



RBES

Revista Brasileira de
Engenharia e Sustentabilidade

ISSN 2448-1661

Pelotas, RS, UFPel-Ceng

[https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php
/ RBES/index](https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/RBES/index)

v.11, p.59-72, dez. 2023

ANÁLISE DA ENERGIA GERADA COM BIOGÁS EM UMA PROPRIEDADE DE CRIAÇÃO DE SUÍNOS

BELIN, F.¹; GRANDER, G.¹

¹Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)

Palavras-chave:

eletricidade, biomassa, gerador, digestão anaeróbia.

Resumo

Esta pesquisa objetivou comparar os dados de uma microusina de biogás de uma propriedade rural de criação de suínos de Toledo com seu potencial de geração de eletricidade. Para tanto, foram coletados dados no sistema de monitoramento de parâmetros do motor gerador da empresa do período de um ano de uma propriedade de 5.600 suínos. As análises realizadas foram de correlação entre variáveis de horas trabalhadas do motor, potência ativa, velocidade do motor e idade dos animais com a energia gerada, além de um comparativo entre o potencial energético da propriedade e o total de energia gerada. A propriedade estudada poderia produzir mais de 41.000 Quilowatt-hora nos quatro meses de alojamento de um lote de suínos, mas gerou pouco mais de 20.000 Quilowatt-hora, que representa 49,35% de seu potencial.

Analysis of energy generated with biogas on a swine farm

Keywords: electricity, biomass, generator, anaerobic digestion.

Abstract

This research aims to compare the data from a biogas microplant of a rural swine farm in Toledo with its electricity generation potential. In order to do so, data were collected in the company's generator engine parameters monitoring system for a period of one year on a property of 5,600 pigs. The analyzes carried out were a correlation between variables of engine hours worked, active power, engine speed and age of the animals with the energy generated, as well as a comparison between the energy potential of the property and the total energy generated. The property studied could produce more than 41,000 kilowatt hour in the four months of housing a batch of pigs, but generated just over 20,000 kilowatt hour: 49.35% of its potential.

INTRODUÇÃO

O município de Toledo, no Paraná, possui o maior rebanho de suínos do Brasil (IBGE, 2021), o que mostra a importância do município no cenário da pecuária nacional e na participação na economia da região. Os dejetos de suínos não podem ser descartados na natureza sem tratamento prévio. Ferreira et al. (2018) afirmam que a produção de energia renovável a partir do biogás é uma alternativa para a diversificação da matriz energética brasileira, que é muito dependente de plantas hidrelétricas.

Para Freitas et al. (2019), o biogás é um combustível com todas as condições técnicas e econômicas para ser explorado no Brasil. De acordo com Ferreira et al. (2018), os principais desafios para a implementação da cadeia produtiva de biogás envolvem a necessidade de mapeamento do potencial existente, limitações tecnológicas, técnicas, de mercado e qualificação profissional.

Para Catapan et al. (2011, p. 27), o "manejo dos dejetos é parte integrante de qualquer sistema produtivo de criação de animais e deve estar incluído no planejamento da construção ou

modificação das instalações." Um ponto importante para a implementação de projetos de armazenamento e tratamento de dejetos para que possuam mais valor agregado é o conhecimento de seu volume e composição (Catapan et al., 2011). Dependendo do plantel de suínos por produtor, os dejetos se tornam grandes problemas ambientais e de possível contaminação da água, ar e solo (BARBOSA; LANGER, 2011). O volume de dejetos líquidos é determinado por algumas variáveis, como "número e categoria dos animais, o tipo de piso, o tipo de bebedouro, tipo de alimentação, quantidade de água ingerida, a tipologia da edificação em relação ao sistema de manejo de dejetos, [...] e o manejo de água para limpeza" (CATAPAN et al., 2011, p. 27). Desse modo, os tratamentos prévios à destinação à natureza se fazem necessários, como os que ocorrem nos biodigestores, onde se reduz de 75 a 80% sua carga orgânica, diminuindo também elementos prejudiciais como cobre, zinco, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO), aumentando, portanto, a qualidade e utilidade do biofertilizante gerado depois da fermentação (KONZEN, 2005).

Para que haja uma produção de 1m^3 de biogás, são necessários em torno de 12kg de dejetos suínos (GASPAR, 2003), ou seja, em torno de 5 animais produzem esta quantidade de biogás diariamente. Por sua vez, cada m^3 de biogás possui um poder calorífico de até 12kcal (GASPAR, 2003).

Para Prapaspongsa (2009), a digestão anaeróbia deve ser parte dos tratamentos de dejetos caso se almeje a produção máxima de eletricidade, pois o processo possui alta eficiência, podendo alcançar até 41% de conversão da energia dos dejetos em eletricidade. Nos experimentos conduzidos por Souza et al. (2016) em uma unidade de engorda de suínos e em um abatedouro de aves, o consumo médio de um gerador a potência de 70kW pode atingir $0,8\text{m}^3$ de biogás para produzir 1kWh, ou ainda produzindo 1,25kWh com 1m^3 de biogás. A pesquisa de Silva et al. (2018) obteve uma produção média de biogás de aproximadamente 430m^3 por dia, o que corresponde a uma média de $0,10\text{m}^3$ por suíno; a qualidade do biogás foi de cerca de 68% de metano, resultando num consumo específico de $0,94\text{m}^3/\text{kWh}$ e uma eficiência global de 17%. Segundo

Ferreira et al. (2018), um dos empecilhos para o avanço do biogás são as limitações tecnológicas, envolvendo a necessidade de adaptações do sistema elétrico brasileiro (centralizado) para as citadas tecnologias em conceito de rede (geração distribuída).

Diante do panorama exposto, esta pesquisa objetivou comparar os dados de uma microusina de biogás de uma propriedade rural de criação de suínos de Toledo com seu potencial de geração de eletricidade. Para isso, foram analisados os dados de geração de energia obtidos no sistema utilizado pela empresa em estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da propriedade estudada

A empresa estudada possui instalação de geradores de energia em cinco propriedades rurais da região de Toledo, no Paraná. Seu modelo de negócio é o de cooperativas de geração distribuída de energia. Os produtores rurais disponibilizam os dejetos de seus animais, e a empresa fornece os espaços para armazená-los, como lagoas cobertas e biodigestores, e os componentes necessários para

gerar energia a partir do biogás gerado, como lonas, válvulas, encanamentos, fiação, motor gerador e compressor de ar. A energia gerada é utilizada para abater a conta de luz da propriedade e o excedente é distribuído para a rede da companhia estadual de energia elétrica, que reembolsa este valor para a cooperativa, que repassa para a empresa.

A empresa estudada possui a geração e armazenamento de dados controlados por um sistema que identifica as variáveis, causas de parada e outros problemas em tempo real, conforme for configurado. O sistema pode ser acessado pela internet, em computadores ou em aplicativos mobile, onde são disponibilizados dados do momento atual e dados históricos. Todos os dados podem ser acessados por meio de relatórios. O sistema informa diversas variáveis do processo de geração de energia, como intensidade da corrente, tensão da rede, potência de trabalho do motor, horas de trabalho e quantidade de energia gerada em kWh que é distribuída para a rede.

Coleta e análise dos dados

Para o mapeamento do

processo, foram realizadas duas visitas in loco na propriedade em questão, que possui granjas de suínos com geração de energia a partir do biogás obtido com seus dejetos. Na primeira, em 20 de abril de 2022, com dois dos três sócios (um responsável pela administração estratégica e outro pela operação técnica das plantas), foi apresentado um panorama geral de funcionamento de uma microusina, e foram evidenciadas algumas oportunidades que poderiam ser estudadas em busca de padronização do processo. A segunda visita foi realizada em 3 de setembro de 2022, com uma proposta de delineamento de experimentos a ser realizada em uma das plantas considerando fatores e níveis de controle. Contudo, foi relatada uma limitação na condução da pesquisa visto que não seria possível realizar o controle estruturado dos fatores, como temperatura do biodigestor, taxa de alimentação da biomassa/dejetos e agitação, o que seria um risco para a condução do experimento.

Assim, optou-se por analisar dados históricos disponibilizados pelo sistema da empresa, relacionados às configurações do motor gerador e da geração de

energia elétrica para identificar correlações entre as variáveis controladas. Além das variáveis obtidas via sistema, estudou-se o fator de idade dos animais no último lote de suínos alojados, que permitiu realizar comparações, com base na literatura vigente, entre o potencial de biogás e de energia da planta com a quantidade real de energia gerada. Desse modo, pode-se identificar as lacunas da operação, ou seja, detectar os motivos que impedem que se gere o máximo de energia possível. Dentre as propriedades em que a empresa atua, optou-se por estudar os dados da propriedade rural que mais possuía animais no período da pesquisa, portanto possui maior potencial de geração de biogás e de energia, mas que, por falta de padronização da operação, não veio atingido este potencial máximo.

A propriedade estudada possui cinco galpões em que os animais estão alojados, todos em fase de terminação, isto é, vieram de outra granja com aproximadamente 63 dias de vida (em torno de 22kg) e saíram dela depois de 137 dias de alojamento com destino ao abatedouro da empresa do sistema de integração. Nos galpões, o total de

animais alojados é cerca de 5.600. Considerou-se uma média de geração de dejetos de 7% do peso de cada suíno por dia (Konzen, 1983), o que resultou em uma média diária de 27.558kg de dejetos. A limpeza dos galpões e a consequente destinação dos dejetos ocorre uma vez por dia. Os dejetos seguem para um espaço anterior ao biodigestor, em que assim que determinado nível é atingido, a bomba de alimentação é acionada automaticamente. Apenas em casos esporádicos de problemas com a caixa anterior ao digestor, é necessário acionar a bomba manualmente.

Para conferir mais confiabilidade às análises e resultados, foram extraídos dados do sistema com intervalo de um ano, o que inclui diferentes épocas climáticas do ano, configurações do motor e dias de vida dos animais. Os dados foram extraídos com o intervalo de datas de 24 de setembro de 2021 a 24 de setembro de 2022. Os relatórios foram extraídos em formato de arquivo .xls.

Foram obtidos dois relatórios referentes à propriedade. O primeiro relatório (1) possuía dados agrupados por dia e por mês, e com as seguintes variáveis

principais: data e horário de recebimento do dado, temperatura do motor, pressão do óleo, horas diárias de trabalho, acumulado de horas trabalhadas, energia gerada diariamente, e acumulado de energia gerada; além de gráficos de evolução temporal de total de energia e de total de potência. O segundo relatório (2) listava todos os dados recebidos no período selecionado, com todas as variáveis recebidas de vários momentos durante cada dia.

Os dados obtidos foram tratados da seguinte maneira: no relatório 1, foram analisados os dados referentes à 'Data de lançamento dos dados', o 'Total de Horas do motor trabalhadas por dia', e o 'Total de energia gerada em kWh por dia'. No relatório 2, foram analisados dados de média diária das seguintes variáveis: Tensão da bateria (V), Velocidade de rotação do motor (rpm), Frequência do gerador (Hz), Potência ativa (kW), Fator de potência (%), Temperatura do motor (°C) e Pressão do óleo (bar).

No primeiro ciclo de análise dos dados, a partir de sua tabulação, utilizando o software Microsoft Excel ® foram gerados gráficos de dispersão, buscando a correlação

entre cada uma das variáveis citadas e o 'Total diário de energia gerada'. Para demonstrar a possível relação, foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2), que quanto mais próximo de 1, mostra que mais relacionadas estão as duas variáveis estudadas.

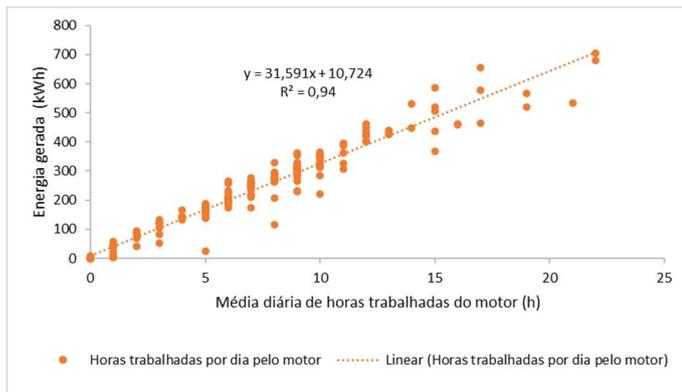
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos por meio das análises de correlação puderam auxiliar os sócios da empresa a tomarem decisões mais assertivas quanto aos parâmetros que podem ser configurados por eles, especialmente os do motor gerador, visando aumentar a geração de energia. Como destacado por Silva et al. (2018), o uso de sensores específicos bem escolhidos e um sistema de monitoramento para mensuração contínua de parâmetros envolvidos mostrou resultados importantes no estudo de geração de energia elétrica com biogás, possibilitando estudos futuros que podem incorporar mais variáveis de monitoramento, gerando novas correlações importantes.

O primeiro gráfico apresenta o total de horas trabalhadas do motor por dia, através da correlação entre a variável

independente (horas) e a dependente (energia gerada), em que se observa o R^2 próximo a 1, indicando regressão e dependência entre elas.

Figura 1. Horas trabalhadas vs. Energia gerada

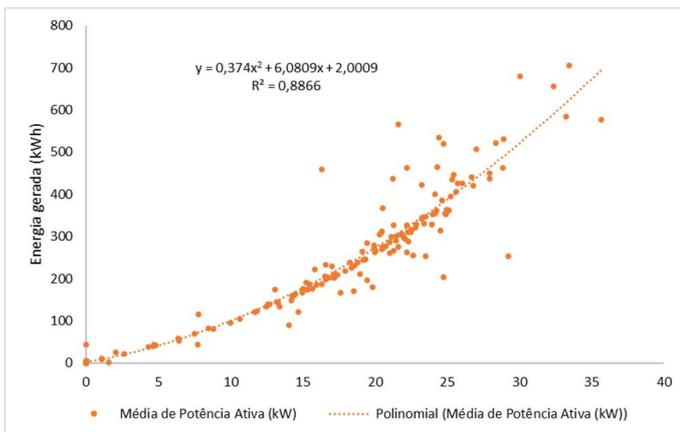


Com isso, afirma-se que quanto mais tempo o motor trabalha, mais energia ele gera, além de que se nota uma maior concentração dos dados nos dois primeiros quartis, até aproximadamente 12h/dia. Existem diversos fatores limitantes para a ampliação do horário de funcionamento do gerador, mas especialmente isso se dá devido à indisponibilidade de biomassa e biogás para gerar energia. Os motivos para essa falta também são variados, como a idade dos animais, o consumo de ração, a limpeza dos galpões, a constância na alimentação do biodigestor, sua agitação, entre outros. No estudo de Silva et al.

(2018), a média de operação do motor gerador foi de $6,5 \pm 1,2$ horas por dia, enquanto a média de produção de eletricidade foi de $324,5 \pm 70$ kWh por dia. Segundo Chang et al. (2014), sob as restrições do motor, quanto mais alta a taxa de alimentação de combustível, mais alta é a geração de energia. Para os autores, uma taxa de fornecimento de biogás abaixo de 220L/min não permite que o motor opere normalmente.

O motor gerador é configurado conforme a potência que será injetada na rede. Os valores de todas as demais variáveis são consequências desta definição. O primeiro gráfico gerado apresentou correlação fraca entre a Potência Ativa e a Energia. No entanto, após a retirada dos *outliers* (como geração de energia com a potência ativa zerada), obteve-se alta fator de regressão (Figura 2) (R^2 maior que 0,8) entre as variáveis em questão.

Figura 2. Potência Ativa vs. Energia gerada

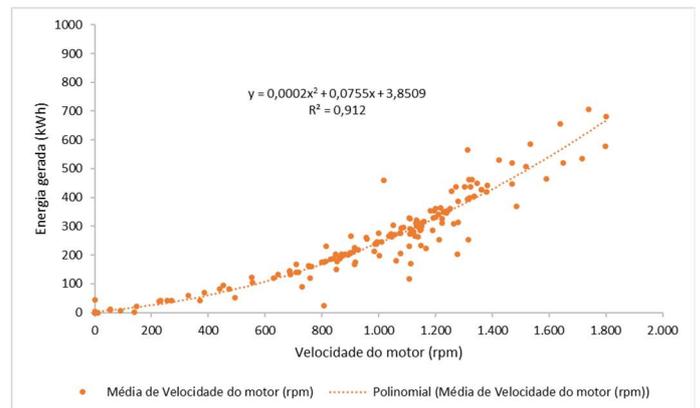


Fonte: Autores, 2022

A potência máxima a ser configurada no motor estudado é de até 50kW. O comportamento apresentado no gráfico condiz com essa informação, considerando que os pontos são as médias diárias de Potência, ou seja, consideram todos os momentos de coleta de dados, desde a partida do motor até o valor de potência configurado nele. Acompanhando a curva de tendência polinomial, os dados estão principalmente agrupados em uma faixa que vai de 15 a 25kW. Em um motor de 100kVA, num dia normal de operação de 13h45min, Souza et al. (2013) obtiveram uma média de 60kW de potência ativa. A diferença em relação à propriedade estudada pode ser explicada pela menor quantidade de animais alojados no período e a eficiência da operação, que vem aumentando aos poucos.

Em relação à média de velocidade do motor, a regressão mostrou-se forte, com um valor de R^2 de 0,912 da equação polinomial de tendência da dispersão (Figura 3).

Figura 3. Velocidade do motor vs. Energia gerada



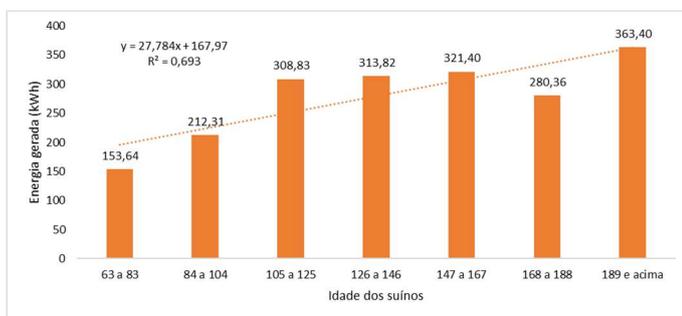
Fonte: Autores, 2022

Esta apresentação dos dados também considera todos os momentos de coleta de dados, incluindo com velocidades inferiores à nominal do motor de 1.800rpm, que, assim que atingida, deve ser mantida constante para injetar energia na rede à potência de até 50kW.

Em posse dos dados de data de alojamento e de saída dos suínos do último lote na propriedade estudada, e considerando que os animais chegam com aproximadamente 63 dias de idade nesta unidade de terminação, foi realizada a classificação de sua idade em

faixas, para melhor observar sua relação com a geração de energia. O valor de R^2 indica correlação alta, ou seja, quanto mais idade o suíno possui, mais energia foi gerada (pois havia mais biogás disponível como combustível, já que a produção de dejetos era maior).

Figura 4. Idade dos suínos vs. Energia gerada



Fonte: Autores, 2022

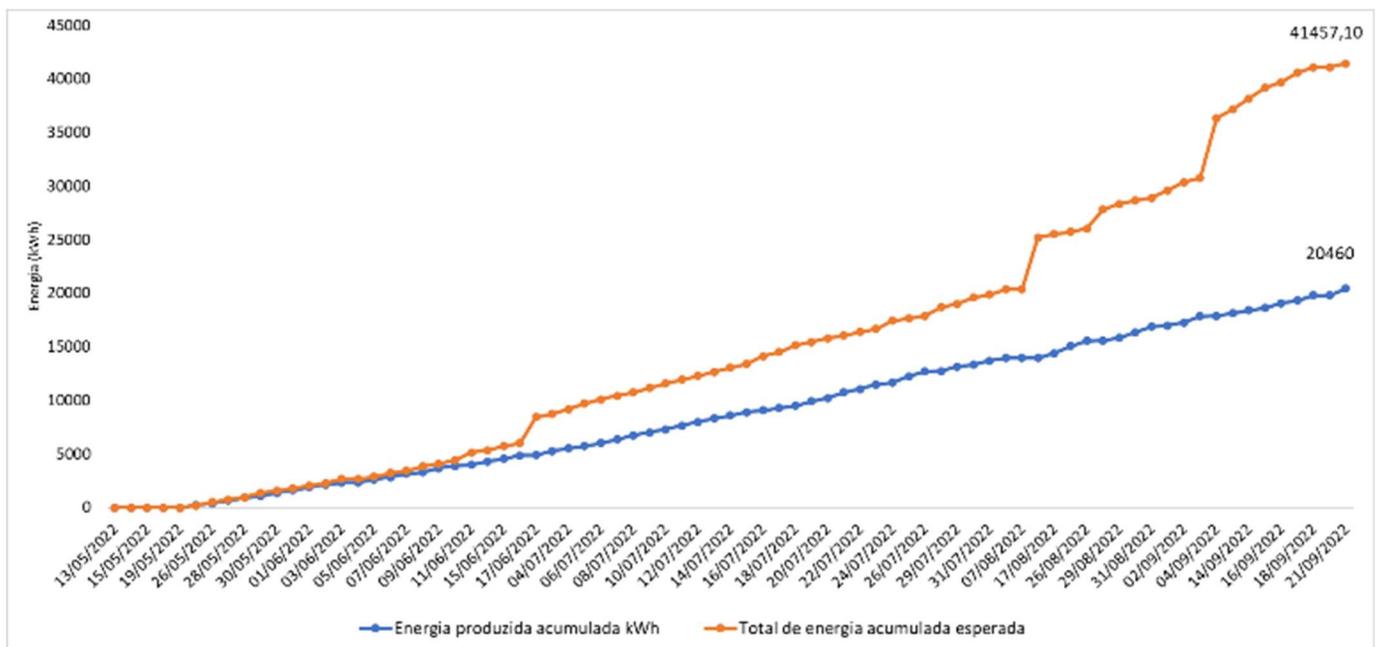
Considerando o peso final médio de um suíno de 135kg e seu peso inicial na propriedade em questão de aproximadamente 22kg, nota-se que o ganho de peso por suíno foi de cerca de 113kg. Dividindo este valor por 137 dias de alojamento do último lote, obteve-se um ganho diário de 0,82kg por animal. Desse modo, pode-se adicionar esta quantidade a cada dia e encontrar o peso médio diário de um suíno. Para Catapan et al. (2011, p. 35), existe grande variabilidade na mensuração de dejetos em

granjas de suínos, “dependendo principalmente do número e categoria dos animais, instalações e equipamentos e manejo de limpeza adotado em cada granja, determinando maior ou menor quantidade de água utilizada”. De acordo com Konzen (1983), um suíno gera em torno de 7% de seu peso em dejetos diariamente. Com essa porcentagem, obteve-se a quantidade diária de dejetos gerada por suíno. Este valor foi multiplicado por 5.600, que é o total de animais que estiveram alojados no lote estudado. Segundo Gaspar (2003), são necessários 12kg de dejetos para gerar 1 m³ de biogás. Assim, o último valor obtido foi dividido por 12, resultando na quantidade em m³ de biogás de cada dia. Para a COPEL (2016), 1 m³ de biogás gera 1,428kW, fator considerado para ser multiplicado e encontrar a quantidade de energia esperada por dia de trabalho. Levando em conta ainda o fator de tempo de operação do motor, este total de energia esperada foi dividido pelo total de horas trabalhadas do motor no dia analisado. Por fim, este valor foi contabilizado de forma acumulada do primeiro ao 137º dia do lote. Esta quantidade está presente na linha superior do gráfico (Figura 5), enquanto a linha inferior mostra o acumulado

de energia de fato realizado no lote. Ao final, enquanto se esperavam mais de 41.000kWh, o total gerado no período foi de pouco mais de 20.000kWh, o equivalente a 49,35% do

potencial da propriedade.

Figura 5 – Energia esperada vs. Energia produzida



Fonte: Autores, 2022

Os motivos de tal discrepância são variados, de acordo com a complexidade identificada do processo de geração de energia com biogás, desde a qualidade do biogás enquanto combustível, até as configurações e eficiência do motor, e a situação da rede da concessionária em que a energia é injetada. Dentre os fatores limitantes encontrados na literatura e que são observáveis no caso estudado, um deles é a temperatura ambiente, fator

determinante para uma digestão anaeróbia eficiente. No estudo de Silva et al. (2018), houve uma produção maior de biogás nos meses seguintes a agosto e setembro, o que pode estar relacionado ao aumento da temperatura e à produção de dejetos; a média de produção diária de biogás pode aumentar em até 0,09m³ nos meses mais quentes. Sabendo que os meses estudados que vão de maio a setembro possuem temperaturas

mais baixas, Souza et al. (2013) indicam que neste período há uma produção por causa da menor eficiência no tempo de retenção hidráulica nestes meses. Em estudo semelhante, os mesmos autores, numa propriedade com um total de 4.868 animais alojados, foram produzidos 586m³ por dia de biogás, gerando 800kWh/m³ em 10 horas diárias trabalhadas do conjunto moto gerador (Souza et al. 2013).

Outras sugestões são de mistura de dejetos com outros componentes, como mostra o estudo de Linsing et al. (2010), em que a co-digestão utilizando gordura de cozinha com dejetos de suínos foi responsável por um aumento de 113% de matéria orgânica e 124% a mais de metano; o maior tempo de retenção e sólidos acumulados no digestor provavelmente deixaram a eficiência da digestão similar a sistemas de temperaturas mais altas. De acordo com Ndegwa et al. (2005), temperaturas maiores melhoraram o rendimento específico de biogás, mas a qualidade do biogás produzido (65 a 70% de metano e 17 a 20% de dióxido de carbono), não foi significativamente diferente com temperaturas altas ou baixas.

CONCLUSÕES

A partir dos dados apresentados e da comparação da produção de energia da microusina de biogás citada em relação ao potencial de geração, identificou-se que a geração foi de 49,35% de seu potencial de geração, respondendo assim a questão norteadora desta pesquisa. Com isso parte-se do entendimento que a propriedade possui um grande potencial de aumento da geração de energia gerada. Os processos presentes em pequenas usinas de biogás, especialmente por serem novas no mercado energético brasileiro, apresentam lacunas de ganhos, que podem representar grande potencial de melhoria e êxito operacional e financeiro. Diante da análise realizada e dos resultados apresentados é possível dizer que a propriedade pode intensificar o foco das atividades da empresa para as ações que proporcionem aumento de energia gerada.

Por não haver controle constante de variáveis como alimentação de dejetos, agitação da biomassa, e temperatura da lagoa coberta (biodigestor), a pesquisa limitou-se em sua intenção inicial de propor um delineamento de experimentos

que pudesse mostrar um ponto ótimo de combinação desses fatores e níveis. As empresas dedicadas ao recente negócio do biogás enfrentam seus próprios desafios relacionados à gestão, manejo e tecnologias, que precisam ser superados somando esforços de seus empresários, pesquisadores, outros modelos de negócio e o apoio legislativo estatal. O mercado de biogás no Brasil possui grande potencial diante dos desafios de demanda energética que estão por vir. Transformando compostos nocivos ao meio ambiente em combustível para geração de energia e outros subprodutos biodegradáveis, o biogás como fonte de energia se destaca como alternativa neste cenário.

Como sugestão para estudos futuros, apresenta-se a análise de outras propriedades utilizando os mesmos métodos desta pesquisa; além de, com a identificação das lacunas do processo, sugere-se delimitar seus pontos críticos, monitorá-los, classificá-los quanto seu impacto, e aplicar metodologias de resolução de problemas para observar melhorias nos resultados de geração de energia. Assim como realizar um delineamento de experimentos que possa indicar

uma combinação ótima de fatores e níveis para ganho de eficiência na geração de energia proveniente do biogás, desde que controlando adequadamente as variáveis e minimizando os ruídos que possam gerar viés de resultado.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc & Ciência - ACSA**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 87-96, 2011. Disponível em: <<https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/acsa/article/view/864>> Acesso em: 30 maio 2022.

CATAPAN, Anderson; CATAPAN, Dariane Cristina; CATAPAN, Edilson Antonio. Alternative forms of electricity generation from the biogas: An approach to the cost of generation of energy. **Custos e agronegócio**. [S.L.], v. 7, n. 1, p. 25-37, 2011.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Biomassa**. 2016. Disponível em: <<https://bityli.com/ieGrfM>> Acesso em 30 maio 2022.

CHANG, Chia-Wei; LEE, Tsung-Han; LIN, Wei-Tsung; CHEN, Chiun-Hsun. Electricity Generation Using Biogas From Swine Manure for Farm Power Requirement. **International Journal Of Green Energy**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 339-346, 20 nov. 2014.

FERREIRA, L.R.A.; OTTO, R.B.; SILVA, F.P.; SOUZA, S.N.M. de; SOUZA, S.s. de; ANDO JUNIOR, O.H.. Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 94, n. 1, p. 440-455, out. 2018.

FREITAS, F.F.; SOUZA, S.s. de; FERREIRA, L.R.A.; OTTO, R.B.; ALESSIO, F.J.; SOUZA, S.N.M. de; VENTURINI, O.J.; ANDO JUNIOR, O.H.. The Brazilian market of distributed biogas generation: overview, technological development and case study. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 101, p. 146-157, mar. 2019.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor:**

um estudo de caso na região de Toledo-PR. 2003. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

IBGE, **Produção da Pecuária Municipal 2020**; Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

KONZEN, Egídio Arno. Dejetos de suínos fermentados em biodigestores e seu impacto ambiental como insumo agrícola. In: **Simpósio Goiano De Suinocultura**, 2., 2005, Goiânia. Seminários técnicos de suinocultura. Goiânia: Avesui Centrooeste, 2005. p. 56 -64.

KONZEN, Egídio Arno. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Concórdia: EMBRAPA CNPSA. Circular Técnica, 6, 1983.

LANSING, Stephanie; VÍQUEZ, Joaquín; MARTÍNEZ, Helen; BOTERO, Raúl; MARTIN, Jay. Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 34, n. 4, p. 332-348, nov. 2008.

LANSING, Stephanie; MARTIN, Jay F.; BOTERO, Raúl Botero;

SILVA, Tatiana Nogueira da; SILVA, Ederson Dias da. Methane production in low-cost, unheated, plug-flow digesters treating swine manure and used cooking grease. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 101, n. 12, p. 4362-4370, jun. 2010.

PRAPASPONGSA, T.; POULSEN, T.G.; HANSEN, J.A.; CHRISTENSEN, P.. Energy production, nutrient recovery and greenhouse gas emission potentials from integrated pig manure management systems. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, [S.L.], v. 28, n. 5, p. 411-422, 1 set. 2009.

SILVA, Felipe Pinheiro; SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; KITAMURA, Danilo Sey; NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo; OTTO, Rodrigo Bueno. Energy efficiency of a micro-generation unit of electricity from biogas of swine manure. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 82, p. 3900-3906, fev. 2018.

SOUZA, Samuel Nelson M. de; WERNCKE, Ivan; MARQUES, Cleber Aimoni; BARICCATTI, Reinaldo A.; SANTOS, Reginaldo F.; NOGUEIRA, Carlos Eduardo C.; BASSEGIO, Doglas. Electric energy micro-production in a rural property using biogas as primary source. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 28, p. 385-391, dez. 2013.

SOUZA, Samuel N. M. de; LENZ, Anderson M.; WERNCKE, Ivan; NOGUEIRA, Carlos E. C.; ANTONELLI, Jhonatas; SOUZA, Juliano de. Gas emission and efficiency of an engine-generator set running on biogas. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 36, n. 4, p. 613-621, ago. 2016