

DIMENSIONAMENTO DE REATOR UASB VISANDO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE SUINOCULTURA

João Pedro Queiroga Maluf¹
Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho²
Gustavo Fonseca de Almeida³

Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de Resíduos (sólidos e líquidos)

Resumo

A suinocultura é uma atividade agroindustrial amplamente conhecida pelo seu alto potencial de gerar impacto ambiental. Os dejetos suínos, compostos por fezes, urina, restos de ração e água, quando não tratados corretamente contribuem significativamente com a geração de impactos negativos para água, solo e ar, devido às altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes que este resíduo possui. Uma alternativa promissora para a mitigação destes impactos é o tratamento desses dejetos por meio da aplicação de biodigestores, como os do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) também conhecidos como Reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA). Esses sistemas se destacam por serem compactos e permitirem uma decomposição anaeróbia eficiente dos dejetos suínos, gerando biogás e biofertilizante. Assim, este trabalho se propôs a dimensionar um reator UASB para o tratamento do efluente gerado por uma empresa familiar que produz mini porcos para a experimentação médica-biológica denominado minipig, localizada em Campina do Monte Alegre, em São Paulo. Este trabalho foi motivado pelos resultados de uma pesquisa de Iniciação Científica que identificou o manejo dos dejetos na produção dos mini porcos como um dos principais contribuintes das emissões de gases de efeito estufa da atividade. Visto que o volume de dejetos é relativamente menor do que o de uma granja convencional de suínos, o modelo é adequado e poderá tratar os resíduos da produção reduzindo os impactos da atividade e preservando os recursos hídricos da região em que a empresa está localizada agregando um valor de dimensão ambiental para os produtos da empresa.

Palavras-chave: Sistema de tratamento; Suinocultura; Reator UASB; Dejetos de suínos.

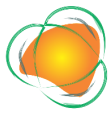
¹Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, joao.queiroga@estudante.ufscar.br

²Prof^a. Dr^a. Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino, jorge.pantoja@ufscar.br

³Prof^a. Dr^a. Universidade Federal de São Carlos – Campus Lagoa do Sino, gufoal@ufscar.br

Realização





INTRODUÇÃO

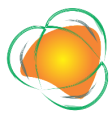
A suinocultura é uma atividade agropecuária de extrema importância em diversas regiões do mundo, garantindo a produção de uma das principais fontes de proteínas para o consumo humano. No entanto, segundo Cardoso, Oyamada e Silva (2015), esta atividade representa um alto risco para o meio ambiente devido ao seu grande potencial de geração de impactos ambientais, principalmente durante o manejo dos dejetos dos animais.

Segundo Barros et al. (2019), os dejetos da suinocultura são compostos principalmente por fezes, urina, restos de ração e água dos bebedouros e limpeza das baias, e quando são armazenados em lagoas ou tanques sem o devido tratamento podem liberar substâncias nocivas para o meio ambiente contaminando o solo, a água e o ar, causando ainda impactos negativos à saúde humana. Segundo Monteiro (2017), o material gerado nas granjas de produção de suínos é rico em nutrientes como fósforo, nitrogênio, cobre e zinco, que, quando não são manejados de forma correta, podem acarretar em diversos impactos negativos, ao se infiltrar no solo e atingir o lençol freático, contaminando fontes de água e ocasionando na eutrofização de corpos hídricos próximos, além da acidificação da água e do solo.

Outro problema abordado por McAuliffe et al. (2016) é a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa e mudanças climáticas, dentre os principais gases, destaca-se o metano, devido a decomposição anaeróbia dos dejetos nos tanques e lagoas de armazenamento. Segundo Costa e Soto (2018), não somente o metano é emitido durante o processo de armazenamento dos dejetos, outros gases compostos de amônia e sulfetos também são liberados, podendo causar desconforto às pessoas devido ao odor e comprometendo a qualidade do ar nas proximidades das granjas, além de serem prejudiciais à saúde humana e aos animais.

Com isso, justifica-se a importância de estudarmos e adotarmos práticas adequadas de manejo dos resíduos da suinocultura. Para Costa e Soto (2018), o tratamento desses dejetos por meio do uso de biodigestores tem se apresentado uma excelente oportunidade uma vez que é uma forma eficaz de mitigar os impactos gerados por meio da transformação dos dejetos em recursos importantes como o biogás e o biofertilizante.

Realização



Neste contexto, o objetivo do trabalho foi dimensionar um Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) para a Fazenda Tres Marias, localizada no município de Campina do Monte Alegre, SP, visando o tratamento dos dejetos dos mini porcos criados na propriedade.

METODOLOGIA

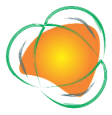
O estudo foi realizado para a Fazenda Três Marias, uma pequena unidade de produção agropecuária, localizada em Campina do Monte Alegre, interior do estado de São Paulo. Nesta unidade de produção, são realizadas diversas atividades agropecuárias, como a produção de milho, a criação de gado leiteiro e a criação de mini suínos, utilizados para pesquisas médicas-biológicas e se caracteriza como a principal fonte de renda da propriedade, e que serviram como base para o desenvolvimento deste trabalho. Vale ainda ressaltar que este trabalho foi motivado pelos resultados obtidos em um projeto de Iniciação Científica (IC) realizado pelo primeiro autor, que identificou o manejo dos dejetos da suinocultura, através da análise do ciclo de vida, como um dos principais causadores de impactos ambientais da produção de mini porcos.

Devido à natureza desses animais, que são utilizados para atividades de ensino e pesquisa médica-biológica, o tamanho do plantel pode variar ao longo dos meses, com um mínimo de 190 suínos (somando matrizes, cachaços e leitões) e um máximo próximo de 320 animais, sendo que são animais de pequeno porte. Com o objetivo de garantir a segurança a respeito do volume de resíduos gerados para dimensionamento adequado do sistema de tratamento, dados de emissão de dejetos foram coletados durante o período de um ano (Maio de 2021 a Abril de 2022) durante o projeto de IC. Pretende-se utilizar a maior vazão encontrada no período para dimensionar o reator, que é o objetivo deste trabalho.

A eficiência do reator foi estimada com base em equações específicas, que relacionam os parâmetros desejados e o tempo de detenção hidráulica dos resíduos. Essas equações foram obtidas a partir da compilação de dados da literatura disponíveis sobre a eficiência de reatores UASB utilizados na suinocultura. Os dados foram obtidos de artigos selecionados por meio do Google Scholar e organizados em gráficos de dispersão,

Realização





permitindo obter curvas de tendência e as equações correspondentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o dimensionamento do reator, os seguintes parâmetros foram considerados: a vazão do projeto (com base na vazão máxima obtida durante o período de coleta de dados) de 0,093 m³/h; a temperatura do afluente do reator entre 17 e 34°C, com base na amplitude térmica da região (segundo o site Weather Spark); o volume do reator (retangular de base 2,00m x 1,20m e altura de 0,85m).

A concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO) do afluente do reator considerada foi de 25,543 kgDQO/m³ (HIGARASHI; KUNZ; OLIVEIRA, 2007) e a concentração de sólidos solúveis (SS) considerada foi de 58,302 kgSS/m³ (SOUSA et.al, 2009).

Para determinar o tempo de detenção hidráulica do reator, utilizou-se a equação 1, considerando a vazão de projeto (Q), Volume do reator (V) e o tempo de detenção hidráulica(tdh):

$$tdh = V/Q \text{ (Eq.1)}$$

Para calcular a velocidade ascensional de fluxo (v), foram utilizados a altura do reator e o tempo de detenção hidráulica.

$$v = H/tdh \text{ (Eq.2)}$$

Com o valor do volume do reator e a concentração de DQO do afluente (S) foi possível determinar a Carga Hidráulica Volumétrica (CHV) e a Carga Orgânica Volumétrica (COV)pela utilização das Equações 4 e 5 respectivamente.

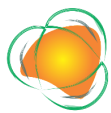
$$CHV = Q/V \text{ (Eq.3)}$$

$$COV = (Q * S)/V \text{ (Eq.4)}$$

Ainda, com os valores de vazão e concentração de DQO no afluente e considerando um valor para carga biológica (CB) adotado com base na literatura, calculou-se a massa de microrganismos necessária para a partida do reator utilizando a Equação 5.

$$M = (Q * S)/CB \text{ (Eq.5)}$$

Realização



Primeiramente determinou-se o volume do reator, de aproximadamente 2,04 m³. Utilizando a equação 1, para determinar o tempo de detenção hidráulica do reator, obteve-se um tdh de 21,93 h. Com o resultado da equação 2 obteve-se uma velocidade de fluxo ascensional de 0,039 m/h.

Para os parâmetros de CHV e COV, foram obtidos os seguintes resultados: CHV igual a 0,046 m³/m³.h e COV igual a 27,95 kgDQO/m³.h. Para o cálculo da massa de microrganismos necessária para a partida do reator, foi adotado o valor de carga biológica de 0,0042 kgDQO/kgSVT.h. Este valor foi adotado com base na literatura disponível por José Roberto Campos (1999) referente ao tratamento de esgoto sanitário. Obteve-se o resultado de aproximadamente 565,60 kg SVT.

Determinação da eficiência de remoção de DQO

Para a determinação da concentração da DQO no efluente do reator, inicialmente foi obtida a curva de eficiência teórica do reator. Para isso, foram compilados 26 resultados obtidos em diferentes estudos que analisaram a eficiência de remoção de DQO de reatores UASB utilizados para o tratamento do efluente da suinocultura. Após a compilação dos resultados obteve-se o seguinte gráfico.

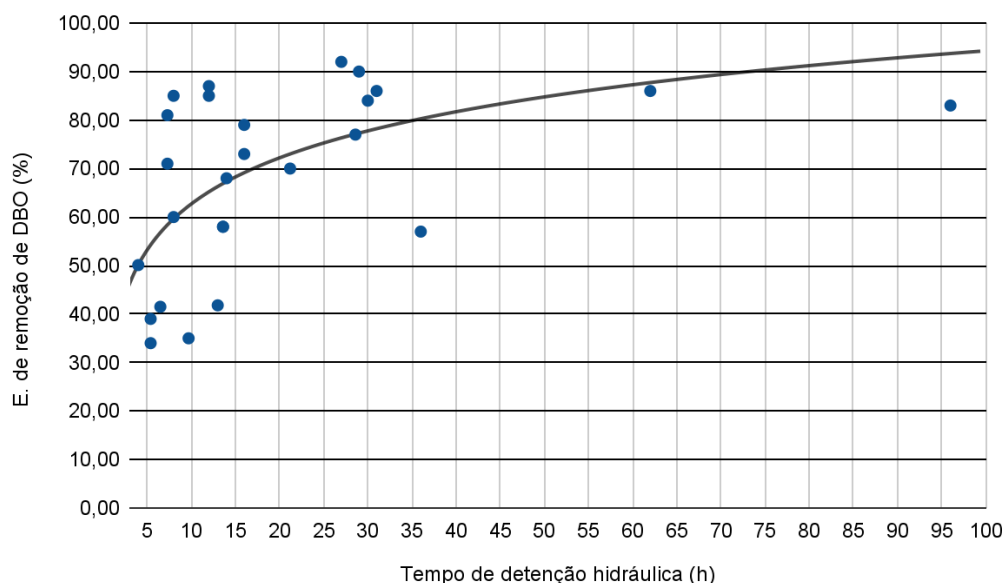
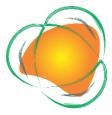


Figura 2. Gráfico de eficiência de remoção teórica de DQO.

Realização



Fonte: Autoria própria.

A partir do gráfico, foi obtido o seguinte modelo empírico para a estimativa da eficiência teórica do reator.

$$E. DQO = 31,1 + 13,7 * \ln(tdh) \text{ (Eq.6)}$$

A equação prevê a eficiência de remoção de DQO em função do tempo de detenção hidráulica do reator. Aplicando a equação com o tempo de detenção hidráulica adotado para o projeto obteve-se a eficiência do reator de, aproximadamente, 73,41%. Ao aplicar esta eficiência na concentração do afluente do reator, foi possível obter uma concentração de DQO no efluente próxima de 6.792,64 mg/L.

Eficiência de remoção de SS

Para determinar a concentração de SS no efluente do reator, foi preciso primeiramente obter a curva de eficiência teórica do reator. Para isso, foram compilados 19 resultados obtidos em diferentes estudos que analisaram a eficiência de remoção de SS de reatores UASB utilizados para o tratamento do efluente da suinocultura. Após a compilação dos resultados, o seguinte gráfico foi elaborado (Figura 2).

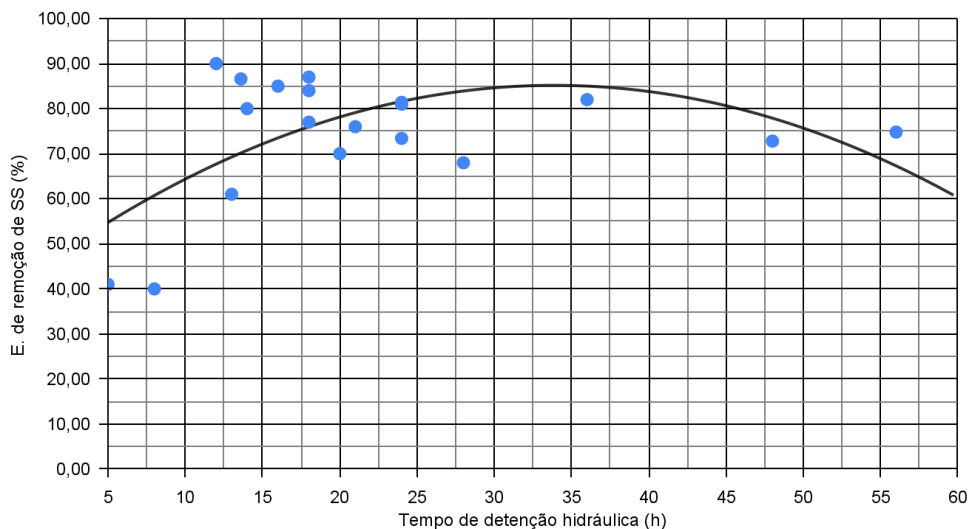
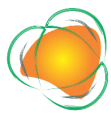


Figura 2. Gráfico de eficiência de remoção teórica de SS.

Fonte: Autoria própria.

Diferente da curva de eficiência para a remoção de DQO, a curva de eficiência de remoção de SS tem um comportamento de parábola, e este comportamento pode ser

Realização



explicado devido a perda de eficiência do reator devido ao carregamento dos sólidos junto a parte líquida para tdh 's mais elevados.

Vale ressaltar que tanto para o emprego da equação de eficiência de remoção de SS, quanto para a de eficiência de remoção de DQO devem ser feitas algumas ressalvas antes de aplicá-las, tais como: A limitação destas equações, devido ao número de trabalhos analisados e também pelo desvio apresentado entre os dados utilizados para a elaboração dos modelos empíricos. Além disso, diversas outras variáveis influenciam na eficiência dos reatores, não somente o tdh , estas outras variáveis não foram consideradas nas Equações 6 e 7.

Diante do contexto supracitado, a partir do gráfico foi possível obter o seguinte modelo empírico para a determinação da eficiência teórica de SS.

$$E.SS = 43,3 + 2,47 * tdh - 0,0365 * (tdh)^2 \text{ (Eq.7)}$$

Ao aplicar esta equação com os parâmetros adotados para o projeto, estimou-se uma eficiência de remoção de SS de 79,92%. Ao aplicar essa eficiência a concentração de SS no afluente do reator obteve-se uma estimativa de concentração no efluente de 11.708,20 mg/L.

Produção de metano e biogás

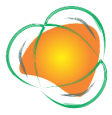
Para estimar a produção de biogás no reator, foi necessário avaliar inicialmente a produção de metano do sistema. Primeiramente, estimamos a produção diária de metano no reator utilizando a Equação 8.

$$DQO_{CH_4} = Q * (S_0 - S) - Y_{obs} * Q * S_0 \text{ (Eq. 8)}$$

Nesta equação determinamos a produção de metano em $kgDQO_{CH_4}/d$, utilizando a vazão de projeto (Q) em m^3/d , a concentração de DQO no afluente (S_0) e no efluente (S) em $kgDQO/m^3$ e o coeficiente de produção de sólidos no sistema (Y_{obs}). O valor adotado para Y_{obs} foi de $0,17 \text{ kgDQO}_{lodo}/kgDQO_{apl}$, valor baseado no trabalho de José Roberto Campos (1999). Ao aplicar esta equação com os parâmetros adotados para o projeto, estimou-se uma produção de $32,16 \text{ kgDQO}_{CH_4}/d$.

Em seguida, calculou-se o fator de correção para a temperatura de operação do

Realização



reator ($K(T)$). Foram considerados dois cenários para estimar a produção máxima e mínima de biogás pelo reator, para isso utilizou-se a temperatura média mínima para o mês mais frio (17°C , no mês de Julho) e a temperatura média máxima para o mês mais quente (34°C , no mês de Dezembro). Estes dados foram obtidos no site Weather Spark. O fator de correção foi calculado utilizando a seguinte equação.

$$K(T) = (P * K)/(R * (273 + T)) \text{ (Eq. 9)}$$

Nessa equação, P corresponde a 1 atm, K tem o valor de 64 gDQO/mol, R tem o valor de 0,08206 atm*L/mol*K, e T representa a temperatura do reator em $^{\circ}\text{C}$.

Após obtermos os valores de $K(T)$ para a temperatura mínima e máxima, utilizamos a Equação 10 para estimar a produção volumétrica mínima e máxima de metano.

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4}/K(T) \text{ (Eq. 10)}$$

Ao aplicar esta equação para os parâmetros calculados anteriormente, estimou-se uma produção mínima de $11,96 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{d}$ e uma produção máxima de $12,66 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{d}$. Considerando que aproximadamente 70% do volume do biogás gerado neste tipo de reator e com este tipo de resíduo consiste em metano, foi estimada uma produção de biogás mínima de $17,08 \text{ m}^3/\text{d}$ e máxima de $18,08 \text{ m}^3/\text{d}$.

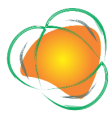
Estimativa de geração de energia a partir do metano

Para estimar o potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do reator foi utilizada a metodologia apresentada por Medeiros e Parz (2015), primeiramente estimou-se a potência disponível com base no valor de vazão de metano estimado anteriormente para o reator. Para este cálculo adotamos o poder calorífico do metano ($P_{C(\text{metano})}$) igual a $35,53 * 10^6 \text{ J/m}^3\text{CH}_4$ (MEDEIROS; PARZ, 2015), também adotamos a constante adimensional k igual a 100. A estimativa foi realizada utilizando a seguinte equação.

$$Pi = (Q_{CH_4} * P_{C(\text{metano})}/86400) * (k/1000)$$

Assim, para o dia com menor vazão de metano estimamos um potencial de 491,73 kW e para o dia com maior vazão um potencial de 520,56 kW. Foi possível

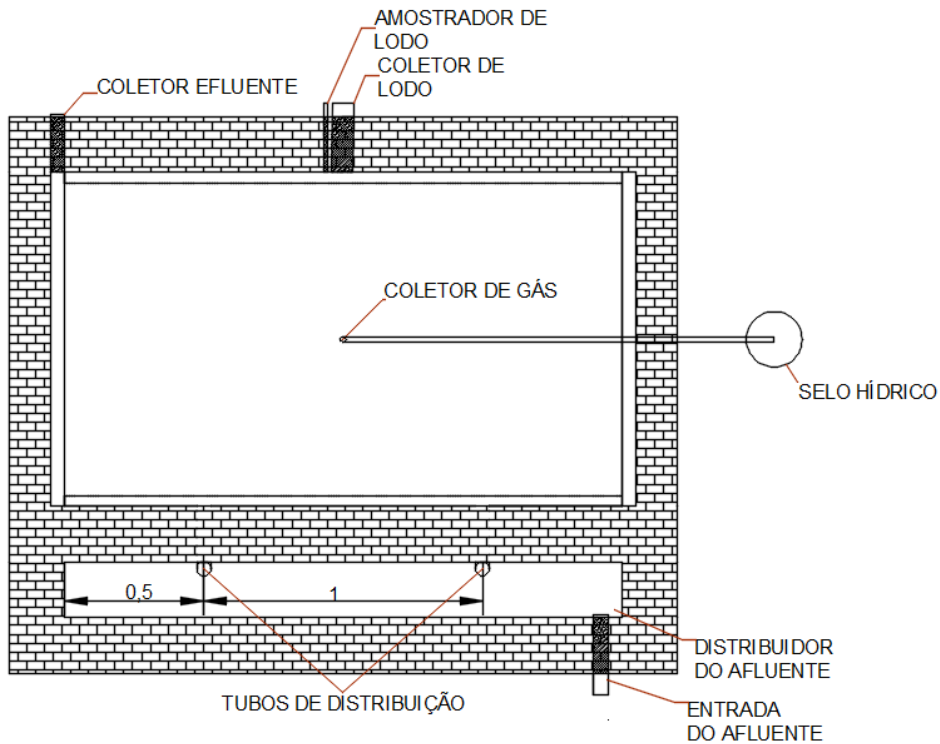
Realização



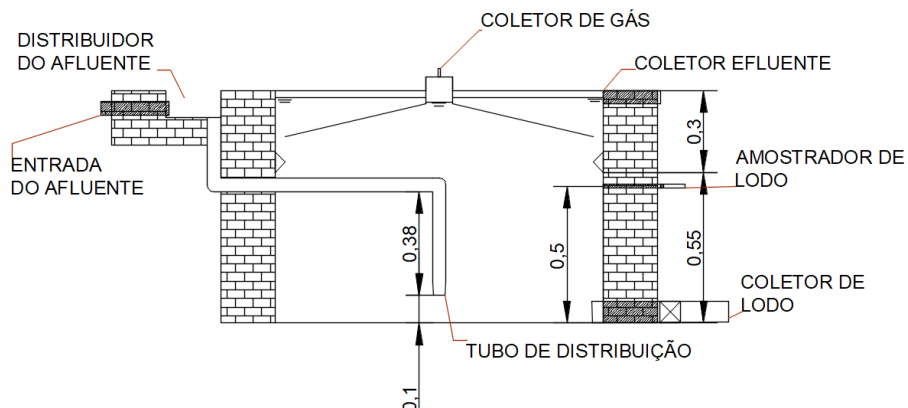
estimar a geração de energia, que varia entre 20,49 kWh e 21,69 kWh.

Modelo do reator

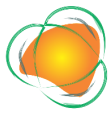
Vista superior



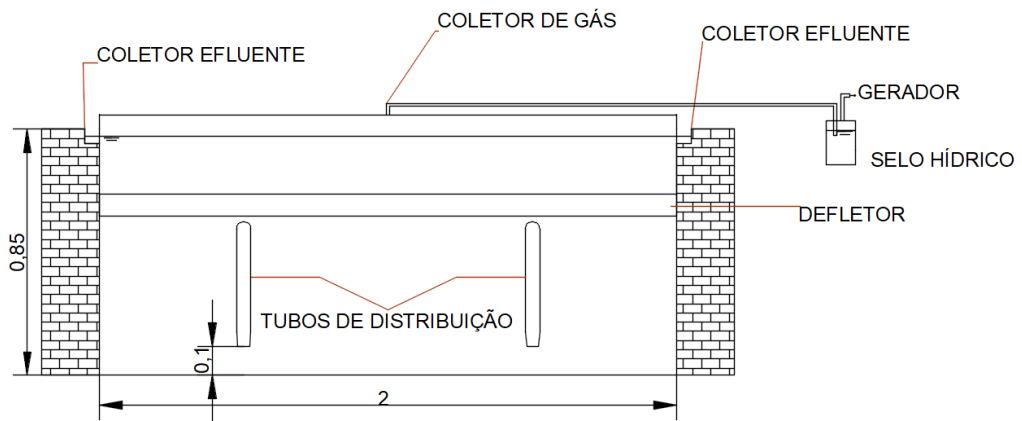
Corte lateral



Realização



Corte frontal



CONCLUSÕES

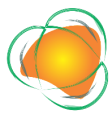
A fazenda Três Marias é uma propriedade que se destaca devido ao seu modelo de produção que foge dos modelos convencionais de suinocultura, que além de prezar pelo bem-estar animal acaba se destacando por seu menor potencial de geração de impactos ambientais. Porém, o manejo dos efluentes ainda representa um grande problema para a propriedade.

O modelo de biodigestor proposto apresenta uma boa taxa de remoção de matéria orgânica, além de ser considerado um reator compacto, apresentando um volume bastante reduzido quando comparado a outras configurações de reatores, se adequando muito bem às demandas da propriedade.

Na adequação do biosistema, a partir da compatibilização com a infraestrutura já existente na propriedade obteve-se um reator com base de 2,40 m² e altura de 0,85 m, apresentando um tdh de 21,90 h e velocidade de fluxo ascensional de aproximadamente 0,04 m/h.

Com os modelos empíricos para cálculo da eficiência de remoção de DQO e SS, pode-se prever, com algumas ressalvas, percentuais de 73,4% de remoção de DQO e de 79,9% de remoção de SS, garantindo certa segurança para a utilização do efluente do reator como fertilizante nas culturas da propriedade.

Realização



Com base na produção de metano ainda estimou-se um potencial de geração de energia que varia entre 20,49 e 21,69 kWh, considerando o consumo médio diário de energia da propriedade, que é aproximadamente 34 kWh, este sistema apresenta um bom potencial, sendo capaz de suprir boa parte da demanda elétrica da propriedade.

Ressalta-se que este trabalho terá prosseguimento, em uma etapa vindoura, a partir do monitoramento de alguns parâmetros críticos para o sistema, a fim de avaliar sua resposta à carga poluidora quando o mesmo estiver em operação.

REFERÊNCIAS

BARROS, Evandro Carlos; NICOLOSO, Rodrigo; OLIVEIRA, Paulo Armando V. de; CÔRREA, Juliano Corulli. **Cartilha Potencial agrônômico dos dejetos suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 52p., 2019. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1117243/1/final9052.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2023.

CARDOSO, Bárbara Françoise; OYAMADA, Graciela Cristine; SILVA, Carlos Magno da. Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil. **Desenvolvimento em Questão**, [S.L.], v. 13, n. 32, p. 127, 16 abr. 2015. Editora Unijui. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2015.32.127-145>. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/3159>. Acesso em: 14 jul. 2023.

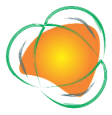
COSTA, Adriano Adelson; SOTO, Francisco Rafael Martins. TRATAMENTO DO DEJETO DE SUÍNO POR BIODIGESTÃO ANAERÓBIA. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 801, 27 set. 2018. Centro Universitario de Maringá. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n3p801-823>. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/4513>. Acesso em: 14 jul. 2023.

HIGARASHI, Martha Mayumi; KUNZ, Airton; OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. Redução da carga de poluentes: sistemas de tratamento. In: SEGANFREDO, Milton Antonio (ed.). **Gestão Ambiental na Suinocultura**. Brasília, Df: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 119-148.

JOSÉ ROBERTO CAMPOS (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: Abes, 1999. 464 p. Projeto PROSAB.

MCAULIFFE, Graham A.; CHAPMAN, Deborah V.; SAGE, Colin L.. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.L.], v. 56, p. 12-22, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925515000839?via%3Dihub>. Acesso

Realização



em: 14 jul. 2023.

MEDEIROS, Sabrina de; PARZ, Schirley. **Potencial de geração de energia elétrica a partir da digestão anaeróbia de esgoto sanitário**. 2015. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2015. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11503/3/FB_COEAM_2015_2_08.pdf. Acesso em: 15 jul. 2023.

MONTEIRO, Alessandra Nardina Trícia Rigo. **Análise do ciclo de vida na produção de suínos: efeito da redução do conteúdo de proteína bruta na dieta**. 2017. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/1499/1/000226887.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2023.

SOUZA, Cecília de Fátima; CARVALHO, Cínara da Cunha Siqueira; CAMPOS, Josiane Aparecida; MATOS, Antônio Teixeira; FERREIRA, Williams Pinto Marques. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Ceres**, [S.L.], v. 56, n. 2, p. 128-133, mar. 2009. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/20609/1/artigo.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2023.

Realização