

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS ASSOCIADO AO VALOR BRUTO DE PRODUÇÃO ANIMAL E USO DA ÁREA RURAL DE MUNICÍPIOS PAULISTAS

POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS ASOCIADO CON EL VALOR BRUTO DE LA PRODUCCIÓN ANIMAL Y EL USO DE LAS ZONAS RURALES DE LOS MUNICIPIOS DE SÃO PAULO  
BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL ASSOCIATED WITH THE GROSS VALUE OF ANIMAL PRODUCTION AND USE OF RURAL AREAS OF SÃO PAULO MUNICIPALITIES

Rodrigues, Sergio Augusto; Tagima, Alice Akemi; Sarnighausen, Valéria Cristina Rodrigues; Oliveira, Paulo André; Padovani, Carlos Roberto

Sergio Augusto Rodrigues  
sergio.rodrigues@unesp.br  
Universidade Estadual Paulista, Brasil

Alice Akemi Tagima  
alice.tagima@hotmail.com  
Universidade Estadual Paulista, Brasil

Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen  
valeria.sarnighausen@unesp.br  
Universidade Estadual Paulista, Brasil

Paulo André Oliveira  
paulo.oliveira108@fatec.sp.gov.br  
Faculdade de Tecnologia, Brasil

Carlos Roberto Padovani  
cr.padovani@unesp.br  
Universidade Estadual Paulista, Brasil

Estudios Rurales. Publicación del Centro de Estudios de la Argentina Rural  
Universidad Nacional de Quilmes, Argentina  
ISSN: 2250-4001  
Periodicidad: Semestral  
vol. 11, núm. 22, 2021  
estudiosrurales@unq.edu.ar

Recepção: 27 Novembro 2019  
Aprovação: 31 Outubro 2020

**Resumo:** Com a eminência do esgotamento de recursos naturais, o reaproveitamento de dejetos no meio rural é uma alternativa para minimizar os impactos ambientais das atividades produtivas, além de reduzir os custos produtivos. O descarte inapropriado dos resíduos pode contaminar a água e o solo, sendo o tratamento de resíduos orgânicos por biodigestores, produzindo biogás e biofertilizante, uma alternativa sustentável. Objetivou-se traçar um perfil das potencialidades de reaproveitamento de resíduos para produção de biogás no estado de São Paulo. Foram considerados parâmetros teóricos de conversão energética e dados de fontes oficiais. A correlação canônica foi utilizada para avaliar a associação entre o potencial de produção de biogás, valor bruto de produção e de área rural. O maior potencial para geração de biogás foi observado em municípios da região oeste do Estado.

**Palavras-chave:** Dejetos, Biodigestor, Correlação Canônica.

**Resumen:** Con la inminencia del agotamiento de los recursos naturales, la reutilización de residuos en las zonas rurales es una alternativa para minimizar los impactos ambientales de las actividades productivas, así como reducir los costos de producción. La eliminación inadecuada de desechos puede contaminar el agua y el suelo, y el tratamiento de desechos orgánicos por parte de biodigestores, que producen biogás y biofertilizante, es una alternativa sostenible. Este estudio tuvo como objetivo perfilar el potencial de reutilización de residuos para la producción de biogás en el estado de São Paulo. Se

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/181/1811955012/index.html>

consideraron parámetros teóricos de conversión de energía y datos de fuentes oficiales. La correlación canónica se utilizó para evaluar la asociación entre el potencial de producción de biogás, el valor de producción bruto y el área rural. El mayor potencial para la generación de biogás se observó en los municipios de la región occidental del estado.

**Palabras clave:** Residuos, biodigestores, correlación canónica.

**Abstract:** With the imminence of the depletion of natural resources, the reuse of waste in rural areas is an alternative to minimize the environmental impacts of productive activities, as well as reducing production costs. Improper waste disposal can contaminate water and soil, and the treatment of organic waste by biodigesters, producing biogas and biofertilizer, is a sustainable alternative. This study aimed to profile the potential of waste reuse for biogas production in the state of São Paulo. Theoretical parameters of energy conversion and data from official sources were considered. The canonical correlation was used to evaluate the association between biogas production potential, gross production value and rural area. The greatest potential for biogas generation was observed in municipalities of the western region of the state.

**Keywords:** Waste, Biodigester, Canonical Correlation.

## INTRODUÇÃO

A preocupação crescente com o esgotamento de recursos naturais e uma demanda cada vez maior por energias tornam-se relevantes estudos visando à busca por fontes alternativas para geração de energia, preferencialmente de fontes renováveis.

Além disso, as diversas atividades produtivas geram resíduos que ao não serem geridos adequadamente, podem causar danos ao meio ambiente, com impactos negativos na qualidade da água e do solo (Silva e Santos, 2015).

Na busca pela minimização deste problema, principalmente em pequenas propriedades rurais familiares, o reaproveitamento dos resíduos gerados a partir de suas atividades produtivas, em especial os dejetos animais, torna-se essencial, pois além de possibilitar a geração de bioprodutos, minimiza os impactos ambientais ocasionados pelo seu descarte inadequado.

Os dejetos animais são resíduos gerados após a ingestão de alimentos, possuindo características orgânicas que podem ser reaproveitadas para geração de bioenergia, agregando valor aos resíduos animais que normalmente são descartados (Pereira, Lobo, Oliveira e Júnior, 2012). Com o intuito de minimizar o risco sanitário no tratamento de dejetos e resíduos da criação animal, possibilitando a utilização destes efluentes na agricultura, o uso de um sistema biodigestor para o processamento dos resíduos orgânicos torna-se uma alternativa interessante (Novaes et al., 2002, 2006).

Alvarez e Gunnar (2008) destacam que a digestão anaeróbia é um bioprocessamento interessante para o tratamento e reaproveitamento dos resíduos gerados no meio rural, pois promove a degradação dos resíduos orgânicos a partir de microrganismos que sobrevivem na ausência de oxigênio, produzindo o biogás e o biofertilizante, além de possibilitar o tratamento de água com dejetos e, conseqüentemente, sua utilização na irrigação.

Com a geração desses bioprodutos, há uma redução de matérias orgânicas livres no campo. Assim, com a coleta desse material residual, diminuem-se os riscos à saúde e prejuízos ao meio ambiente (Andreazzi, Mendes, Oliveira e Lizama, 2017).

Os biodigestores possibilitam a transformação do dejetos em biogás e biofertilizantes, material rico em macro e micronutrientes (Frigo, Alves, Frigo, Araújo e Bastos, 2015). Na forma de biogás, é possível gerar energia térmica a partir de sua queima, podendo ser utilizado em máquinas, motores e equipamentos necessários para melhorar a produtividade de pequenas propriedades rurais, produzindo também energia mecânica e elétrica (Silva e Silva, 2016).

Segundo Gonçalves, Couto e Borges (2016), o biogás produzido a partir de dejetos de bovinos, suínos e galináceos do Brasil geraria 43 TWh/ano ou 3,58 TWh/mês, correspondendo a 7% de energia elétrica produzida no Brasil em 2014 e 33% do consumo residencial.

Existem diversos estudos buscando eficiência na produção de biogás, entre eles, Campos, Mochizuki, Damasceno e Botelho (2005) realizaram um experimento com dejetos de suínos em um reator anaeróbio de manta de lodo com capacidade de 11,7 litros, concluindo que o mesmo apresentou boa eficiência e elevada produção de biogás.

Entre os estudos a respeito da qualidade do biofertilizante, Oliveira, Leoneti, Caldo e Oliveira (2011) avaliaram “mini-biodigestores” alimentados com dejetos de porco de uma propriedade rural de 250 hectares (ha) com tempo de retenção de 30 a 40 dias, observando efluente com concentrações de até 4% de nitrogênio, 5% de fósforo, 3% de potássio e 95% de água sem presença de microrganismos patogênicos.

Outra vantagem do uso de biofertilizantes é na redução dos custos com adubação. De acordo com IEA (2017), o valor do fertilizante de ureia (fornecedor de nitrogênio) aumentou, entre os anos de 2000 a 2016, em torno de 391%, enquanto seu consumo cresceu 30% no território brasileiro entre os anos de 2003 a 2012 (Petrobras, 2018). Segundo Sachs, Torquato, Ambrosano e Dias (2016), considerando o valor da ureia em 2016, a área de renovação de cana de açúcar do estado de São Paulo em 2015 (564.896 ha) e a necessidade nitrogênio deste cultivo, a economia com a substituição da adubação química pela verde seria em torno de 166 milhões de reais.

Em um estudo para avaliar o potencial de produção de biogás, Batzias, Sidiras e Spyrou (2005) desenvolveram um aplicativo capaz de estimar o potencial da Grécia em gerar biogás partir de dejetos animais, como, gado, suínos, ovelhas, cabras, aves, entre outros. Para isso, além do número de cabeças e do rendimento de dejetos de cada espécie animal, utilizou um fator de disponibilidade para indicar os dejetos com maior ou menor facilidade de coleta. Com estas informações, os autores (Batzias, Sidiras e Spyrou, 2005) estimaram a produção de biogás em cada região da Grécia, sugerindo a construção de uma espécie de gasoduto para sua distribuição.

Neste contexto, informações a respeito do potencial de geração de dejetos animais nos municípios paulistas podem auxiliar na elaboração de políticas públicas para uma produção mais sustentável. Assim, a utilização de procedimentos estatísticos adequados de levantamento de dados e elaboração de um perfil dos municípios paulistas quanto ao potencial de geração de dejetos reaproveitáveis torna-se fundamental.

Desta forma, este estudo tem como objetivo descrever e traçar o perfil dos municípios paulistas quanto ao potencial de geração de dejetos e de produção de biogás, associando com características econômicas, como o valor bruto de produção animal e o uso da área rural dos municípios. Estudos desta natureza são relevantes diante da importância de informações confiáveis para auxiliar gestores públicos em projetos de incentivos aos pequenos produtores de agricultura familiar, facilitando o reaproveitamento adequado dos resíduos e, conseqüentemente, possibilitando uma produção mais sustentável, bem como a minimização dos impactos ambientais gerados pelo descarte inapropriado dos dejetos.

## MATERIAIS E MÉTODO

Para obtenção das informações dos municípios paulistas foram utilizadas fontes/órgãos oficiais, a saber: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), Instituto de Economia Agrícola (IEA) e Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável (CDRS) do estado de São Paulo (Brasil).

Os dados foram obtidos a partir de informações levantadas em fontes oficiais, considerando o ano de 2016, permitindo a utilização das variáveis: produção de dejetos no meio rural (toneladas), potencial de reaproveitamento dos dejetos para estimativa de produção do biogás, valor bruto de produção animal (em R\$) e uso das áreas rurais das unidades produtivas rurais (hectare utilizado com cultura perene, cultura temporária, pastagens, reflorestamento, vegetação natural, em descanso, vegetação de brejo, entre outras).

O potencial teórico de produção de dejetos e de biogás no meio rural foram estimados a partir do número de cabeças de alguns rebanhos (gado, suíno e galináceos) e fatores disponibilizados na literatura, tais como quantidade média diária de dejetos por animal, disponibilidade destes dejetos e conversão energética (Batzias, Sidiras e Spyrou, 2005; Kunz e Oliveira, 2006; Coelho, Monteiro, Karniol e Ghilardi, 2008; Gonçalves, Couto e Borges, 2016). Assim, para estimar o potencial de dejetos gerados em um determinado município, adotou-se os fatores apresentados na Tabela 1.

Animal	Quantidade de esterco (kg.dia <sup>-1</sup> )	Rendimento de produção (kgbiogás.kg <sup>-1</sup> esterco)
Suínos	2,25	0,062
Bovinos	10,00	0,037
Galináceos	0,18	0,055

TABELA 1

Quantidade de esterco produzida por espécie animal e o rendimento de biogás

Fonte: adaptado de Batzias, Sidiras e Spyrou (2005); Kunz e Oliveira (2006), Coelho, Monteiro, Karniol e Ghilardi (2008); Gonçalves, Couto e Borges (2016)

Observa-se que os suínos apresentam, em média, uma capacidade de geração de biogás por quilo de esterco superior aos bovinos e galináceos, ou seja, um rendimento de 0,062 kgbiogás.kg<sup>-1</sup>esterco, enquanto que para os bovinos e galináceos este rendimento fica em torno de 0,037 e 0,055 kgbiogás.kg<sup>-1</sup>esterco. No entanto, os bovinos geram uma maior quantidade de dejetos por cabeça, ou melhor, 10 kg de dejetos por dia (kg.dia<sup>-1</sup>.cabeça<sup>-1</sup>).

O cálculo do potencial de geração de biogás foi baseado na metodologia apresentada por Batzias, Sidiras e Spyrou (2005), onde a quantidade potencial de biogás a partir dos dejetos de animal da espécie *i* na cidade *j* no ano *k* ( $B_{ijk}$ ) pode ser obtida por

$$B_{ijk} = DT_{ijk} \times BY_{Fyra} \times A_{ijk} \times ME^{-1}$$

com  $DT_{ijk}$  representando a quantidade de dejetos do animal da espécie *i* na cidade *j* no ano *k*,  $BY_{Fyra}$  representando o fator de conversão de biogás (kgbiogás.kg<sup>-1</sup>esterco),  $A_{ijk}$  o fator de disponibilidade ( $0 < A_{ijk} < 1$ ) e  $ME$  a massa específica do biogás. .

A massa específica do biogás com aproximadamente 60% de metano e 40% de CO<sub>2</sub> é de 1,16 kg.m<sup>-3</sup> e 0,67 kg.m<sup>-3</sup> considerando apenas o gás metano por ser o gás combustível (Barrera, 1993).

A quantidade de dejetos ( $DT_{ijk}$ ) gerada, em quilos por cabeça por dia, a partir da população de uma espécie animal (*i*) em uma determinada cidade (*j*) e um determinado ano (*k*) pode ser obtida por:  $DT_{ijk} = P_{ijk} \times D_{ijk} \times 365$

onde  $P_{ijk}$  é a população animal da espécie *i* na cidade *j* no ano *k* e  $D_{ijk}$  é a quantidade de dejetos por cabeça (kg.animal<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>).

O fator de disponibilidade indica a proporção de dejetos disponíveis ou recuperados em um determinado local que poderia ser reutilizado. Este fator depende do sistema de criação utilizado, pois, sendo o animal confinado, a coleta do esterco pode ser organizada e facilmente reunida para ser depositada no biodigestor, diferente dos sistemas em que o animal fica em pastagens extensas, o qual a coleta é mais trabalhosa. Sabe-se que mesmo considerando o rebanho em confinamento a reutilização da totalidade dos dejetos gerados não é uma situação real, evidenciando a necessidade de se considerar este fator no cálculo do potencial de geração de biogás.

Em um estudo realizado na Grécia, Batzias; Sidiras e Spyrou (2005) utilizaram um fator de disponibilidade igual a 0,45. Na China, Verburg e Gon, 2001 consideraram a recuperação de 60% dos dejetos e Jingura e Matengaifa, 2007 trabalharam com uma disponibilidade de 0,45. Já no Brasil, o estudo da Empresa de Pesquisa Energética do Ministério de Minas e Energia sobre o potencial de Biogás na pecuária Brasileira (EPE, 2019) utiliza um fator de recuperação de dejetos de 80%.

<b>Animal</b>	<b>Fator de disponibilidade (%)</b>
Bovino	60
Suíno	70
Galináceo	60

**TABELA 2**  
Valores dos fatores de disponibilidade adotado para os animais

Fonte: Elaboração própria adaptado de Jingura e Matengaifa (2007); EPE (2019); Batzias; Sidiras e Spyrou (2005); Verburg e Gon (2001)

Após a estimativa do potencial municipal de produção de biogás, as informações nas diferentes fontes oficiais a respeito do setor agropecuário dos municípios paulistas foram organizadas em um banco de dados único. Dos 645 municípios paulistas, 20 municípios foram excluídos deste banco de dados, pois não apresentavam dados relativos ao número de cabeça de animais, ou seja, são municípios com pouca ou nenhuma produção animal nas unidades produtivas rurais.

Assim, gerou-se um banco de dados dos 625 municípios com produção pecuária do estado de São Paulo, reunindo dados de 20 variáveis (Tabela 3), sendo três quantificando o rebanho de bovinos, suíno e galináceos (Bov, Sui e Gal), duas relacionadas a produção animal, em valor monetário (VBP e MVBP), seis com a quantidade total de dejetos gerados (DejBov, DejSui, DejGal. e potencial de geração de biogás, BGBov, BGSui e BGGal), oito variáveis quantificando a área rural do município destinada para diferentes usos (APE, AT, APA, AR, ABV, AVN, AC e AD) e uma variável representando a área total rural do município (AT<sub>tot</sub>).

Vale destacar que área em descanso (AD) são áreas que não estão sendo cultivadas no momento do levantamento, ou seja, são áreas de culturas anuais que estão nas entressafras, enquanto que área complementar (AC) são as áreas das unidade de produção agrícolas ocupadas por benfeitoras como casas, currais estábulos, galpões, biodigestores, represas ou lagoas, estradas e cercas.

Variáveis	Descrição
Bov	Número de cabeças de bovinos do rebanho de 2016
Sui	Número de cabeças de suínos do rebanho de 2016
Gal	Número de cabeças de galináceos do rebanho de 2016
VBP	Valor bruto (R\$) de produção animal dos anos de 2010, 2011, 2012, 2013
MVBP	Média do valor bruto (R\$) de produção entre 2010 e 2013
DejBov	Quantidade de dejetos de bovinos (kg)
DejSui	Quantidade de dejetos de suínos (kg)
DejGal	Quantidade de dejetos de galináceos (kg)
BGBov	Volume de biogás gerado a partir de dejetos de bovinos (m <sup>3</sup> )
BGSui	Volume de biogás gerado a partir de dejetos de suínos (m <sup>3</sup> )
BGGal	Volume de biogás gerado a partir de dejetos de galináceos (m <sup>3</sup> )
APE	Área de cultura perene (ha para o ano de 2006)
AT	Área de cultura temporária (ha para o ano de 2006)
APA	Área com pastagens (ha para o ano de 2006)
AR	Área com reflorestamento (ha para o ano de 2006)
ABV	Área com vegetação de brejo e várzea (ha para o ano de 2006)
AVN	Área com vegetação natural (ha para o ano de 2006)
AC	Área complementar (ha para o ano de 2006)
AD	Área em descanso (ha para o ano de 2006)
ATot	Área rural total do município (ha para o ano de 2006)

TABELA 3  
Descrição das variáveis do banco de dados

Fonte: Elaboração própria

Para avaliar a associação entre o potencial de geração de biogás e as características dos municípios quanto ao valor bruto de produção animal e uso da área rural, classificando-os quanto ao perfil destas associações, utilizou-se o procedimento estatístico multivariado de análise de correlação canônica (Johnson e Wichern, 2007).

Para este procedimento multivariado foram utilizadas 13 variáveis, as quais foram divididas em dois grupos: um grupo formado pelas  $p=3$  variáveis relacionadas aos potenciais de gerações de biogás a partir dos dejetos animais (BGBov, BGSui, BGGal) e o outro grupo pelas  $q=10$  variáveis relacionadas ao valor médio de produção animal e ao uso da área rural dos municípios paulistas (MVBP, APE, AT, APA, AR, ABV, AVN, AC, AD e ATot). Por meio de combinações lineares das variáveis originais, construiu-se pares de novas variáveis, chamadas de variáveis canônicas ( $u_i$  e  $v_i$ ), com  $i=1, \dots, \min(p, q)$ , entre os quais foram considerados apenas o par com a maior correlação canônica ( $u_i, v_i$ ).

O coeficiente de correlação canônica é a correlação entre os pares ( $u_i, v_i$ ) e mede a intensidade da associação entre a produção de biogás e as características rurais dos municípios (valor bruto de produção e tipo de uso da área rural). As cargas canônicas representam a associação entre as variáveis originais e a variável canônica formada pela combinação linear das mesmas.

O software livre *R-Gui* (R CORE TEAM, 2017) foi utilizado na aplicação das técnicas de análise estatística e no mapeamento dos municípios de perfis semelhantes.

## RESULTADOS

### Descrição e potencial de geração de biogás

A distribuição dos municípios quanto a área rural total pode ser observada na Tabela 4. Verifica-se que mais de 80% dos municípios paulistas (504 municípios) possuem até 50 mil hectares e apenas 0,8% possuem mais de 150 mil hectares.

Faixa de área rural total (em mil ha)	Número de municípios	%
até 50 mil	504	80,6%
50 a 100	99	15,8%
100a 150	17	2,7%
150. a 200	4	0,6%
250 a 300	1	0,2%
<b>Total</b>	<b>625</b>	<b>100,0%</b>

TABELA 4  
Distribuição dos municípios de acordo com o tamanho

Fonte: Elaboração própria

Quanto ao valor médio de produção animal, observa-se na Tabela 5 que 88,5% dos municípios apresentam em média menos de 50 milhões de reais de produção animal e apenas 1,8% apresentaram um valor médio de produção acima de 150 milhões de reais.

MVBP (em milhões de reais)	Número de municípios	%
Até 50	553	88,5%
50 a 100	48	7,7%
100 a 150	7	1,1%
150 a 200	10	1,6%
900 a 950	1	0,2%
Sem informações	6	1,0%
<b>Total</b>	<b>625</b>	<b>100,0%</b>

TABELA 5  
Distribuição dos municípios com a média do valor bruto de produção animal

Fonte: Elaboração própria

Nota-se também que os municípios da menor faixa de valor bruto de produção, ou seja, com valor inferior a R\$ 50 milhões, apresentaram um potencial anual por volta de 761,871 milhões de m<sup>3</sup> de biogás, somando o potencial dos dejetos dos três rebanhos (Tabela 6), enquanto que o municípios com maiores valores de produção (de R\$ 900 a R\$ 950 milhões) apresentaram um potencial em torno de 49,524 milhões de m<sup>3</sup> de biogás, totalizando para o estado de São Paulo um potencial superior a 1 bilhão de m<sup>3</sup> ao ano.

Média do valor bruto de produção animal (MVBP)	Produção de Biogás (em milhões de m <sup>3</sup> )			
	BGBov	BGSui	BGGal	Total de Biogás
0 a 50	553,624	25,999	182,248	761,871
50 a 100	144,099	9,009	117,589	270,696
100 a 150	30,198	3,943	35,728	69,869
150 a 200	33,872	1,520	72,864	108,256
900 a 950	1,420	0,009	48,094	49,524
Sem informações	0,344	0,032	0,027	0,403
<b>Total</b>	<b>763,557</b>	<b>40,512</b>	<b>456,550</b>	<b>1.260,619</b>

TABELA 6

Potencial produção de biogás (em milhões de m<sup>3</sup>) a partir dos três tipos de dejetos de animais segmentado por classes (em milhões de reais) da média do valor bruto de produção.

Fonte: Elaboração própria

Percebe-se nas faixas de maior o MVBP um menor potencial de produção de biogás, visto que nestas faixas há uma quantidade menor de municípios (Tabela 5).

Considerando os rebanhos dos municípios do estado de São Paulo do ano de 2016, estima-se uma produção em torno de 39,897 bilhões de kg de dejetos bovinos com um potencial de geração de 763,557 milhões de m<sup>3</sup> de biogás. A partir de aproximadamente 1 bilhão de kg de dejetos suínos, estimou-se um potencial de geração de 40,512 milhões de m<sup>3</sup> de biogás, enquanto para os galináceos, com 16,048 bilhões de kg de dejetos têm-se um potencial de 456,550 milhões de m<sup>3</sup> de biogás (Tabela 7).

Animal	Número de cabeças	Quantidade de dejetos (em bilhões de kg)	Produção de biogás (em milhões de m <sup>3</sup> )
Bovino	10.969.701	39,897	763,557
Suíno	1.320.018	1,082	40,512
Galináceos	244.302.236	16,048	456,550

TABELA 7

Número de cabeças, quantidade de dejetos e potencial de produção de biogás das três espécies animais para o estado de São Paulo

Fonte: Elaboração própria

Destacam-se na Figura 1 os cinco municípios com maiores potenciais teóricos de produção de biogás gerados a partir dos dejetos de cada rebanho, indicados na cor azul os municípios com maiores potenciais de geração de biogás a partir dos dejetos bovinos, na cor vermelha a partir dos dejetos suínos e na cor amarela a partir dos dejetos galináceos.

Totalizando 5,5% do potencial total de biogás de dejetos bovino, destacam-se, em milhões de m<sup>3</sup>, os municípios de Rancharia (9,43), Mirante do Paranapanema (9,41), Marília (8,14), Presidente Bernardes (7,74) e Presidente Epitácio (7,26).

Quanto ao potencial dos dejetos suínos, os cinco principais municípios (em milhões de m<sup>3</sup>), os quais totalizam 20,2% do potencial total destes dejetos, são: Itu (3,52), Cerqueira Cesar (1,41), Bragança Paulista (1,20), Fartura (1,04) e Mogi Mirim (1,02). Em relação ao potencial galináceo tem-se Bastos (48,09), Amparo (17,69), Porangaba (11,45), Mococa (10,65) e Tatuí (10,32), que juntos representam 21,5% do total de geração de biogás do estado de São Paulo.

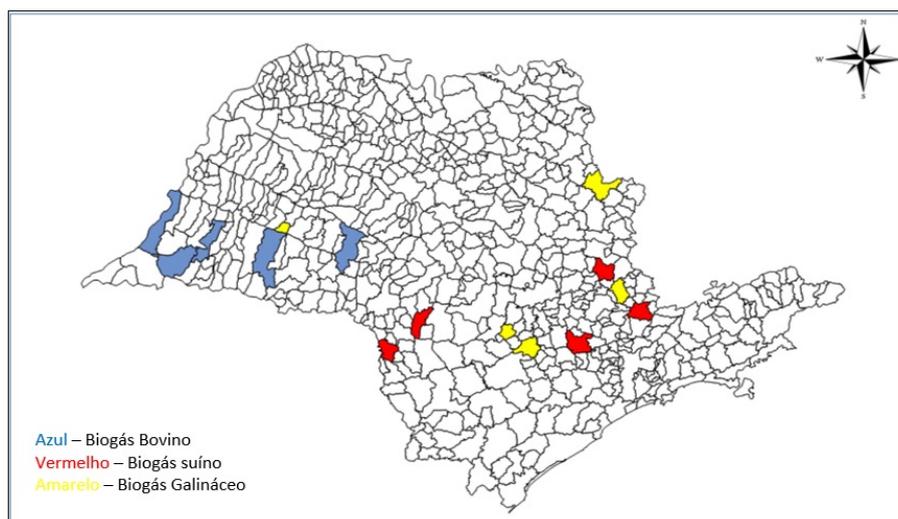


FIGURA 1

Localização geográfica dos cinco municípios com maiores potenciais de produção de biogás a partir de dejetos bovinos (Azul), suínos (Vermelho) e galináceos (Amarelo).

Fonte: Elaboração própria

## CARACTERIZAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES ENTRE PARES DE VARIÁVEIS

Inicialmente as associações entre as variáveis de potencial de geração de biogás e de características de produção animal e uso da área rural foram avaliadas por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson (Tabela 8).

Destaca-se a forte e significativa correlação positiva entre a área de pastagem (APA) e potencial de geração de biogás a partir dos dejetos bovinos (BGGov,  $r=0,912$ ), indicando que municípios com maiores áreas de pastagens apresentam potenciais mais elevados de geração de biogás (Tabela 8). Porém, apesar de sua potencialidade em produção de biogás, deve-se levar em consideração que em áreas de pastagens, onde há sistemas extensivos de criação, a coleta dos dejetos é bastante complicada, sendo necessário amenizar este problema por meio de formas alternativas de manejo do gado. Ademais, destaca-se que este estudo considerou um potencial de reaproveitamento de dejetos de 60% para minimizar este problema.

Ainda nos diferentes usos das áreas rurais, o potencial teórico de produção de biogás a partir de dejetos suínos (BGSui) e galináceos (BGGal) apresentaram associação mais elevadas, mas pouco relevantes, com a área complementar (AC), situação em que os coeficientes de correlações foram iguais a  $r=0,173$  e  $r=0,174$ , respectivamente.

Variáveis de valor bruto de produção e áreas rurais	Potencial de biogás					
	BGBoV		BGSui		BGGal	
	r	p-value	r	p-value	r	p-value
MVBP	0,392	<0,01	0,176	<0,01	0,869	<0,01
APE	0,087	0,03	0,103	0,01	0,098	0,01
AT	0,217	<0,01	0,066	0,10	0,075	0,06
APA	0,912	<0,01	0,089	0,03	0,092	0,02
AR	0,131	<0,01	0,133	<0,01	0,064	0,11
ABV	0,375	<0,01	-0,018	0,66	-0,016	0,68
AVN	0,173	<0,01	0,025	0,54	0,005	0,90
AC	0,265	<0,01	0,173	<0,01	0,174	<0,01
AD	0,058	0,14	0,084	0,03	0,044	0,27
ATot	0,656	<0,01	0,120	<0,01	0,108	<0,01

TABELA 8

Coefficientes de correlação (r) entre as variáveis de potencial de geração de biogás a partir dos dejetos bovinos, suíno e galináceos e de valor de produção e as áreas rurais

Fonte: Elaboração própria

Em relação a associação entre o valor bruto de produção médio (MVBP) e os potenciais de geração de biogás a partir dos dejetos das três espécies animais, observa-se uma correlação positiva mais elevada entre o valor bruto de produção médio (MVBP) e o potencial teórico de biogás a partir de dejetos de galináceos (BGGal), com um coeficiente de correlação  $r=0,869$ .

Destaca-se ainda que o MVBP apresentou correlação significativa positiva e moderada com o biogás de dejetos bovinos ( $r=0,392$ ) e uma correlação positiva fraca ( $r=0,176$ ) com o biogás de dejetos suínos, todas significativas. Isso quer dizer que municípios com alto valor bruto de produção animal apresentam potenciais mais elevados de geração de biogás principalmente a partir de dejetos de galináceos. Isso é justificado pelo fato do estado de São Paulo se destacar quanto ao número de sistemas de criação de galináceos, principalmente produção de ovos (ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal, 2018).

Vale destacar que o município de Bastos apresentou um valor bruto de produção (MVBP) muito superior aos demais municípios do estado de São Paulo, podendo ser considerado um valor discrepante. Desconsiderando o município de Bastos no estudo de associação, percebeu-se que a associação entre a MVBP com BGBoV apresenta um aumento considerável, passando de  $r=0,382$  para  $r=0,619$ .

## Análise de Correlação Canônica

A partir dos dados padronizados das variáveis de potencial teórico de produção de biogás, valor médio de produção animal e uso de áreas rurais, a análise de correlação canônica foi realizada, obtendo-se as variáveis canônicas:  $u_i$  formadas pela combinação linear das variáveis de potencial de biogás a partir de dejetos de bovinos, suínos e galináceos e  $v_i$  pela combinação linear das variáveis de valor de produção e uso da área rural (em hectare).

Na Figura 2 é possível verificar a importância de cada variável original na composição dos dois primeiros pares de variáveis canônicas, por meio das cargas canônicas apresentadas nos eixos horizontal e vertical. Observa-se que para a variável canônica  $u_1$ , as variáveis mais importantes (com as maiores associações com esta variável canônica), são em ordem decrescente de magnitude APA e MVBP e ATot. Já para a variável canônica  $v_1$ , as variáveis que mais contribuíram para formação deste eixo, em ordem decrescente de magnitude, foram BGBoV e BGGal.

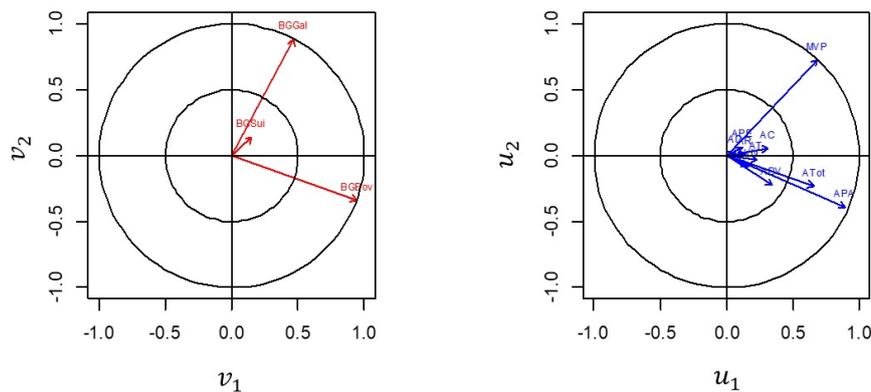


FIGURA 2

Gráfico Biplot indicando variáveis mais importantes para as variáveis canônicas.

Fonte: Elaboração própria

O gráfico de dispersão entre as variáveis canônicas  $u_1$  y  $v_1$  e indica que as mesmas apresentam uma associação linear positiva, ou seja, municípios com valores elevados de  $u_1$  caracterizados por apresentarem maiores áreas de pastagens, áreas rurais total e maior valor bruto de produção animal, estão associados aos maiores valores de  $v_1$ , caracterizados por apresentarem maiores potenciais de gerar biogás a partir de dejetos bovino e de galináceos (Figura 3). Esse par apresentou uma correlação canônica  $r(u_1, v_1) = 0,89$  ( $p < 0,01$ ).

A partir da distribuição dos municípios nos quadrantes do gráfico de dispersão da Figura 3, observa-se que a maior parte dos municípios se posiciona nos quadrantes Q1 (187 municípios) e Q3 (376), totalizando 91% do total de municípios. Em Q2 e Q4 observa-se 23 e 33 municípios respectivamente, representando juntos 9% dos municípios paulistas.

Em Q1, tem-se os municípios com valores positivos para  $u_1$  y  $v_1$ , ou seja, como estas variáveis canônicas são centradas na origem, estes municípios caracterizam-se por apresentarem valores acima da média do estado de São Paulo para as duas variáveis canônicas. Já os municípios de Q3 são caracterizados por apresentarem-se abaixo da média estadual.

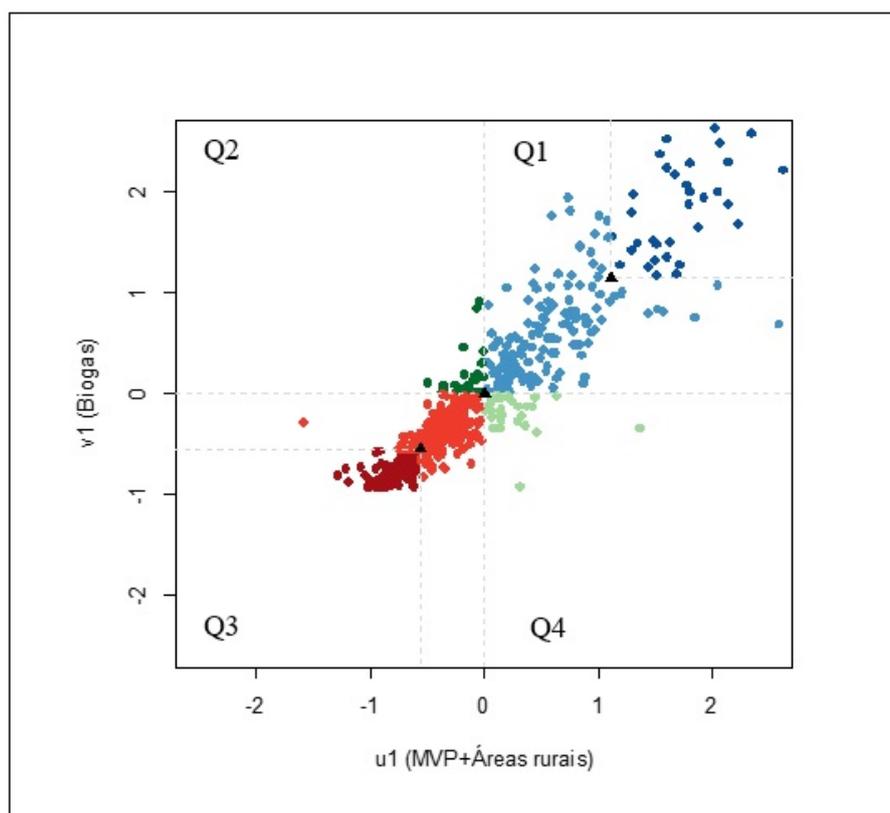


FIGURA 3

Gráfico de dispersão do primeiro par de variável canônica. O símbolo ▲ representa o centroide (média) de todos os municípios paulistas, do grupo Q1 e Q3

Fonte: Elaboração própria

Considerando o centroide destes dois grupos de municípios, foi possível subdividi-los, formando quatro subgrupos. Assim, entre os municípios que se apresentaram acima da média estadual nas duas variáveis canônicas, localizados em Q1 e apresentados com tonalidade azul na Figura 3, observa-se 51 municípios com os maiores valores nas duas variáveis canônicas simultaneamente (acima da média dos municípios de Q1), formando o grupo Q1\_1.

Já entre os municípios de Q3 (com valores abaixo da média estadual nas duas variáveis), apresentados com tonalidade vermelha na Figura 3), observa-se 163 municípios que apresentaram os menores valores em  $u_1$  e  $v_1$  (abaixo da média dos municípios de Q3), formando o grupo Q3\_1.

A Tabela 9 apresenta um resumo das subdivisões dos municípios em seis grupos de acordo com os centroides das duas variáveis canônicas que apresentaram o maior coeficiente de correlação canônico.

Os municípios localizados em Q2 e Q4 são caracterizados por apresentarem valores próximos da média estadual, ou seja,  $u_1$  e  $v_1$  próximos ao centroide considerando todos os municípios (origem). No entanto, os municípios de Q2 são aqueles com valores pouco acima da média estadual para  $v_1$  (potencial de geração de biogás), mas abaixo na média para  $u_1$  (variáveis relacionadas com o valor bruto de produção e tamanho da área rural), enquanto que os municípios de Q4 apresentam  $v_1$  (potencial de geração de biogás) abaixo da média e valores de  $u_1$  (bruto de produção e tamanho da área rural) pouco acima da média do Estado.

Observando as extremidades do gráfico de associação entre as variáveis  $u_1$  e  $v_1$  (Figura 3), os municípios de Q1\_1 podem ser caracterizados por apresentarem um potencial de geração de biogás mais elevado (principalmente a partir de dejetos bovinos e de galináceos) associados a maiores médias de valor bruto de produção animal, maiores áreas de pastagem e maior área rural total (acima do centroide do grupo de

municípios com valores acima da média estadual). Estes municípios estão predominantemente concentrados na região oeste do Estado.

Grupos	Caracterização	Número de municípios	%
Q1_1	Municípios de Q1 com valores de $u_1$ e $v_1$ acima da média do grupo de municípios que se apresentam acima da média estadual	51	7,9%
Q1_2	Municípios de Q1 com valores de $u_1$ e $v_1$ pouco acima da média estadual	136	21,1
Q2	Próximos da média estadual (Q2), mas com valores acima da média estadual para $v_1$ e abaixo para $u_1$	23	3,6%
Q3_1	Municípios de Q3 com valores de $u_1$ e $v_1$ abaixo da média do grupo de municípios que se apresentam abaixo da média estadual	163	25,3
Q3_2	Municípios de Q3 com valores de $u_1$ e $v_1$ pouco abaixo da média estadual	213	33,0
Q4	Próximos da média estadual (Q4), mas com valores abaixo da média estadual para $v_1$ e acima para $u_1$	33	5,1%
NA	Sem Classificação (por apresentarem valores faltantes em alguma variável)	26	4,0%
<b>Total</b>		<b>645</b>	<b>100%</b>

TABELA 9

Grupos de municípios considerando associação entre as variáveis canônicas  $u_1$  e  $v_1$

Fonte: Elaboração própria

Já os municípios em Q3\_1, apresentaram os valores mais baixos de produção animal, menores áreas de pastagens e menor área rural associada a uma menor capacidade de produzir biogás de dejetos bovinos e galináceos (abaixo do centroide do grupo de municípios que se apresentaram abaixo da média estadual). Estes municípios estão localizados principalmente no litoral e região nordeste (próximo da localização 22,5° S e 49° W) do estado de São Paulo

De acordo com esse perfil de tamanho dos diferentes usos da área rural e de potencial de geração de biogás, pode-se observar a distribuição geográfica dos municípios de acordo com sua classificação quanto aos grupos (Figura 4)

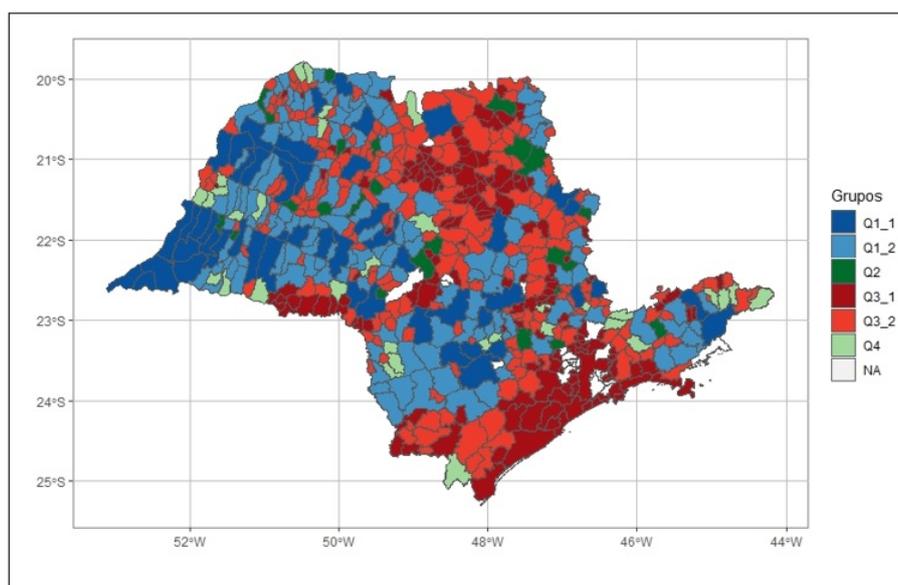


FIGURA 4

Mapa do estado de São Paulo com municípios classificados em cores de acordo com os grupos

Fonte: Elaboração própria

Dessa forma, tem-se que o oeste paulista possui grande potencial de produção de biogás por meio de dejetos de galináceos, quando comparado com as demais regiões do estado. Quanto à produção de biogás por meio dos dejetos de bovinos, apesar das análises indicarem que também a região oeste do estado apresenta grande potencial, é necessário considerar que o potencial de produção encontrado pode não ser o real disponível em vista do sistema de criação ser, em maior parte, extensivo, o que dificulta a coleta de dejetos.

## CONCLUSÕES

O estado de São Paulo apresenta potencial de geração de biogás a partir de dejetos de bovinos, suínos e galináceos, com destaque a este último.

Os municípios com maior potencial de geração de biogás são os municípios com maior valor bruto de produção animal nas unidades rurais e maior área rural total, destacando-se a área de pastagem associando-se a produção bovina na forma extensiva. Esta característica apresenta dificuldades na coleta dos dejetos que podem ser amenizadas por meio do manejo adequado do gado. Contudo, houve forte associação entre o valor bruto da produção e a produção de galináceos

As políticas públicas com o intuito de estimular o aproveitamento na utilização de dejetos para geração de biogás podem empreender ações nas regiões identificadas com maior potencial, ou seja, principalmente na região oeste do Estado, destacando-se municípios com produtos de origem de galináceos.

## REFERÊNCIAS

- ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. (2018). *Relatório Anual de Atividades 2018*. São Paulo: ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal.
- Alvarez, R. e Gunnar, L. (2008). Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. *Renewable Energy*, 726-734.
- Andreazzi, M. A., Mendes, A. R., Oliveira, K. V. e Lizama, M. d. (2017). Energy management: a synthesis of scientific publications on biodigestion for waste management. *Revista Ambiente e Água*, 964-972.

- Barrera, P. (1993). *Biodigestores: Energia, fertilidade e saneamento para a zona rural*. São Paulo: Ícone.
- Batzias, F. A., Sidiras, D. K. e Spyrou, E. K. (2005). Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method. *Renewable Energy*, 1161-1176.
- Campos, C. M., Mochizuki, E. T., Damasceno, L. H. e Botelho, C. G. (2005). Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. *Ciência e Agrotecnologia*, 848-856.
- Coelho, S. T., Monteiro, M. B., Karniol, M. R. e Ghilardi, A. (2008). *Atlas de bionergia do Brasil*. São Paulo: CENBIO/MME.
- EPE, E. d. (2019). *Informe: Potencial de Biogás na Pecuária Bovina Brasileira*. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia.
- Friço, E. P., Alves, H. J., Friço, M. S., Araújo, C. H. e Bastos, R. K. (2015). Biomassa residual rural proveniente de diferentes atividades agropecuárias brasileiras. *Revista Energia na Agricultura*, 21-26.
- Gonçalves, T. d., Couto, M. A. e Borges, E. R. (25-29 de Setembro de 2016). *Avaliação do potencial energético a partir de dejetos animais*. Fonte: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química: <https://proceedings.galoa.com.br/cobeq/cobeq-2016>
- IEA, I. d. (15 de Novembro de 2017). *Instituto de Economia Agrícola- IEA*. Fonte: Secretaria de Agricultura e Abastecimento: <http://www.ica.sp.gov.br/out/bancodedados.html>
- Jingura, R. M. e Matengaifa, R. (2007). Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe. *Renewable and Sustainable Energy*, 1116-1120.
- Johnson, R. A. e Wichern, D. W. (2007). *Applied multivariate statistical analysis*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Kunz, A. e Oliveira, P. A. (set de 2006). Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. *Revista de Política Agrícola*, 15(3).
- Novaes, A. P., Simões, M. L., Inamasu, R. Y., Jesus, E. A., Neto, L. M., Santiago, G. e Silva, W. T. (2006). Saneamento Básico na Área Rural. Em C. A. Spadotto, e W. C., *Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria* (p. 319). Botucatu: FEPAP.
- Novaes, A. P., Simões, M. L., Neto, L. M., Cruvinel, P. E., Santana, A., Novotny, E. H., Nogueira, A. R. (2002). *Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica*. Fonte: Embrapa: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPDIA/8905/1/CT46\\_2002.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPDIA/8905/1/CT46_2002.pdf)
- Oliveira, S. V., Leoneti, A. B., Caldo, G. M. e Oliveira, M. M. (2011). Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. *Biomass e Bioenergy*, 2608-2618.
- Pereira, S. M., Lobo, D. S., Oliveira, H. F. e Júnior, W. F. (2012). Bioenergia e Resíduos na cadeia de suínos: uma análise de custo e investimentos para transporte de dejetos suínos com posterior geração de bioenergia no município de Toledo/PR. *Tecnologia e Sociedade*, 51-74.
- Petrobras. (13 de Agosto de 2018). *Fatos e dados - Entenda por que investimentos em fertilizantes*. Fonte: Petrobras: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/entenda-por-que-investimos-em-fertilizantes.htm>
- R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sachs, R. C., Torquato, S. A., Ambrosano, E. J. e Dias, G. C. (2016). Adubação Verde: Potencialidades e Análise de Economia no Uso de Nitrogênio Mineral em áreas de implantação e/ou reforma de canaviais. *Caderno de Agroecologia*, 1-11.
- Silva, M. C. e Santos, B. S. (2015). Degradação do córrego Ribeirão dos porcos no município em Ananás - TO. *FSA*, 127-141.
- Silva, R. L. e Silva, A. M. (2016). Quantificação do biogás da suinocultura e da energia térmica obtida via combustão na região centro-oeste do Brasil. *Energia na Agricultura*, 31-37.
- Verburg, P. H. e Gon, H. A. (2001). Spatial and temporal dynamics of methane emissions from agricultural sources in China. *Global Change Biology*, 31-47.