

Avaliação da estimativa de produção do biogás por meio da digestão anaeróbia usando dejetos de galinhas poedeiras

Evaluation of biogas production estimates through anaerobic digestion using laying hens waste

Sérgio Feliciano Come¹, Armindo Rodrigues Sumburanhane², Júlia da Percília David Gaspar Silota³, Geraldo Acácio Mabasso⁴, Jenita Benício Cangola⁵

RESUMO: A atividade avícola é muito importante para economia das famílias moçambicanas. Entretanto gera grandes quantidades de biomassa residual que se não for bem tratada pode ter um elevado potencial poluidor, podendo causar graves impactos ambientais. O estudo objetivou avaliar se os dejetos de galinhas poedeiras podem constituir para uma alternativa tecnológica e economicamente viável para a produção de energia por meio da digestão anaeróbia. Para tanto, foram coletadas amostras em três aviários da empresa Agro-pecuária e Avícola Abílio Antunes, localizada no distrito de Gondola-Província de Manica, Moçambique. A biomassa residual dos dejetos de galinhas poedeiras foi considerada ótima com teor de umidade de 71%, temperatura 29 °C, condutividade elétrica 9,83 mS cm⁻¹ e pH 7,58. O volume de biogás, biofertilizante e dos créditos de carbono foi convertido em valores monetários, gerando desta forma uma receita anual de aproximadamente 1.228.873.504,97 Meticais. O valor do custo médio anual de manutenção e operação do sistema de biodigestor é de aproximadamente 118.948.995,72 Meticais. O retorno econômico foi positivo a partir do terceiro ano e o Valor Presente Líquido (VPL) foi de 3.944.554.866,46 Meticais, com uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 37% no período de 10 anos. Assim, o projeto mostrou-se econômico e ambientalmente viável, apesar do alto valor de investimento.

Palavras-chave: Bioenergia; Biofertilizante; Créditos de carbono; Dejeito; Viabilidade econômica.

ABSTRACT: Poultry activity is very important for the economy of Mozambican families. However, it generates large amounts of residual biomass that, if not properly treated, can have a high polluting potential and cause serious environmental impacts. The study aimed to evaluate whether the waste from laying hens can constitute a technologically and economically viable alternative for the production of energy through anaerobic digestion. To achieve the aim of this study, samples were collected in three aviaries belonging to Agro-pecuária e Avícola Abílio Antunes company located in the district of Gondola-Province of Manica, Mozambique. Residual biomass of laying hen manure was considered optimal with water content of 71%, temperature 29 °C, electrical conductivity 9.83 mS cm⁻¹ and pH 7.58. The volume of biogas, biofertilizer and carbon credits was converted into monetary values, thus generating an annual revenue of approximately 1,228,873,504.97 Meticais. The average annual cost of maintaining and operating the biodigester system is approximately 118,948,995.72 Meticais. The economic return was positive from the third year onwards and the Net Present Value (NPV) was 3,944,554,866.46 Meticais, with an Internal Rate of Return (IRR) of 37% over the ten-year period. Thus, the project proved to be economically and environmentally viable, despite the high investment value.

Keywords: Bioenergy; Biofertilizer; Carbon credits; Economic viability; Manure.

Autor correspondente: Sérgio Feliciano Come
E-mail: sergiofcome@gmail.com

Recebido em: 2023-08-26
Aceito em: 2024-05-09

¹ Doutor em Extensão Rural pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Docente Permanente da Faculdade de Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais-Universidade Zambeze, Moçambique.

² Graduado em Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais pela Universidade Zambeze, Moçambique.

³ Doutoranda em Saneamento Ambiental e Gestão de Resíduos pela Universidade de Ciência e Tecnologia Kwame Nkrumah, Gana.

⁴ Doutorando em Ciências Agrárias pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IFGO), Brasil.

⁵ Doutoranda em Gestão Ambiental e Sustentabilidade pela Universidade de Estudos de Desenvolvimento, Gana.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da sociedade depende da energia por ela utilizada. De uma forma geral, a energia é tratada como uma mercadoria comercializada para satisfazer necessidades sociais (Richard, 2007). Entretanto, segundo Flores (2014), às fontes de energias fósseis, em particular as reservas de petróleo, são limitadas e estão se esgotando.

Uma das alternativas que visa diminuir a emissão dos gases que provocam o efeito estufa é o uso de fontes de energias renováveis. Algumas dessas fontes de energia encontram-se de forma abundante no planeta, mas devido às limitações tecnológicas, muitas delas não estão sendo exploradas de forma significativa (Duarte *et al.*, 2016).

O uso da energia elétrica nas grandes empresas é uma grande necessidade para o desenvolvimento das atividades realizadas no seu cotidiano, pois, torna-se extremamente dependente da empresa concessionária de energia no país. Na Província de Manica, região centro de Moçambique, a energia utilizada é renovável e é gerada principalmente na usina hidroelétrica de Chicamba. Na mesma região, o consumo de frangos e ovos tem crescido devido ao aumento significativo da população, resultando em aumento da produção. Devido a esse fato, a instalação de aviários na província vem aumentando para suprir a demanda do mercado, mas esse sistema tem o potencial de gerar algum tipo de impacto ao meio ambiente.

Os dejetos de galinhas poedeiras, quando dispostos de forma inadequada no meio ambiente podem causar problemas de poluição ambiental de diferentes magnitudes. E o nível de poluição é determinado pelo número de contaminantes, pois, representa uma fonte potencial de contaminação do ar, dos recursos hídricos e do solo. Também, pode levar à proliferação de microrganismos e vetores que estão associados à transmissão de inúmeras doenças aos seres humanos (Andreoli *et al.*, 2003).

Outro problema enfrentado no sistema produtivo de galinhas poedeiras é o elevado custo de energia associado à criação dessas aves. O elevado custo de energia elétrica desafia os avicultores a identificarem alternativas para suprir essa demanda. Embora o custo de energia seja alto para os avicultores em Moçambique, ainda há pouca exploração de alternativas da produção de energia elétrica por meio do biogás obtido no processo de digestão anaeróbia. Assim, este estudo visa avaliar se os dejetos de galinhas poedeiras geradas na Empresa Abílio Antunes podem constituir uma alternativa tecnológica e economicamente viável para a produção de energia por meio da digestão anaeróbia. A pesquisa é relevante visto que traz o seu enfoque na preservação e conservação ambiental aliada à produção de energia limpa a partir de uma fonte renovável que permite o controle da poluição e saneamento do meio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO

A empresa Agro-pecuária e Avícola Abílio Antunes localiza-se no Distrito de Gondola, Leste da província de Manica, tendo como limites: a Sul o Rio Revué, que estabelece a separação com o distrito de Sussundenga; a Nordeste o distrito de Gorongosa (província de Sofala), a Este o distrito de Nhamatanda (província de Sofala) e a Sudeste o distrito do Búzi (província de Sofala); a Norte o Rio Pungué que o separa dos distritos de Macossa e Bárue; e a Oeste confina com o distrito de Manica (Figura 1).

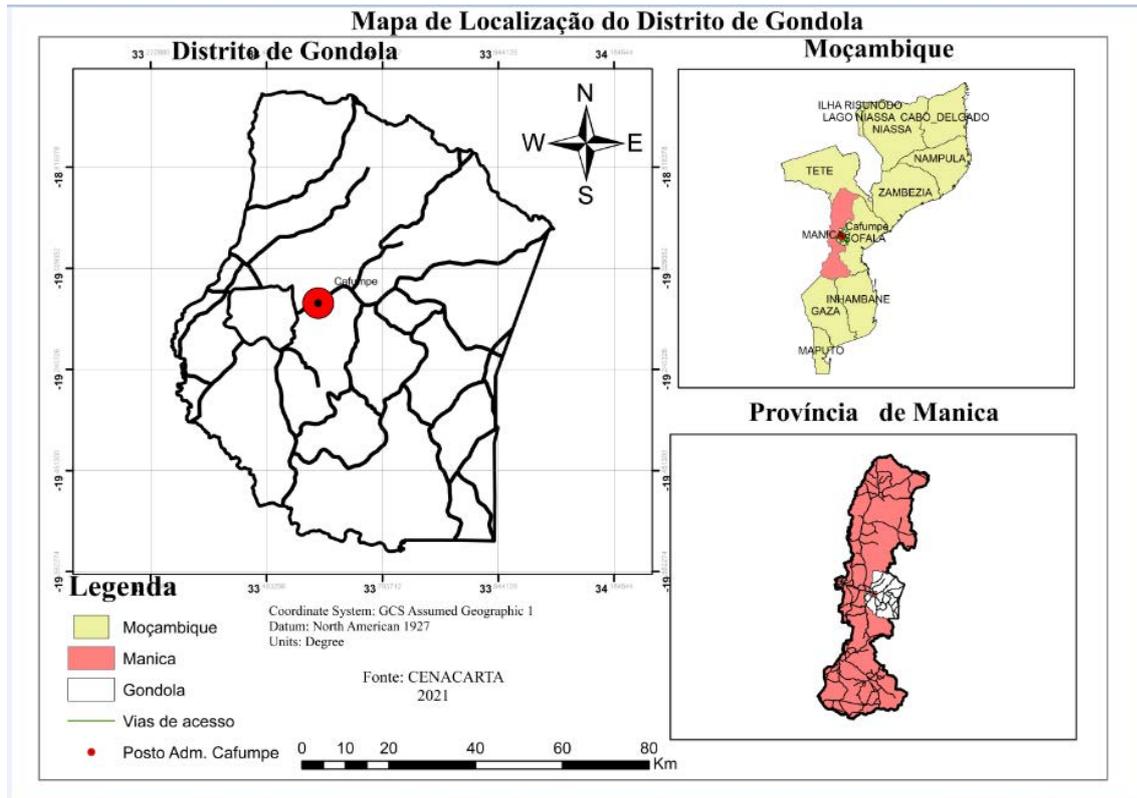


Figura 1. Mapa da localização geográfica do Distrito de Gondola

De acordo com o censo de 2017, o distrito conta com 124.064 habitantes e uma área de 5.739 km², resultando uma densidade populacional de 150 hab/km² (INE, 2017). A empresa Agro-pecuária e Avícola Abílio Antunes conta com uma área total de 189 ha com um perímetro de 5.668 m sendo que área edificada é de 25,3 ha com o perímetro de 3.607 m. Conta com 30 aviários, 4 dos quais destinados a recria e 27 para produção de ovos. Cada aviário tem uma área total de 1.430 m².

2.2 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

A coleta das amostras de dejetos de galinhas poedeiras ocorreu entre os meses de maio a junho de 2021. As amostras dos dejetos foram coletadas em três aviários com galinhas em diferentes estágios de crescimento, sendo que a primeira amostra foi no pavilhão quatro na fase da recria, a segunda amostra no pavilhão um, na fase da produção intensiva, e a terceira amostra no pavilhão 18, na fase da produção final.

Na caracterização físico-química foi determinada o teor de água, a temperatura e a condutividade elétrica. Adicionalmente, foi estimada a geração diária de dejetos e o potencial hidrogeniônico (pH). Para determinar o teor de água nos dejetos de galinhas poedeiras, utilizou-se o método descrito pela *Association of Official Analytical Chemists - AOAC* (1995). O método consiste em colocar uma amostra dos dejetos em cápsulas de porcelana. As amostras foram pesadas e posteriormente colocadas em uma estufa de circulação forçada do ar na temperatura de $105 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 h. Posteriormente, as amostras foram colocadas em um dessecador até a temperatura ambiente e depois pesadas. Os resultados foram obtidos por meio da Equação 1, considerando a média das três repetições.

$$X = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

Em que X = teor de água (%; base úmida); m_i = massa inicial do produto (g); m_f = massa final do produto (g).

A medição da temperatura foi feita usando o termômetro associado a um pHmetro. O pH dos dejetos foi analisado em três amostras, considerando a metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995), em que estabelece que para a determinação do pH, são colocadas 10 g de dejetos em copo plástico e, em seguida, são adicionados 10 mL de água destilada e agitada por 5 minutos. A análise da condutividade elétrica foi realizada utilizando 750 g de dejetos, posteriormente diluídos em água destilada na proporção de 100:1000, seguida de uma agitação por 2 horas. A condutividade elétrica foi determinada por meio de um condutivímetro da marca COND6+, previamente calibrado.

A determinação da geração média diária dos dejetos de galinhas poedeiras baseou-se na quantidade de dejetos gerados por mês nos pavilhões divididos pelo número de dias. Para tal, foi calculada tendo em consideração a massa específica, massa dos dejetos por carreta acoplada ao trator, número de carretas por semana e número de pavilhões em que se encontravam na mesma fase de operação ou estágio. O volume de biogás foi estimado relacionando a geração *per-capita* de dejetos produzido, e o volume correspondente e número total de galinhas na empresa. De acordo com Silva e Palha (2016), as poedeiras geram de 0,10 a 0,18 kg dia⁻¹ de dejetos, com potencial para produzir um volume de 0,10 m³ de biogás. O volume anual de biofertilizante foi determinado pela Equação 2.

$$V_{bio} = V_{dia} \times 10 \times 365 \quad (2)$$

Em que: V_{bio} = volume anual do biofertilizante (L); V_{dia} = volume diário de dejetos (m³); 10 = taxa de conversão dos dejetos das galinhas poedeiras.

A quantidade (em toneladas) de carbono equivalente foi determinada usando a Equação 3, proposta por Ribeiro (2005), que faz a relação entre o volume de dejetos que é gerado por ano e um fator de conversão.

$$C_c = V_{Dano} \times 0,48 \quad (3)$$

Em que: C_c = crédito de carbono equivalente (adimensional); V_{Dano} = volume anual de dejetos (m³); e 0,48 = fator de conversão do metano para créditos de carbono.

O crédito de carbono equivalente é dado a partir do volume anual dos dejetos gerados multiplicado pelo fator de conversão. O volume anual é obtido por meio da massa média diária do dejetos gerado em todos pavilhões em relação ao peso específico do mesmo e multiplicado pelos 365 dias, equivalente a um ano. Numa primeira fase foi determinada a massa de dejetos do atrelado, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Determinação do peso específico e da massa do dejetos por atrelado do trator

Área do balde	Peso específico do dejetos
$A = 3,14 = 314 \text{ cm}^2$	$\gamma = = 1,34 \text{ g cm}^{-3} = 1.340 \text{ kg m}^{-3} = 1,34 \text{ t m}^{-3}$
Volume específico do balde	Volume do atrelado por trator
$V_{esp} = 314 \text{ cm}^2 * 15 \text{ cm} = 4.710 \text{ cm}^3$	$V_{at} = (0,6 \text{ m} * 2 \text{ m}) * 5 \text{ m} = 6 \text{ m}^3$
Massa específica do dejetos	Massa por atrelado
$m_{esp} = 6.400 \text{ g} - 100 \text{ g} = 6.300 \text{ g}$	$m_{at} = 1.340 \text{ kg m}^{-3} * 6 \text{ m}^3$ $mat = 8.040 \text{ kg} = 8,04 \text{ t}$

Depois de se determinar a massa do dejetos por atrelado do trator, seguiu-se ao cálculo da quantidade do dejetos gerado por mês na empresa (Tabela 2).

Tabela 2. Quantidade de dejetos de galinhas poedeiras gerada por mês nos pavilhões

Fases	Massa do dejetos por atrelado (t)	Número de carradas por semana em cada pavilhão	Número de semanas por mês	Número de pavilhões na mesma fase	Quantidade (t mês ⁻¹)
2ª Fase – Recria	8,04	3	4	4	385,92
3ª Fase – Produção intensiva	8,04	6	4	24	4.631,04
3ª Fase – Produção final	8,04	4	4	2	257,28
Total				30	5.274,24

As 5.274,24 t mês⁻¹ do dejetos de galinhas poedeiras permitem afirmar que em média são geradas 175,81 t de dejetos por toneladas de dejetos por dia. Assim, os créditos de carbono anuais são 22.986,24 conforme é demonstrado a seguir:

$$Cc = \left(\frac{175,81 \text{ (t dia}^{-1}\text{)}}{1,34 \text{ (t m}^{-3}\text{)}} \right) \times 365 \text{ dias} \times 0,48 = 22.986,24 \text{ créditos} \quad (3)$$

A avaliação dos indicadores da viabilidade econômica de projetos foi realizada utilizando o prazo de recuperação do capital (*payback*), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR). Para tal, foram consideradas as receitas e os custos envolvidos na implantação do biodigestor modelo tubular (Casarotto; Kopittke, 2008).

Os custos de aquisição, instalação do sistema de biodigestor, manutenção do biodigestor e motorizador foram fornecidos pela empresa Recolast Ambiental BR. E quanto aos custos com operadores, baseou-se no salário básico de técnico superior, médio e básico em Moçambique tendo em conta a taxa de variação salarial ao longo dos anos (Tabela 3).

Tabela 3. Equações usadas para determinação da viabilidade econômica

Designação da variável	Equação	Fonte
Receita gerada pela venda da energia elétrica	$R_g = PE \times 103.680 \times Tar$	Damovich <i>et al.</i> (2007)
Receita gerada pela venda e/ou utilização do biofertilizante	$R_c = V_{bio} \times Pr. \text{ unitário}$	Baldin (2013)
Receita gerada pela venda dos créditos de carbono	$Rc = Cc \times € 5,00 \times \text{Meticais } 73,89$	Bolsa de Mercadorias e Futuros (BMF)
<i>Payback</i>	$FCAa_{presente} = (FCA_{presente} (FCAa_{anterior}))$	Clemente <i>et al.</i> (2000)
Valor Presente Líquido		Sandrini (2007)
Taxa Interna de Retorno		Clemente <i>et al.</i> (2000)

Notas: R_g = receita gerada; Tar = tarifa de energia; PE = potência da energia elétrica; 103.680 = número de horas em um ano; R_c = receita do biofertilizante, preço unitário equivalente a 1 litro de biofertilizante; Rc = receita dos créditos de carbono em Meticais; e Cc = crédito de carbono equivalente; FCA = fluxo de caixa atualizada; $FCAa$ = fluxo de caixa atualizado acumulado; VPL = valor presente líquido; FC = fluxo de caixa; j = período de cada fluxo de caixa; i = taxa mínima de atratividade; I_0 = investimento inicial. TIR = taxa interna de retorno; VPL = valor presente líquido é sempre igual a zero; n = quantidade de períodos; e FC = fluxo de caixa.

De forma que, Meticais-MZN ou MT (no plural) e Metical (no singular), refere-se a moeda da República de Moçambique Meticais-MZN ou MT (no plural) e Metical (no singular), sendo que um dólar

americano equivale a 63,25 Meticais, e na moeda brasileira, um Real equivale a 12,96 Meticais, de acordo com a taxa de câmbio do Banco de Moçambique (2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO DEJETO

Os resultados da análise do teor de água ilustram que o valor médio foi de 71%, base úmida (bu), variando entre 56 a 80% (Tabela 4).

Tabela 4. Caracterização físico-química dos dejetos das galinhas poedeiras

Parâmetro	Média ± Desvio padrão
Teor de água (% bu)	71 ± 0,11
Temperatura (°C)	29,00 ± 2,08
Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹)	9,83 ± 1,95
pH (-)	7,58 ± 0,07
Geração diária dos dejetos (t dia ⁻¹)	175,81 ± 67,74

O teor de água é ótimo nas duas repetições das amostras um e dois, visto que os seus valores estão dentro dos limites aceitáveis para produção do biogás. O teor de água foi extremamente baixo nas duas repetições da amostra três, visto que os seus valores se encontram fora dos limites aceitáveis. De acordo com Andreoli *et al.* (2003), considera-se valor do teor de água aceitável entre os limites de 60 a 90% para produção do biogás por meio do processo de digestão anaeróbia. A amostra três mostrou valores não satisfatórios devido a biomassa que é oriunda dum pavilhão que se encontrava na última fase da produção, influenciada pelo tipo de ração e quantidade da água ingerida pelas galinhas poedeiras, pois o volume de água fornecido diminui na medida em que as galinhas crescem. Para tal, o aproveitamento deste tipo de biomassa residual no processo de digestão anaeróbia, implicará adição da água dentro do biodigestor para acelerar a biodegradação da matéria orgânica, uma vez que tanto a falta ou excesso da água é prejudicial na produção de biogás.

Segundo Silveira (2012), o teor de água dentro do biodigestor deve variar entre 60 a 90% da massa do conteúdo total. Desta maneira, a obtenção de resultados mais precisos em relação ao volume do biogás produzido, deve-se levar em consideração a necessidade de fazer triagem das penas de galinhas no processo de remoção dos dejetos animais nos pavilhões, para posterior utilização na biodigestão anaeróbia. Além disso, em relação ao teor de água dos dejetos de galinhas poedeiras, torna-se desnecessária a adição de água, uma vez que o valor médio do teor de água nas amostras analisadas encontra-se nos limites aceitáveis.

A temperatura média foi de aproximadamente 29 °C, onde a máxima foi registrada na amostra dois, correspondente a 31 °C e 27 °C (Tabela 4) para a temperatura menor, na amostra três. Os resultados dos ensaios físicos realizados por Lucas Júnior *et al.* (1994), mostraram que os valores de temperatura obtidos nas amostras de dejetos de galinhas poedeiras são aceitáveis para produção do biogás, uma vez que são compreendidos na fase mesofílica. Esta fase é caracterizada pela produção do biogás na faixa de temperatura de 20 a 45 °C. Segundo os mesmos autores, torna-se fácil definir uma temperatura operacional a ser empregada no sistema, pois a taxa da produção de biogás depende da temperatura. Na prática,

uma diminuição da temperatura provocará um aumento significativo do pH, visto que a concentração da demanda química de oxigênio (DQO) digerida, diminuirá para temperaturas mais baixas inibindo assim a produção do biogás.

Os valores de pH nas três amostras analisadas variam entre 7,64 a 7,51 com um valor médio de 7,58 do pH (Tabela 4). A variação do pH nas amostras é influenciada principalmente pelo consumo da água, tipo de ração e as condições do pavilhão. Vale ressaltar que nos pavilhões onde as amostras foram recolhidas as galinhas poedeiras encontram-se nas épocas diferentes do estágio (recria, produção intensiva e produção final). Todas as amostras encontram-se dentro do intervalo do valor máximo e mínimo de pH estabelecido pela Lei nº 16/91 - Lei de Águas (Moçambique, 1991), que estabelece valores limites para sobrevivência das bactérias em meio fechado.

A taxa metanogênica ótima, ocorre quando o pH se encontra em torno do valor neutro. Isto porque, para Kiehl (2001), valores de pH superiores a 7,80 e inferiores a 6,30, reduzem a taxa metanogênica durante a digestão anaeróbia, podendo até ocorrer a instabilidade do reator caso os ácidos produzidos na fase de acetogênese não forem bem processados na fase de acidogênese.

A condutividade elétrica média foi de 9,83 mS cm⁻¹. Os valores da condutividade elétrica variam entre limites de 7,85 a 11,75 mS cm⁻¹, a mínima foi registrada na amostra *três* e a máxima na amostra *dois*. De acordo com Costa *et al.* (2009), os valores superiores a 7,50 mS cm⁻¹ indicam maior presença de sais. Nessa vertente, o biofertilizante resultante do processo de digestão anaeróbia será mais nutritivo, pois há indicação de um maior teor de sais nos dejetos analisados, de acordo com o estudo em referência.

Os resultados do estudo indicam que a produção mensal média de dejetos é de 5.274,24 t mês⁻¹, o que equivale a geração média diária de aproximadamente a 175,81 t dia⁻¹. A fase de produção intensiva é a que produz maior quantidade (4.631,04 t mês⁻¹) e a de produção final menor (257,28 t mês⁻¹).

3.2 ESTIMATIVAS DO VOLUME DE BIOGÁS, BIOFERTILIZANTE E DOS CRÉDITOS DE CARBONO

O total de galinhas poedeiras que existem nos pavilhões produz cerca de 64.170,65 t ano⁻¹ de biomassa residual de dejetos, o equivalente a um volume de aproximadamente 45.836.178,57 m³ de biogás por ano (Tabela 5).

Tabela 5. Quantidades dos produtos gerados através dos dejetos das poedeiras

Designação da variável	Quantidade
Volume de biogás	45.836.178,57 m ³ ano ⁻¹
Volume de biofertilizante	478.880 m ³ ano ⁻¹
Créditos de carbono	22.986,24
Quantidade de energia	252.098.982,14 kWh ano ⁻¹

O biofertilizante foi estimado a partir do volume diário de dejetos gerados nos pavilhões, multiplicado pela taxa de conversão e pelo número de dias correspondente a um ano. Na empresa onde o estudo foi realizado, a vida de uma galinha poedeira é de 2 anos desde a recria, produção intensiva e produção final. O tempo de residência nessas fases é de 18 semanas na fase da recria, 62 semanas na fase da produção intensiva e 24 semanas na fase da produção final.

Morais (2012), afirma que durante a produção do biogás obtido a partir do processo de biodigestão anaeróbia utilizando dejetos de galinhas poedeiras, pode-se aproveitar 85% na forma do biofertilizante e 15% é mantido no interior do biodigestor para reativação do mesmo.

Os créditos de carbono são obtidos anualmente e após a regulamentação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Estimou-se a quantidade (em toneladas) de carbono-equivalente a partir do volume anual dos dejetos gerados e multiplicado pelo fator de conversão do metano para créditos de carbono. Na mesma senda, determinou-se o volume anual de dejetos a partir da geração média diária pelas galinhas poedeiras, massa específica dos dejetos de galinhas poedeiras e pelo número de dias equivalente a um ano.

Utilizando o método elaborado por Damovich *et al.* (2007), foi possível gerar os créditos de carbono, considerando que os mesmos seriam totalmente vendidos. Segundo Alves *et al.* (2013), cada vez mais há uma preocupação por empresas para enquadrar-se na definição de empreendimento com responsabilidade social, onde debruça-se a redução da emissão de gases de efeito estufa, promovendo a produção com a proteção ambiental do planeta. A redução destas emissões é medida em toneladas de dióxido de carbono equivalente ($t CO_{2eq}$), onde cada tonelada reduzida ou removida da atmosfera corresponde a uma unidade emitida pelo Conselho Executivo do MDL e é denominada de Redução Certificada de Emissão (RCE).

O aproveitamento energético do biogás, do biofertilizante e dos créditos de carbono obtidos durante o processo de digestão anaeróbia na avicultura pode ser certificado como projeto de MDL, isto porque com base no novo sistema a ser implantado pode-se gerar renda a partir dos dejetos de galinhas, promovendo dessa forma a conservação e proteção do meio ambiente.

Ao utilizar-se volume de 45.836.178,57 m³ de biogás obtido no processo de digestão anaeróbia como combustível do motor-gerador, pode ser convertido em energia elétrica que de acordo com as propostas de Oliver *et al.* (2008), é possível converter 1 m³ de biogás em 5,5 kWh de energia elétrica. Portanto, com base nas propostas destes autores, com a utilização do motor-gerador, é possível obter-se um valor potencial da corrente elétrica de aproximadamente 252.098.982,14 kWh por ano.

De acordo com dados fornecidos pela empresa concessionária de energia elétrica em Moçambique, Electricidade de Moçambique (EDM), para 2020, o consumo médio anual de energia elétrica na empresa Agro-pecuária e Avícola Abílio Antunes foi de aproximadamente 2.250.043 kWh. Na empresa Agro-pecuária e Avícola Abílio Antunes, o uso de dejetos de galinhas poedeiras para a produção de biogás e posterior conversão em energia elétrica pode gerar uma demanda energética em cerca de 249.848.939,14 kWh.

Assim, o novo sistema de biodigestor representa uma capacidade de aproveitamento de apenas 11% em relação ao volume gerado, tornando assim o sistema auto-suficiente e com capacidade de gerar uma oferta de até 89% de energia própria, sem considerar as perdas derivadas do sistema de distribuição e eficiência dos equipamentos envolvidos no processo, o que, mesmo assim seria ainda uma alternativa viável sob ponto de vista de suprimento da demanda e destinação adequada dos dejetos animais ao nível da empresa.

3.3 INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Segundo dados da “Electricidade de Moçambique” - EDM (2021), a tarifa de energia elétrica cobrada à Empresa Agro-Pecuária e Avícola Abílio Antunes-Gondola é de 4,78 (Meticais kWh⁻¹). A partir da tarifa aplicada a empresa agro-pecuária pode economizar um potencial da energia elétrica de aproximadamente 252.098.982,14 kWh ano⁻¹, proveniente do motor-gerador na utilização do biogás como combustível. Portanto, caso a empresa adote o sistema de biodigestão anaeróbia e, nas atuais condições de produção, teria capacidade para gerar uma receita anual no valor de aproximadamente 1.205.033.134,63 Meticais.

Estimou-se que seria possível gerar um volume do biofertilizante numa quantidade de 478.880 L ano⁻¹ equivalente a 478,88 m³ ano⁻¹ de adubo orgânico oriundo do processo de biodigestão anaeróbia utilizando

dejetos de galinhas poedeiras e na mesma senda realizou-se pesquisas de mercado nas lojas especializadas pela venda de biofertilizante no mês de janeiro de 2022 e constatou-se que 1 L do biofertilizante custa cerca de R\$ 2,78⁶ e tem-se que R\$ 1 equivale a 11,53 Meticais ao câmbio do dia. Portanto, os resultados da pesquisa realizada durante a pesquisa de mercado e o volume do biofertilizante que pode ser produzida no processo de digestão anaeróbia, pode-se gerar uma receita anual de aproximadamente 15.348.104,00 Meticais.

Diante da estimativa da quantidade dos créditos de carbono e do levantamento de custos realizado no mês de setembro de 2021, estimou-se que 1 crédito de carbono equivale à € 5,00, o que equivale a 73,89 Meticais ao câmbio do dia. Portanto, o valor de 22.986,24 correspondente aos créditos de carbono multiplicado pelo valor da venda (€ 5,00) dos créditos de carbono no mercado, pode-se gerar uma receita anual de aproximadamente 8.492.266,34 Meticais.

De acordo com o orçamento fornecido pela empresa Recolast-Ambiental BR, inclui-se ainda no valor final o fornecimento do material necessário como: a instalação do produto, a geomembrana da lagoa, o envio de equipa de instaladores, a versão ou remessa do equipamento de soldagem, acabamento e as taxa aduaneiras por parte da empresa fornecedora do material. A mesma empresa oferece garantia de cinco anos de funcionamento sem interrupções do sistema e o biodigestor possui uma vida útil de dez anos.

Em relação ao motor-gerador, a empresa especializada recomenda o uso de motor-gerador com potência nominal de 100 kW, por possuir uma capacidade suficiente para funcionar e alimentar pequeno e grande sistema elétrico. Portanto, o custo para aquisição e instalação do motor-gerador contendo ainda um painel de controlo e protecção é € 91.500,00 que corresponde a 6.760.935,00 Meticais.

Os custos de manutenção associados ao biodigestor, tais como: manutenção dos equipamentos, limpeza interna do biodigestor e troca de manta Geotêxtil pode ser feita pela empresa Recolast – Ambiental BR. Vale ressaltar que os custos anuais de manutenção do biodigestor foram fornecidos pela empresa responsável pela venda e instalação do biodigestor.

Tendo em conta que a operação do sistema e as atividades diárias requeridas para o bom funcionamento do biodigestor, ao exemplo da manutenção da água residual, alimentação do mesmo e o controle do motor-gerador, serão realizadas pelos funcionários contratados pela empresa Agro-Pecuária e Avícola Abílio Antunes. Tomando em consideração a periculosidade e complexidade do sistema, serão necessários 10 funcionários operando na qualidade de técnico superior, técnico médio e básico.

Na mesma sequência, realizou-se a consulta do salário médio para as categorias acima supracitadas tomando como base empresa privada. No cálculo dos custos anuais com operadores tomou-se em consideração as taxas e valores a pagar no Instituto Nacional de Segurança Social (INSS) pela entidade empregadora, de acordo com os Artigos nº 1 e 2 do Decreto nº 4/90 (Moçambique, 1990), que diz que a taxa de contribuição para o sistema de segurança social é de 7%, sendo 3% desconto do salário do trabalhador e 4% pago pela entidade empregadora. As contribuições dos trabalhadores são descontadas diretamente dos salários mensais e a entidade empregadora deve incluir na folha de remunerações a parte que lhe cabe pagar e remeter ao INSS.

O valor de custo do primeiro ano com operadores do sistema incluindo a taxa de INSS é de aproximadamente 1.632.833,28 Meticais, que por sua vez aumenta por cada ano devido ao acréscimo salarial numa taxa média de 5% por ano. De acordo com Conselho de Ministros e da tabela salarial de Moçambique, nos últimos 10 anos (de 2010 a 2020) o salário do técnico superior, médio e básico tem variado de 1,5 a 10% no setor da agropecuária. Contudo, a média da variação salarial terá uma contribuição significativa no salário dos operadores do sistema ao longo dos 10 anos da produção do biogás.

⁶ Foi usado o preço do biofertilizante no Brasil, pois em Moçambique não foi possível obter o preço do biofertilizante visto que das consultas e pesquisas feitas pelos autores do artigo não foi encontrada nenhuma empresa que comercializa este insumo no território moçambicano.

Com o aproveitamento dos dejetos de galinhas poedeiras por meio do processo de digestão anaeróbia pode-se gerar receitas de energia elétrica, biofertilizante e dos créditos de carbono em simultâneo. De acordo com os termos da empresa Recolast-Ambiental BR que serão assinados pela empresa Agro-pecuária Abílio Antunes, os custos da manutenção do biodigestor e motor-gerador serão os mesmos ao longo dos 10 anos de forma a garantir eficiência do funcionamento de sistema e promoção de vendas de biodigestores no País. O preço da venda de energia elétrica e biofertilizante será constante num período de 10 anos, com objetivo de motivar a comunidade vizinha e os agricultores adquirir os novos produtos (energia elétrica e adubo orgânico) que serão gerados pela empresa. Ainda, o preço da venda dos créditos de carbono para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) será constante ao longo dos 10 anos de forma que a empresa possa garantir as suas receitas anuais visto que o MDL tem tendências burocráticas.

Em relação ao valor presente líquido (VPL), pode-se afirmar que o investimento é rentável, visto que o seu valor é positivo. A rentabilidade do projeto é aproximadamente 3.944.554.866,46 Meticais num período de dez anos.

A taxa interna de retorno (TIR) do investimento é recomendável. Portanto, o retorno esperado do investimento é maior uma vez que esta apresenta um valor que supera a taxa mínima de atratividade em 27 pontos percentuais.

Quanto ao período *payback*, o investimento é menos arriscado. Além dos três anos, ainda serão necessários 22% do ano para que ocorra o período de *payback* descontado, o que corresponde ao tempo de 3,22 anos, portanto três anos e cerca de três meses.

Contudo, ao analisar-se os resultados obtidos na aplicação dos métodos determinísticos de investimento, pode-se dizer que há uma rentabilidade concreta ao optar-se pela instalação do biodigestor na empresa Abílio Antunes. Em estudos anteriores, Souza *et al.* (2022), e Mendonça, Oténio e Paula (2021) encontraram que o uso de biodigestor para a geração de energia é uma opção viável na produção pecuária, o que reforça a necessidade de se promoverem mais pesquisas e experimentos para a adoção dos biodigestores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dejetos de galinhas poedeiras podem ser utilizados no processo de digestão anaeróbia para produção de biogás, uma vez que apresentam teor de água, temperatura, condutividade elétrica e pH dentro dos padrões estabelecidos. Pode-se gerar um volume de aproximadamente 45.836.178,57 m³ ano⁻¹ de biogás gerando uma retornos anuais de aproximadamente 1.205.033.134,63 Meticais. Associando este montante à comercialização de biofertilizante e dos créditos de carbono, obteve-se uma receita anual de 1.228.873.504,97 Meticais.

O VLP é positivo, portanto, de 3.944.554.866,46 Meticais e TIR de 37% para um período de dez anos. E com as receitas proveniente da energia elétrica, biofertilizante e dos créditos de carbono é possível compensar o valor do investimento no terceiro ano, dois meses e dezenove dias de operação.

O projeto também apresenta benefícios no que diz respeito à questão socioambiental, isto porque promove a reutilização de resíduos e posteriormente produção de energia, que a mesma pode ser utilizada pela sociedade, reduzindo assim os impactos ambientais negativos associados ao manuseio inadequado dos resíduos gerados na atividade avícola.

Nesse sentido, a avaliar pelos resultados obtidos neste estudo, projetos visando aproveitamento de resíduos de galinhas poedeiras para a geração de energia são muito recomendados visto que possuem potencial de gerar ganhos econômicos e benefícios ambientais.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. S.; OLIVEIRA, L. A.; LOPES, P. L. **Crédito de carbono**: o mercado de crédito de carbono no Brasil. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2013.
- ANDREOLI, C. *et al.*, Secagem e higienização de lodos com aproveitamento de biogás. *In*: CASSINI, T. S. (Coord). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, p. 121-165, 2003.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 6. ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- BANCO DE MOÇAMBIQUE. **Taxas de câmbios de referência em Meticais**. 2023. Disponível em: https://www.bancomoc.mz/media/134avx3a/taxas-de-c%3%A2mbio-de-refer%3%AAncia-09h30_25082023.pdf. Acesso em: 09 abr. 2024.
- CASAROTTO, N. F.; KOPITKE, B. H. **Análise de investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- COSTA, L. V. C. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos**: produção de biogás e qualidade do biofertilizante. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.
- DAMOVICH, J.; MOREJON, C. F. M.; ROCHA JUNIOR, W. F.; HONÓRIO, T. F. Diagnóstico ambiental em torno da suinocultura na bacia do rio toledo e identificação do potencial econômico dos dejetos. V Encontro de Economia Paranaense–ECOPAR. **Anais [...]** Curitiba, 2007.
- DUARTE, D. A.; LUZIO, C. A. **Produção de energia hidrelétrica**: desafios e perspectivas Ass: FCL – UNESP, 2016.
- FLORES, M. A. **Algumas reflexões em torno do uso das energias renováveis**. 2014.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA. **IV Recenseamento Geral da População e Habitação em Moçambique**, 2017.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. 3 ed. Piracicaba, 2001.
- LUCAS JÚNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 137 f. Tese (Livre-Docência em Construções Rurais) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.
- MENDONÇA, H, V; OTENIO, M. H.; PAULA, V. R. Digestão anaeróbia para produção de energia renovável. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 1-16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n3e7667>.
- MOÇAMBIQUE. Decreto nº 4, de 13 de abril de 1990. Fixa em sete por cento a taxa global da contribuição para o sistema de segurança social das remunerações e adicionais pagos mensalmente aos trabalhadores pelas respectivas entidades empregadoras. **Boletim da República**, Publicação Oficial da

República Popular de Moçambique, Suplemento, nº 15-I Série, p. 98(1)-298(2), 13 abr. 1991. Disponível em: <https://archive.gazettes.africa/archive/mz/1990/mz-government-gazette-series-i-supplement-dated-1990-04-13-no-15.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2024.

MOÇAMBIQUE. Lei nº 16, de 3 de agosto de 1991. Aprova a Lei de Águas. **Boletim da República**, Publicação Oficial da República Popular de Moçambique, 2º Suplemento, nº 31-I Série, p. 214(11)-214(22), 3 ago. 1991. Disponível em: https://www.aquashare.org.mz/wp-content/uploads/2022/06/Lei-16_1991-Lei-de-guas.pdf. Acesso em: 09 abr. 2024.

MORAIS, M. A. **Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura**. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia.) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

OLIVER, A. P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. Winrock International, 2008. 42p.

RIBEIRO, M. D. S. **O tratamento contábil dos créditos de carbono**. 2005. 90 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2005.

RICHARD, R. C. “Papel da biomassa no desenvolvimento de comunidades”, **I Fórum de Energia e Meio Ambiente**, Santa Maria, 2007.

SILVA, S. P. R.; PALHA, M. L. A. P. F. **Inventário da biomassa produtora de biogás de Pernambuco**. Recife: Gráfica & Copiadora Nacional, 2016. 125 p.

SILVEIRA, M. A. **Energia renovável: biogás e biodiesel**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SOUZA, S. V.; GIMENES, R. M. T.; ORRICO, A. C. A.; DE ALMEIDA, M. G.; SABBAG, O. J. Desenvolvimento da sustentabilidade avícola a partir do uso de biodigestores. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 1, p. 237-254, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n1e8883>.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1995.