



AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE DEJETOS SUÍNOS USANDO BIODIGESTORES NO ESTADO DE SANTA CATARINA

EVALUATION OF A SYSTEM OF TREATMENT FOR PIG MANURE USING BIODIGESTORS IN SANTA CATARINA

José Dilcio Rocha; Daniela Tatiane de Souza; Rafael Souza Pedrão

Embrapa Territorial (CNPM), Av. Soldado Passarinho, 303, Campinas, SP, 13070-115

jose.rocha@embrapa.br; daniela.souza@embrapa.br; rafael.pedrao@usp.br

Grupo de Trabalho (GT): GT4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

O Brasil é um importante produtor e exportador de carne suína. Contudo, o setor apresenta elevada produção de dejetos suínos com grande potencial de poluição ambiental. No presente artigo pretende-se avaliar o tratamento de resíduos suínos como fonte de renda para um conjunto de 71 produtores localizados em uma microbacia na cidade de Concórdia em Santa Catarina. Dados sobre o sistema de produção dessas propriedades rurais e sobre a capacidade produtiva da região foram coletados pelos pesquisadores da Embrapa Suínos e Aves e utilizados para compor um quadro de análise para a questão do aproveitamento como fonte de energia renovável e reciclagem de nutrientes. Os resultados do trabalho auferiram benefícios para a instalação do sistema de tratamento de dejetos suínos usando biodigestores, notadamente em termos de um aumento de até R\$ 782.494,15 na renda mensal daqueles 71 produtores.

Palavras-chave: agroenergia, biogás, dejetos suínos, biodigestor, Santa Catarina

Abstract

Brazil is an important pork producer and exporter with prominence in the global market. However, the sector has a high generation of pig manure and a potential environmental pollution. This article aims to evaluate the treatment of swine waste as a source of income for a group of 71 producers in the municipality of Concordia in Santa Catarina state. Data on the production system of these rural properties and the productive capacity of the region were collected directly by researchers at local Embrapa branch and used to compose a framework of this analysis. The results shown benefits for the installation of the swine manure treatment system using biodigesters, notably in terms of an increase of up to R\$ 782,494.15 in monthly income for those producers.

Key words: agrienergy, biogas, pig manure, biodigestor, Santa Catarina state

1. Introdução

A produção de suínos constitui uma importante atividade econômica no Brasil. Em 2019, o país tinha 40,5 milhões de cabeças de suínos, com destaque para a produção dos estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (49,5% da produção nacional). Em termos de taxa de crescimento, entre 2010 e 2019, a produção de suínos aumentou 4,1% (BRASIL, 2019), capitaneada pela realização de importantes investimentos no setor.



A suinocultura apresenta elevada expressividade econômica tanto no mercado doméstico quanto no mercado mundial. Em termos de produção de carnes, segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal, em 2019 o Brasil exportou 750 mil toneladas de carne suína (ABPA, 2020). No mercado interno, conforme dados Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Santa Catarina é o estado com maior produção de carne suína, sendo que em 2019, foi o responsável por 27,15% da carne suína produzida nacionalmente, além de 55,50% de toda carne suína exportada pelo país.

Apesar dessa notoriedade produtiva, um dos desafios que permeia a cadeia produtiva da suinocultura brasileira é a elevada produção de dejetos suínos. Convém, nesse sentido, questionar os impactos ambientais dessa atividade econômica. Os dejetos suínos são compostos por fezes e urina, mas também pela perda de bebedouros e água de higiene. Entre as alternativas viáveis para tratar os dejetos suínos está a digestão anaeróbia, um processo com vistas a reciclar nutrientes e gerar energia renovável.

Esse artigo tem o objetivo de avaliar o potencial de geração de renda para 71 propriedades rurais localizados na microbacia do Lajeados dos Fragosos no município de Concórdia em Santa Catarina, através da transformação do biogás em energia elétrica, usando grupo gerador, bem como por meio da venda ou o uso do biofertilizante, resultado da biodigestão anaeróbica. O presente trabalho utilizou dados da capacidade produtiva das propriedades e o sistema de produção de cada uma delas como dado primário coletados por pesquisadores da Embrapa Suínos e Aves, com o intuito de mostrar os benefícios da instalação de um sistema de tratamento de dejetos suínos usando biodigestores. Embora existam inúmeros artigos sobre as tecnologias de produção de biogás e geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos na região, não foram encontrados trabalhos analisando a questão de aumento de renda para o conjunto de propriedades rurais elencadas nesse artigo. Nesse sentido, esse artigo constitui um referencial analítico relevante, por enfatizar aspectos socioeconômicos da geração com biogás.

O artigo estrutura-se em 5 seções, incluindo essa Introdução. A seção 2 realiza uma síntese da literatura sobre a produção de biogás e biofertilizante. Os contornos metodológicos são apresentados na seção 3. Os resultados e a conclusão do artigo são mostrados nas seções 4 e 5 respectivamente.

2. Revisão da literatura

2.1 A geração de biogás e biofertilizante

A digestão anaeróbia a partir de um biodigestor é um processo adequado para o tratamento dos dejetos animais. Um biodigestor é composto por uma câmara fechada na qual a biomassa é fermentada anaerobicamente, ou seja, sem a presença de oxigênio atmosférico. A matéria orgânica sob a ação de microrganismos em meio anaeróbio produz uma mistura gasosa chamada de biogás (PROBIOGÁS, 2010). O resultado desta fermentação em meio aquoso é o biogás e a produção de biofertilizante. Assim, o biogás tem origem em um processo biológico. Esse gás é composto principalmente de metano e de dióxido de carbono, com quantidades reduzidas de hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de umidade arrastada durante o processo. Quando purificado, o biogás é secado dessulfurizado e separado do dióxido de carbono, sendo então produzido o biometano. O biogás pode ser utilizado como gás combustível em substituição ao gás natural ou ao gás liquefeito do petróleo (GLP). O



biofertilizante é composto basicamente pelos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Segundo Olivi et al (2015), esse tipo de fertilizante pode substituir o fertilizante químico, pois apresenta composição similar. Entretanto, os autores atentam para o fato de que o seu uso excessivo, assim como ocorre com o fertilizante químico, pode gerar um desequilíbrio no solo, prejudicando a produtividade da cultura.

Em especial, no estado de Santa Catarina, com o propósito de reduzir o efeito da disposição dos dejetos animais, os produtores devem obter uma licença ambiental do Instituto do Meio Ambiente (IMA), de acordo com a Instrução Normativa nº 11 – “Suinocultura”, de outubro de 2014. Essa instrução normativa orienta os produtores a realizarem o tratamento de dejetos suínos, elencando a digestão anaeróbica como um dos processos produtivos a ser usado.

Sobre o biogás, as alternativas de uso provenientes de uma granja suína são diversas. Entre essas opções destacam-se o aquecimento dos animais, uso doméstico na cozinha (granja e residências), aquecimento da água do banho (granja e residências), uso industrial no aquecimento da água de lavagem das instalações, uso doméstico e industrial no aquecimento da água da lavanderia, uso em secadores de grãos ou caldeiras de fábrica de rações (BRASIL, 2016).

Sousa et al (2020) analisaram o potencial de geração de energia a partir do biogás produzido em biodigestor de lagoa coberta de granjas suinoculturas de diferentes portes no Estado de Minas Gerais. Os autores concluíram que o uso do biogás contribuiu para gerar autossuficiência energética nas granjas de suínos e a geração de energia elétrica descentralizada.

Leitão e Silva (2018) mensuraram a capacidade de geração de energia elétrica através do biogás oriundo do tratamento de dejetos suínos em um nível nacional e constataram que o tratamento adequado dos resíduos da suinocultura foi muito rentável sob a ótica da sustentabilidade, pois além de gerar renda, permitiu diminuir os impactos ambientais causados pelos gases de efeito estufa.

Em especial no Estado de Santa Catarina, muitos trabalhos vêm sendo realizados pela Embrapa Suínos e Aves sobre a produção de biogás proveniente de dejetos suínos. A grande maioria enfatiza os aspectos tecnológicos envolvendo esse processo. Um recente trabalho (KUNZ et al, 2021) levantou as considerações técnicas sobre o uso de carcaça suínos mortos, porém não abatidos para consumo humano, em processos de digestão anaeróbica. Silva et al (2019) estimaram o potencial de geração de biogás da monodigestão do dejetos suíno e sua codigestão com carcaças e resíduos de parto, em uma granja comercial de suínos do estado de Santa Catarina. Um estudo técnico (NICOLOSO, 2014) avaliou alternativas para destinação dos resíduos sólidos (composto orgânico) produzido em uma usina de biogás a ser instalada no município de Concórdia, SC.

Ainda sobre a região, Neto et al (2019) avaliaram a utilização da tecnologia de coleta e queima de biogás em três microrregiões catarinenses (Joaçaba, Concórdia e Xanxerê), retratando a evolução e o nível de utilização de biodigestores do modelo canadense de fluxo contínuo. Os autores diagnosticaram que existem grandes dificuldades de manutenção dos biodigestores, o que motivou o seu abandono por muitos produtores no passado.



No que se refere a literatura sobre biofertilizante, sabe-se que os dejetos de suínos têm um alto potencial fertilizante. Em função de suas características químicas pode-se substituir parcialmente a adubação química, contribuir para ampliar a produtividade das culturas e reduzir os custos de produção. Olivi et al (2015) realizaram uma análise técnica-econômica sobre o uso agrônomo do biofertilizante dos dejetos de suínos na microbacia Santa Fé em Santa Catarina. Os autores observaram que o uso do biofertilizante com adubação complementar por fertilizantes minerais foi capaz de diminuir os custos em determinadas culturas e as despesas totais com os insumos na lavoura. Já Veroneze et al (2019) enfatizaram a produção de biofertilizante, mas também de biogás, através de reatores anaeróbios com esterco de suíno e doses de glicerina. Sales (2017) avaliou o comportamento das etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbia de dejetos suínos e resíduos de alimentos combinados com diferentes proporções em um biodigestor do tipo canadense. Os autores concluíram que, no funcionamento do biodigestor canadense, melhores resultados de eficiência foram obtidos ao utilizar-se tanto resíduos de alimentos quanto dejetos suínos, ao invés da utilização de dejetos suínos exclusivamente.

A substituição dos adubos tradicionais por biofertilizantes proporciona ao agricultor a redução de custos de produção, o aumento do rendimento das culturas, além de diminuir a extração de reservas naturais de nutrientes, fato que contribui para a preservação ambiental e sustentabilidade da propriedade agrícola (FACTOR et al, 2008). Segundo Rebonato (2012), a digestão anaeróbia por meio do uso de biodigestores rurais é um processo viável para a conversão de esterco em energia e biofertilizante. Apesar do elevado custo de manutenção, os biodigestores são uma alternativa tecnológica promissora, levando em consideração que haja o eficiente gerenciamento dos dejetos suínos, a fim de permitir a agregação de valor na suinocultura. O trabalho de Cervi, Esperancini e Bueno (2010) mostrou a viabilidade econômica de um sistema de geração de eletricidade a partir do aproveitamento de dejetos de suínos. Os dados para este estudo foram coletados em uma agroindústria, com grande quantidade de dejetos e com problemas na disposição no meio ambiente. O biodigestor utilizado foi do tipo tubular contínuo, no qual foram depositados diariamente os dejetos de 2.300 suínos. Os autores concluíram que o investimento inicial para implantação do biodigestor foi de R\$ 51,5 mil, ao passo que os custos operacionais anuais do sistema foram de R\$ 5,7 mil e os custos com manutenção de R\$ 4,3 mil. Do ponto de vista econômico, o sistema de produção de biogás apresentou-se lucrativo, com um consumo médio de energia elétrica em torno de 35 kWh por dia.

3. Procedimentos metodológicos

Para a execução do presente estudo, utilizou-se os dados primários de setenta e um produtores de suínos da região de Concórdia, SC, coletados diretamente por pesquisadores da Embrapa Suínos e Aves. Os referidos produtores estão localizados na bacia hidrográfica de Lajeados dos Fragosos. A base de dados foi composta por distintas informações, entre as quais se destacam a localização das propriedades e a capacidade produtiva de cada um delas. Essa capacidade foi classificada de acordo com os sistemas de produção, a saber:

1. Crechário (CR),
2. Granja de Reprodutores Suínos Certificada (GRSC),
3. Ciclo Completo (CC),
4. Unidade de Crescimento ou Terminação (UCT) e
5. Unidade Produtora de Leitão (UPL).



Tabela 1 – Características gerais das propriedades.

Classificação	Número de propriedades
Quantidade de produtores	71
Quantidade média de suínos por propriedade	1025
Mediana de suínos por propriedade	730
Quantidade máxima de suínos em uma propriedade	7887
Quantidade mínima de suínos em uma propriedade	42
Desvio padrão	1075

A Tabela 1 apresenta as características gerais das propriedades produtoras de suínos. Pode-se constatar que as setenta e uma propriedades apresentam uma média de 1.025 suínos por propriedades. Além disso, há uma grande diferença entre a quantidade mínima e máxima de suínos em cada propriedade, evidenciada pelo alto desvio padrão.

3.1 Quantificação dos dejetos suínos

A partir dos dados primários, foram calculadas as quantidades de dejetos produzidas por cada propriedade. Para a realização do cálculo, utilizou-se a metodologia sugerida por Kunz e Oliveira (2006) contida em Embrapa (2018) para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil, especificamente a Equação 1 - Cálculo do volume de efluentes gerados ao dia - do referido documento:

$$Q = N^{\circ} \times PD \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Q é o volume total de dejetos ao dia ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$);

N° é o número de animais de cada proprietário (número inteiro);

PD é o volume de dejetos líquidos produzidos por animal e categoria ao dia ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$).

Os dados de volumes de dejetos líquidos produzidos por animal e categoria ao dia foram embasados na Instrução Normativa nº11 – Suinocultura (IMA). A Tabela 2 apresenta o volume de dejetos líquidos produzidos por animal e por tipo de sistema de produção. Os suínos de terminação produzem $0,0045 \text{ m}^3$ de dejetos ao dia, os suínos de Unidade Produtora de Leitão produzem $0,0228 \text{ m}^3$ de dejetos ao dia, os suínos de Ciclo Completo produzem $0,0471 \text{ m}^3$ de dejetos ao dia, os suínos de Creche produzem $0,0023 \text{ m}^3$ de dejetos ao dia e os suínos de Granja de Reprodutores Suínos Certificada produzem $0,0228 \text{ m}^3$ de dejetos ao dia.



Tabela 2 - Volume de dejetos produzidos por animal em cada tipo de sistema de produção em $m^3.dia^{-1}$.

Tipo de sistema de produção	Quantidade de dejetos ($m^3.dia^{-1}$)
TERMINAÇÃO	0,0045
UPL	0,0228
CICLO COMPLETO	0,0471
CRECHE	0,0023
GRSC (UPL)	0,0228

3.2 Produção de biogás e biometano

Para calcular a estimativa do potencial de produção de biometano, foi utilizada a fórmula proposta por Kunz e Oliveira (2006), contida em CiBiogás (2018), notadamente a Equação 2 - Cálculo da estimativa da produção diária de biometano - do referido documento.

Ademais, foi do mesmo documento que foram extraídos os parâmetros de sólido voláteis (SV) e de capacidade máxima teórica de produção de biometano pelos dejetos suínos (B°).

$$PrM = B^\circ \times SV \times Q \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

PrM é a produção diária de biometano ($m^3.dia^{-1}$);

B° é a capacidade teórica máxima de produção de metano pelos dejetos suínos ($m^3.kg^{-1}$);

SV é a concentração de sólidos voláteis ($35,38 g.l^{-1}$);

Q é o volume total de dejetos ao dia ($0,32 m^3.dia^{-1}$).

A partir da estimativa anterior, foi possível fazer o cálculo da produção diária de biogás dos produtores da região estudada usando a Equação 3 – Cálculo da estimativa da produção diária de biogás. Para isso, também, foi utilizado o “Documento 196 – Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil”. Além da fórmula, utiliza-se o parâmetro de conversão, considerando a proporção de 60% de biometano no biogás.

$$PrB = PrM \times C^\circ \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

PrB é a produção diária de biogás ($m^3.dia^{-1}$);



PrM é a produção diária de biometano ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$);

C° é o coeficiente de conversão ($\approx 1,67$).

3.3 Quantidade de nutrientes e área para fertilização

Uma estimativa das quantidades dos minerais contidos no biofertilizante, que podem ser usados como macronutrientes foi realizada, assim como as quantidade de áreas agrícolas (ha) foi calculada e seus raios de abrangência a partir da propriedade para uso economicamente viável. Os macronutrientes estimados foram: o nitrogênio (N), o pentóxido de fósforo (P_2O_5) e o óxido de potássio (K_2O). Para a realização do cálculo, foram utilizados os dados da Instrução Normativa nº11, referentes à oferta de nitrogênio, fósforo e potássio calculada a partir da excreção do equivalente em N, P_2O_5 e K_2O por unidade de animal alojados nos diferentes sistemas de produção da Tabela 3.

Tabela 3 - Oferta de macronutrientes calculada a partir dos dejetos por animal ($\text{kg}.\text{ano}^{-1}$)

Sistema de produção	N ($\text{kg}.\text{ano}^{-1}$)	P_2O_5 ($\text{kg}.\text{ano}^{-1}$)	K_2O ($\text{kg}.\text{ano}^{-1}$)
TERMINAÇÃO	8,00	4,30	4,00
UPL	25,70	18,00	19,40
CICLO COMPLETO	85,70	49,60	46,90
CRECHE	0,40	0,25	0,35
GRSC (UPL)	25,70	18,00	19,40

Por conseguinte, para realizar o cálculo proposto, multiplicou-se a quantidade de animais daquela região subdivididos por cada tipo de sistema de produção pelos parâmetros expostos na Tabela 2. Ademais, foram utilizados mais dois parâmetros: perdas ou remoção de nutrientes quando o seu tratamento ocorre em biodigestores e o índice de eficiência agrônômica dos nutrientes usando a Equação 4 – Cálculo da estimativa da produção anual de N, P_2O_5 e K_2O ($\text{kg}.\text{ano}^{-1}$).

$$Q_i = N^\circ s \times I_i \times P_i \times E_i \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$N^\circ s$ é a quantidade de animais classificada por cada tipo de sistema de produção (unidade);

Q_i é a produção anual de nitrogênio, fósforo ou potássio ($\text{kg}.\text{ano}^{-1}$);

I_i é o índice de oferta de nitrogênio, fósforo ou potássio – Figura 3 - ($\text{kg}.\text{ano}^{-1}$);

P_i é o índice de perdas ou remoção de nitrogênio quando o seu tratamento ocorre em biodigestores (55%, 0% e 0%, respectivamente);



E_i é a eficiência agrônômica do nitrogênio, fósforo ou do potássio (80%, 100% e 100%, respectivamente);

i é o nitrogênio, o fósforo ou o potássio.

Com o objetivo de encontrar o raio economicamente viável de distribuição que os produtores são capazes de suprir com os nutrientes advindos do biofertilizante produzido em suas granjas por ano, foram utilizados os dados das quantidades demandadas dos nutrientes N, P_2O_5 e K_2O das culturas de milho, soja, trigo e leguminosas de inverno e de verão por hectare, conforme mostrado na Tabela 4 e retirados do “Manual Internacional de Fertilidade do Solo”.

Tabela 4 - Quantidade de nutrientes que cada cultura agrícola necessita ($kg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).

Tipo de cultura	N ($kg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	P_2O_5 ($kg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	K_2O ($kg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)
Milho	30	45	30
Soja	0	30	45
Trigo	20	30	20
Leguminosas de inverno	20	50	50
Leguminosas de verão	20	50	50

Logo após, foi feita a divisão da produção anual de N, P_2O_5 e K_2O dos produtores pelos parâmetros da Tabela 4. Sendo assim, encontrou a quantidade de hectare que os produtores conseguem suprir de cada macronutriente por produção, cultura de milho, soja, trigo e leguminosas de inverno e de verão, dados pela Equação 5 – Cálculo da área em hectares que os produtores conseguem suprir de cada macronutriente por cultura agrícola anualmente.

$$Q_{ni} = \frac{Q_i}{D_h} \quad \text{Equação 5}$$

Q_{ni} é a área em hectares que os produtores conseguem suprir de cada macronutriente por cultura agrícola por ano ($ha \cdot ano^{-1}$);

Q_i é a produção anual de nitrogênio, fósforo ou potássio ($kg \cdot ano^{-1}$);

D_h é a Quantidade de N, P_2O_5 ou K_2O que cada cultura agrícola necessita ($kg \cdot ha^{-1}$).

Por fim, para encontrar o raio de distribuição que os produtores são capazes de suprir por cultura, multiplicou-se a área em hectare que os produtores conseguem suprir de cada macronutriente por cultura agrícola por 10.000, convertendo hectare em m^2 . Em seguida, realizou-se o cálculo utilizando a equação da área de uma circunferência, porém a incógnita a ser encontrada é o raio em metros dados pela Equação 6 – Cálculo do raio que o produtor é capaz de fornecer N, P_2O_5 ou K_2O .



$$Ri = \sqrt{\frac{Qni \cdot 10000}{\pi}}$$

Equação 6

Onde:

Ri é o raio que cada produtor é capaz de fornecer de nutrientes (m);

Qi é a produção anual de nitrogênio, fósforo ou potássio (kg.ano⁻¹);

$\Pi \approx 3,1415$.

3.4 Valoração dos nutrientes

Calculou-se o custo de oportunidade do uso dos macronutrientes nas propriedades, ou seja, o quanto os produtores ganhariam com a venda do biofertilizante ou deixariam de despendar com a compra de fertilizantes comerciais. Para a realização do cálculo, foram utilizados como parâmetro três matérias-primas: a ureia, o fosfato monoamônico (MAP) e o cloreto de potássio (KCl). O Manual Internacional de Fertilidade do Solo permitiu averiguar as concentrações de N, P₂O₅ e K₂O que contém em cada matéria-prima (Tabela 5).

Tabela 5 – Porcentagens de macronutrientes em cada matéria-prima (%).

<i>Matéria-prima</i>	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Uréia	44	0	0
MAP	9	45	0
KCl	0	0	60

Os preços das matérias-primas foram consultados no site GlobalFert. No dia 05 de fevereiro de 2020, a ureia custava R\$ 1,091 por quilo, o MAP custava R\$ 1,619 por quilo e o KCl custava R\$ 1,484 por quilo. Vale ressaltar que a taxa de câmbio era R\$ 4,227 por US\$ 1.

Assim, para encontrar o custo de oportunidade, foram multiplicadas as quantidades totais de N, P₂O₅ e K₂O produzida por cada produtor pelos preços praticados no mercado. Em seguida, o valor foi dividido pelas porcentagens de N, P₂O₅ e K₂O que estão presentes nas três matérias-primas anteriormente citadas (Tabela 5). A fórmula utilizada está apresentada na Equação 7 – Cálculo do valor que o produtor poderia ganhar ou economizar com a venda dos nutrientes (R\$).

$$PG = \sum \frac{Qi \times Pp \times 100}{\%Ni}$$

Equação 7

Onde:

PG é o valor que os produtores poderiam ganhar com a venda dos nutrientes (R\$);

Qi é a produção anual de nitrogênio, fósforo ou potássio (kg.ano⁻¹);



$\%N_i$ são as porcentagens de N, P_2O_5 e K_2O que estão presentes nas três matérias-primas (%);

P_p são os preços de cada matéria-prima (R\$).

4. Resultados

Nesta seção serão apresentados os valores dos cálculos descritos na seção anterior, sabendo que o estudo pretende identificar as receitas das duas fontes possíveis. Na subseção 4.1 serão explorados os valores da receita através da transformação do biogás em energia elétrica via grupo gerador e na subseção 4.1 serão mostrados os valores das receitas através do custo de oportunidade do uso do biofertilizante.

4.1 Biogás

A Tabela 6 apresenta informações referentes a quantidade de dejetos, como: a média, a mediana, a quantidade mínima de dejetos produzidos em uma propriedade, a quantidade máxima de dejetos produzidos em uma propriedade, o desvio padrão e o total de dejetos produzidos em na região estudada diariamente.

Tabela 6 – Informações referentes a quantidade de dejetos produzidos ao dia ($m^3.dia^{-1}$).

Classificação	Quantidade de dejetos ($m^3.dia^{-1}$)
Média	10,02
Mediana	5,40
Máxima	179,82
Mínima	0,95
Desvio Padrão	21,95
Total	711,37

Com os dados apresentados na Tabela 6, foi possível auferir que as propriedades são heterogêneas quanto à quantidade de dejetos produzidos ao dia, já que os dados estudados tem um alto desvio padrão. Isso se deve pela heterogeneidade das propriedades produtoras de suínos, como mostrado na Tabela 1. Além disso, pode-se perceber que a quantidade total de dejetos produzidos são $711,37 m^3.dia^{-1}$. Quando calculado ao mês, a quantidade de dejetos é de $21.341,1 m^3$.

Tendo como potencial de produzir essa quantidade de dejetos diariamente, foi calculado a quantidade de biogás e de biometano que as propriedades poderão produzir com a implementação de um biodigestor. A Tabela 7 apresenta informações referentes à quantidade de biogás e biometano, como: a média, a mediana, a quantidade mínima e máxima produzida de biogás e biometano em uma propriedade, o desvio padrão e o total de biogás e biometano na região estudada.

Tabela 7 – Quantidade de biogás e biometano por dia ($m^3.dia^{-1}$).

Classificação	Biogás ($m^3.dia^{-1}$)	Biometano ($m^3.dia^{-1}$)
Média	189,06	113,43
Mediana	101,89	61,14
Máximo	3.393,15	2.035,89
Mínimo	17,83	10,70
Desvio Padrão	413,53	248,12
Total	13.423,08	8.053,85

De acordo com a Tabela 7, os produtores dessa região têm a capacidade de produzir em média $189,06 m^3.dia^{-1}$ de biogás e $113,43 m^3.dia^{-1}$ de biometano, considerando que o metano representa 60 % do biogás. Os produtores apresentam uma mediana de produção no valor de $101,89 m^3.dia^{-1}$ para o biogás e $61,14 m^3.dia^{-1}$ para o biometano. Outra informação relevante é a quantidade total de biogás e biometano produzido: a região tem uma capacidade produtiva estimada de biogás de $13.423,01 m^3.dia^{-1}$ e de $8035,85 m^3.dia^{-1}$ de biometano. Quando examinado esses dados ao mês (30 dias), o potencial produtivo é de $402.690 m^3$ de biogás e de $241.614 m^3$ de biometano.

A instalação de um grupo gerador utilizando o biogás tornaria possível a geração de energia elétrica pelos produtores. Sendo assim, se os produtores da região estudada instalarem grupos geradores com a capacidade de 260 kWh, consumindo $118 m^3$ de biogás, em regime contínuo, seria possível gerar, aproximadamente, 887.283 kWh por mês, ou seja, 10.647.396 kWh por ano. Tendo como base o preço de R\$ 0,46 por kWh, indicada pela CELESC em de fevereiro de 2020, esse sistema de produção teria o potencial de economizar R\$ 408.150,15 por mês, portanto, R\$ 4.897.801,80 por ano.

4.2 Biofertilizante

Com os dados sobre a quantidade de dejetos produzidos pelas 71 propriedades rurais no município de Concórdia, SC, auferiu-se um conjunto de informações para o biofertilizante. Essas informações são: a quantidade de macronutriente produzida nessa região (N, P_2O_5 e K_2O), o raio que os produtores são capazes de suprir de cada macronutriente por cultura (milho, soja, trigo, leguminosas de inverno e de verão) e o custo de oportunidade.

As quantidades produzidas de nitrogênio, de pentóxido de fósforo e de óxido de potássio (N, P_2O_5 e K_2O) produzidas ao ano estão expostas na Figura 1. Essa quantidade foi calculada através da Equação 4.

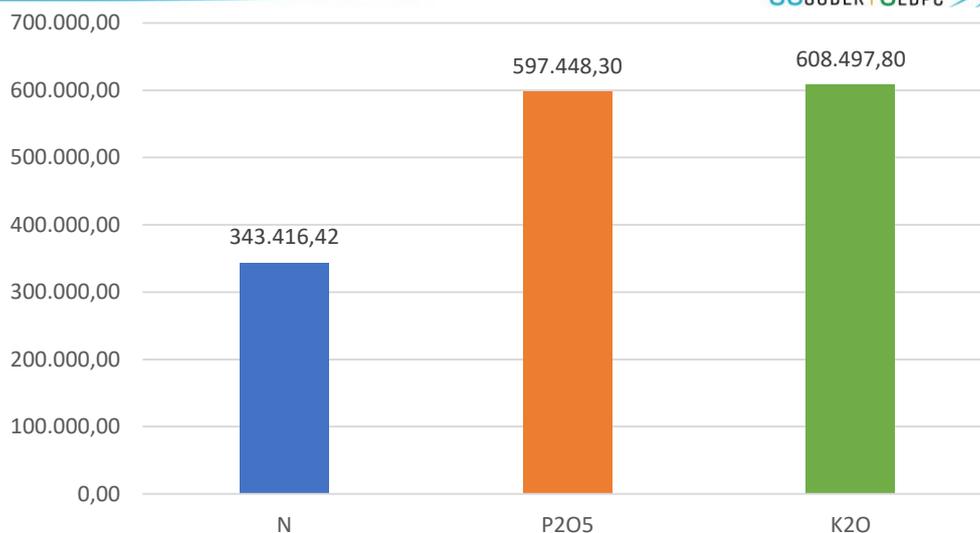


Figura 1 – Quantidade produzida de nitrogênio, de pentóxido de fósforo e de óxido de potássio em quilo ao ano (kg.ano⁻¹).

Através do cálculo, pode-se auferir que os produtores têm maior capacidade de produzir óxido de potássio, 608.497,80 kg.ano⁻¹, favorecendo assim culturas que demandam mais desse macronutriente. O segundo nutriente mais produzido é o pentóxido de fósforo, com a produção de 597.448,30 kg.ano⁻¹, enquanto o macronutriente de menor capacidade de produção é o nitrogênio, 343.416 kg.ano⁻¹. Sendo assim, em média, cada produtor tem a capacidade de produzir, anualmente, 8.570 kg de óxido de potássio, 8.415 kg pentóxido de fósforo e 4.837 kg de nitrogênio. A relação de produção entre os nutrientes apresentou razão de 1:1,74:1,77 para N P₂O₅ e K₂O respectivamente.

Com essa capacidade de produção de macronutrientes, utilizando a Equação 7, foi encontrado o valor, em reais, que os produtores ganhariam se vendesse todo o biofertilizante produzido na região estudada, ou seja, o custo de oportunidade de utilizar esses macronutrientes nas próprias culturas agrícolas praticadas na região. Os produtores conseguiriam arrecadar ou economizar o total de R\$ 374.344,00 por mês. Para demonstrar a heterogeneidade da amostra, além do uso do desvio padrão já exposto anteriormente, a Figura 2 apresenta o quanto cada propriedade ganharia ou economizaria com a venda do biofertilizante.

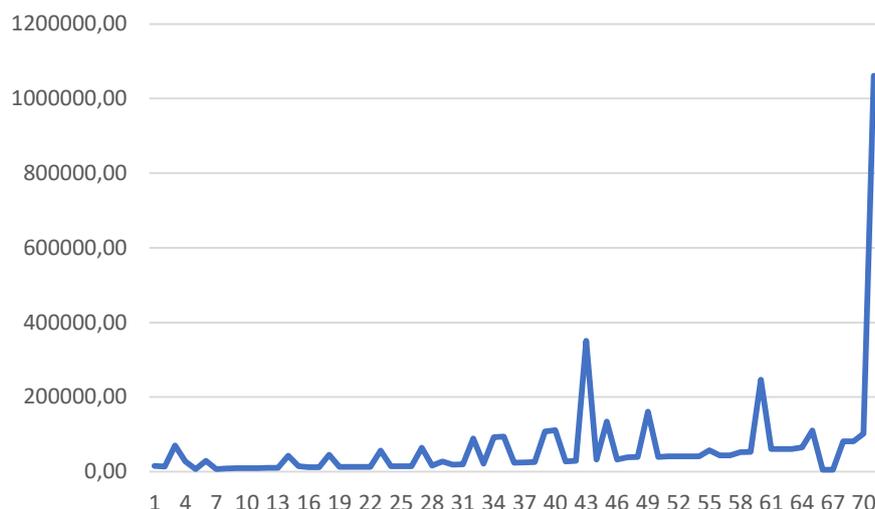


Figura 2 – Valor que cada propriedade ganharia ou economizaria com a venda do biofertilizante (kg.ano^{-1}).

Utilizando a Equação 6, foi possível realizar o cálculo do tamanho do raio e da área que os produtores conseguirão suprir com o biofertilizante produzido na região estudada de acordo com a cultura cultivada. Os dados estão expressos na Tabela 8.

Tabela 8 – Raio de distribuição que os produtores serão capazes de suprir de N, P_2O_5 e K_2O semestralmente para cada cultura agrícola praticada na região em metros.

Cultura Agrícola	N	P_2O_5	K_2O
Milho	30.627,90	32.286,46	39.436,18
Soja	0,00	39.542,68	32.199,51
Trigo	37.511,37	39.542,68	48.299,26
Leguminosas de inverno	37.511,37	30.629,63	30.547,13
Leguminosas de verão	37.511,37	30.629,63	30.547,13

Sabe-se que é possível os produtores dessa região suprir um raio até 37.511,37 m (ou 37,5 km) com nitrogênio para as culturas de trigo e de leguminosas de inverno e verão. Além disso, esses produtores tem a capacidade de suprir até 39.542,68 m (39,5 km) de pentóxido de fósforo para a cultura de soja e trigo e 48.299,26 m (48,3 km) de óxido de potássio para a cultura de trigo.

5. Conclusão

Compreendendo que o Brasil possui relevância internacional na produção e na exportação de suínos, com grande capacidade de aumentar essa participação e que o maior desafio que permeia a cadeia produtiva da suinocultura brasileira é a elevada capacidade



poluidora causada pelos dejetos suínos, o presente artigo teve como objetivo avaliar o potencial de geração de renda para as 71 propriedades rurais no município de Concórdia, SC e paralelamente tratar os resíduos e evitar os custos de disposição. A ênfase voltou-se para a transformação do biogás em energia elétrica via grupo gerador e por meio da venda ou o uso do biofertilizante.

Utilizou-se uma base de dados primários constituída por setenta e um produtores de suínos da região de Concórdia, SC, localizados na microbacia hidrográfica de Lajeados dos Fragosos. Com esses dados e utilizando parâmetros já amplamente estudado e publicados na literatura, calculou-se o volume de efluentes gerados diariamente, a capacidade de produção diária de biometano, a capacidade de produção diária de biogás, a capacidade de produção anual de nitrogênio (N), de pentóxido de fósforo (P_2O_5) e de óxido de potássio (K_2O), a área em hectares que os produtores conseguem suprir de cada macronutriente por cultura agrícola ao ano, o raio que o produtor é capaz de fornecer N, P_2O_5 ou K_2O por ano e, por fim, a cálculo do custo de oportunidade que o produtor poderia ganhar ou economizar com a venda dos nutrientes, em reais.

A partir dos dados e das análises apresentadas, pode-se constatar que a biodigestão dos dejetos suínos pelos produtores da região de Lajeado dos Fragosos, SC poderá gerar retornos financeiros relevantes. Ao realizarem investimentos de forma a maximizar suas receitas, os produtores conseguirão arrecadar ou economizar cerca de R\$ 782.494,15 por mês, sendo R\$ 408.150,18 via geração de energia e R\$ 374.344,00 com a venda e a utilização do biofertilizante.

Desse modo, constatou-se que a construção de biodigestores com o objetivo de realizar o tratamento dos dejetos suínos pode gerar grandes benefícios econômicos, mas também sociais e ambientais, já que os produtores poderão realizar um correto uso dos dejetos e gerar renda. Como fonte de financiamento, o Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) tem linhas de crédito exclusivas para tratamento de resíduos da produção animal usando biodigestores.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos colegas da Embrapa Suínos e Aves que realizam a pesquisa de campo para coleta de informações juntos aos produtores da microbacia do Lajeado do Fragosos em Concórdia, SC e ao PIBIC/CNPq pela bolsa de IC (2019/2020) do estudante de Economia da Esalq/USP, Rafael S. Pedrão.

6. Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **RELATÓRIO ANUAL**. São Paulo: ABPA, 2019. 167 p. Disponível em: <<http://cleandrodias.com.br/wp-content/uploads/2019/05/RELATO%20C3%ACRIO-ANUAL-ABPA-2019.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Mercados. São Paulo: ABPA, 2020. Disponível em <<https://abpa-br.org/mercados>>. Acesso em: 30 mar. 2020



BRASIL. Ministério da Pecuária, Agricultura e Abastecimento. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**. Brasília, MAPA, 2016.

BRASIL. Pesquisa da Pecuária Municipal 2019. IBGE, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso em: 22 mar. 2021.

CELESC. **Simulador de consumo**. Disponível em: <<https://www.celesc.com.br>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suínica para geração de energia elétrica. **Revista Engenharia Agrícola**, São Paulo, v.30, n.5, p.831-844, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Central de inteligência de aves e suínos**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>>. Acesso em: 26 dez. 2019.

FACTOR, T. L.; ARAÚJO, J. A. C., VILELLA JÚNIOR, L. V. E. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, São Paulo, v.12, n.2, p.143–149, 2008.

GLOBALFERT. **GlobalFert**. Disponível em: <<https://www.globalfert.com.br/preco-mp>>. Acesso em: 01 dez. 2019.

INSTITUTO DA POTASSA E FOSFATO. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: Ass. Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1998. 177 p.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE. Coordenadorias de Desenvolvimento Ambiental (Org.). **Instrução Normativa Nº 11: Suinocultura**. Florianópolis, SC: IMA, 2014. 37 p.

KUNZ, A. et al. Considerações técnicas sobre o uso de carcaças de animais mortos não abatidos em processos de digestão anaeróbia. **Comunicado técnico**, Embrapa, 579, 2021.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R.L.R.; AMARAL, A. C. do (Ed.). **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia, SC: Embrapa, 2019. 209 p.

LEITAO, F. O.; SILVA, W. H. Generation of energy and income from the treatment of swinebreeding residues. **I GEPEC**, Toledo, v. 22, n.1, p. 116-132, 2018.

MITO, J. Y. L.; KERKHOFF, S.; SILVA, J. L. G.; VENDRMA, M.G.; KUNZ, A. **Documento 196: Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil**. Concórdia, SC: Embrapa, 2018. 56 p.

NETO, F. G.; JUNIOR, E. G.; GUESSER, F. Biodigestores e biogás na suinocultura catarinense. **Textos de economia**, v. 22, n.1 2019.

NICOLOSO, R. S. Estudo técnico da destinação do fertilizante orgânico sólido produzido em uma usina de biogás no município de Concórdia, SC. **Documentos 170**, Embrapa, 2014.



OLIVI, N. C. et al. **Análise técnica-econômica sobre o uso agrônômico do biofertilizante dos dejetos de suínos na microbacia Santa Fé no município de Itapiranga-SC.** Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, 2015.

PROJETO BRASIL ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS. **GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS:** Geração e Utilização. 5 ed. Alemanha: Gülzow, 20110. 236 p.

REBONATO, F. R. Diferentes tecnologias para armazenamento e tratamento de dejetos animais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, III., 2012, Ponta Grossa. Anais... Ponta Grossa, PR: SINECT, 2012. p.1-10.

SALES, J. C. F. Digestão anaeróbia de dejetos suínos e resíduos de alimentos em Biodigestor Canadense. 2017. 82f. (Dissertação de Mestrado Acadêmico), Programa de Pós-graduação em Sistemas Agroindustriais, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, Brasil, 2017

SILVA. J. F. F. et al. Estimativa do potencial de geração de biogás a partir de resíduos da suinocultura: estudo de caso. IN: XLVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Campinas, SP, 2019.

SOUSA, I. P.; ROSA, A. P.; BORGES, A. C.; RENATO, N. S. Energy potential of biogas from pig farms in the state of Minas Gerais, Brazil. **Eng. Agríc.**, v.40, n.3, 2020.