

CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DA FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E DEJETOS DE BOVINO LEITEIRO: OBTENÇÃO E PROJEÇÃO DOS RESULTADOS EM UM ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PENÁPOLIS-SP

EDMAR CÉSAR GOMES DA SILVA¹, JORGE DE LUCAS JÚNIOR²

¹ Departamento de Energia na Agricultura, FCA/UNESP – Botucatu/SP – Brasil, Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso, Departamento de Informática, IFSP – Birigui/SP - Brasil, Rua Pedro Cavallo 709, Portal da Pérola II, edmarsilva@ifsp.edu.br

² Departamento de Energia na Agricultura, FCA/UNESP – Botucatu/SP – Brasil, Av. Universitária, 3780 - Altos do Paraíso, Departamento de Engenharia Rural, FCAV/UNESP – Jaboticabal/SP – Brasil, Via de Acesso Professor Paulo Donato Castellane S/N - Vila Industrial, jlucas@fcav.unesp.br

*Artigo extraído da tese do primeiro autor.

RESUMO: O trabalho objetivou analisar o potencial de produção de biogás e biofertilizante do processo de co-digestão anaeróbia do substrato composto pela fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) e dejetos de gado bovino leiteiro (DGBL) utilizando biodigestores semicontínuos com capacidade de 60 L. Para análise dos dados considerou-se um delineamento inteiramente casualizado, utilizando-se o programa SAS® ao nível de significância de 5%. Foram analisadas a produção, o potencial de produção de biogás, a redução dos sólidos totais (ST), a redução de sólidos voláteis (SV) e os teores dos nutrientes Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) do biofertilizante. Os resultados foram aplicados em um estudo de caso tendo como base os dados de coleta de resíduos sólidos urbanos da cidade de Penápolis-SP co-digerido com estrume de 40 vacas. O experimento foi composto de 2 tratamentos, sendo um composto por 90% de FORSU, 10% DGBL e de água e outro tratamento de controle somente com DGBL e água, com 5 repetições para cada tratamento. Concluiu-se o biodigestor semicontínuo com uma proporção FORSU e DGBL de 90% -10%, produz 1 m³ de biogás com 36,23 kg de FORSU com um potencial de produção de biogás de 0,117 m³/kg de SV ad.

Palavras-chave: biogás, biofertilizante, energia renovável.

ANAEROBIC CO-DIGESTION OF THE ORGANIC FRACTION OF URBAN SOLID WASTE AND MILK CATTLE WASTE: OBTAINING AND PROJECTING RESULTS IN A CASE STUDY IN THE CITY OF PENÁPOLIS-SP

ABSTRACT: The objective of this study was to analyze the biogas and biofertilizer production potential of the anaerobic co-digestion process of the organic solid waste (FORSU) and dairy cattle manure substrate (DGBL) using semicontinuous biodigesters with capacity of 60 L. For data analysis we considered a completely randomized design, using the SAS® program at a significance level of 5%. The production, the biogas production potential, the reduction of total solids (TS), the reduction of volatile solids (VS) and the nutrient content Nitrogen, Phosphorus and Potassium (NPK) of the biofertilizer were analyzed. The results were applied in a case study based on data from the collection of urban solid waste from the city of Penápolis-SP co-digested with 40 cows manure. The experiment consisted of 2 treatments, one consisting of 90% FORSU, 10% DGBL and water and another control treatment with DGBL and water alone, with 5 replications for each treatment. The semicontinuous biodigester with a FORSU and DGBL ratio of 90% -10% was completed, producing 1 m³ of biogas with 36.23 kg of FORSU with a biogas production potential of 0.117 m³/kg of VS ad.

Keywords: biogas, biofertilizer, renewable energy

1 INTRODUÇÃO

A gestão adequada de resíduos sólidos e a necessidade de reestruturar a matriz energética, com a geração de energia limpa, são dois grandes desafios para os gestores públicos realizarem uma administração pautada no desenvolvimento de forma sustentável. O aumento da emissão de metano e dióxido de carbono tem sido uma das causas do aumento do efeito estufa, que tem como uma das fontes emissoras os aterros e lixões que contribuem para a poluição atmosférica e o agravamento deste efeito. De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, feito pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE, em 2018, cada brasileiro produziu 1,04 quilograma de lixo em média por dia. No País, foram coletadas diariamente 199.311 toneladas de resíduos sólidos. Desse total, 40,5% tiveram destino inadequado, pois foram para os lixões ou aterros controlados que o Brasil ainda possui, totalizando 80.821 toneladas por dia (ABRELPE, 2019).

Considerando o cenário da cidade de Penápolis-SP, os números informados pelo Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis – DAEP (2019), 100% do RSU coletado na cidade tem destinação adequada e, em 2015, houve uma queda de aproximadamente 3,9% na coleta de RSU, ocasionando uma redução de 0,730 kg de RSU por habitante por dia em 2014 para 0,702 kg por habitante por dia em 2015.

Kroeger *et al.* (1998) relata que 30% do lixo urbano e uma grande proporção de resíduos industriais pode ser biologicamente tratados via compostagem e biodigestão anaeróbia. A biodigestão anaeróbia é um eficiente método de tratamento de resíduos, no qual aproveitam-se os resíduos de origem orgânica, tratando-os, seja na sua forma sólida ou líquida, evitando assim, o descarte dos resíduos em lixões e aterros. Esta forma de tratamento de resíduos produz o biogás, composto basicamente por metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂), que são gases causadores de efeito estufa (GEEs), e podem ser utilizados na geração de energia elétrica, térmica ou mecânica.

O percentual de biodegradação da FORSU foi observado nos resultados apresentados por Forster-Carneiro *et al.* (2008) atingindo um potencial de redução dos SV de 79,5%, no experimento que investigou a influência de diferentes frações de resíduos sólidos urbanos em um tratamento anaeróbio em condições termofílicas (55° C).

A biodigestão anaeróbia permite a recuperação de energia por meio da produção de biogás, utilizável como fonte de energia diretamente em queimadores ou motores geradores, reduzindo o potencial poluente do efluente, permitindo sua reutilização como biofertilizante, que pode ser utilizado como adubo de culturas vegetais (Amaral *et al.*, 2004; Xavier; Lucas Junior, 2010).

Uma forma de aumentar a produção de biogás no processo de biodigestão anaeróbia, é a co-digestão, que combina o tratamento de diferentes resíduos ricos em carboidratos ou microrganismos, como caldo de cana, vinhaça, esterco bovino e de galinha entre outros. Co-digestão é um termo utilizado para descrever o tratamento combinado de resíduos com várias características complementares, caracterizando uma das principais vantagens da tecnologia anaeróbia (Fernández, A; Sánchez, A.; Font, X, 2005).

Segundo Orrico *et al.* (2016), os dejetos de bovinos leiteiros, quando associados a outros resíduos com acelerada taxa de degradação, podem aumentar o seu potencial de produção de biogás.

Hartmann e Ahring (2005), analisaram a influência da co-digestão utilizando dejetos, investigando a biodigestão anaeróbia de FORSU com estrume em uma proporção 1:1, em um biodigestor semicontínuo com capacidade para 3 L. O potencial de produção apresentado após 83 dias foi de 0,63 m³/kg de SV de biogás e 74% de redução dos SV.

O estudo de El-Mashad e Zhang (2010), utilizando 100 ml de inóculo (cultura bacteriana de sementes), avaliou o potencial de produção de biogás de duas misturas com DGBL E FORSU nas proporções 68:32 e 52:48 com base nos sólidos voláteis. O experimento apresentou como resultado respectivamente 0,455 e 0,531 m³/kg SV, utilizando biodigestores batelada

com capacidade de 1 litro sob condições mesofílicas (35°C).

Um estudo de co-digestão anaeróbia, realizado por Ponsá, Gea e Sánchez (2011), analisou a produção de metano de reatores de FORSU co-digeridos com substratos orgânicos puros, utilizando reatores com mistura de óleo vegetal, gordura animal, celulose e proteína. O experimento concluiu que os quatro co-substratos utilizados levaram a melhorias, mas o óleo vegetal foi o co-substrato mais adequado para ser digerido por via anaeróbia por ter alcançado uma produção de 450 L CH₄ kg⁻¹ SV ad em 21 dias, representando um rendimento de 25% acima do apresentado pelo reator de controle.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Biomassa e Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (FCAV), UNESP – Campus de Jaboticabal, situado nas coordenadas geográficas: 21°14' 05" S; 48° 17'0 9" W e altitude média de 613,68m. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw com transição para Cwa. Em Jaboticabal o clima caracteriza-se por ser tropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação anual de 1.426,6 mm, temperatura média anual de 22,2° e umidade relativa média anual de 70,8%. Os dejetos de bovinos leiteiros foram obtidos no confinamento do Setor de Bovinocultura do Departamento de Zootecnia da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal. A fração orgânica de resíduos sólidos foi recolhida em um restaurante na cidade de Jaboticabal.

O experimento em biodigestores semicontínuos analisou os valores dos potenciais de produção de biogás e geração de energia elétrica, e os percentuais de redução dos sólidos voláteis e sólidos totais, e dos teores NPK do efluente, baseando-se no percentual da FORSU coletada na cidade de Penápolis. O ensaio de biodigestores semicontínuos teve duração de 82 dias e após a estabilização do biodigestor, utilizou-se para análise os 45 dias finais. Para a realização das cargas foram

coletados semanalmente 4 kg de dejetos de bovinos leiteiros e 25 kg de restos de alimento, compostos por carnes, legumes, verduras e frutas, e transportados até o departamento de Engenharia Rural. Foram utilizados biodigestores semicontínuos tubulares de bancada com capacidade para 60 litros, construídos com tubo de PVC com diâmetro de 300 mm e com 1 m de comprimento, tendo suas extremidades vedadas por CAP de fibra de vidro. Um cano de 60 mm acoplado em uma das extremidades para entrada do afluente e na extremidade oposta um cano de 60 mm com registro de 75 mm para saída do efluente.

Os gases gerados nos biodigestores foram armazenados em gasômetros de 250 mm de diâmetros e 60 cm de comprimento, ligados aos biodigestores por meio de mangueiras plásticas para condução do biogás. O experimento foi composto por 2 tratamentos com 5 repetições cada um, totalizando 10 biodigestores do tipo semicontínuo com capacidade de armazenamento de 60 L e uma carga diária de substrato de 2 L com TRH de 30 dias. A coleta da FORSU foi realizada semanalmente, onde resíduos foram transportados para o laboratório e submetidos ao processo de trituração e diluição com água na proporção definida para o tratamento T1 para as cinco repetições totalizando 2 litros de substrato para carga diária. A adição do DGBL para os dois tratamentos foi homogeneizada manualmente com auxílio de pás em baldes, a fim de propiciar melhores condições de fermentação.

Para definir as proporções diárias de cada um dos resíduos que compuseram os tratamentos para o abastecimento dos biodigestores, simulou-se valores em escala laboratorial tendo como base a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Penápolis e o estrume de gado bovino leiteiro de um rebanho de 40 vacas, cuja produção de 1200 l/dia. A FORSU foi calculada em 30% do lixo coletado diariamente e para o DGBL, adotou-se geração média diária de 30 kg/vaca, resultando em uma relação DGBL/FORSU no valor de 11,11%. Para diluição considerou-se 3 partes de água para 1 parte de resíduo FORSU+DGBL. Com base nos valores dos resíduos de Penápolis, e considerando carga

diária de 2 L, o tratamento T1 foi composto por 0,450 kg de FORSU, 0,050 kg de DGBL e 1,5 kg de água com 5 repetições. O tratamento T0 foi o biodigestor de controle de DGBL

composto por 0,450 kg de DGBL e 1,550 kg de água. A Tabela 1 apresenta os valores de carga para os biodigestores semicontínuos.

Tabela 1. Composição do tratamento dos biodigestores semicontínuos

Tratamentos	FORSU(kg)	DGBL(kg)	ÁGUA(kg)
T0	0	0,450	1,550
T1	0,450	0,050	1,500

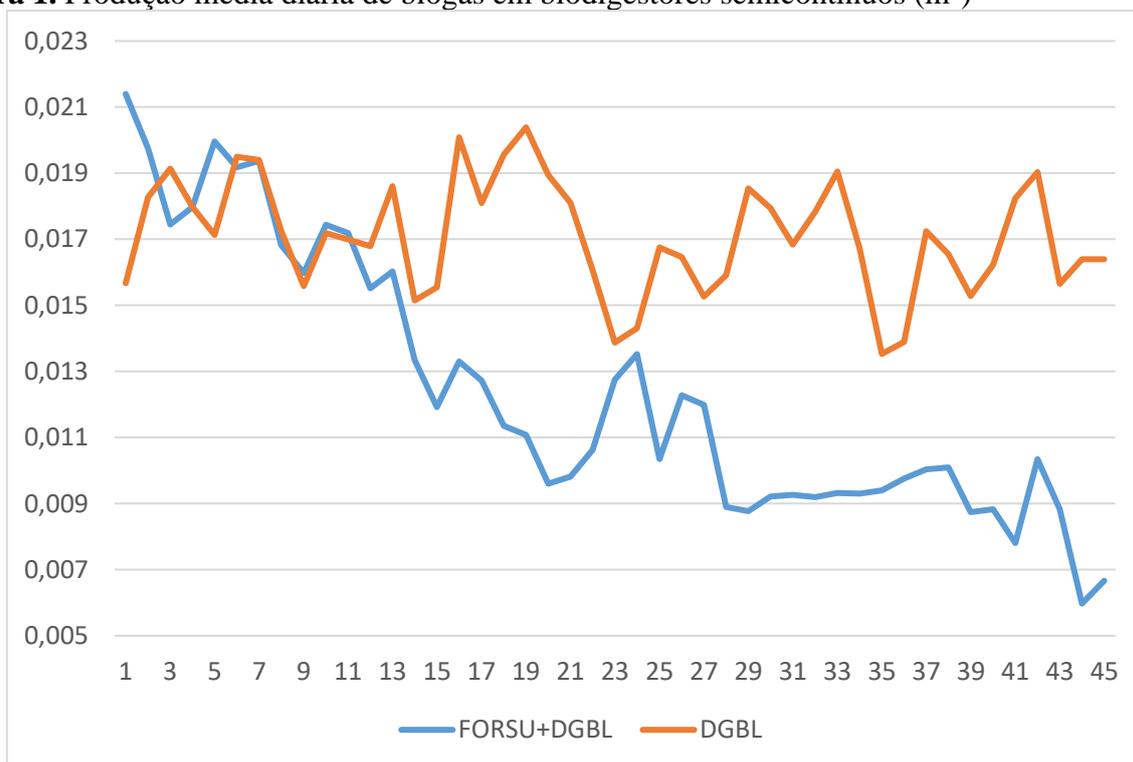
Fonte: Dados da Pesquisa (2017)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 1 mostra os índices de média diária de produção de biogás nos 45 dias de análise de dados. Pode-se observar que no início do processo o tratamento com co-

digestão FORSU+DGBL obteve um melhor desempenho frente ao controle, demonstrando que a adição do FORSU facilita o início do processo de degradação, por apresentar em sua composição resíduos de mais fácil degradação se comparado aos dejetos.

Figura 1. Produção média diária de biogás em biodigestores semicontínuos (m³)



Fonte: Dados da Pesquisa (2017)

A degradação inicial da FORSU faz com que ao longo do período ocorra uma diminuição na produção de biogás no tratamento FORSU+DGBL em relação DGBL, e embora o tratamento composto por FORSU+DGBL tenha apresentado um rendimento inferior ao biodigestor de controle, o desempenho é considerado satisfatório, considerando que objetivo do experimento é

umentar a produção de biogás de FORSU utilizando DGBL como inoculo. O biodigestor com substrato co-digerido apresentou um rendimento total de 0,559 m³ de biogás no final do período, o que representa aproximadamente 72% da produção apresentada pelo biodigestor de controle DGBL com rendimento de 0,769 m³ de biogás. Os resultados de potencial de biogás por kg de SV adicionados, por kg de ST

adicionados, por Kg de FORSU e por Kg de DGBL são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Medidas do Potencial de Produção de Biogás em Biodigestores semicontínuos

Tratamento	m ³ /kg de ST ad	m ³ /kg de SV ad	m ³ /kg de FORSU	m ³ /kg de DGBL
FORSU+DGBL	0,106 b	0,117 b	0,027	0,248 a
DGBL	0,238 a	0,283 a	0,0	0,038 b
F	160,46	185,43	354,5	251,58
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV%	9,55	9,56	16,79	14,64

Fonte: Dados da Pesquisa (2017)

Hartmann e Ahring (2005), analisaram a influência da co-digestão utilizando estrume, e FORSU com estrume em uma proporção 50:50, em um biodigestor semicontínuo com capacidade para 3 L em condições termofílicas e com utilização de líquido do processo recirculado. O potencial de produção apresentado após 83 dias foi de 0,63 m³/kg de SV de biogás e 74% de redução dos SV. Os resultados de potencial de produção de 0,117 m³/kg de SV ad apresentados neste estudo são inferiores, entretanto deve-se considerar que a proporção utilizada de FORSU+DGBL foi de 90:10 sem utilização de tecnologias de recirculação e aquecimento.

Observando a tabela 3, nota-se que a FORSU+ DGBL é um material que contém maior quantidade de matéria orgânica em sua composição em relação ao DGBL pois apresenta uma maior porcentagem de SV. Percebe-se também que o tratamento FORSU+DGBL apresenta um percentual maior redução de SV em relação ao tratamento DGBL, permitindo demonstrar que o sistema de biodigestão anaeróbia é eficiente para o tratamento de FORSU+DGBL, diminuindo a concentração de carga orgânica em cerca de 85,57%.

Tabela 3. Percentual de Redução de SV

Tratamento	%Afluente	%Efluente	kg Afluente	kg Efluente	% Redução
FORSU+DGBL	5,27 a	0,76 b	0,105 a	0,015 b	85,57 a
DGBL	3,02 b	1,86 a	0,060 b	0,037 a	38,28 b
F	0	166,94	0	168,09	343,98
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV%	0	10,29	0	10,26	6,51

Fonte: Dados da Pesquisa (2017)

A Tabela 4 apresenta os percentuais de sólidos totais do afluente e efluente, e o percentual de redução de sólidos totais dos tratamentos FORSU+DGBL e DGBL em biodigestores semicontínuos. O percentual de

redução dos sólidos totais de 81,89%, reafirma a eficiência de degradação do sistema de biodigestão anaeróbia para o tratamento FORSU+DGBL.

Tabela 4. Percentual de Redução de ST em Biodigestores semicontínuos

Tratamento	%Afluente	%Efluente	kg Afluente	kg Efluente	%Redução
FORSU+DGBL	5,84 a	1,05 b	0,117 a	0,021 b	81,89 a
DGBL	3,59 b	2,28 a	0,071 b	0,045 a	36,36 b
F	0	149,20	0	149,34	300,62
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
CV%	0	9,53	0	9,49	7,02

Fonte: Dados da Pesquisa (2017)

O estudo de caso aplica os resultados obtidos no experimento semicontínuo, em uma escala de produção real, tendo como base os dados do município de Penápolis. Como resultados são apresentados os dados de potencial de produção de biogás e potencial de geração de energia. Para cálculo da FORSU adotou-se os resultados de Kroeger *et al.* (1998), onde relatam que 30% do lixo urbano pode ser biologicamente tratado via compostagem e biodigestão anaeróbia. Considerando que a coleta de lixo na cidade de Penápolis nos anos de 2014 e 2015 atingiu uma média de aproximadamente 13.000 t/a é possível estimar que foram produzidos 10.700 kg de FORSU/DIA. Para cálculo do DGBL considerou-se o volume de dejetos gerados diariamente por 40 vacas, que segundo Santos e Nogueira (2012) é cerca de 7% do peso vivo do animal. Portanto, considerando que os animais utilizados neste experimento pesam em média cerca de 430 kg é possível estimar que são produzidos 1.190 kg de DGBL/DIA. Para cálculo do volume de água para uma diluição a 6% ST, este estudo utilizou a proporção FORSU+DGBL / água de 1:3, onde estimou-se volume total de carga diária do biodigestor de 47.560 kg.

Considerando os valores determinados no ensaio de biodigestão anaeróbia de 0,105 kg de SV no afluente diário, o potencial de produção de biogás por kg de sólidos voláteis adicionados de 0,117 m³/kg, estima-se que o

valor de produção diária de biogás baseado no potencial de produção de biogás por kg de sólidos voláteis adicionados é de 584,27 m³.

A geração de eletricidade a partir do biogás é realizada por meio de combustão e de acordo com o manual de grupos geradores a gás da ER-BR (ER-BR,2017), o grupo gerador necessário para atender a demanda de biogás produzida pelo biodigestor é o conjunto moto gerador a biogás de 120 kVA, modelo GMWM120 com 47 m³/h de consumo de biogás (65% de CH₄) e potencial de geração de 77 kWh. Portanto, com um gerador funcionando 12 horas e meia, é possível estimar um potencial de geração de energia elétrica diária de 962,50 kWh.

Para estimar o valor fertilizante do afluente da biodigestão anaeróbia FORSU+DGBL, considerou-se como base o volume de biofertilizante gerado e a concentração dos teores dos nutrientes N, P e K. A Ureia (45% N) foi o fertilizante mineral adotado como fonte de nitrogênio, o superfosfato simples (18% P₂O₅) como fonte de fósforo, e o cloreto de potássio (58% K₂O) como fonte de potássio. Tendo como base o valor encontrado no experimento semicontínuo para os sólidos totais do efluente, o biofertilizante da biodigestão anaeróbia da FORSU de Penápolis apresentou 500kg de madeira seca. A tabela 5 mostra a equivalência da concentração de NPK no afluente com a fonte de Fertilizante

Tabela 5. Equivalência de NPK no efluente com fertilizantes

N(%)	Ureia (kg)	P(%)	Superfosfato simples (kg)	K(%)	Cloreto de Potássio (kg)
2,02	22,44	2,29	145,67	2,8	28,96

Fonte: Dados da Pesquisa (2017)

4 CONCLUSÕES

O experimento em biodigestores semicontínuos em uma proporção FORSU e DGBL de 90% -10% apresentou um potencial de produção de biogás de 0,117 m³/kg de SV ad e um valor de 36,23 kg de FORSU para

produção de 1 m³ de biogás. O estudo de caso aplicando os resultados baseando-se em dados da cidade de Penápolis, apresentou uma produção de um 500 kg de biofertilizante diariamente e um potencial de geração de energia elétrica de 1,63 kWh por m³ de biogás. A biodigestão anaeróbia é um processo que se

apresenta como uma alternativa ao tratamento do lixo orgânico, a redução da emissão de gases de efeito estufa em aterros e lixões e geração de energia limpa, além de aumentar a vida útil do aterro sanitário, pois o percentual de lixo orgânico coletado e não destinado ao aterro é diretamente proporcional ao aumento do período de sua utilização.

5 REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos resíduos Sólidos no Brasil: 2018/2019**. São Paulo: ABRELPE, 2019. 68 p. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>. Acesso em: 1 jul. 2020.

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; NASCIMENTO, A. A.; FERREIRA, D. S.; MACHADO, M. R. F. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 34, n.6, p. 1897–1902, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000600035>. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_artext&pid=S0103-84782004000600035&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 2 maio 2021.

DAEP. **Portal de Serviços**. Penápolis: Daep, 2019. Disponível em: <https://www.daep.com.br/portal/servicos/1007/servicos/>. Acesso em: jul. 2017.

EL-MASHAD, H. M.; ZHANG, R. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 11, p. 4021-4028, 2010.

ER-BR. **Grupo geradores**. Londrina: ER-BR, 2017. Disponível em: <https://www.erbr.com.br/produtos/1/grupo-geradores>. Acesso em: 28 jul. 2017.

FERNÁNDEZ, A; SÁNCHEZ, A.; FONT, X. Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. **Biochemical**

Engineering Journal, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 22-28, 2005.

FORSTER-CARNEIRO, T.; PÉREZ, M.; ROMERO, L. I. Thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic fraction of municipal solid waste. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 15, p. 6763-6770, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.052>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408000904>. Acesso em: 20 maio 2023.

HARTMANN, H.; AHRING, B. K. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: influence of co-digestion with manure. **Water Research**, New York, v. 39, n. 8, p. 1543-1552, 2005.

KROEGER, B.; BARTH, J. Composting process in Europe. **Biocycle**, Emmaus, v. 39, n. 4, p. 65-68, abr. 1998.

ORRICO, A. C. A.; LOPES, W. R. T.; MANARELLI, D. M.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; SUNADA, N. S. Co-digestão anaeróbia dos dejetos de bovinos leiteiros e óleo de descarte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 537-545, maio/jun. 2016.

PONSÁ, S.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. Anaerobic co-digestion of the organic fraction of municipal solid waste with several pure organic co-substrates. **Biosystems Engineering**, v. 108, n. 4, p. 352-360, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.01.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511011000195>. Acesso em: 20 maio 2023.

SANTOS, I. A.; NOGUEIRA, L. G. H. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 41-49, abr. 2012.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JUNIOR, J.
Parâmetros de dimensionamento para
biodigestores batelada operados com dejetos
de vacas leiteiras com e sem uso de
inóculo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal,
SP, v. 30, n. 2, p. 212-223, abr. 2010. DOI:
[https://doi.org/10.1590/S0100-
69162010000200003](https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000200003). Disponível em:
[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_artt
ext&pid=S0100-
69162010000200003&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_artt
ext&pid=S0100-
69162010000200003&lng=en&nrm=iso).
Acesso em: 2 maio 2021.