

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Campus de Jaboticabal

**RENDIMENTO ENERGÉTICO E QUALIDADE DO BIOFERTILIZANTE DA
BATATA-DOCE**

ALEX LUIZ SAGULA

Relatório de Pós-doutorado realizado na
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade Ciências Agrárias e Veterinária,
Departamento de Engenharia, Jaboticabal.

Supervisor(a): Prof. Dr. Luiz Fabiano
Palaretti

PROPe- Nº do Processo:2084/23

Jaboticabal/SP

2024

RESUMO

Dentre os desafios da agricultura, produzir mais, com menor impacto negativo ao ambiente, torna-se cada vez mais importante. Nesse sentido, sistemas integrados de produção são estudados. A matriz energética brasileira é alicerçada em usinas hidrelétricas, porém a irregularidade temporal e volumétrica do regime pluviométrico gera incertezas quanto a sustentabilidade na utilização desse recurso para fins de geração de energia. A estratégia de utilização de energias renováveis que diminuam o impacto ambiental e propiciem a redução de custos financeiros e sociais é discutida e difundida no cenário apresentado. Evidências demonstram que tubérculos de batata-doce, por possuírem alto teor de carboidrato são promissores como estratégia à geração de energia quando comparadas com culturas como o milho. Essas evidências levam a hipótese de que a batata-doce após fermentação anaeróbia gera biogás e biofertilizante, rico em nutrientes essenciais aos cultivos agrícolas. Dessa forma, objetiva-se neste projeto de pesquisa avaliar o potencial energético da batata-doce e o potencial uso do subproduto na biofertilização de grãos. A pesquisa será realizada em três etapas: o cultivo da batata-doce, o ensaio Potencial Biogás e o cultivo de sorgo biofertilizado. Os experimentos serão conduzidos no campo experimental pertencente à Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP e no Laboratório de Água e Solo da UNESP – FACV. Se bem-sucedido, os resultados desse projeto de pesquisa comprovarão uma nova fonte energética de qualidade no Brasil.

Palavras-chave: *Ipomea batatas* (L.) Lam, biogás, biofertilizante.

ABSTRACT

Among the agriculture challenges, high yield, reducing the negative impact on environment, becomes increasingly important. In this sense, integrated crop systems are studied. The Brazilian energy matrix is based on hydroelectric plants, however, the temporal and volumetric irregularity of rainfall regime create uncertainties regarding the sustainability in this resource for energy generating. The strategy using renewable energies that reduce the environmental impact and reduce financial and social costs is discussed and disseminated in presented scenario. Evidence shows that sweet potato tubers, as they have a high carbohydrate content, are promising as a strategy for energy generating when compared to crops such as grains. This evidence leads to the hypothesis that sweet potato after anaerobic fermentation results in higher biogas volume, besides providing biofertilizer with a higher concentration of essential nutrients for agricultural crops. Thus, the objective of this research project is to evaluate the energy potential of sweet potato and the potential use of the byproduct in sorghum biofertilization. The research will be carried out in three stages: the sweet potato cropping, the Potential Biogas test and the biofertilized sorghum cropping. The experiments will be conducted in the experimental area belonging to Experimental Farm of School of Agricultural and Veterinarian Sciences, Jaboticabal, SP and in the Water and Soil Laboratory at UNESP - FACV. If successful, the results of this research project will prove a new quality energy source in Brazil.

Keywords: *Ipomea batatas* (L.) Lam, biogas, biofertilizer.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO -----	5
2.	OBJETIVOS -----	8
2.1	Gerais -----	8
2.2	Específicos -----	8
3.	PLANO DE TRABALHO -----	8
3.2	Ensaio de Potencial de biogás -----	10
3.3.	Análises laboratoriais Teores de sólidos totais e voláteis -----	10
3.4.	Produção de biogás -----	10
3.5.	Teste de queima-----	11
3.6	Análise dos resultados -----	12
3.7	Cultivo de Grão-----	13
3.8	Ensaio do potencial de biogás com substrato de abastecimento do biodigestor, mais batata doce.-----	13
4	RESULTADOS -----	15
4.1	Potenciais de produção de biogás -----	16
4.2	Distribuição volumétrica de biogás-----	17
5.	REFERÊNCIAS-----	19

1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da agricultura é a sustentabilidade ambiental, social e econômica, visando redução dos impactos negativos. A implementação de sistemas agrícolas integrados é difundida, por reduzir a degradação ambiental e incrementando a produtividade, além do retorno econômico.

Atualmente a matriz energética brasileira versa sobre usinas hidrelétricas. No entanto, apesar dessas usinas utilizarem como fonte de energia recurso natural renovável, elas alteram a paisagem devido a inundações, impactando negativamente a fauna e a flora.

Outro fator preponderante é a irregularidade volumétrica e temporal das chuvas, matéria prima para geração de energia elétrica, que impacta negativamente na capacidade de geração, elevando os custos de energia elétrica, principalmente em períodos de seca. Aumentos nos custos de energia elétrica refletem-se em aumento de custos de produção, que são repassados aos consumidores pela alta da precificação dos alimentos.

O agronegócio é responsável por parcela significativa do crescimento do número de plantas de biogás que entraram em operação em 2022, representando 63% do total. Já o aumento da produção de biogás em 2022 se deu principalmente pelo início da operação de plantas de grande porte do setor de Saneamento que representam 76% do volume ampliado em 2022 de 529 milhões Nm³/ano (CIBIOGAS, 2023).

Dessa forma, é razoável conjecturar que a produção de energia renovável, como o biogás é uma estratégia direta de uso em empreendimentos rurais, diversificando a matriz energética, fortalecendo o desenvolvimento sustentável da agricultura. Entretanto, chama atenção o fato de que a utilização de biogás no Brasil é ínfima, perfazendo 0,08% da geração de energia elétrica (Freitas et al., 2019).

Nesse sentido, a utilização de novas fontes energéticas renováveis é promissora, dentre elas o uso de tubérculos de batata-doce, como substrato para co-digestão. Essa cultura se caracteriza pela rusticidade, baixo custo de produção, resistência à pragas, adaptação à solos degradados, colheita prolongada (Miranda et al., 1995; Silva et al., 2008; Stathers et al., 2013; Okudoh et al., 2014; Castro et al., 2014; Carmona et al., 2015; Motsa et al., 2016; Veiga

et al., 2016), além de ser tolerante à seca e com janela de plantio anual em regiões de temperaturas elevadas.

Além das justificativas citadas acima, a questão ambiental no âmbito das mudanças climáticas tem dado ênfase à eminente crise energética do país. A expansão do sistema elétrico brasileiro deve ser analisada dentro deste novo contexto de regulação ambiental e social. Para enfrentar o aumento da demanda no futuro é necessário encarar o uso da energia sob a ótica da sustentabilidade. Isso significa eliminar desperdícios e buscar fontes renováveis mais eficientes e seguras para o homem e o ambiente.

Neste sentido, a técnica de biodigestão anaeróbia assume importância por permitir resultados que relacionam a preservação ambiental, geração e conservação de energia no meio rural e redução de custos com aquisição de insumos (fertilizantes). A biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos têm embasamento científico de relevância nos últimos anos e já é uma realidade nos empreendimentos agrícolas, no intuito de reciclar a matéria orgânica obtendo-se compostos mais simples, como o biogás, composto praticamente por CO_2 e CH_4 , e o biofertilizante, reutilizados na cadeia agropecuária ou mesmo na autossuficiência energética da propriedade rural (MONTORO, SANTOS e LUCAS JR, 2012; MATA-ALVAREZ et al., 2014).

A co-digestão é o consórcio de um resíduo orgânico a outros resíduos que podem ser ricos em carboidratos ou micro-organismos, como caldo de cana, vinhaça, esterco bovino, de galinha, entre outros. Sendo este termo usado para descrever o tratamento combinado de resíduos com várias características complementares, esta é uma das principais vantagens da tecnologia anaeróbia (FERNÁNDEZ, 2005). Pode apresentar diversos benefícios comparativamente a digestão de substratos isolados tais como: aumento do custo benéficos das unidades de tratamento derivada do tratamento de maior variedade de resíduos; maior eficiência da degradação do substrato derivado da ocorrência de efeitos sinérgicos e do fato do conteúdo de nutrientes e umidade estar mais próximos dos valores ótimos; diluição dos compostos inibitórios e aumento da produção de biogás (MATA-ALVAREZ et al. 2014).

Os principais motivos que relacionam a co-digestão anaeróbia ao Brasil está na variabilidade de resíduos e culturas que podem ser combinados, a fim de aumentar a produção de biogás e consequentemente a de energia elétrica

gerada.

Nos países europeus a combinação mais utilizada reúne os dejetos animais com a silagem de milho. Porém, devido ao clima tropical do Brasil não se recomenda o uso de silagem de milho, uma vez que, seu uso destina-se a alimentação animal.

Pelas características de nosso país, os vegetais que deverão ser cultivados para produção de energia são plantas amiláceas, como a batata-doce e a mandioca, além das plantas ricas em sacarose como a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino. Observando-se que, diferentemente dos países europeus, o Brasil apresenta maior oferta de vegetais que podem ser utilizados no processo de co-digestão.

Muitos trabalhos que tratam de co-digestão têm sido focados na busca de sinergia ou antagonismo entre os substratos co-digeridos. Por exemplo, a otimização da relação carbono e nitrogênio quando a co-digestão de resíduos urbanos e lodo de esgoto são apontados como benéfica para produção de metano (FERNÁNDEZ, 2005). O desempenho do processo de co-digestão anaeróbia é muito dependente dos tipos e da composição do material orgânico a ser degradado.

De acordo de De Baere (2007), a digestão anaeróbia de culturas energéticas fornece pelo menos 75 GJ/ha de energia líquida, correspondentes a pelo menos duas vezes mais rendimento de energia obtido pela fermentação alcoólica e três vezes mais que os biocombustíveis líquidos produzidos com cevada e beterraba, tornando o biogás um combustível muito favorável. Existem numerosos biodigestores em escala real que são alimentados com substratos mistos, constituídos por milho, sorgo, derivados do milho, cana, cereais, rações integrais e misturas de outras culturas energéticas

É sabido que a fermentação anaeróbia da matéria orgânica gera biogás e biofertilizante (Zhang et al., 2014; Damaceno et al., 2019). O biofertilizante é líquido é rico em nutrientes. A composição do biofertilizante contém elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, ferro, cloro, molibdênio, entre outros (Santos, 1992). Contudo as concentrações desses elementos variam de acordo com a matéria-prima.

Este produto pode ser utilizado na fertirrigação de diversas culturas, otimizando o consumo de água e fertilizantes, reduzindo impactos ambientais da utilização de adubos minerais (Sheets et al., 2015; Yang et al., 2015).

Após o cultivo da batata-doce recomenda-se como boas práticas agronômicas realizar o pousio ou rotação com culturas de diferentes famílias botânicas para evitar incidência de doenças, pragas e melhoria nas condições do solo. Dessa forma, uma estratégia é o cultivo de gramíneas, como alguma cultivar de grão, que pode ser ter sua utilização na alimentação animal, bem como, para geração de energia.

Essas evidências levam à hipótese de que a batata-doce após fermentação anaeróbia resulta em maior volume de biogás, além de fornecer um biofertilizante com maior concentração de nutrientes essenciais aos cultivos agrícolas.

2. OBJETIVOS

2.1 Gerais

Neste projeto objetiva-se estudar o potencial energético de tubérculos de batata-doce e o potencial uso do biofertilizante na fertirrigação da cultura de grãos.

Desenvolver atividade na planta de biogás, existente na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP (UNESP – FCAV).

2.2 Específicos

- Avaliar a produção máxima de biogás, de dejetos em co-digestão com batata-doce.
- Avaliar a qualidade do biofertilizante oriundo do processo de biodigestão anaeróbia e biodigestor batelada.

3. PLANO DE TRABALHO

O experimento foi conduzido no campo experimental pertencente a Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP (UNESP – FCAV) (latitude 21°14'44" S, longitude 48°17'0"). Conforme a classificação de Köppen (1923), o clima da região do estudo é definido como Aw, que indica tropical chuvoso, muito quente. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas.

Inicialmente foi realizado o cultivo da batata-doce que foi utilizada como matéria-prima na geração de biogás e biofertilizante. Após seu cultivo, foi realizado o ensaio de Potencial Bioquímico de Metano (BMP), em biodigestores batelada com capacidade de dois litros de substrato em fermentação, sendo possível determinando a quantidade de biogás produzida pelo tubérculo em comparação com a produção sem tubérculo. Com os resultados da etapa anterior será utilizado o biofertilizante no cultivo de sorgo granífero.

3.1 Cultivo da batata-doce (*Ipomea batatas* (L.) Lam)

O experimento foi conduzido na área experimental supracitada. Foi adotado o delineamento experimental em blocos ao acaso, com três repetições. Foram avaliados três genótipos de batata-doce com aptidão para produção de etanol e biogás, sendo dois genótipos comerciais (BRS Cuia - EMBRAPA e Duda – UFT) e um genótipo experimental.

Amostras de solo da área experimental foram realizadas, com o intuito de definir o manejo da adubação, conforme recomendações para a cultura do Boletim IAC 200 (IAC, 2014).

O preparo do solo foi realizado por meio de subsolagem, aração e gradagem, sequencialmente. Em leiras de plantio espaçadas de 0,80 m foram plantadas ramas de batata-doce com 0,30 m. Cada parcela experimental foi composta por 6 linhas de 12 m, considerando duas linhas de cada lado como bordaduras.

O plantio foi realizado no mês de abril de 2024 e a colheita em 150 dias após o plantio.

As avaliações foram feitas na área útil de cada parcela, correspondente à 10 m da linha central (linha 4).

Foram avaliados matéria seca, teor de amido, teor de clorofila, açúcar total e produtividade. Os tubérculos foram fatiados e colocados para secar em estufa a 65° C com circulação forçada de ar até peso constante para a determinação da matéria seca. Os teores de açúcar total e amido serão determinados a partir da matéria seca, segundo metodologia descrita por Somogy e adaptada por Nelson (1994), após leituras no espectrofotômetro os teores foram convertidos para teores na matéria fresca. A produtividade de cada parcela foi determinada pesando-se todos os tubérculos de duas linhas de cada parcela, posteriormente os valores

foram extrapolados para kg ha^{-1} .

Os teores de clorofila foram determinados ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, assim como os teores de amido. Foram coletadas amostras frescas das folhas, as mesmas foram acondicionadas em tubos Eppendorff contendo 1,5 mL de acetona 80% protegidos da luz. Em seguida, foram realizadas as leituras em espectrofotômetro por absorbância 470, 647 e 663 nm, os teores de clorofila foram determinados seguindo metodologia de Lichtenthaler e Wellburn (1983).

3.2 Ensaio de Potencial de biogás

A pesquisa de potencial de biogás foi realizada no laboratório de Água e Solo da UNESP – FACV. O delineamento será inteiramente casualizado com dois tratamentos sendo substrato de entrada do biodigestor (Controle) e substrato de entrada do biodigestor mais batata-doce, com seis repetições cada.

Para a realização dos ensaios de biodigestão, foram construídos 12 biodigestores batelada de bancada, conforme a (Figura,1 e 2), com capacidade para 2 litros de substrato em fermentação. O estudo foi realizado em um espaço dentro da planta de biodigestor e biogás da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV – UNESP/Jaboticabal – SP e as análises laboratoriais serão processadas no laboratório do departamento de engenharia e ciências exatas.

3.3. Análises laboratoriais Teores de sólidos totais e voláteis

Os substratos foram submetidos aos ensaios de sólidos totais, as amostras dos afluentes e efluentes dos biodigestores, foram coletadas antes e depois da digestão anaeróbia e foram acondicionadas em garrafas e posteriormente levada ao laboratório para as análises (APHA, 2017).

3.4. Produção de biogás

Para a produção de biogás foi realizada leitura conforme o acúmulo no gasômetro. A leitura se baseia na mensuração da altura da régua fixada junto ao gasômetro, que se deslocava verticalmente. O número obtido na leitura foi multiplicado pela área de seção transversal interna dos gasômetros, igual a

0,00785 m^2 . Após cada leitura, os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as

condições de 1 atm. Em 20 °C, foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985), onde pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal.

Para a correção do volume de biogás, será utilizado o modelo combinado das leis de Boyle e Gay-Lussac (equação 1). Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9.627,24 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 46 mm de água, o volume de biogás será corrigido (equação 2).

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1} \quad \text{Eq. 1}$$

$$V_0 = \left(\frac{V_1}{T_1} \right) \times 274,70 \quad \text{Eq. 2}$$

em que:

V_0 = volume de biogás corrigido, m³;

P_0 = pressão corrigida do biogás, 10,33 mm de H₂O;

T_0 = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9673,24 mm de H₂O;

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

3.5. Teste de queima

Este teste foi realizado para verificar a queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores em batelada para verificar a presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama. Para tanto, foi utilizado um Bico de Bunsen, com mangueira acoplada à saída de gás do gasômetro (Figura 3).

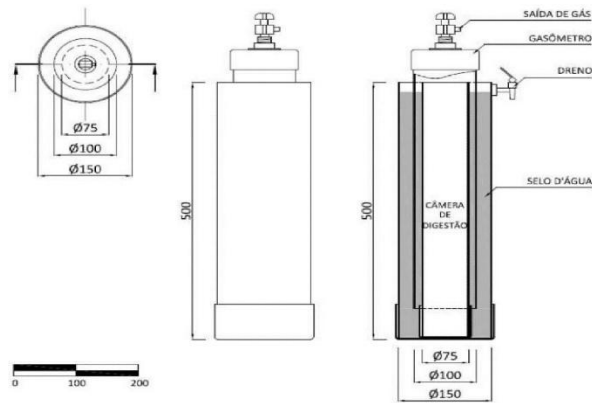


Figura 1. Vista superior, vista frontal e corte de um biodigestor tipo batelada, medidas em milímetros. Fonte: SANTI, 2013.



Figura 2. Biodigestor batelada, com teste de estanquidade realizado



Figura 3. Teste de queima

3.6 Análise dos resultados

Após a obtenção dos dados, foram submetidos à análise de variância, pelo Teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para verificar a diferença entre os tratamentos estudados da pesquisa.

Para avaliar a relação de acúmulo de amido no tubérculo e o teor de clorofila na folha foi utilizada a análise de correlação de Pearson ($p > 0,001$) para identificar se há correlação positiva ou negativa. Após os dados foram submetidos à análise de regressão, analisando o comportamento do acúmulo de amido ao

longo do tempo.

Foi realizada análise do modelo da medida de biogás ao longo dos dias durante o teste produção de biogás, a fim de explicar o acúmulo de biogás da batata-doce.

3.7 Cultivo de Grão

Na etapa três do projeto estava prevista o cultivo de sorgo, no entanto, a lavoura foi atacada por capivaras que a destruíram, inviabilizando a execução da ultima etapa da pesquisa, que seria utilizar o biofertilizante no cultivo.

Como forma de mitigar a não realização do experimento com sorgo em sucessão, foi feita uma comparação entre os níveis de macronutrientes quantificados no biofertilizante gerado pela biodigestão da batata-doce, com os níveis de macronutrientes exigidos pela cultura do sorgo granífero.

3.8 Ensaio do potencial de biogás com substrato de abastecimento do biodigestor, mais batata doce.

O desenvolvimento desse projeto, é demonstrar o alto potencial energético do uso da batata-doce e que possa se replicado para o biodigestor da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, campus UNESP de Jaboticabal.

Para ter uma maior fidelidade no experimento foi utilizado substrato de entrada do biodigestor (Figura, 4), para isso foi feito o processo de abastecimento do biodigestor com 3 toneladas de dejetos bovinos para uma diluição de 40 mil litros de digestato proveniente da saída do biodigestor (figura 5), depois da diluição e mistura, o substrato passa por um processo de separação de sólidos.



Figura 4: Demonstra a caixa de entrada do biodigestor e o balde que foi coletado com substrato para abastecer o biodigestor batelada.



Figura 5: Demonstra a carga com dejetos bovinos e a diluição com digestato e agitação

Para a realização do potencial de biogás, foram utilizados 12 biodigestores bateladas, com capacidade de 2L de substrato em fermentação. O estudo foi realizado adotando-se dois tratamentos (TR) com 6 repetições, conforme descrito a abaixo:

TR 1 – Substrato de entrada biodigestor

TR 2 – Substrato de entrada biodigestor + Batata-doce BRS-Gaita

Optou por utilizar uma espécie de batata-doce industrial, e a que foi utilizada é a BRS-Gaita da Embrapa (Figura 6).

Para alimentação do biodigestor batelada, foi estabelecido em função do volume do biodigestor na proporção de 5% de batata-doce para dois litros de substrato em fermentação. O abastecimento do biodigestor batelada foi alimentado com substrato de abastecimento do biodigestor em escala real e batata-doce.



Figura 6: Batata doce BRS Gaita.

A batata-doce foi cortada e depois triturada no liquidificador conforme

demonstrado na figura 7, com isso os tratamentos que continha batata-doce era descontado o valor de 100 ml, que depois entraria com a batata-doce triturada.



Figura 7: Batata doce triturada.

4 RESULTADOS

Os teores de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) do substrato de entrada do biodigestor, batata doce e dos tratamentos avaliados, estão representados na tabela 5.

Na Tabela 5 são apresentados os valores iniciais (carga inicial dos biodigestores) e finais (biofertilizante) de sólidos totais e voláteis dos tratamentos com e sem a batata doce.

As cargas de entrada dos substratos nos biodigestores foram formuladas com 74% de ST, no entanto observa-se que a percentagem de ST presentes nos afluentes foi inferior a esse valor, pois ao realizar as cargas, essas foram diluídas e peneiradas separando as fibras contidas no dejetos, o que ocasionou variação da quantidade de sólidos.

Tabela 5 – Valores das medias de sólidos totais (ST) e voláteis (SV) da entrada e da saída do biodigestor.

Tratamento	ST (%)		SV (%)	
	Entrada	Saida	Entrada	Saida
Substrato	2,70	1,00	74,477	57,851
Substrato + Batata doce	1,53	1,48	74,407	64,902

Observa-se que pelas médias apresentada, os teores de sólidos totais do substrato, apresentaram valores mais elevados na entrada com menor quantidade na saída, em comparação ao tratamento que recebeu batata doce. Para os teores de sólidos voláteis, não houve diferença nas cargas de entrada,

porém, observa-se que o tratamento com batata doce os valores na saída foram maiores, o que de acordo com SANTOS (2001), SV de 25,48 % é considerado bem baixo do que se espera em um processo de biodigestão que ocorre normalmente, uma vez que a redução de sólidos voláteis pode nos dar um indicativo da matéria orgânica que se converterá em biogás.

4.1 Potenciais de produção de biogás

Os potenciais de produção de biogás, nas condições desse trabalho, foram medidos a cada trinta dias, uma vez, que os biodigestores modelos batelada, apresentam um pico e logo depois de um período conveniente de fermentação, uma leve queda, e então, entra em período de falência, de modo que o substrato que alimenta o biodigestor rico em matéria orgânica, já não apresenta mais capacidade de degradação por parte das bactérias do meio. Sendo assim, considerou-se o período de cento e cinquenta dias de operação dos biodigestores, onde foi notado a queda da produção de biogás, conforme pode ser observado na figura 8.

Na Tabela 6, estão os valores mensais dos potenciais de produções de biogás nos tratamentos adotados. Foram observadas diferenças significativas ($P < 0,001$) nos potenciais de produção de biogás entre os tratamentos com e sem batata doce. Foi analisada a produção de biogás ao decorrer dos dias de produção, uma vez que biodigestores bateladas, apresentam pico e queda de produção, dependendo do substrato analisado.

Tabela 6 – Potenciais médios de produção de biogás (m^3) em biodigestores alimentados com e sem batata doce.

Dias	Substrato	Substrato Bdoce
30	0.000183 ^{a3}	0.000050 ^{a1a2}
60	0.000047 ^{a2}	0.000133 ^{a3}
90	0.000001 ^{a1}	0.000127 ^{a3}
120	0.000001 ^{a1}	0.000100 ^{a2a3}
150	0.000001 ^{a1}	0.000023 ^{a1}
Média	0.0000473	0.0000867
CV (%)	25.03	39.87

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. CV= coeficiente de variação.

Nos primeiros dias de produção, ficou evidente que a o tratamento sem batata doce, teve um pico de produção, porém, aproximadamente, aos setenta dias de operação apresentou queda de produção, mantendo-se estável até o final do experimento, esse comportamento é esperado em biodigestores modelo batelada.

O tratamento que recebeu batata doce apresentou os maiores resultados com uma média de 0,0000867 m³ de biogás, embora a batata doce tenha atuado como importante inóculo favorecendo a produção de biogás. Fato que pode ser explicado de acordo com o relato de Pedrosa (2012), onde fala que a raiz da batata-doce possui alto teor de carboidratos solúveis, amido e açúcares. O que dentro do meio anaeróbia, torna-se mais fermentado.

A medida que se aumentou os dias de produção, o tratamento com batata doce, apresentou declínio a partir do cento e trinta dias, uma vez que nesse período provavelmente a concentração de matéria orgânica digerível já tenha decaído e, conseqüentemente, houve uma menor atuação de bactérias.

De acordo com os dados ANDRADE et al. (2016), trabalhando com digestores semi-contínuos, alimentados com dejetos de suínos resíduos de manipueira, obtiveram melhores rendimentos de produção de biogás. O trabalho de PANICHNUMSIN et al. (2010), avaliando a co-digestão de dejetos de suínos e polpa de mandioca, também obtiveram aumento na produção de biogás quando adicionado a polpa ao dejetos de suínos. Dados desses autores, que trabalharam com raízes de valor energético, corroboram com os resultados encontrados nesse trabalho, uma vez que o tratamento com substrato adicionado com batata doce apresentou melhor produção de biogás ao longo dos dias, até um período conveniente de fermentação.

4.2 Distribuição volumétrica de biogás

As produções volumétricas semanais de biogás de ambos os tratamentos estão representadas na Figura 8, logo abaixo.

A curva para a produção total de biogás em função do tempo do experimento mostra que, provavelmente, a quantidade de energia disponibilizada pelos substratos não pode ser totalmente aproveitada nos cento e cinquenta dias de experimento.

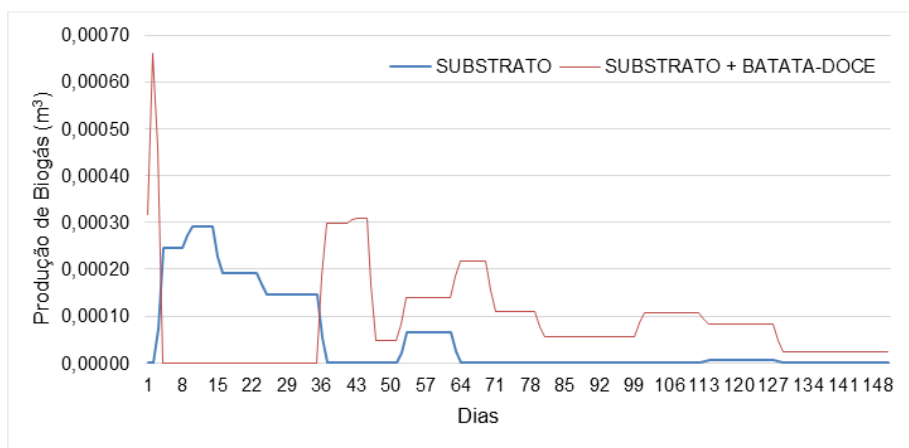


Figura 8 – Distribuição da produção de biogás em biodigestores abastecidos com e sem batata doce.

A figura 8 compara as produções de biogás dos tratamentos substrato (água + dejetos) com substrato+ batata doce, e mostra que o tratamento que recebeu batata doce apresentou as melhores produções, onde já no início do experimento apresentou um pico de produção e logo, um decréscimo, e acredita-se que esse comportamento é devido a constituição energética da batata doce. O tratamento só com substrato, começou o pico de produção por volta do oitavo dia, e manteve-se até aproximadamente os quarenta dias. De contrapartida o tratamento com batata doce começou um potencial de produção aproximadamente aos quarenta dias, mantendo-se em produção até aproximadamente os cento e quarenta dias, indicando a eficiência do uso da batata doce para antecipar e manter um processo de produção durante o período experimental. Em ambos os tratamentos pode-se observar produção, porém a produtividade foi muito superior no tratamento em que recebeu a batata doce.

As produções totais volumétricas de biogás de ambos os tratamentos foram 0,00743 m³ e 0,01382 m³ para o tratamentos com substrato e substrato acrescido de batata doce, respectivamente.

O resultado das análises de minerais feito do material após a desmontagem dos biodigestores batelada, sendo que este material foi seco em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 65 graus e após a secagem foi levado para determinação laboratorial (Tabela 7).

Tabela 7 – Teor mineral do resíduo após biodigestão.

Tratamento	MO	CO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Umidade	C/N
------------	----	----	---	-------------------------------	------------------	----	----	---	---------	-----

	%									
Substrato	58,2	33,8	2,6	3,9	10	5,1	1,1	1,2	4,2	12,8
Substrato + Batata doce	63,9	37	2,5	4,2	7,6	4,8	1	1,1	4,4	14,7

5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, W. R. et al. Biogas production from ruminant and monogastric animal manure codigested with manipueira. *Archivos de Zootecnia*, v. 65, n. 251, 2016.
- APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23st ed. Washington: American Water Works Association, 2017.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. Métodos de análise química de plantas (Boletim Técnico, 78). Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48p.
- CARMONA, P. A.; PEIXOTO, J. R.; AMARO, G. B.; MENDONÇA, M. A. Genetic divergence of sweet potato accessions based on morpho-agronomic descriptors of the roots. *Horticultura Brasileira*, v. 33, n. 2, p. 241-250, 2015.
- CASTRO, C.; CARPINTERO, Ó.; FRECHOSO, F.; MEDIAVILLA, M.; DE MIGUEL, L. J. A top-down approach to assess physical and ecological limits of biofuels. *Energy*, v. 64, p. 506-512, 2014.
- CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.
- CIBIOGÁS. Panorama do Biogás no Brasil 2022. CIBiogás (Brasil) Relatório Técnico. nº 001/2023 – Foz do Iguaçu, CIBiogás, 2023. 31p. il
- DAMACENO, F. M.; CHIARELOTTO, M.; RESTREPO, J. C. P. S.; BULIGON, E. L., DE MENDONÇA COSTA, L. A.; DE LUCAS JUNIOR, J.; DE MENDONÇA COSTA, M. S. S. Anaerobic co-digestion of sludge cake from poultry slaughtering wastewater treatment and sweet potato: Energy and nutrient recovery. *Renewable energy*, v. 133, p. 489-499, 2019.
- DOORENBOS, J.; KASSAM A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306 p.
- DE BAERE, L. Dry anaerobic digestion of energy crops. In 11th IWA World Congress on Anaerobic Digestion proceedings. Brisbane, Australia, 2007.
- 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, p. 22-28, 2005.

FREITAS, F. F.; DE SOUZA, S. S.; FERREIRA, L. R. A.; OTTO, R. B.; ALESSIO, F. J.; DE SOUZA, S. N. M.; ANDO JUNIOR, O. H. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 101, p. 146-157, 2019. IAC – Instituto Agrônomo Campinas, São Paulo. Boletim 200. Instruções Agrícolas para as principais culturas econômicas. 7 ed. 2014. 452p. LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, London, v. 603, p. 591–592, 1983.

MATA-ALVAREZ, J. MACE, S e LABRES, P. Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource technology*, 74, (1). pp 3-16 2014.

MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; SILVA, J. B.C. A cultura da batata-doce. Brasília: EMBRAPA, 1995. 94p.

MONTORO, S. B.; SANTOS, D. F.L.; LUCAS JUNIOR, J. Análise econômica de investimentos que visam à produção de biogás e biofertilizante por meio de biodigestão anaeróbia na bovinocultura de corte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 32., 2012, Bento Gonçalves. Anais... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2012.

MOTSA, N. M.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as a drought tolerant and food security crop. *South African Journal of Science*, v. 111, n. 11-12, p. 1-8, 2016.

OKUDOH, V.; TROIS, C.; WORKNEH, T.; SCHMIDT, S. The potential of cassava biomass and applicable technologies for sustainable biogas production in South Africa: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 39, p. 1035-1052, 2014.

PANICHNUMSIN, P. et al. Production of methane by co-digestion of cassava pulp with various concentrations of pig manure. *Biomass and Bioenergy*, v. 34, n. 8, p. 1117-1124, ago. 2010.

PEDROSA, C. E. Silagens de ramas e raízes de batata-doce. 2012, p.54. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2012.

SANTOS, A. C. V. Biofertilizantes líquidos: o defensivo agrícola da natureza. 2 ed., Revista Niterói: EMATER – RIO, 162p. Agropecuária Fluminense, v.8. 1992.

SANTOS, T. M. B Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em

galpões de frangos de corte. 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SANTI, Lorenzo. Influência da adição de enzimas e microrganismos sobre a digestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W. Cultura da batata-doce. Brasília: EMBRAPA, 2008.

SILVEIRA, M. A. Batata-doce: Uma nova alternativa para a produção de etanol. Brasília: IEL, 2008, p. 109-122.

SCHMITZ, G. J. H.; DE MAGALHÃES ANDRADE, J.; VALLE, T. L.; LABATE, C. A.; DO NASCIMENTO, J. R. O. Comparative proteome analysis of the tuberous roots of six cassava (*Manihot esculenta*) varieties reveals proteins related to phenotypic traits. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 64, n. 16, p. 3293-3301, 2016.

SHEETS, J. P.; YANG, L.; GE, X.; WANG, Z.; LI, Y. Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. *Waste Management*, v. 44, p. 94-115, 2015.

STATHERS, T.; LOW, J.; MWANGA, R.; CAREY, T.; DAVID, S.; GIBSON, R.; NAMANDA, S.; MCEWAN, M.; BECHOFF, A.; MALINGA, J.; BENJAMIN, M.; KATCHER, H.; BLAKENSHIP, J.; ANDRADE, M.; AGILI, S.; NJOKU, J.; SINDI, K.; MULONGO, G.; TUMWEGAMIRE, S.; ABIDIN, E.; MBABU, A. Tudo o Que Sempre Quis Saber Sobre a Batata-doce: Manual de capacitação CdF - Alcançando Agentes de Mudança. Centro Internacional da Batata, Nairobi, Quênia. 7 vols, 2013. 436 p.

VEIGA, J. P. S.; VALLE, T. L.; FELTRAN, J. C.; BIZZO, W. A. Characterization and productivity of cassava waste and its use as an energy source. *Renewable energy*, v. 93, p. 691-699, 2016.

YANG, L.; XU, F.; GE, X.; LI, Y. Challenges and strategies for solid-state anaerobic digestion of lignocellulosic biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 44, p. 824-834, 2015.

ZHANG, T.; YANG, Y.; LIU, L.; HAN, Y.; REN, G.; YANG, G. Improved biogas production from chicken manure anaerobic digestion using cereal residues as cosubstrates. *Energy & Fuels*, v. 28, n. 4, p. 2490-2495, 2014.