

Geração Sustentável: Utilização do Biogás para Obtenção de Eletricidade em Propriedades Rurais do Brasil

Victor Patrick do Nascimento Oliveira¹, Kleber Lima César², João Neto Silva de Lima³, Allysson Macário de Araújo⁴, Arthur Vinícius Ribeiro de Freitas Azevedo⁵

¹GPAT/UFPI, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Piauí, Brasil. Email: vp8_10@hotmail.com

²GPAT/UFPI, Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Piauí, Brasil. Email: kleber@ufpi.edu.br

³GPACIT/IFPB, Engenharia Elétrica, Instituto Federal da Paraíba, Brasil. Email: joao.neto.4@academico.ifpb.edu.br

⁴GPACIT/IFPB, Engenharia Mecânica, Instituto Federal da Paraíba, Brasil. Email: allysson.caldas@ifpb.edu.br

⁵GPACIT/IFPB, Engenharia Mecânica, Instituto Federal da Paraíba, Brasil. Email: arthur.ribeiro@academico.ifpb.edu.br

Resumo

Diante dos diversos problemas climáticos e ambientais enfrentados pela sociedade contemporânea, a busca por fontes sustentáveis de energia, vem ganhando cada vez mais destaque no cenário mundial. Desta forma, o tratamento de resíduos gerados por rebanhos suínos tem se mostrado uma alternativa sustentável na geração de energia elétrica, podendo ser implementado inclusive em locais onde o acesso aos meios convencionais de energia é escasso ou inexistente. O presente trabalho teve como principal objetivo, o desenvolvimento de um projeto, no qual possa ser aplicado em comunidades isoladas ou com dificuldades de acesso à energia elétrica. O estudo inicia-se com uma vasta pesquisa bibliográfica a respeito de biodigestores e tecnologias de conversão de energia. Após isso, a partir de um estudo de caso aplicado em uma unidade rural, foi realizada a seleção do grupo gerador, seguido do cálculo de volume da unidade digestora, modelo indiano com 100 m³ de volume útil, obtendo-se ao final, um projeto de possível aplicação em 12 unidades rurais. Embora o investimento inicial requerido no presente estudo seja razoavelmente elevado (aproximadamente R\$196222,03), o tempo de retorno do capital investido, de 8 anos e 6 meses, foi inferior quando comparado com unidade de tamanho semelhante e que possui instalado, por exemplo, um sistema de energia solar fotovoltaico.

Palavras-chave: energias renováveis; geração elétrica *off-grid*; biogás.

Abstract

Face of various climatic and environmental problems confronted by contemporary society, the search for sustainable sources of energy is gaining more and more prominence on the world stage. In this way, the treatment of pig manures has been indicated as a sustainable alternative in the generation of electrical energy, and can be implemented even in places where access to conventional energy sources is scarce or non-existent. The main objective of this work was to develop a Project, which can be applied in isolated communities, or with difficulties in accessing electricity. The study begins with a vast literature search regarding biodigesters and energy conversion technologies. Then, based on a case study applied in a rural unit, the selection of the genset was carried out, followed by the calculation of the volume of the digester, an Indian model with 100 m³ of useful volume, resulting in a possible application in 12 rural units. Although the initial investment required in the present study is reasonably high (approximately R\$ 196,222.03), the return time on invested capital, of 9 years and 7 months, was lower when compared to a unit of similar size and which has been installed, for example, a photovoltaic solar energy system.

Keywords: renewable energy; generation off-grid power; biogas.

1. Introdução

A humanidade já experimenta verdadeiros desastres climáticos, comprovadamente, causados pelo mau uso e ineficácia dos meios tradicionais de conversão

energética. Embora a utilização de combustíveis fósseis tenha pavimentado o progresso humano, os problemas socioambientais, principalmente causados pelo uso indiscriminado de combustíveis fósseis,

tornaram-se uma ameaça à continuidade da espécie humana no planeta.

De acordo com [1], em seu estudo acerca da qualidade do ar, a queima de combustíveis fósseis e de seus derivados, especialmente o carvão e o diesel, tem influenciado significativamente no aumento do índice de mortes por doenças respiratórias.

Em razão destes e de outros aspectos, iniciou-se uma verdadeira corrida por fontes de energia sustentáveis, a qual tem ganhado muita atenção e se tornado assunto de grande relevância nos meios de comunicação. Até mesmo para países como o Brasil, cuja matriz elétrica é massivamente hidrelétrica (cerca de 64,9% da energia elétrica gerada), fonte renovável e limpa. As mudanças climáticas têm provocado longos períodos de estiagem, forçando o acionamento de termelétricas para a compensação do consumo, encarecendo o preço do kW em razão dos custos operacionais elevados [2].

Devido a sua vasta extensão territorial, ainda hoje no Brasil, uma pequena parcela da população sofre com dificuldades de acesso à eletricidade. Segundo [3], aproximadamente 0,2% (cerca de 420 mil pessoas) da população, ainda não tem acesso a rede de distribuição energética, em destaque está o estado do Acre, com pouco menos de 3% de sua população tendo que recorrer à combustíveis fósseis. Estes índices estão longe de serem alterados, em razão do desinteresse das concessionárias em investirem em infraestrutura nestas regiões.

Uma solução para este problema tem sido a produção centralizada de energia. Diante disso, em 2012 a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL publicou a resolução normativa de nº482/2012, considerada o marco do segmento de geração distribuída, atualizada pela resolução normativa nº 687/2015, que permite ao consumidor geração própria a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, podendo também fornecer o excedente para a rede local, chamadas de microgeração distribuída (geração até 75 kW) ou minigeração distribuída (geração entre 75 kW e 5 MW) [4].

Assim sendo, a utilização de biogás para geração de energia, integrando uma planta de cogeração, teve um aumento de 31,8% segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) divulgado em 2020, referente ao ano de 2019. Visto que, a agropecuária é geradora de uma parcela significativa de resíduos orgânicos de origem animal e vegetal, a produção de biogás é uma solução viável, para destinação correta desses resíduos, considerando que os produtos desse processo são o biogás, que pode gerar energia elétrica, e o biofertilizante, potencial adubo para a produção agrícola [2]. E segundo [5], esta alternativa se aproxima do retorno médio de uma instalação fotovoltaica, além de estar mais próxima da realidade das comunidades rurais.

Neste contexto, visando a geração sustentável, e buscando o abastecimento de populações que residem em regiões de difícil acesso à energia elétrica. O

presente trabalho propõe, a partir de um estudo de caso, um projeto *off-grid* de geração de energia através da decomposição de biomassa. O projeto baseia-se na geração anaeróbica de biogás em câmaras chamadas biodigestores, onde ocorre a fermentação da matéria orgânica, e a partir de então sua utilização para a geração de energia elétrica.

2. Fundamentação teórica

2.1. Biodigestão

A biodigestão anaeróbica é um processo de decomposição de matéria orgânica, que acontece com o auxílio de microrganismos, através da fermentação, ou seja, com a ausência do oxigênio. Nesse processo existem quatro fases bem definidas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

Na **hidrólise**, a ação de enzimas, produzidas por bactérias hidrolíticas, realiza a quebra de polímeros como gorduras, proteínas e polissacarídeos em partículas de menor massa molecular, os monômeros. Essa fase tem uma importância relevante na velocidade da reação, que pode variar de acordo com a composição do substrato em questão. Na **fase acidogênica**, bactérias fermentativas degradam os monômeros resultantes da **fase hidrolítica**, formando ácidos orgânicos de cadeias ainda menores. A concentração de hidrogênio envolvida nessa etapa está fortemente ligada à oxidação dos produtos. Esses produtos são formados de: acetato, amônia, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio. A **fase acetogênica** tem esse nome graças ao conjunto de bactérias que atuam nesse processo, sendo, predominantemente, um processo endotérmico. São produzidos nessa fase, hidrogênio e dióxido de carbono, através da quebra de cadeias longas de ácidos, em ácidos fórmico e acético. A **metanogênese** é possibilitada pelas bactérias arqueas metanogênicas, que convertem acetato, hidrogênio e carbono em metano e dióxido de carbono, em processo predominantemente exotérmico [6].

2.1.1. Biogás

O produto da biodigestão é conhecido como biogás, e é produzido através de fontes renováveis, com um custo relativamente acessível, possuindo propriedades com potencial para substituir combustíveis como o GLP e a gasolina. A composição do biogás varia de acordo com o tipo, a origem e a composição do substrato. Como pode ser visto na tabela 1, o principal componente do biogás é o metano (CH₄), um gás incolor, insípido e inodoro, embora apresente um odor característico, semelhante ao de ovo podre, advindo do ácido sulfídrico (H₂S) [7].

Tabela 1. Composição do Biogás.

Gás	%
-----	---

CH ₄	50-75
CO ₂	25-40
N ₂	0,5-2,5
H ₂	1-3
H ₂ S	0,1-0,5
O ₂	0,1-1

Fonte: adaptado de [8].

O potencial energético do biogás está diretamente ligado ao percentual de metano em sua composição, e seu poder calorífico pode variar de acordo com os processos de purificação envolvidos, pois o vapor d'água e o CO₂ contidos no gás absorvem uma parte da energia gerada [9].

2.1.2. Biodigestores

Para a produção de biogás é necessária a utilização de um biodigestor, uma câmara hermética onde é depositado o material orgânico, na qual, através da ação dos microrganismos anaeróbios, ocorre a estabilização do biofertilizante além da formação do biogás. Eles podem ser classificados de acordo com a forma de alimentação, o teor de sólidos, número de etapas, entre outras [10]. São quatro os principais modelos:

- **Modelo indiano** – Possui geralmente uma parede divisória fazendo com que o substrato circule no interior da câmara, apresenta construção fácil, e reduz a perda de gás quando vedado por selo de água. Para evitar entupimentos, a alimentação do biodigestor deverá ser contínua.
- **Modelo chinês** – Formado por uma câmara hermética, construída de alvenaria, com o teto em formato de calota esférica, cuja construção é mais barata do que no modelo indiano, por conta da ausência da campânula de aço, porém, nesse modelo é perdido para

atmosfera uma pequena parcela de gás formada na câmara de saída do substrato.

- **Modelo Canadense** – Tem como principais características sua geometria retangular, sendo do tipo horizontal, aproveitando melhor os raios solares para acelerar a produção de biogás. Sendo indicado para grandes volumes de dejetos. É construído em bases de alvenaria, com a utilização de lona impermeabilizante, geralmente fabricada em PVC, reduzindo significativamente os custos de implementação.
- **Modelo Batelada** – De construção e operação mais simples, podendo ser composto de apenas por um tanque, ou vários tanques em série. O modelo batelada é abastecido apenas uma vez, para realização de um ciclo de biodigestão, e ao final, é removido o biofertilizante e só então é reabastecido, caracterizando como um biodigestor descontínuo.

2.1.3. Geração de Eletricidade

Através de um gerador, podemos converter a energia mecânica, provida de um motor de combustão interna em energia elétrica. Os motores de combustão interna geralmente são mais vantajosos em projetos elétricos no qual a potência é inferior a 50 MW [11]. Neles torna-se possível, a partir de pequenas modificações, semelhantes às realizadas na conversão de motores originalmente à gasolina para gás natural, operar com biogás de forma mais eficiente.

Os chamados grupos geradores são bastante triviais por apresentarem o custo mais acessível e menor complexidade de manutenção, quando confrontados com turbinas a gás.

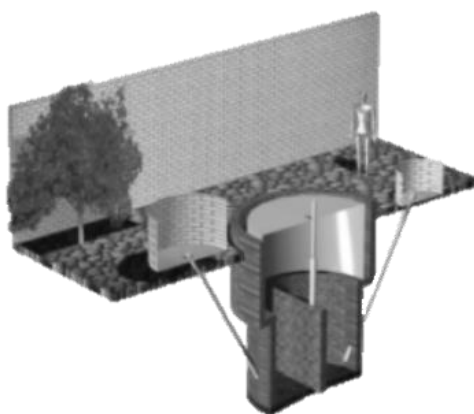


Figura 1. Vista em corte de um biodigestor indiano. Fonte: adaptado de [10].



Figura 2. Grupo gerador modelo LPG45. Fonte: [12].

3. Metodologia

3.1. Dimensionamento do sistema

O grupo gerador escolhido foi o modelo LPG45, figura 2, da marca Leão Geradores ® [12]. Segundo os dados do manual técnico, esse modelo foi projetado para funcionar tanto a gás natural, quanto a biogás. A potência do grupo gerador, em regime contínuo, é de 56 kVA (45 kW), com consumo de biogás de 22 Nm³/h. O gerador possui um rotor com 4 polos, sistema de excitação *brushless* com bobina auxiliar, trifásico, com frequência nominal de 60 Hz, fator de potência 0,8, rendimento global 0,34 e rotação nominal de 1800 RPM.

Além das características técnicas deste modelo serem compatíveis com a demanda elétrica das unidades rurais (4,62 kW por unidade). O aumento da procura por este tipo de equipamento, provocado pela insegurança no cenário energético nacional diante dos períodos de estiagem prolongados, elevou os preços destes equipamentos, sendo a presente opção a melhor em custo/benefício (aprox. US \$ 25.500 em 6 de junho de 2024). O grupo gerador apresenta ainda, de forma opcional, a possibilidade de um sistema de desumidificação para o biogás.

Supondo que uma unidade rural possui os equipamentos descritos na tabela 2, sendo estes monofásicos, e o gerador escolhido trifásico, pode-se obter o fornecimento elétrico de até 4 residências para cada fase do gerador, de acordo com a potência instalada, desta forma, garantimos que o grupo gerador em questão pode suprir a demanda de até 12 unidades off-grid, da mesma demanda energética, entretanto deverá haver uma reatância limitadora de corrente no neutro do gerador para favorecer o balanceamento das cargas [13]. Porém, também existe a possibilidade de ligação à rede da concessionária de energia, para compensar o consumo em unidades registradas no

mesmo nome, de acordo com a Resolução Normativa N°482/2012 [4], nesse caso o grupo gerador em questão conseguiria suprir a demanda de aproximadamente 27 unidades idênticas a da tabela 2, funcionando em plena carga. Entretanto, realizar a ligação do grupo gerador em paralelo à rede, exige a necessidade de apresentação de projeto elétrico realizado por um profissional habilitado, no qual cumpra com as exigências da concessionária em questão.

Tabela 2. Estimativa de consumo da unidade rural.

Equip.	Pot. Unit. (W)	Qtd.	Pot. (W)	Uso (h)	Cons. diário (Wh)
Geladeira duplex	500	1(5) *	500 (2500) **	24	12000
Freezer horizontal	500	1(5) *	500 (2500) **	24	12000
Lâmpadas	30	10	300	5	1500
Ar-cond. 9000 BTU/h	900	1	900	8	7200
Liquidificador	200	1	200	0,2	40
Máq. de lavar roupas	1000	1	1000	1	1000
Aparelho de TV	120	1	120	5	600
Bomba (1,5cv)	1103	1(3) *	1103 (3309) **	4	4412
Potência Instalada 4,623 kW (10,829kW) **			Consumo total/dia 38,752kWh		

Fonte: O autor.

Onde os símbolos abaixo dos valores entre parênteses na tabela 2 correspondem, respectivamente, a:

* Fator referente à corrente de partida do motor.

** Potência referente à corrente de partida do motor.

Para estimar a demanda por biogás, adotou-se o Poder Calorífico Interior – PCI e o rendimento global do grupo gerador indicados pelo fabricante para o modelo LPG45. De posse desses parâmetros, e tomando o consumo diário apresentado na tabela 1. Torna-se possível, a partir das equações (1) e (2), determinar o valor da demanda por biogás.

$$\eta = \frac{P}{\dot{Q}} \quad (1)$$

$$\dot{Q} = PCI \cdot \dot{v} \quad (2)$$

Onde η , P , \dot{Q} , PCI e \dot{v} representam, respectivamente, o rendimento, a potência, a taxa de energia na forma de calor, o poder calorífico inferior e a vazão volumétrica.

3.2. Produção de biogás

De acordo com a tabela 2, foi possível estipular a produção de biogás necessária para a alimentação do grupo gerador.

Tabela 3. Parâmetros para a produção do biogás.

Espécie	Esterco (kg/dia)	Volume (m ³ /kg)	Volume (m ³ /kg _{sv})	Volume (m ³ /dia)
Suíno (90 kg)	2,3-2,5	0,079	0,37-0,50	0,24

Fonte: Adaptado de [14].

Onde o subíndice “sv” refere-se à sólidos voláteis.

Com base na equação (3), o volume de água a ser adicionado ao substrato foi calculado, o volume de água a ser adicionado ao substrato, inicialmente, considerando uma concentração inicial de matéria seca de 19%, deve ser adicionado aproximadamente 1,1 L de água para cada 1 kg de dejetos, com o intuito de diluir a concentração para 9% de material sólido. Supondo que cada kg de esterco ocupe o volume de 1 L, pode-se estimar que cada 100 kg de esterco diluído ocupe o volume de 210 L do volume do biodigestor [15]. O cálculo de volume útil do biodigestor é calculado através da equação (4).

$$x = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Onde: x representa a concentração da solução; m representa a massa de soluto; e v o volume do solvente.

E, para o volume do biodigestor,

$$V_{bio} = C \cdot TRH \quad (4)$$

Onde TRH corresponde ao Tempo de Retenção Hidráulica. Este parâmetro diz respeito à permanência da matéria orgânica no interior do biodigestor. De acordo com [16], o tempo de ideal situa-se entre 30 e 40 dias.

3.3. Viabilidade econômica

No sentido de analisar a viabilidade e o tempo do retorno financeiro para o sistema pretendido. Utilizou-se dos indicadores Valor Presente Líquido – VPL e *payback*:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} - I_o \quad (5)$$

Onde: VPL representa o valor presente líquido, t o tempo decorrido, n representa o enésimo termo do somatório, FC o fluxo de caixa, i representa a taxa mínima de atratividade e I_o , o investimento inicial.

4. Resultados

A partir das equações (1) e (2) tornou-se possível estimar a demanda por biogás, sendo ela de aproximadamente 3 m³/h ou 72 m³/dia. E, para garantia do pleno funcionamento do grupo gerador, adotou-se um acréscimo de aproximadamente 39 % (100 m³/dia). Logo, alcançou-se a necessidade de um rebanho de 550 suínos, com base na tabela 3. A qualidade da massa de sv pode ser atestada via análises em laboratório, no sentido de manter o controle de qualidade da produção de biogás.

A produção do rebanho foi estimada em 1,26 ton/dia de esterco, o que demanda 1,4 m³/dia de água para diluição dos sólidos totais no substrato, resultando em uma carga diária de 2,66 m³. Portanto, a partir da equação (4), alcançou-se um biodigestor de 80 m³ de volume útil. E, com base nestes parâmetros, optou-se pelo modelo indiano, o qual ainda oferece a vantagem de facilidade no controle da pressão de saída do biogás. Entretanto, foi acrescido 39% do volume útil do biodigestor (totalizando 100 m³), no sentido de atender a eventuais acréscimos no consumo elétrico.

Por fim, com auxílio de planilha eletrônica, definiu-se as dimensões, em milímetros, do biodigestor (figura 3). Sendo o material do gasômetro em aço galvanizado (2,3 mm de espessura), os dutos em PVC com diâmetro de 150 mm e demais estruturas em alvenaria. Todos os aspectos construtivos visaram maximizar a produção e minimizar os custos (quadro 1). O referido biodigestor foi projetado para permanecer integralmente no subsolo, esta medida, visa manter a temperatura da matéria orgânica estável, ficando sobre o nível do solo

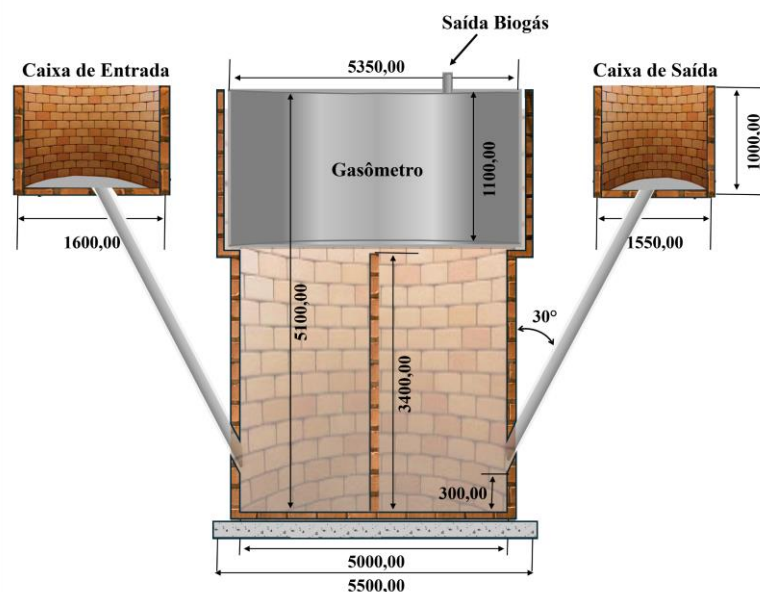


Figura 3. Corte longitudinal do biodigestor indiano. Fonte: O autor.

somente o gasômetro, e este ficará selado por meio de selo d'água, uma espécie de válvula que impede a saída

de gás do interior do biodigestor. O formato da caixa de carga é cilíndrico, favorecendo à dissolução da mistura em água, no momento de redução da concentração de sólidos totais. A parede divisória tem a finalidade de não permitir que o material orgânico recém inserido vaze pelo tubo de saída.

Na tabela 4, consta o orçamento referente à implementação do sistema proposto no presente estudo, sem considerar a aquisição do rebanho. Dependendo da região, modelo e marca dos produtos escolhidos pode haver divergências no valor final do projeto. Embora haja a necessidade de um investimento inicial considerável, a abrangência social e o impacto positivo no âmbito ambiental, mostram que é altamente viável a reprodução e implementação do presente projeto para cooperativas de pequenos produtores.

Tabela 4. Descrição das despesas de implantação.

Tipo	Qtd.	Valor	Preço final (R\$)
Aluguel de retroescavadeira	1 diária	R\$ 800,00/dia	800,00
Parede do biodigestor	80,00 m ²	R\$ 157,00/ m ²	12560,00
Piso do biodigestor	19,63 m ²	R\$ 80,00/ m ²	1570,00
Parede divisória	17,00 m ²	R\$ 70,00/ m ²	1190,00

Selo d'água	64,50 m ²	R\$ 70,00/ m ²	4515,00
Teto da campânula	23,75 m ²	R\$ 314,80/ m ²	7476,50
Lateral da campânula	29,36 m ²	R\$ 314,80/ m ²	9242,53
Caixa de carga	8,2 m ²	R\$ 70,00/ m ²	571,00
Caixa de descarga	6,2 m ²	R\$ 70,00/ m ²	434,00
Tubos	17,0 m	R\$ 30,00/ m	510,00
Mão de obra Metalurgia/Construção	9 dias	R\$ 350,00/dia	1700,00
Encanamento para gás	20 m	R\$ 25,00/m	500,00
Manômetro de segurança	1	R\$ 150,00	150,00
Filtro H ₂ S	1	R\$ 10000,00	10000,00
Grupo gerador	1	R\$ 130000,00	130000,00
Gastos Adicionais	1	R\$ 15000,00	15000,00
Total (R\$)		196222,03	

Fonte: O autor.

Adotando-se como referência a resolução n° 2859 da ANEEL, estima-se que o consumo mensal médio, tendo por base a tabela 2, de uma unidade rural é de R\$ 602,32. Portanto, para as 12 unidades propostas, têm-se 7227,84 mensais.

Através da equação (5), é possível analisar o tempo de retorno do investimento pelo fluxo de caixa apresentado na figura 4. Neste caso, foi calculado por meio de planilha eletrônica, onde os valores de

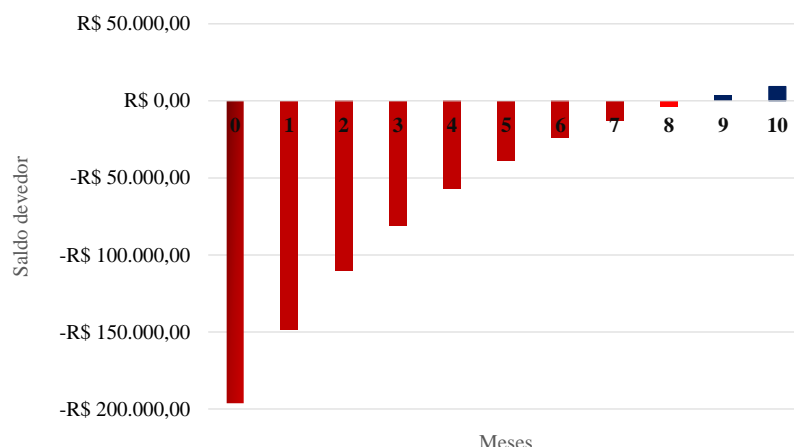


Figura 4. Fluxo de caixa. Fonte: O autor.

referência tomados constam na tabela 5. Já o valor de investimento inicial consta na tabela 4 e a taxa de desconto aqui adotada foi de 2% [17], representando hipoteticamente uma taxa de juros média para financiamento rural.

Tabela 5. Demonstrativos líquidos de economia mensal.

Descrição	Valor de Referência	Valor Mensal	Tipo
Manutenção e operação do biodigestor e grupo gerador	10% do valor inicial ao ano [18]	R\$ 1564,70	Despesa
Mão de obra (operação)	Salário-mínimo [19]	R\$ 1100,00	Despesa
Tarifa mensal estimada	[20]	R\$ 7227,40	Economia

Fonte: O autor.

Como pode-se observar no gráfico da figura 4, o retorno do investimento inicial é esperado por volta de 8 anos e 6 meses de operação. Ressalta-se que ainda há a possibilidade de utilização e comercialização do biofertilizante gerado na reação, e desta forma, o tempo de retorno de investimento poderá ser reduzido. Para fins de comparação de viabilidade econômica, duas situações foram confrontadas com a proposta atual. A primeira, com base na abordagem realizada por [21], no qual é dimensionado um sistema fotovoltaico *on-grid* para atender a demanda residencial de 815 kWh/mês, e teve um custo de R\$32.049,98. Na segunda condição, realizou-se um orçamento, através de uma simulação no site da empresa Blue Sol Energia Solar® [22], de um sistema fotovoltaico para atender a demanda de energia de uma unidade rural idêntica a analisada no presente estudo.

A comparação entre estes sistemas pode ser observada no gráfico da figura 5.

Portanto, torna-se visível que a implementação do sistema proposto neste trabalho foi mais rentável economicamente, embora seja importante pontuar alguns detalhes, como:

- I. Há diferença de operação entre sistema, pois este trabalho dimensiona um equipamento que funciona desconectado da rede elétrica da concessionária, o que difere das duas propostas comparadas na tabela 5. Para um sistema fotovoltaico *off-grid*, haveria gastos adicionais na aquisição de baterias, pois a geração de energia solar fotovoltaica tem a limitação de funcionamento regida pela presença de luminosidade solar.
- II. No primeiro caso, trata-se de uma unidade residencial, havendo uma pequena diferença na tarifa executada pela concessionária de energia.

5. Conclusões

Podemos concluir através do presente estudo, que o uso de biodigestores para a geração de biogás e conversão em energia elétrica é viável, sustentável e pode ser implementada em larga escala, visando reduzir a influência de fontes não renováveis, às quais são potenciais poluidoras, como por exemplos, os combustíveis fósseis.

Sendo o biogás, um biocombustível, permite a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera durante seu processo, visto que o metano, principal componente do biogás, é cerca de 20 vezes mais poluente que o dióxido de carbono segundo estudos de [23]. Além disso, a digestão anaeróbica de dejetos, oferece uma alternativa ao planejamento de descarte dos dejetos urbanos e de

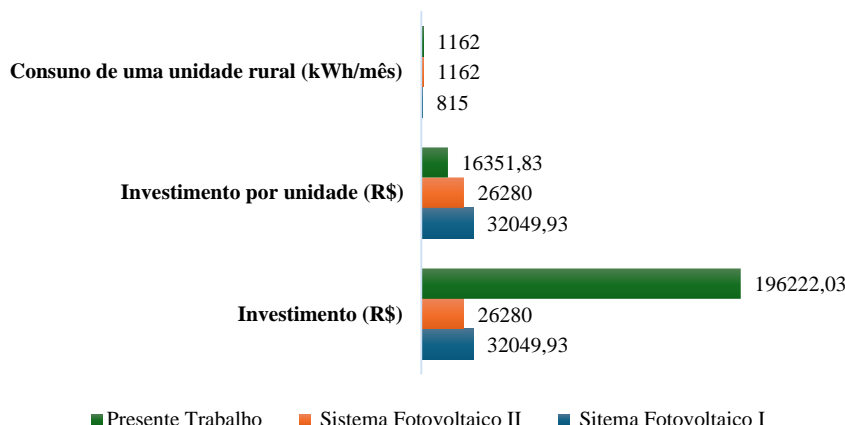


Figura 5. Comparação com duas configurações distintas. Fonte: O autor.

animais, como exige a política nacional de resíduos sólidos, pois o lançamento de dejetos suínos, sem o devido tratamento em cursos de água e/ou no solo, gera grandes problemas ecológicos e ambientais, acarretando a diminuição de oxigênio nas águas, o que impossibilita a vida subaquática, e na contaminação do solo com substâncias tóxicas, como a amônia e nitratos, dentre outros.

Para sanar tais problemas, ecológicos e ambientais, o presente trabalho buscou apresentar uma solução viável. A partir de um estudo de caso, pôde-se chegar em um projeto que utilizasse os dejetos de suínos para a obtenção do biogás, e posterior geração de energia. Pode-se destacar, ainda, que embora o valor de aquisição e implementação do projeto seja razoavelmente elevado (R\$196.222,03), ele seria capaz de suprir a demanda energética de 12 unidades rurais, uma quantidade satisfatória e que amortiza os custos de aquisição. Outro ponto de destaque é o biofertilizante, produto resultante da fermentação do substrato suíno, o qual pode ser usado nas próprias unidades rurais, para fertilização do solo e tratamento de pragas, ou comercializado para produtores agrícolas, reduzindo ainda mais o tempo de 8 anos e 6 meses previstos para o retorno do investimento.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio prestado pelo Grupo de Pesquisa em Aplicações Térmicas da Universidade Federal do Piauí (GPAT/UFPI). Também gostariam de agradecer a parceria com o Instituto Federal da Paraíba (IFPB).

7. Referências

- [1] K. Vohra, A. Vodonos, J. Schwartz, E. A. Marais, M. P. Sulprizio, and L. J. Mickley,

“Global mortality from outdoor fine particle pollution generated by fossil fuel combustion: Results from GEOS-Chem,” *Environ. Res.*, vol. 195, no. July 2019, p. 110754, 2021, doi: 10.1016/j.envres.2021.110754.

- [2] EPE(Empresa de Pesquisa Energética), “Anuário estatístico de energia elétrica 2020 ano base 2019,” 2020. .
- [3] IBGE and SEAS, “Porcentagem da população com acesso à eletricidade,” 2021. .
- [4] ANEEL, “RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, de 17 de abril de 2012,” 2012. <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf> (accessed May 04, 2021).
- [5] R. D. Oliveira, “Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono,” Universidade de São Paulo-USP, 2009.
- [6] A. C. do Amaral and R. L. R. S. A. Kunz, “Capítulo 1 O Processo de Biodigestão,” *Fundam. da Dig. anaeróbia, purificação do biogás, uso e Trat. do Dig.*, no. Figura 1, pp. 14–26, 2019.
- [7] R. D. Oliveira and J. C. de M. Vieira Junior, “Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado decarbono,” Universidade de São Paulo, 2011.
- [8] P. PINHEIRO, *Sistemas Térmicos*. UFMG, 1999.
- [9] J. W. S. ALVES, “Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos,” Universidade de São Paulo, 2000.
- [10] R. Deganutti, D. Maria, J. Plácido, M. Marco, B. R. Tavares, and B. Claudemilson, “Biodigestores Rurais: Modelo Indiano,

- Chinês e Batelada,” *Scielo Proceedins*, 2002, [Online]. Available: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=en&nrm=abn.
- [11] F. V. de Abreu, M. A. F. Costa Filho, and M. C. L. Souza, “Biogás De Aterros Sanitários Para Geração De Energia Renovável E Limpa - Um Estudo De Viabilidade,” *IX Congr. Iberoam. Ing. Mecânica*, no. Mdl, pp. 1–8, 2009, [Online]. Available: <http://www.eng.uerj.br/publico/anexos/1280380722/07-c0343-a1-viana-cibim2009.pdf>.
- [12] L. ENERGIA, “Grupo Gerador à Biogás-LPG45.” Londrina-PR, 2015, [Online]. Available: https://www.leaoenergia.com.br/produtos_leao/grupo-gerador-a-biogas/.
- [13] WEG, “DT-5 Caracaterísticas e especificações de geradores,” V.9, 2017. <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h68/h68/%0AWEG-curso-dt5-caracter-sticas-e-especifica-o-de-geradores-artigo-tecnico-portugues.%0Apdf> (accessed Jun. 04, 2021).
- [14] P. A. V. de Oliveira, “Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos,” *Doc. / Embrapa*, no. 27, p. 188, 1993.
- [15] E. E. Alves, K. R. A. Ione, and A. C. Borges, “II simpósio brasileiro de agropecuária sustentável 23,” 2010.
- [16] R. de S. Ferreira, “Biodigestores e os fatores que determinam sua máxima produção,” *Res. Soc. Dev.*, vol. 9, no. 7, p. 6, 2020, [Online]. Available: <https://talenta.usu.ac.id/politeia/article/view/3955>.
- [17] B.-B. N. de Desenvolvimento, “BNDES Crédito Rural,” 2021. .
- [18] R. G. CERVI, M. T. ESPERANCINI, and O. de C. BUENO, “Viabilidade Econômica da Utilização do Biogás Produzido em Granja Suínica para Geração de Energia Elétrica,” *Energ. agrícola*, vol. 30, no. 5, pp. 831–844, 2010, doi: 10.21608/pshj.2022.250026.
- [19] Governo Federal do Brasil, “Novo salário mínimo 2021: veja como registrar o reajuste no eSocial Doméstico,” 2021. <https://www.gov.br/esocial/pt-br/noticias/novo-salario-minimo-2021-veja-como-registrar-o-reajuste-no-esocial> (accessed Jun. 13, 2024).
- [20] ENEL, “Taxas, Tarifas e Impostos-Enel Ceará,” 2021. https://www.enel.com.br/pt-ceara/Tarifas_Enel.html (accessed Jun. 16, 2024).
- [21] P. E. Lau de Melo and E. de Souza Queiroz, “Estudo De Viabilidade Técnica E Econômica Da Implementação De Um Sistema Fotovoltaico Em Uma Residência Em Palmares-Pe,” *Rev. Científica Sem. Acadêmica*, vol. 9, no. 209, pp. 1–27, 2021, doi: 10.35265/2236-6717-209-9266.
- [22] Blue Energia Solar, “Simulação Online,” 2021. <https://blueenergiasolar.com/> (accessed Jun. 12, 2020).
- [23] B. ROYA, E. FREITAS, E. BARROS, F. ANDRADE, M. PRAGANA, and D. J. A. D. SILVA, “Biogás–uma energia limpa,” *Rev. Eletrônica Novo Enfoque*, vol. 3, no. 13, pp. 142–149, 2011.