída no topo do gasômetro. Tal sistema pode ser construído com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) tornando o equipamento de custos mais atrativo.

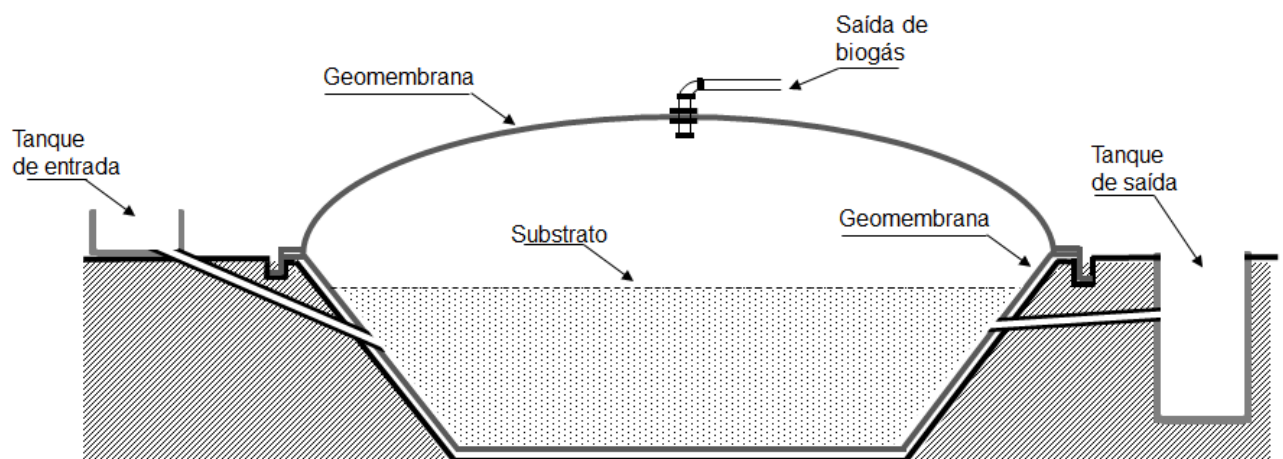


Figura 1 – Diagrama simplificado de um biodigestor do tipo canadense

O processo de produção de biogás, a partir da biodigestão anaeróbica, se dá pela degradação natural da matéria orgânica por microrganismos (bactérias) (Holm-Nielsen, 2009). As etapas de degradação são divididas em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A fase mais importante é a metanogênese, onde o ácido acético formado nas fases anteriores é transformado em metano. O biogás é formado por maior composição de metano e gás carbônico, sendo as bactérias metanogênicas acetoclásticas responsáveis pela formação do CO_2 e as bactérias metanogênicas hidrogenotróficas reponsáveis pela formação do CH_4 (WAYNE, 2005; BALMANT, 2009), além do biogás formado, a matéria residual é rica em nitrogênio.

O produto principal do biodigestor, o biogás, pode ser utilizado para gerar energia térmica e elétrica. A energia térmica pode ser gerada pela queima direta do biogás, enquanto a energia elétrica é produzida a partir de grupos motogeradores, onde a taxa de conversão para energia elétrica é relativamente baixa (AMARAL, 2011).

Agroindústrias de beneficiamento de produtos alimentícios, os abatedouros de ave de corte, são geradores de resíduos em alta quantidade.

A maior quantidade de resíduo orgânico gerado

corresponde as vísceras entre 12 a 14 % do peso médio da ave de corte. Além de resolver a questão do tratamento do resíduo desse tipo de processo, gera energia térmica e elétrica a partir do biogás produzido utilizando biodigestores pode contribuir para melhorias significativas em atividades agroindustriais onde tais energias são necessárias.

OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo apresentar os resultados de dimensionamento de uma unidade de tratamento de resíduos e produção de bioenergia a partir de biomassa gerada em uma unidade agroindustrial de beneficiamento de frango caipira situada no município de Monteiro-PB.

DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Para o dimensionamento de um biodigestor do tipo canadense, o ponto de partida é a quantidade de biomassa disponível por dia. Para o caso de resíduos de abatedouro de aves de corte, a quantidade diária de biomassa estimada, considerando a quantidade média diária de biomassa é definida de acordo com a Equação 1.

$$m_{\text{kg de biomassa/dia}} = \sum n_{\text{aves,horas}} f_A f_B t_{\text{horas}} \quad (1)$$

onde m , é a quantidade de biomassa por dia (kg/dia); n é o número de aves abatidas por hora (aves/hora), f_A , o peso médio das aves (kg/aves), f_B , a fração percentual de vísceras por aves e t_{horas} é o tempo de operação diária da unidade de processamento (horas/dia).

Cada tipo de resíduo apresenta um potencial de produção de biogás diferente devido ao tipo de matéria orgânica, nesse estudo foram considerados apenas os resíduos constituídos por vísceras. A produção diária de biogás, Equação 2, pode ser definida em função do valor médio de produção de biogás.

$$V_{\text{biogás/dia}} = \sum m_{\text{kg de biomassa/dia}} g_{\text{m}^3/\text{kg de vísceras}} \quad (2)$$

onde V é a quantidade estimada de biogás produzido por dia (m^3/dia), g , o coeficiente de produção de biogás produzida por kg de vísceras de frango de corte ($\text{m}^3/\text{kg de vísceras}$).

A carga diária do biodigestor é um parâmetro importante para definição do volume do biodigestor. Por sua vez, a biomassa deve ser adicionada a uma quantidade de água ao qual perimirá uma melhor movimentação convectiva

dentro do biodigestor, como também o desenvolvimento dos microrganismos. O cálculo da carga diária pode ser definido pela Equação 3.

$$Q_{biomassa/dia} = \frac{m_{biomassa/dia}}{\rho_{Biomassa}} + \frac{m_{água/dia}}{\rho_{água}} \quad (3)$$

onde Q , é a quantidade de biomassa adicionado por dia no biodigestor (m^3/dia); m_j , massa diária (kg/dia) de biomassa e água, e ρ_j , massa específica (kg/m^3) para biomassa e água.

O tempo de residência é o tempo necessário para que a matéria orgânica possa ser convertida completamente em biogás e biofertilizante, liberando o biogás produzido. O volume requerido para o biodigestor é uma função da carga de biomassa diária e o tempo de residência, dado pela Equação 4.

$$V_{Biodigestor} = Q_{Substrato/dia} \tau_{residência} \quad (4)$$

onde V , volume requerido para o biodigestor (m^3); Q , carga de biomassa diária (m^3/dia) e τ , tempo de residência (dia).

A geometria do biodigestor do tipo canadense tem um formato semelhante a um tronco de pirâmide de base retangular, Figura 2, sendo a determinação das dimensões condicionada ao tipo geológico do terreno onde será sua construção (GERSCOVICH, 2009). Os valores da razão V_T/H_T variam de 0,25 a 1. Uma vez definido o volume requerido, o volume do biodigestor canadense poderá ser determinado por uma rotina numérica utilizando as Equações 5 a 7.

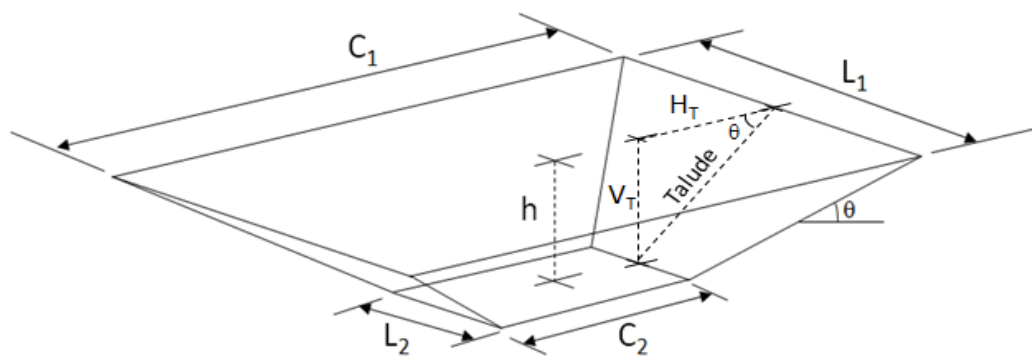


Figura 2 – Geometria simplificada do biodigestor do tipo canadense

$$V_{calc} = \frac{h \tan(\theta)}{3} (L_1 C_1 + \sqrt{L_1 C_1 (L_1 - 2h)(C_1 - 2h)} + (L_1 C_1 (L_1 - 2h)(C_1 - 2h))) \quad (5)$$

$$h = Talude \times \sin(\tan^{-1}(V_T / H_T)) \quad (6)$$

$$Talude = h / \cos(\theta) \quad (7)$$

onde V_{calc} é o volume calculado do biodigestor (m^3), a partir das especificações do comprimento C_1 (m), e largura L_1 (m), assim como da razão H_T/V_T e comprimento do Talude.

A função objetivo para determinação das dimensões do biodigestor pode ser definido da otimização segundo a Equação 8, com o objetivo de especificar o valor de profundidade h do biodigestor, ao qual minimiza a diferença entre o volume calculado e o volume requerido.

$$\min F_{\text{obj}} = |V_{\text{calc}} - V_{\text{requerido}}| \quad (8)$$

sujeito : $h > 0$;

A verificação das dimensões do biodigestor pode ser também realizada a partir da Equação 9, que trata da quantificação do volume baseado nas áreas de topo e de base do biodigestor, considerando a profundidade do mesmo. O procedimento pode ser retomado uma vez que a profundidade não esteja adequada para o processo de biodigestão.

$$V_{\text{verificação}} = \frac{h}{3} (L_1 C_1 + \sqrt{L_1 C_1 L_2 C_2} + L_2 C_2) \quad (9)$$

As caixas de entrada e saída do biodigestor fazem parte do sistema de alimentação e retirada do biodigestor. A Equação 10 expressa a altura da caixa de entrada considerando uma geometria cilíndrica, enquanto a Equação 10, expressa a altura da caixa de saída de base retangular. A partir dessas equações têm-se as geometrias para em função da carga diária para o biodigestor.

$$h_{1,\text{caixa de entrada}} = 4 \frac{Q_{\text{biomassa}}}{\pi (D_{\text{caixa de entrada}})^2} \quad (10)$$

$$h_{2,\text{caixa de saída}} = \frac{Q_{\text{biomassa}}}{l_1 c_1} \quad (11)$$

onde h_i , altura da caixa de entrada/saída do biodigestor (m); Q , volume de biomassa diária (m^3) e D , diâmetro da caixa de entrada (m), c o comprimento (m) e l largura da caixa de saída do biodigestor (m).

Definida a capacidade de produção de biogás do biodigestor, uma estimativa da energia equivalente pode ser realizada. Do volume diário de biogás, a quantidade equivalente em eletricidade pode ser calculada de acordo com a Equação 12. A massa e o número de botijões de gás liquefeito de petróleo (GLP) podem ser estimados pelas Equações 13 e 14, respectivamente. O mesmo procedimento pode ser realizado quanto a equivalência de biogás em gasolina, Equação 15.

$$E_{\text{Elétrica}} = V_{\text{biogás/dia}} f_{1\text{kWh}/\text{m}^3} \quad (12)$$

$$m_{GLP/dia} = V_{biogás/dia} f_2 \text{kg}_{GLP/m^3} \quad (13)$$

$$n_{botijões_{GLP/mês}} = m_{GLP/dia} f_3 \text{botijão/kg}_{GLP} 30 \text{dias/mês} \quad (14)$$

$$V_{Gasolina/dia} = V_{biogás/dia} f_4 \text{gasolina/m}^3 \quad (15)$$

Onde E , energia elétrica equivalente (kWh); V , volume diário de biogás; f_j , fator de conversão; n , número de botijões, e V , volume de gasolina (L).

RESULTADOS: UNIDADE PROJETADA

A unidade de produção e distribuição de biogás foi projetada para a unidade de beneficiamento de frango caipira da cooperativa COOPEAVES (Cooperativa de Avicultores de Galinha Caipira e Agricultura Familiar do Estado da Paraíba), em parceria com o programa PEASA - Programa de Estudos e Ações para o Semiárido da universidade Federal de Campina Grande e a Incubadora de Agronegócios das Cooperativas, Organizações Comunitárias, Associações e Assentamentos Rurais do Semiárido da Paraíba, IACOC.

A capacidade de produção da agroindústria da Cooperativa de Monteiro tem capacidade de processamento de 600 aves por hora e um tempo de operação média de 8 horas por dia. Considerando um peso médio por ave do tipo caipira de 2,2 kg a massa total de aves processada por dia é de 10.560,0 kg por dia. Por sua vez, o percentual médio de vísceras por ave é de 12 %, gerando assim uma estimativa de resíduo de 1.227,20 kg por dia, ou seja, aproximadamente 1,2 toneladas de resíduo diário. Tal resultado foi estimado a partir da equação 1.

Para fim de determinação da carga diária de substrato a ser alimentado no biodigestor, foi considerado a relação percentual de biomassa e água de 15 %, assim como também a densidade da biomassa próxima à da água, o volume resultante de carga diária, segundo a Equação 3, foi de $9 \text{ m}^3/\text{dia}^{-1}$, para um tempo de retenção hidráulica de 45 dias, o volume necessário foi de 437.18 m^3 . Outra consideração importante foi a respeito da geologia do terreno, onde a indicação do coeficiente de razão para a Talude igual a 1, valor correspondente a terrenos com possibilidade de desmoronamento. Os valores resultantes do dimensionamento do biodigestor estão na Tabela 1.

A unidade projetada levou em consideração a etapa de preparação da biomassa, sendo necessário triturar a matéria prima e homogeneização, gerando assim um substrato adequação para alimentar o biodigestor. Na Figura 2 estão apresentadas a geometria simplificada da unidade de biodigestão, assim como os respectivos

comprimentos. O tanque de alimentação tem como utilização o pré-tratamento da carga orgânica. O sistema de bombeamento tem duas principais aplicações, uma para a alimentação da carga e a outra de recirculação do substrato, com o intuito de provocar a mistura das fases formadas na biodigestão, assim como também remoção de lodo precipitado.

Tabela 1 – Valores para as variáveis geométricas para o biodigestor

Variáveis	Valor	Unidade
L_1	14	m
C_1	22	m
L_2	10.5	m
C_2	18.5	m
V_T/H_T	1	-
H	1.76	m
Talude	2.49	m
Ângulo	45	grad

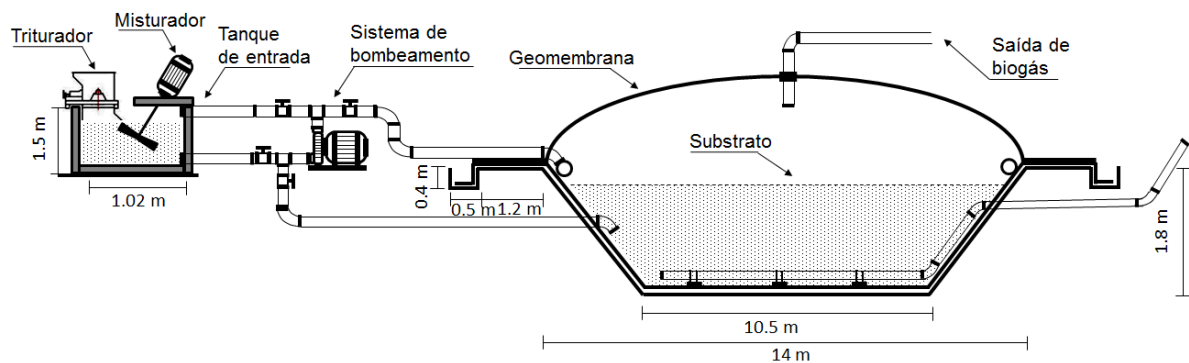


Figura 2 – Geometria simplificada do biodigestor do tipo canadense

A unidade de recebimento do material tratado no biodigestor, a lagoa de estabilização, é uma parte importante do sistema, sendo o mesmo responsável pelo armazenamento biofertilizante e estabilização da água acumulada do biodigestor. Na Figura 3, estão apresentados os comprimentos da geometria simplificada da lagoa. Além de pós-tratamento da água do sistema, o mesmo tem importância também na recuperação e reutilização da água no processo.

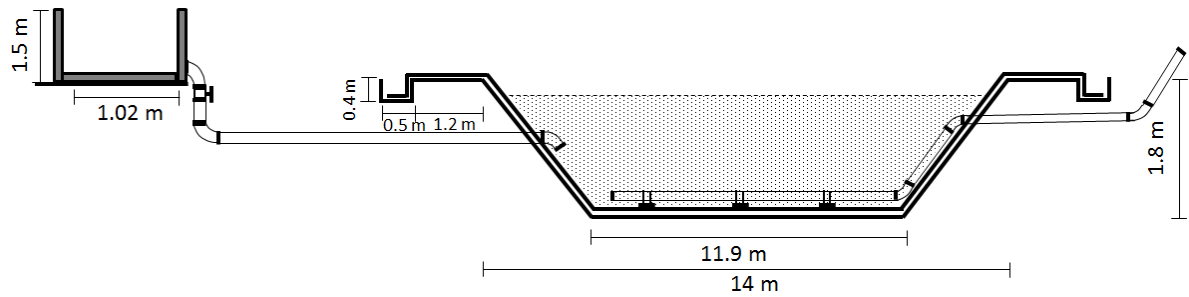


Figura 3 – Proposta global da unidade de geração e distribuição de biogás.

A unidade de produção de biogás de projetada para uma área disponível de 1.500 m², como mostra a Figura 4. A proposta do projeto inclui o pré-tratamento da biomassa, considerando a trituração e mistura da carga. Em seguida a carga adicionada ao biodigestor, um sistema de mistura branda pode ser realizado por um sistema de bombeamento. A coleta do biogás é realizada no topo do gasômetro de geomembrana, que por sua vez é enviado para o sistema de queima do excesso de biogás e para a unidade de cogeração. O material digerido é enviado para a unidade de estabilização, podendo ser reutilizado no processo ou utilizada para fins agrícolas.

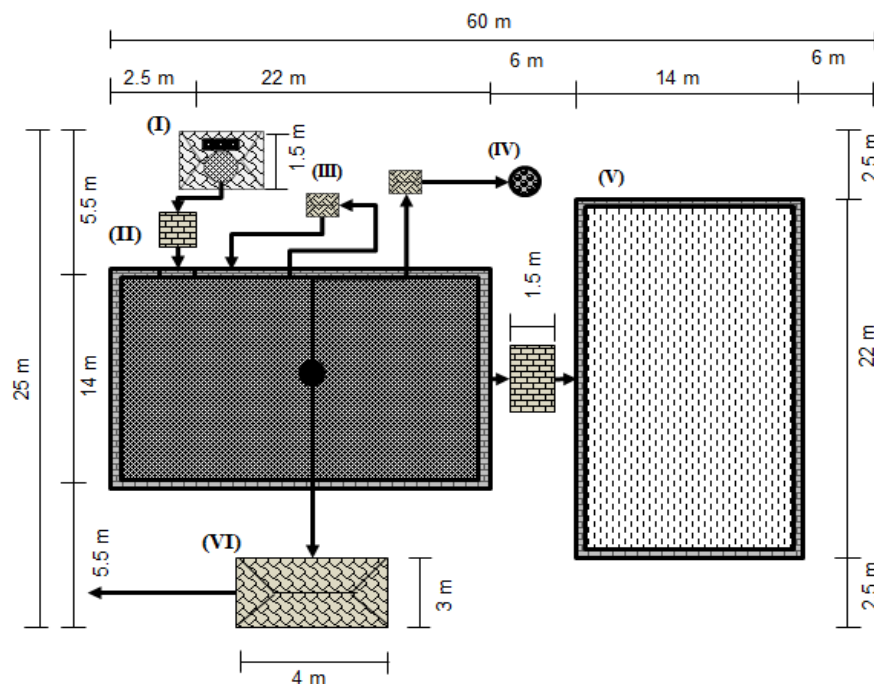


Figura 4 – Unidade de geração de biogás a partir de resíduos de abatedouro de aves de corte: (I) pré-tratamento da biomassa; (II) biodigestor canadense; (III) sistema de bombeamento; (IV) medido de biogás e queimador; (V) lagoa de estabilização e (VI) unidade de purificação e cogeração.

A saída do biogás do gasômetro passa por um medidor de fluxo de gás no intuito de quantificar a quantidade de biogás produzido, que por

sua vez permiti a determinação de crédito de carbonos. No entanto, o retorno econômico com os créditos de carbono será possível apenas com um projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) que é construído em uma etapa posterior ao projeto da unidade de produção de biogás.

A unidade de cogeração tem por objetivo converter o biogás produzido em energia elétrica, que poderá ser utilizado na própria unidade e o seu excesso disponibilizado para a concessionária responsável pela energia elétrica. O retorno econômico com a cogeração também será possível com um projeto adicional ao projeto do sistema, sendo esse desenvolvido em parceria com a concessionário baseado nas normas exigentes e vigentes.

O biodigestor tem como proposta de construção em geomembrana de PEAD com área de revestimento de 478,73 m com volume total 437,18 m³, com um gasômetro inflável com área inicial de 462 m². Sendo a lagoa de estabilização com área de revestimento de 446,83 m². A carga diária de projeto disponível é de 9,72 m³ de substrato diário, resultante em uma quantidade de biogás estimada de 380,16 Nm³ por dia.

O biogás produzido, por sua vez, antes de ser distribuído para os equipamentos de cogeração, o mesmo deve passa por uma unidade de remoção de gás sulfídrico (H₂S), permitindo uma maior durabilidade dos equipamentos que utilizam o biogás evitando a corrosão dos metais (MAINIER, SANDRES e TAVARES, 2007).

Na Tabela 2 estão apresentados valores de energia equivalentes para a produção de biogás estimada. Cada valor equivalente obtido leva em consideração a estimativa do total gerado, para todo o biogás produzido destinado para cada um dos tipos de energia equivalente. Mas uma relação percentual entre os tipos de conversão de cogeração pode ser utilizada.

Tabela 2 – Valores de energia equivalente correspondente a produção de 380,16 m³ dia de biogás.

Tipo de energia equivalente	Equivalência	Quantidade	Unidade
Eletricidade	(1 m ³ <=> 1,43 kWh)	84,0	kWh/dia
GLP	(1m ³ <=> 0,45kg)	171,1	kg/dia
Botijões/mês	(1 bot. <=> 13 kg)	394,8	Botijões/mês
Gasolina	(1m ³ <=> 0,61L)	231,9	L/dia

O sistema projetado foi apresentado aos órgãos financiadores de projetos de melhorias de processos agroindústrias, estando na fase de captação de recursos para construção da unidade do município de Monteiro-PB. O mesmo servirá de laboratório experimental, para demonstração da produção de bioenergia, utilizado por professores da Universidade Federal

de Campina Grande, como também de propagação da tecnologia para outros interessados no sistema.

AVALIAÇÃO ECONÔMICA

O custo principal da unidade de produção de biogás está relacionado ao investimento inicial, uma vez que as tecnologias foram dimensionadas com materiais alternativos. Os custos de investimento e construção das unidades se encontram na Tabela 3.

Os valores apresentados (Tabela 3) foram obtidos considerando os componentes alternativos para cada sistema. Por sua vez, os valores expressos são os mínimos possíveis, onde a mão de obra não foi considerada, assim como o custo do projetista. Foi considerado o cenário onde a construção foi realizada pelos proprietários beneficiados.

Tabela 3 – Valores de investimento da unidade de produção de 380,16 m³ dia de biogás/dia.

Sistema da Unidade	Investimento + Construção (R\$)	Capacidade
Biodigestor	168.177,50	437,18m ³ +390 m ³ gasômetro
Lagoa de estabilização	20.542,38	291,45 m ³
Filtro de remoção de H ₂ S	5.000,00	380.16 m ³ /dia
Queimador de biogas	3.500,00	
Gerador 30 kva	48.000,00	30 KW
Externos (jardinagem, acessos, seguranças, etc.)	4.904,40	
Custo estimado de construção	250.124,30	

Apesar de ser um investimento relativamente alto para comunidades rurais, o mesmo pode ser justificado quando uma avaliação do tempo e a taxa interna de retorno são realizadas. Na Tabela 4 encontram-se os valores referentes ao balanço econômico realizado. O baixo custo de manutenção e de custo operacional torna o sistema viável economicamente e sustentável.

Considerando um cenário onde um operador será destinado a acompanhar o processo, e o retorno com créditos de carbonos creditado no balanço econômico, a unidade tem um retorno de investimento de aproximadamente 9 anos. Além da viabilidade econômica do processo, a unidade buscar tratar os resíduos, contribuindo para as condições sanitárias adequadas para o processo.

Tabela 4 – Balanço econômico para a unidade produção de 380,16 m³ dia de biogás/dia.

Parâmetros		Valores	Unidade
Investimento e construção	Capital de Investimento	250.124,30	R\$
Gastos anuais	Custo anual	39.508,50	R\$/ano
Energia Elétrica	Lucro Anual	4.535,09	R\$/ano
Créditos de Carbono	Lucro Anual	59.741,32	R\$/ano
Fertilizante	Lucro Anual	2.312,64	R\$/ano
Rendimento anual:	Lucros - Custos	27.080,55	R\$
Taxa interna de retorno (TIR)	Rend./Capital de Invest.	10.83	%/ano
Tempo de retorno de investimento (TRI)	100/TIR	9.23	Anos

CONCLUSÕES

O dimensionamento dos equipamentos necessários para a produção de biogás a partir do tratamento de resíduos gerados por abatedouros de ave de corte pode ser realizado pelas equações apresentadas nesse trabalho. A utilização de geomembranas alternativa que possibilita reduzir custos e viabilidade econômica e a acessibilidade da tecnologia para agroindústrias de beneficiamento de aves de corte de médio e grande porte.

A partir da unidade de geração de biogás, baseado no biodigestor canadense, melhorias significativas no processo poderão ser realizadas com a aplicação da energia gerada pela cogeração, implicando em reduções de gastos com energia necessária para operar o processo.

A viabilidade econômica da unidade proposta tem como parâmetro fundamental a utilização do retorno com os créditos de carbonos gerados. O sistema projetado apresentou uma estimativa de investimento atrativo observando a taxa de retorno possível e tempo de retorno de menos de 10 anos após o início de seu funcionamento.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, R. G. Viabilidade Econômica da Implantação de um Sistema de Geração de Energia Elétrica a Partir de Biogás Gerado em um Abatedouro de Aves. Trabalho de Diplomação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.
- BALMANT, W. Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica / Wellington Balmant – Curitiba – PR, UFPR, 2009.

- COLATTO, L.; LANGER, M. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011.
- GERSCOVICH, D. M. S. Apostila Estabilidade de Taludes. Faculdade de Engenharia/UERJ. Departamento de Estruturas e Fundações. Rio de Janeiro, 2009.
- HOLM-NIELSEN, J. B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. Bioresource Technology. v.100, p 5478-5484. 2009.
- MAINIER, F. B.; SANDRES, G. C.; TAVARES, S. S. M. Corrosão por Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e Suas Implicações no Meio Ambiente e na Segurança Industrial. In: 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Cusco, 2007.
- MARTINS, F. M., OLIVEIRA, P. A. V., Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. Eng. Agríc. [online]. vol.31, n.3, pp.477-486. ISSN 0100-6916, 2011.
- MORENO, M. T. V. Manual de Biogás. Editado por Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Santiago de Chile, 2011.
- SILVA, E. M. C., CAVALCANTI, M. T., ALMEIDA, R. R., SILVA, J. N., Projeto de Unidade Rural de Geração e Distribuição de Biogás. CNEA – Congresso Nacional de Educação Ambiental, Campus I da UFPB, João Pessoa – PB, de 20 a 23 de abril de 2016.
- WAYNE, J. P.. Application of the adm1 model to advanced anaerobic digestion. Bioresource Technology, v.96, p.1832-1842, 2005.