GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA BIOMASSA DO MALTE DA FABRICAÇÃO DE CERVEJAS ARTESANAIS

Érika Carvalho[1], Nayara Milena Silva[1], Rodney Formaggini[1], Raquel Gomes de Oliveira[2]

[1] *Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco/MG, Brasil (erikacarvalho23@gmail.com)*
[2] *Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei/MG, Brasil*

Resumo: A digestão anaeróbia ou biodigestão de materiais orgânicos é um processo em que a matéria orgânica complexa é degradada a compostos mais simples na ausência de oxigênio, sendo uma maneira eficiente de tratar quantidades consideráveis de resíduos. O gás proveniente desse processo é chamado de biogás, sendo constituído principalmente por metano (CH_4). O objetivo deste estudo foi analisar parâmetros que influenciam a produção de CH_4 a partir da biomassa do resíduo de malte, a fim de analisar a viabilidade de sua aplicação em alternativas sustentáveis. Para o desenvolvimento do estudo utilizou-se o esterco bovino obtido de ruminantes da zona rural como inóculo e principal fonte de arqueas produtoras de metano, esta fonte de esterco foi priorizada por não ser utilizado antibiótico na ração destes animais. Foram analisados dois parâmetros no experimento sendo a concentração de malte e inóculo. A variação nas proporções dos parâmetros foi obtida por análise estatística sendo realizado um planejamento fatorial, logo, o modelo estatístico gerou proporções para análise de onze experimentos. O sistema desenvolvido para cada experimento consistiu de um biodigestor, um recipiente preenchido por NaOH 0,1M e uma proveta de coleta. Ao final do experimento, observou-se que os biodigestores que obtiveram maior eficiência na produção de biogás foram aqueles que continham a maior concentração de inóculo, isto é, esterco bovino. Dessa forma, a geração de biogás proveniente da matéria orgânica residual de um processo industrial é uma alternativa sustentável para a reutilização do bagaço de malte para obtenção de um gás de alto valor agregado.

Palavras-chave: biogás, biodigestão anaeróbia; gás metano; fermentação.

INTRODUÇÃO

Um dos desafios atuais da humanidade é conciliar a proteção do meio ambiente com a produção industrial, principalmente em relação ao lançamento de resíduos sem tratamento prévio. Atualmente, resíduos cervejeiros necessitam de um pré-tratamento e destinação correta, dado que são resíduos ricos em compostos orgânicos e com alto valor nutricional (KUBASKI e ITO, 2017).

A produção de cerveja no Brasil alcançou em 2010 a marca recorde de 12,6 bilhões de litros, um crescimento de 18% em relação a 2009, mais do que o dobro do PIB. Com esse resultado, o Brasil se tornou o terceiro maior mercado de cerveja do mundo, atrás apenas da China, com uma produção na faixa de 40 bilhões de litros, e Estados Unidos, com 35 bilhões de litros. O acelerado crescimento na produção de cerveja resulta anualmente em toneladas de rejeitos. Para cada 100 litros de cerveja produzida, são gerados de 14-20 Kg de resíduos de malte. De modo que estudar soluções que ajudem a reduzir os impactos negativos causados pelo homem torna-se um fator importante nos dias de hoje (RIBEIRO, 2005).

Uma das alternativas para o uso de resíduos orgânicos é a aplicação como substrato em projetos de biodigestores para a formação de biogás. Esse gás combustível tem origem no processo de biodegradação anaeróbia da matéria orgânica, isto é, na decomposição de componentes mais complexos para menos complexos, como o metano (CH_4), na ausência de oxigênio.

O metano é um gás causador do efeito estufa, pois absorve parte da radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre. Ao considerar as fontes de emissões antropogênicas, como a indústria petrolífera, mineração de carvão, resíduos de animais e a degradação anaeróbia de resíduos, as atividades humanas são responsáveis por dois terços das emissões de metano na atmosfera (GTZ, 2000).

O tratamento biológico dos resíduos sólidos e líquidos emprega a tecnologia de degradação anaeróbia gerando biogás. A produção de biogás oferece um caminho atraente como forma de utilizar diferentes fontes de biomassa para satisfazer as

necessidades energéticas atuais. De fato, o bom funcionamento dos sistemas de produção de biogás pode proporcionar vários benefícios aos usuários e à comunidade, resultando na proteção dos recursos naturais (SANTOSH et al., 2004). Ao contrário de outras formas de energia renovável, o biogás não apresenta qualquer limitação geográfica, e a tecnologia necessária para a produção de energia é simples e de fácil operação (TALEGHANI KIA, 2005). Logo, a fermentação da matéria orgânica presente no descarte do malte pode gerar biogás. Dessa maneira, a execução de estudos com planejamento experimental permite uma melhor compreensão do problema, assim, possibilitando a utilização de ferramentas estatísticas para aperfeiçoá-lo.

Resíduos da cerveja

A cerveja é o produto obtido pela fermentação alcoólica do mosto de malte de cevada em água potável por ação da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, com adição de lúpulo ou seu extrato, podendo parte do malte ser substituído por cereais maltados ou não, ou por carboidratos de origem vegetal (MAPA, 1994). A celulose presente no processo não possui aplicação na produção da bebida, tornando um resíduo descartado no processo de fabricação da cerveja. O bagaço de malte é o resíduo resultante do processo inicial da fabricação de cervejas no qual provém do processo de obtenção do mosto, isto é, pela fervura do malte moído e dos adjuntos, que após a filtração, resulta num resíduo que é atualmente destinado para ração animal (AQUARONE, 2001). Constituído basicamente pelas cascas da cevada malteada, o bagaço de malte é o principal subproduto da indústria cervejeira e se encontra disponível abundantemente o ano todo e a um baixo custo (MUSSATTO et al., 2006).

Produto da digestão anaeróbia (Biogás)

Define-se o biogás, como uma mistura gasosa formada principalmente por metano e gás carbônico e quanto maior a formação de metano, mais energia por unidade de massa o biogás contém (ZACHOW, 2000). A digestão anaeróbia de compostos orgânicos complexos é normalmente considerada um processo de dois estágios. No primeiro estágio, um grupo de bactérias facultativas e anaeróbias, denominadas formadoras de ácidos ou fermentativas, converte os compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteína e lipídios em materiais orgânicos mais simples, principalmente ácidos voláteis. No segundo estágio ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, como o metano e o gás carbônico (RAPOSO et al., 2012).

Os microrganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três importantes grupos de bactérias, com comportamentos fisiológicos distintos. O grupo das bactérias fermentativas ou acidogênicas é formado por bactérias que hidrolisam os polímeros em monômeros e estes em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos como glicose. As bactérias acetogênicas, grupo formado por bactérias produtoras de hidrogênio, convertem os produtos gerados pelo primeiro grupo (aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos e álcoois) em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. E as arqueias metanogênicas têm como os produtos finais do segundo grupo, substratos essenciais para o terceiro grupo, que por sua vez constitui dois diferentes grupos de arqueias metanogênicas. Esse grupo usa o acetato, transformando-o em metano e dióxido de carbono, enquanto o outro produz metano, através da redução de dióxido de carbono (LEHNINGER, 2000).

Os ácidos graxos voláteis são formados, como produtos intermediários, durante a degradação de carboidratos, proteínas e lipídeos. Os componentes mais importantes resultantes da decomposição bioquímica da matéria orgânica são os ácidos voláteis de cadeia curta, como o fórmico, acético, propiônico, butírico e, em menor quantidade, o valérico e o isovalérico. Esses ácidos representam compostos intermediários, a partir dos quais a maior parte do metano é produzida, através da conversão feita pelas bactérias metanogênicas (GOULATE, 2011).

Quando uma população de arqueas metanogênicas se encontra presente em quantidade suficiente, e as condições ambientais no interior do sistema de tratamento são favoráveis, estas utilizam os ácidos intermediários tão rapidamente quanto estes são formados. Como resultado, os ácidos não se acumulam além da capacidade neutralizadora da alcalinidade naturalmente presente no meio, o pH permanece numa faixa favorável às arqueias metanogênicas e o sistema anaeróbio é considerado em equilíbrio (GOULATE, 2011).

Devido à presença do metano, o biogás é um gás combustível, sendo que o seu poder calorífico inferior (P.C.I) é cerca de 5.500 Kcal/m^3, quando a proporção de metano é 60% (CASSINI, 2003). A composição do biogás, composto por vários gases, varia dependendo das condições iniciais.

Estrume bovino utilizado como inóculo

A relação Resíduo/Inóculo (R/I) é um importante parâmetro a ser adotado na partida de reatores anaeróbios, bem como na avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos sólidos. A complexidade da interação alimento e microrganismo, ou R/I, aumenta com a elevação do teor de sólidos do resíduo a ser digerido uma vez que pode ocorrer a acumulação de ácidos graxos voláteis no sistema, particularmente naqueles de batelada de uma só fase (NEVES, 2008).

A digestão anaeróbia requer a presença de diversos microrganismos necessários à degradação de

determinado substrato. O ideal seria a utilização de um inóculo oriundo de um sistema similar ao que se pretende inocular. No entanto, muitas vezes se torna difícil a disponibilidade deste tipo de inóculo e necessita-se de testes com novos inóculos que se adaptem melhor ao substrato que se deseja digerir (AMARAL, 2008).

A quantidade de inóculo utilizado interfere na velocidade de geração de gás. Quanto maior a quantidade de inóculo, mais rápida será a conversão do substrato e menores serão os efeitos inibitórios do substrato na produção de metano. A utilização de estrume como inóculo possuem bons resultados, pois apresentam características (quantidade de microrganismos, pH e umidade) complementares às dos resíduos. O rúmen bovino também se apresenta como um bom inóculo, devido à presença de microrganismos essenciais à degradação anaeróbia (GRIFFIN, 1998).

Além da presença de microrganismos anaeróbios, os dejetos bovinos são compostos orgânicos com macro e micronutrientes, alto teor energético, ricos em materiais lignocelulósicos, carboidratos simples e proteínas, e proporcionam umidade e abrigo a vários microrganismos. O dejeto bovino pode ser utilizado como inóculo secundário para promover um balanço suficiente de microrganismos celulolíticos que são capazes de acelerar o processo natural de decomposição da matéria orgânica, neste caso de interesse o resíduo de malte (GRIFFIN, 1998; BARROS, 2009; COATS, 2011).

A concentração de sólidos inoculada nos reatores anaeróbios é um importante parâmetro nos processos de digestão. Se a concentração for muito baixa, o metabolismo dos microrganismos será reduzido e consequentemente haverá menor produção de biogás, e se for muito elevada, poderá ocorrer sobrecarga orgânica e consequente azedamento do reator devido ao acúmulo de ácidos (RAPOSO, 2012). Com a sobrecarga de microrganismos, ocorre uma variação do pH que torna o meio mais ácido, o que inibe a atividade de arqueias metanogênicas. No entanto, ao mesmo tempo há um favorecimento da atividade de bactérias acidogênicas, responsáveis pelo processo de azedamento do reator (Els et al., 2007). Algumas pesquisas na área apontam para o tratamento do malte a partir do esterco bovino, utilizando concentração de 26 a 30% de resíduos totais, mantidos na temperatura de 25 a 35ºC, com tempo de detenção de 110 a 240 dias. Nestas condições a eficiência encontrada foi mensurada em termos de sólidos voláteis totais em 45 a 86% (BARCELOS, 2009).

Planejamento Experimental

É possível extrair do sistema em estudo o máximo de informação útil, utilizando princípios estatísticos. O planejamento experimental auxilia os pesquisadores com um número mínimo de experimentos. Para isso existem várias técnicas disponíveis aos cientistas e engenheiros para melhorar ou otimizar sistemas, processos e produtos. Essas técnicas são ferramentas poderosas, com as quais vários objetivos específicos podem ser alcançados (BOX, 1978).

O software STATISTICA 10 é um programa integrado de gestão de análises estatísticas e bases de dados amplamente utilizados no planejamento experimental. Possui um amplo conjunto de opções de processos de análise, do básico ao avançado para as mais diversas áreas ao trabalhar com variáveis categorizadas, qualitativas e quantitativas, assim, permitindo a formação de grupos que serão analisados. Logo, o programa possibilita o uso de uma técnica mais apropriada para resumir as informações, adaptando qualquer categoria de variável ao caso estudado (OGLIARI; PACHECO, 2011).

Para executar um planejamento fatorial precisamos em primeiro lugar especificar os níveis em que cada fator será estudado, isto é, os valores dos fatores (ou as versões, nos casos qualitativos) que serão empregados nos experimentos. Cada um desses experimentos, em que o sistema é submetido a um conjunto de níveis definido, é um ensaio experimental. Em geral, se houver n1 níveis do fator 1, n2 do fator 2, ..., e nk do fator k, o planejamento será um fatorial n1 x n2 x ... x nk. Isto não significa obrigatoriamente que serão realizados apenas n1 x n2 x ... x nk experimentos. Este é o número mínimo, para se ter um planejamento fatorial completo. O experimentador pode querer repetir ensaios, para ter uma estimativa do erro experimental, e nesse caso o número de experimentos será maior (DEMING, 1981). Este modelo de produção adotado, é importante para identificar variáveis que potencializam a produção de biogás em menor tempo, pois, assim, é possível implantar sistemas mais eficientes e ágeis para a digestão desses resíduos, o que contribuiria para a diminuição da contaminação do solo pela dispersão de resíduos ainda não tratados.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no laboratório de Microbiologia e Enzimologia do *Campus* Alto Paraopeba da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ). Para obter o inóculo (dejeto bovino), realizou-se uma pesquisa de campo no lago Soledade em Ouro Branco, Minas Gerais, onde foi coletado o inoculante. Já o malte residual utilizado como substrato foi fornecido pela cervejaria Montagna, situada no *Campus* Alto Paraopeba da UFSJ.

Para a montagem de cada biodigestor utilizou-se béqueres de 500 mL; usados como recipientes de pesagem; espátula para coleta e transferência do inóculo e do substrato ao béquer; balança analítica para a pesagem de inóculo e substrato; garrafas PET de 2L, contendo solução de NaOH usadas como gasômetros; Kitassatos 500 mL como biodigestores; provetas para a coleta de NaOH e aferição do volume

liberado pelo gasômetro (garrafa PET), mangueiras de silicone para a conexão dos biodigestores com os gasômetros e estes com as provetas; água destilada para limpeza da vidraria. Usou-se dejeto bovino como inóculo para obter a microbiota responsável pelo processo de bioconversão. O malte foi utilizado como fonte de matéria orgânica e carbono para avaliar o seu potencial na produção de biogás, A solução de NaOH 0,1M foi usada para ser remanejada para as provetas de 100 mL, através da saída lateral do gasômetro (PETS), após ser usada para reagir com o gás carbônico e gás sulfídrico, possibilitando a quantificação do metano produzido, Manteve-se todo aparato experimental dentro de estufa B.O.D com temperatura constante durante todo o experimento .

Para a preparação de cada amostra, pesou-se, em uma balança analítica, o substrato (malte residual) e o inóculo (dejeto bovino) em um béquer com o auxílio de uma espátula. As quantidades pesadas para cada biodigestor foram transferidas para os kitassatos para a montagem do sistema. As quantidades de substrato e inóculo para cada biodigestor estão descritas conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Quantidades de substrato e inóculo para cada biodigestor.

Biodigestores	Inóculo (g)	Resíduo (g)
1	10,00000	15,00000
2	10,00000	30,00000
3	20,00000	15,00000
4	20,00000	30,00000
5	8,00000	0,00000*
6	22,00000	0,00000*
7	0,00000*	12,00000
8	0,00000*	33,00000
9 C)	15,00000	22,50000
10(C)	15,00000	22,50000
11 (C)	15,00000	22,50000

*A massa pesada nos pontos axiais dos biodigestores 5 e 6 para o valor de ponto central é igual a zero. Nos biodigestores 7 e 8 a massa pesada nos pontos axiais para o valor central é igual a zero.

Na Tabela 1, para testar o efeito da biodigestão no malte foram controladas as quantidades de inóculo dispostas para cada biodigestor, sendo o resíduo a variável dependente de interesse no experimento. Para montagem dos biodigestores, utilizou-se um kitassato de 500 mL, de forma que seu bocal fosse vedado com rolha, e conectou-se a saída lateral com uma mangueira de silicone, conforme Figura 1.



Figura 1 - Biodigestores vedados e conectados na lateral.

Com os biodigestores vedados, conectou-se a outra extremidade da mangueira de silicone ao bocal da garrafa PET e realizou-se a vedação para ter a função de gasômetro, assim foi determinada a quantidade de gás produzido. A garrafa PET vedada adaptada também foi conectada à proveta de 100 mL pela lateral com mangueira de silicone. A montagem do sistema para cada um dos 11 biodigestores está apresentada conforme Figura 2.



Figura 2 - Biodigestores, gasômetros e provetas montados para o experimento.

Os biodigestores foram mantidos em uma estufa de incubação DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), para manter a temperatura a 28 °C. Para a elaboração do experimento, seguiu-se a variação prevista no planejamento fatorial gerado pelo *software* Statistica 10, mostrado pela Tabela 2, para os 11 experimentos realizados.

Tabela 2 - Valores máximos e mínimos e pontos axiais.

	-α	**-1**	**0**	**+1**	**+α**
Estrume	8	10	15	20	22
Resíduo	12	15	22,5	30	33

Desta forma, em cada biodigestor montado havia uma concentração diferente de inóculo (dejeto bovino), de resíduo (malte) e água com o propósito de avaliar os parâmetros para a produção de biogás. Logo, inseriu-se todo aparato experimental na estufa BOD e as provetas acima do nível do gasômetro a fim de impedir o efeito sifão. Coletou-se o volume da solução de NaOH das provetas diariamente durante 15 dias consecutivos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao finalizar todos estabelecimentos e fatores para análise de resíduo (Malte) e estrume (Inóculo), empregando o *software* STATISTICA 10, chegou-se nos seguintes resultados após 15 dias consecutivos de coletas do biogás produzido. A Tabela 3 mostra as massas utilizadas e o volume de metano produzido.

Tabela 3 - Códigos obtidos do planejamento fatorial e resultados da produção de metano.

Biodigestores	Inóculo (g)	Resíduo (g)	Metano (mL)
1	10,00000	15,00000	122,00
2	10,00000	30,00000	50,00
3	20,00000	15,00000	51,00
4	20,00000	30,00000	27,00
5	8,00000	0,00000*	0,00
6	22,00000	0,00000*	133,00
7	0,00000*	12,00000	15,00
8	0,00000*	33,00000	169,00
9 C)	15,00000	22,50000	8,00
10(C)	15,00000	22,50000	9,00
11 (C)	15,00000	22,50000	1,00

*A massa pesada nos pontos axiais dos biodigestores 5 e 6 para o valor de ponto central é igual a zero. Nos biodigestores 7 e 8 a massa pesada nos pontos axiais para o valor central é igual a zero.

Pela Tabela 3, observa-se que os biodigestores que mais produziram metano foram o biodigestor 8 contendo somente o resíduo de malte gerando um volume de 169 mL, o biodigestor 6 contendo somente o inóculo convertendo 133 mL, já o biodigestor 1, com volumes proporcionais de inóculo e resíduo converteu 122 mL em metano.
Com os resultados obtidos, foi possível traçar as curvas de níveis para o biogás produzido conforme Figura 3.

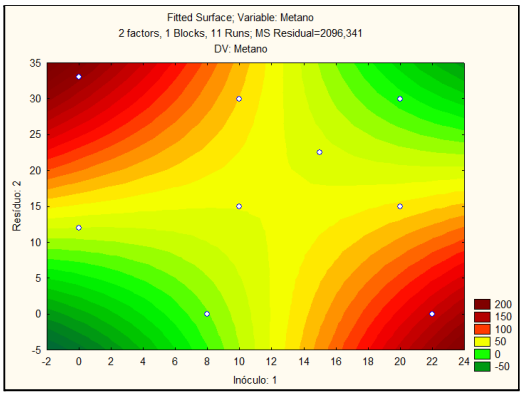


Figura 3 – Representação gráfica das curvas de níveis para os fatores da biomassa em relação ao volume de biogás produzido.

Na Figura 3, apresentam-se as curvas de nível correspondentes à superfície de resposta gerada pelo modelo linear, onde é possível observar o efeito provocado na resposta pelas duas variáveis avaliadas. Verifica-se que, com o aumento da concentração de resíduo e o aumento do inóculo, o volume de biogás produzido encontra-se num nível máximo na região delimitada pelo fator concentração final do resíduo e final do inóculo. Variando de 25 a 35 $g.L^{-1}$, para o resíduo, e 18 a 24 $g.L^{-1}$ para o inóculo. Pela superfície de contato em vermelho do gráfico foi verificado maior volume do biogás produzido nos biodigestores acima de 150 mL contendo somente o inóculo ou resíduo, em contrapartida podemos identificar menor produção do biogás na área verde da superfície, já nas áreas amarelas obteve-se valores abaixo de 50 mL do volume do biogás. É possível observar que a geração de biogás a partir de resíduo de malte, utilizando o esterco como inóculo, não teve influência significativa no modelo linear visto que os maiores resultados de produção ocorreram nas maiores concentrações de inóculo e malte residual individualmente. Portanto, pode-se aumentar as concentrações do substrato e do inóculo para obter maior produção de biogás. O ajuste de um modelo linear com interações a este planejamento resulta na equação abaixo.

$$Z = -44{,}048163892894 + 5{,}87372853029922X + 0{,}099016682822434X^2 + 6{,}0954180407076Y + 0{,}0058225354937788Y^2 - 0{,}51089212902946XY + 0$$

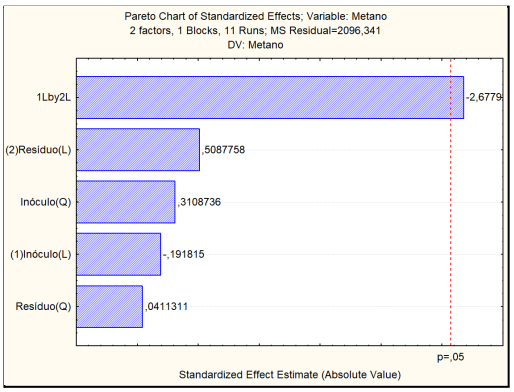


Figura 4 - Diagrama de Pareto para análise da resposta volume de biogás em relação aos fatores estrume e resíduo.

Ao analisar a Figura 4, percebe-se que para a produção do biogás, os fatores estrume e resíduo foram significantes dentro do limite de confiança com $p < 0,05$. Ainda é possível inferir a influência negativa do fator resíduo para a resposta em análise. Essa influência confirma a justificativa de que o inóculo também se comportou como substrato e isso também é percebido pelo valor positivo em seu valor nesse diagrama. Na Tabela 4 são apresentados os resultados estatísticos da ANOVA.

Tabela 4 - ANOVA – Análises estatísticas para o planejamento experimental de 2 dois fatores (inóculo e resíduo) e triplicata no ponto central.

ANOVA. Var. Metano. R-sqr=71064. 2 factors, 1 Blocks, 11 Runs. MS Residual=2096,341 DV. Metano

Fator	SS	df	MS	F	p
(1) Inóculo (Q)	1011,32	1	1011,32	0,482423	0,518272
Inóculo (L)	202,6	1	202,6	0,096642	0,768439
(2)Resíduo(L)	542,64	1	542,64	0,258853	0,632558
Resíduo (Q)	3,55	1	3,55	0,001692	0,968783
1L by 2L	15033,42	1	15033,42	7,171266	0,043929
Erro	10481,71	5	2096,34		
Total SS	36223,64	10			

Pela Tabela 4, observa-se que pela métrica do valor de F, onde a soma quadrática dos erros é maior em relação aos outros valores obtidos, o que indica que o modelo não foi ideal. Também é possível observar que o valor da distribuição de Fisher (distribuição F) calculado para os resíduos, que foi de $F_{calc} = 6,42$, comparado ao valor da distribuição F tabelado que é de $F_{tab(5;5;0,05)} = 5,05$.

CONCLUSÃO

Com base nas análises dos gráficos e dos dados fornecidos pelo software STATISTICA, verificou-se que as duas variáveis observadas, tanto a massa de inóculo quanto a massa de resíduo de malte, têm influência positiva sobre a produção de metano. O gráfico de Pareto também mostra que a interação entre as duas variáveis foi o valor de maior significância. Dessa forma, a geração de biogás proveniente da matéria orgânica residual de um processo industrial é uma alternativa sustentável para a reutilização do bagaço de malte para obtenção de um gás de alto valor agregado.

REFERÊNCIAS

AMARAL, M. C. S.; FERREIRA, C. F. A.; LANGE, L. C.; AQUINO, S. F. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários**. Engenharia sanitária e Ambiental, v. 13, n. 1, p. 38-45, 2008. ISSN 14134152.

BARCELOS, B. R. **Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos.** 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.

BARROS, R. M.; FILHO, G. L. T.; NASCIMENTO, Y. D. S.; GUSHIKEN, E.; CALHEIROS, H. C.; SILVA, F. G. B.; JÚNIOR, A. S. **Estudo da produção de biogás da digestão anaeróbia de esterco bovino em um biodigestor**. Revista Brasileira de Energia, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.95-116, 2009. Semestral.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S., **Statístics for Experiments**, J. Wiley & Sons, 1978.
CASSINI, SÉRVIO TÚLIO. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.

COATS, E. R.; GREGG, M.; CRAWFORD, R. L**. Effect of organic loading and retention time on dairy manure fermentation**. Bioresource Technology, v. 102, n. 3, p. 2572-2577, 2011. ISSN 0960-8524

DEMING, S. N. **Experimental designs: response surface in chemometrics, mathematics and statistics in chemistry**. Kowalski, B. R. (ed.) Dordrecht; Reidel, 1981.

ELS E. R., KEET K. **Comparison of accelerated anaerobic granulation obtained with a bench-scale rotating bioreactor vs. stationary container for three different substrates.** 2007. In Water SA, 33, 735-40

GRIFFIN, M. E.; MCMAHON, K. D.; MACKIE, R I.; RASKIN, L**. Methanogenic population dynamics during start-up of anaerobic digesters treating municipal solid waste and biosolids**. Biotechnology and bioengineering, v. 57, n. 3, p. 342, 1998. ISSN 0006-3592.

KUBASKI, Luana Aparecida; ITO, Paula Bauto. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável a partir de resíduos da indústria de batata e cerveja.** 2017. 44p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios de Bioquímica**. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 2000. 839 p.

MAPA, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Regulamenta a lei n° 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6871.htm>. Acesso em 20 de junho de 2021.

NEVES, L; GONÇALO, E.; OLIVEIRA, R.; ALVES, M. M. **Influence of composition on the biomethanation potential of restaurant waste at mesophilic temperatures**. Waste Management, v. 28, n. 6, p. 965–972, 2008.

RAPOSO, F.; DE LA RUBIA, M. A.; FERNÁNDEZ-CEGRÍ, V.; BORJA, R. **Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 1, p. 861-877, 2012. ISSN 13640321.

ZACHOW, C. R. **Fontes Alternativas de Energia - Biogás**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul: Panambi, 2000.