



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA
DIVISÃO DE AGRICULTURA
CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

MONOGRAFIA CIENTÍFICA

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REACTORES UASB EM DUPLO ESTÁGIO
NO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE SUINOCULTURA NO
CAMPUS DO ISPG**

Autor: Olerdete dos Santos Paulo Infulo

Tutor: Prof. Dr. Mário Tauzene Afonso Matangue

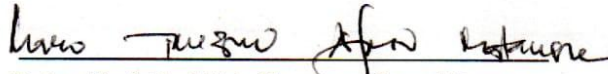
Co-tutor: Eng. Algardás Damião Mabunda

Lionde, aos 3 de Maio de 2024

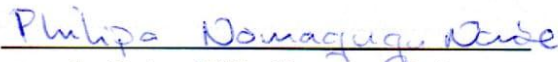


INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

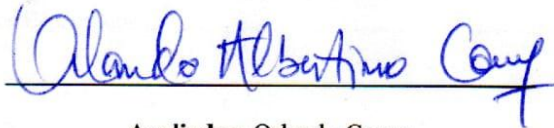
Monografia de investigação científica sobre Avaliação do Desempenho dos Reatores UASB em Duplo Estágio no Sistema de Tratamento de Efluentes de Suinocultura no Campus do ISPG, apresentado ao curso de engenharia hidráulica agrícola e água rural, na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.



Tutor: Prof. Dr. Mário Tazene Afonso Matangue



Avaliador: Philipa Nomagugu Ncube



Avaliador: Orlando Couve

Lionde, Maio de 2024

Índice

ÍNDICE	ii
DECLARAÇÃO.....	iv
ÍNDICE DE TABELAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	viii
DEDICATÓRIA	xi
AGRADECIMENTOS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo Geral:	3
1.1.2. Objetivos Específicos.....	3
1.2. Problema.....	4
1.3. Justificativa.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Reator UASB.....	6
2.1.1. Construção	7
2.1.2. Eficiência	8
2.1.3. Digestão Anaeróbia.....	8
2.2. Parâmetros físico-químicos e biológicos importantes do afluente e efluente dos reatores UASB9	
2.2.1. Parâmetros Físicos	9
2.2.2. Parâmetros Químicos	10

2.2.3.	Parâmetros biológicos.....	11
2.3.	Determinar a quantidade do biogás produzido pelos reatores UASB em duplo estágios	12
2.4.	Determinar o desempenho dos reatores UASB em duplo estágio.....	12
3.	METODOLOGIA	13
3.1.	Descrição da Área de Estudo.....	13
3.1.2.	Topografia.....	14
3.2.	Concepção e caracterização do Sistema de Tratamento de Dejetos de Suíno (STDS)	14
3.2.1.	Dimensionamento e construção dos Reatores UASBs	17
3.3.	Determinar os parâmetros físico-químicos e biológicos do afluente e efluente dos reatores UASB	21
3.4.	Determinar a quantidade do biogás produzido pelos reatores UASB em duplo estágio.....	23
3.5.	Determinar o desempenho dos reatores UASB em duplo estágio.....	24
4.	RESULTADOS	25
4.1.	parâmetros físico-químicos e biológicos do afluente e efluente dos reatores UASB	25
4.1.1.	Parâmetros físicos	26
4.1.2.	Parâmetros químicos.....	28
4.1.3.	Parâmetros biológicos.....	33
4.2.	Quantidade do biogás produzido pelos reatores UASB em duplo estágios.....	35
4.3.	Desempenho dos reatores UASB em duplo estágio	36
5.	CONCLUSÃO	38
6.	RECOMENDAÇÕES	39
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Declaração

Declaro por minha honra que esta Monografia de Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e da orientação do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, 03 de Maio de 2020

Olerdete dos Santos Paulo

(Olerdete dos Santos Paulo Infulo)

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Monitoramento das unidades de tratamento de efluentes	22
Tabela 2: Resultados das médias e da eficiência dos reatores UASB	25
Tabela 3: Leituras da vazão do biogás	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desenho esquemático do reator UASB.....	7
Figura 2: Mapa de localização da área e do local de estudo.....	14
Figura 3: Layout do sistema de tratamento de efluentes de suinocultura.....	16
Figura 4: Imagem do sistema de tratamento de efluente de suinocultura instalado	17
Figura 5: Layout do reator UASB e suas dimensões.....	19
Figura 6: Reatores UASB montados	20
Figura 7: Hidrómetro montado nos reatores.....	20
Figura 8: Separador trifásico	20
Figura 9: Amostra do afluente (R1).....	21
Figura 10: Amostra do efluente (R2).....	21
Figura 11: Hidrómetro	23

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Condutividade elétrica.....	26
Gráfico 2: Temperatura.....	28
Gráfico 3: Potencial Hidrogeniónico	29
Gráfico 4: Demanda bioquímica de oxigénio	30
Gráfico 5: Demanda química de oxigénio	31
Gráfico 6: Fosforo.....	32
Gráfico 7: Nitrogénio.....	33
Gráfico 8: Coliformes fecais.....	34
Gráfico 9: Escherichia coli	35
Gráfico 10: Medias mensais da demanda bioquímica de Oxigenio.....	36
Gráfico 11: Medias mensais da demanda quimica de oxigénio.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

C- Carbono

CH₄ - Metano

Cu- Cobre

CO₂ - Dióxido de Carbono

DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO- Demanda Química de Oxigênio

ETE- Estação de Tratamento de Esgoto

Fe- Ferro

H₂ S- Sulfeto de Hidrogênio

ISPG- Instituto Superior Politécnico de Gaza

Mn- Manganês

Mg/l- Miligrama por litro

m³- Metro cubico

NH₃ - Amónia

N- Nitrogênio

P- Fosforo

pH- Potencial Hidrogeniônico

PVC- Policloreto de Vinil

STDS- Sistema de Tratamento de Dejetos de Suíno

TDH- Tempo de Detenção Hidráulica

UASB- *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo)

Zn- Zinco

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho a minha família em geral e a todos que direta ou indiretamente apoiaram-me em todo processo de desenvolvimento do mesmo, aos meus pais e irmãos que depositaram o seu voto de confiança e por acreditarem em mim, sendo pilares da minha vida no decorrer do curso durante esses 5 anos, ao meu pai Paulo Dias João Infulo, em especial a minha mãe Constância Izidro Cumbane, que sempre esteve do meu lado, me motivando a cada passo dado, por ter me apoiado financeiramente os meus estudos e pela contribuição na formação da minha conduta moral, ética e religiosa, e Aos meus colegas e amigos pelo companheirismo que foi criado ao longo desses anos, recordarei dos bons momentos que tivemos juntos na academia ISPG.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me protegido desde a minha chegada neste mundo até o dia de hoje, por me ajudar em todo o meu percurso e por permitir que tudo se concretizasse.

Agradecer aos meus pais, Paulo Dias João Infulo e Constância Izidro Cumbane, Aos meus Irmãos Izidro, Teresa, Sheila, Edna, Paula e ao meu companheiro Ibramugy, pelos conselhos e por toda a preocupação, motivação e apoio incondicional para atingir os meus objetivos.

Agradeço ao meu tutor Dr. Mário Tauzene Afonso Matangue, pela sua disponibilidade, paciência e partilha de conhecimento e pelo auxílio no trabalho.

Aos meus docentes, por terem me transmitido conhecimento para que eu pudesse me tornar uma Hidráulica Prática, dentro e fora da academia, levarei sempre comigo os vossos ensinamentos e conselhos.

Agradeço a toda comunidade politécnica por todas oportunidades, desde o início e termino da minha carreira. Pela maturidade que a jornada académica me trouxe, a todos os desafios que com foco e determinação foram superados.

Agradeço aos meus amigos Sancho, Suadique, Juvencio e a todos colegas que estiveram junto comigo e me apoiaram em toda caminhada, me apoiaram nas dificuldades e me ajudaram a me tornar o que sou hoje.

RESUMO

A poluição da água é considerada um problema ambiental emergente que causa sérios efeitos na saúde humana e nos ecossistemas. As águas residuárias de suinocultura são um potencial poluidor para o solo, o ar e água, deste modo no presente estudo ira avaliar-se o desempenho dos Reatores UASB em duplo Estágio no Sistema de Tratamento de Efluentes de Suinocultura no ISPG-Província de Gaza. Contudo, estudos de tratamento de efluentes de suinocultura envolvendo reatores USAB em Moçambique são poucos conhecidos e o seu domino se circunscreve ao nível de bancada, tendo assim a necessidade de instalar um sistema capaz de remover ou transformar os agentes poluentes de forma segura, minimizando os problemas ambientais. Foram feitas análises laboratoriais das amostras do afluente e efluente dos reatores, para avaliar o nível de contaminação do dejetos de suíno, para determinar a quantidade de Biogás produzido, foi instalado um hidrómetro para a medição do biogás produzido e para avaliar o desempenho do reator, foram feitas comparações das eficiências da DBO e DQO dada por meio dos valores obtidos nas análises laboratoriais, que permitiram calcular a eficiência de remoção da matéria orgânica, com a produção do metano. Os dados foram analisados e processados usando o software Excel. Os resultados obtidos expressos em parâmetros físico-químicos e biológicos e sua eficiência foram os seguintes: Condutividade elétrica- 17.47%, Temperatura- 0.21%, pH- 0%, DBO- 6.42%, DQO- 2.41%, Fosforo- 0%, Nitrogénio- 7.19%, Coliformes fecais- 39.74%, E.coli- 64.4% e com um eficiência total do sistema de 10.11%, O biogás produzido foi de 16.8 m³ num período de 3 meses, sendo muito baixo para o uso como fonte de energia. No que diz respeito a operação dos reatores UASB, não teve um bom desempenho no tratamento de efluente. Concluiu-se que o sistema de tratamento de dejetos de suinocultura estudado não foi eficiente, visto que não atendeu os padrões exigidos para remoção de contaminantes.

Palavras chaves: UASB, Parâmetros, Biogás, Desempenho.

ABSTRACT

Water pollution is considered an emerging environmental problem that causes serious effects on human health and ecosystems. Pig farming wastewater is a potential polluter for soil, air and water, therefore in the present study we will evaluate the performance of UASB Reactors in double stages in the Pig Farming Effluent Treatment System at ISPG-Gaza Province. However, studies on the treatment of swine effluents involving USAB reactors in Mozambique are little known and their domain is limited to the bench level, thus requiring the installation of a system capable of removing or transforming polluting agents safely, minimizing environmental problems. Laboratory analyzes were carried out on the influent and effluent samples from the reactors, to evaluate the level of contamination of the pig manure, to determine the amount of Biogas produced, a hydrometer was installed to measure the biogas produced and to evaluate the performance of the reactor, Comparisons were made of the efficiencies of BOD and COD given through the values obtained in laboratory analyses, which allowed calculating the efficiency of removal of organic matter, with the production of methane. Data were analyzed and processed using Excel software. The results obtained expressed in physical-chemical and biological parameters and their efficiency were as follows: Electrical conductivity- 17.47%, Temperature- 0.21%, pH- 0%, BOD- 6.42%, COD- 2.41%, Phosphorus- 0%, Nitrogen- 7.19%, Fecal Coliforms- 39.74%, *E.coli*- 64.4% and with a total system efficiency of 10.11%, Biogas produced was 16.8 m³ over a period of 3 months, being too low for use as an energy source Regarding the operation of the UASB reactors, it did not perform well in effluent treatment. it was concluded that the studied pig manure treatment system was not efficient, as it did not meet the standards required for contaminant removal.

Keywords: UASB, Parameters, Biogas, Performance

1. INTRODUÇÃO

Embora o tratamento de esgotos tenham se mostrado limitantes aos processos convencionais, outros processos foram se desenvolvendo para a remoção da matéria orgânica, como a utilização de reactores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (Upflow Anaerobic sludge Blanket - UASB), que tem se mostrado útil em diversas áreas como na economia da área, a sua simplicidade de construção, o baixo custo de implementação, operação e manutenção do sistema, dessa forma reduzindo o consumo de energia (CHATAQUE, 2020).

A suinocultura é uma actividade pecuária representada por um sector de grande importância econômica e social, responsável pela geração de emprego e concentradora de dejetos em pequenas áreas. A produção crescente de suínos agrega o acúmulo de grandes quantidades de resíduos que fazem com que esta tenha elevado potencial poluidor para o solo, o ar, assim como a água (DUDA, 2010).

As consequências dos lançamentos dos efluentes de suinocultura, aos corpos hídricos são variados, afetando não so apenas os seres aquáticos, más também os diferentes usos das águas. (CHATAQUE, 2020).

Quando não manejados corretamente, os efluentes afetam, principalmente, a qualidade dos corpos de água, promovendo desequilíbrios ecológicos, em casos de poluição, reduzem o teor de oxigênio dissolvido, aumentam o risco de contaminação por patógenos, a concentração de amônia, nitratos e outros elementos tóxicos, como os metais. Os solos também podem ser gravemente afetados, na sua maioria porque o produtor não possui o conhecimento específico sobre o efluente, pela lixiviação dos solos, pela distribuição exagerada e desenfreada dos efluentes, sem levar em conta os aspetos agrônômicos. A atmosfera também é afetada através da emissão de gases nocivos por subprodutos da degradação da fração sólida dos efluentes, da poeira, dos odores e gases de efeito estufa como o CO_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 , entre outros. (OLIVEIRA, 2020)

A maior parte das águas residuárias, principalmente a de suinocultura não podem ser lançadas no meio ambiente sem o seu devido tratamento, por estes conterem altas concentrações de matéria orgânica e também de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, além de coliformes termo

tolerantes e metais (Cu, Mn, Zn e Fe) em grandes quantidades, restringindo assim a sua aplicação na irrigação de culturas agrícolas. (DUDA, 2010)

O reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB) É de extrema importância para o melhoramento das condições sanitárias do ambiente podendo evitar que estes causem poluição dos rios e do lençol freático, a destruição de organismos patogênicos, com grande destaque para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em zonas rurais, contribuindo para a redução dos custos de produção e a produção de biofertilizante, em adubo natural, rico em nutrientes que enriquecem o solo. (SILVA et al 2013)

A digestão anaeróbia é um processo de baixo custo para o tratamento de águas residuárias que contem elevadas cargas orgânicas como os dejetos provenientes da suinocultura, com a produção de biogás e a baixa produção de lodo, tendo em conta a conservação dos nutrientes, assim como a redução dos odores, além de ser uma solução propícia para regiões de clima tropical. (DUDA, 2010)

Os reatores USAB são suma de uma importância, pois são baratos, de fácil aplicação, projeção e implementação nas zonas rurais e com eficiência considerada alta dado ao tipo de clima que é favorável para o seu ótimo funcionamento. Quando devidamente operados podem produzir o biogás (metano) que pode ser usando na cozinha e na produção de energia elétrica nas zonas rurais. (SILVA et al 2013)

Este trabalho objectivou a implementação de um sistema anaeróbio para o tratamento de efluentes Em Moçambique, especificamente os reatores UASB, pois são de extrema importância, sendo que ainda nao existem, pois este sistema pode promover de forma acessível o tratamento de aguas residuárias de suinocultura, destruindo organismos patogênicos dos dejetos, melhorando as condições sanitárias do ambiente evitando que estes causem contaminação do ar, solo, rios e do lençol freático, podendo ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica, contribuindo para a redução dos custos de produção gerando renda e economia, a produção de biofertilizante como adubo natural, rico em nutrientes que iram enriquecer o solo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral:

- Avaliar o desempenho dos reatores UASB em duplo estágio no sistema de tratamento de efluentes de suinocultura no campus do ISPG

1.1.2. Objetivos Específicos

- Determinar os parâmetros físico-químico e biológicos do afluente e efluente dos reatores UASB
- Determinar a quantidade do biogás produzido pelos reatores UASB em duplo estágio
- Determinar o desempenho dos reatores UASB em duplo estágio

1.2. Problema

A principal problemática está relacionada diretamente a descargas de águas residuais sem tratamento nos ecossistemas, à falta de infraestrutura de coleta e do transporte dos esgotos sanitários, sendo bastante frequente nos países em desenvolvimento, como é o caso de Moçambique e o mais notório no campus, concretamente na farma é a sobrecarga da capacidade de infiltração e odores. São inúmeras as consequências da poluição gerada pelos despejos nos sistemas hídricos receptores, tendo alguns efeitos relacionados ao excesso de carga orgânica biodegradável e os sólidos suspensos, contribuindo para a contaminação do solo, promovendo a contaminação dos lençóis subterrâneos (o aumento da concentração do ião nitrato, patógenos e excesso de nutrientes, dentre outros) e no ar (emissão de gases tóxicos). Devido a presença de nitrogênio e fósforo, os dejetos de suínos acarretaram problemas de eutrofização nas águas superficiais (lagoas, rios, e reservas), quando lançados em corpos de água, provocando perda da biodiversidade pela hipóxia, contaminação das águas e doenças de veiculação hídrica.

O tratamento de águas residuárias de suinocultura usando reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB) podem ser uma alternativa viável para o tratamento de águas residuárias de suinocultura com elevadas cargas orgânicas, dispensando o tratamento primário do efluente. Contudo, estudos de tratamento de efluentes de suinocultura envolvendo reatores USAB em Moçambique são poucos conhecidos e se existem até então, o seu domínio se circunscreve ao nível de bancada, podendo neste caso se referenciar aos estudos feitos pelo Matavele 2021 e Nicolau Jo 2023. Esse estudo permitirá gerar informações sólidas que poderão ser usados na concepção de reatores USAB em escalas piloto e real não só no tratamento de águas residuárias de suinocultura mas também em outras águas residuárias tais como as domésticas e industriais.

1.3. Justificativa

A aceitação destes reatores anaeróbios e devido às inúmeras vantagens que este sistema possui, como, o baixo custo de construção, a operação e manutenção, a baixa produção de lodo, o baixo consumo de energia e a eficiência satisfatória na remoção de DBO e DQO. (RAMALHO, 2022)

O lançamento dos dejetos destes animais na água e no solo sem tratamento prévio, tem causado graves desequilíbrios ambientais em relação a contaminação das águas, o aumento da criação de suínos gera grandes quantidades de resíduos, os quais possuem potencial altamente poluidor. Por vezes, os dejetos dos suínos são distribuídos no solo, o que pode trazer a poluição dos mananciais de água e conseqüentemente, a eutrofização.

Todavia, estes dejetos quando submetidos a processos de tratamento adequados, servem de matéria-prima capaz de gerar produtos úteis e valiosos, tais como o metano, adubos orgânicos de alta qualidade e nutrientes como fósforo e nitrogênio, que são elementos essenciais para o crescimento das plantas.

Deste modo, têm-se a necessidade de instalar um sistema capaz de remover ou transformar os agentes poluentes, de forma que possa ser reaproveitado as propriedades fertilizantes dos dejetos no solo ou descartado de forma segura nos cursos de água, minimizando os problemas ambientais, assim como o uso do metano como fonte natural de energia em zonas rurais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Reator UASB

O reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB) é um sistema utilizado para o tratamento de águas residuárias, seja ele de natureza simples ou complexa, de baixa ou de alta concentração, que contem material solúvel ou particulado. Este foi desenvolvido na década de 1970, na Holanda, que se caracteriza pela presença de um separador de fases, em que divide o reator em duas partes: sendo uma inferior, ou zona de digestão, em que há uma manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia, e a outra superior, ou zona de sedimentação (SILVA *et al*, 2013).

Segundo (PEREIRA *et al*, 2009) o reator UASB tem sido estudada por sua vantagem de combinar a construção e operação simplificadas, com a capacidade de acomodar elevadas cargas orgânicas e hidráulicas. A configuração do reator é baseada na incorporação de um dispositivo interno de separação trifásico (sólido/gás/líquido) em regime hidráulico, dispensando o uso de um meio suporte para o crescimento da biomassa, que favorece a retenção e o desenvolvimento da biomassa concentrada e altamente ativa, na forma de lodo granulado ou mesmo em flocos densos. O perfil dos sólidos (lodo) no reator varia de muito denso a mais disperso e leve. O perfil muito denso contém partículas granulares de alta capacidade de sedimentação, que se encontram próximas ao fundo, denominado leito de lodo e o perfil mais disperso e leve está próximo ao topo do reator, conhecido como manta de lodo, como ilustra a figura 1.

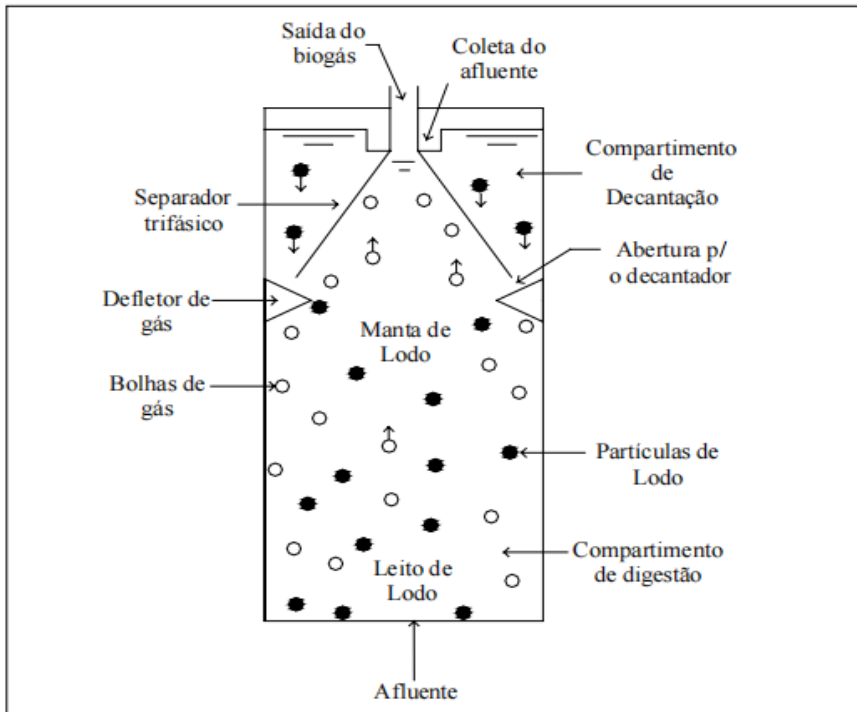


Figura 1: Desenho esquemático do reator UASB

Fonte: Rodrigues, 2008

2.1.1. Construção

Os materiais utilizados para construção de reatores anaeróbios devem ter como principal requisito de resistir à corrosão. Por razões construtivas e de custo, o concreto tem sido o material mais utilizado na construção de reatores anaeróbios, sendo necessário receber algum tipo de revestimento interno para proteção anticorrosiva, pois têm apresentado problemas como vazamento de gases, corrosão e dificuldades de estruturação e montagem. Os materiais não corrosivos ou menos volumosos, como o PVC, o plástico e fibra de vidro são os mais indicados para este caso (RODRIGUES, 2008).

Tempo de detenção hidráulica

O Tempo de detenção hidráulica não é uma unidade de tratamento, portanto é o tempo médio (geralmente expresso em dias) em que os dejetos líquidos permanecem em uma determinada

unidade ou sistema de tratamento. Sendo a razão entre o volume e a vazão média diária. De acordo com a NBR13369, o tempo de detenção hidráulica está relacionado com a temperatura média do mês mais frio do ano que de variar entre (18^o C a 21^o C), o mesmo deve ser igual o superior a 8:00h, citado por (MATAVELE, 2021).

2.1.2. Eficiência

Segundo (MALUNGA, 2015) a avaliação da eficiência do processo de tratamento é baseada na análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do início até o final do tratamento, calculando o percentual de redução dos parâmetros pré-estabelecidos. Para determinar-se a eficiência ou a porcentagem de remoção de qualquer poluente, subtrai-se o parâmetro de entrada com o parâmetro de saída, pelo quociente do parâmetro de entrada, como observa-se na a seguir na equação 1:

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} * 100\% \quad \text{Equação: 1}$$

Onde: E – Eficiência de remoção em %

Co – Concentração afluyente do poluente (mg/L)

Ce – Concentração efluente do poluente (mg/L)

2.1.3. Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um sistema de tratamento que ocorre através de reações bioquímicas realizadas por milhares de bactérias, que promovem a transformação da matéria orgânica, degradando-a até que se forme o metano (CH₄) e o dióxido de carbono. A geração do biogás ocorre na última etapa do processo. Este processo ocorre em quatro fases: a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (COELHO, 2021).

Na hidrólise inicia o processo de digestão anaeróbia. Este processo ocorre devido à quebra de polímeros ou materiais particulados para compostos menores como os ácidos graxos, aminoácidos e açúcares.

Na acidogênese as bactérias fermentativas transformam no interior das células os produtos da hidrólise em ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, hidrogênio e gás carbônico. Nesta fase, a concentração do hidrogênio influencia na eficiência da acidogênese, pois quando a concentração é elevada ocorre o consumo de ácidos orgânicos, que podem influenciar no pH do processo.

Na acetogênese as bactérias acetogênicas transformam os produtos gerados na acidogênese em ácido etanóico, em hidrogênio e gás carbônico.

Na metanogênese os produtos da acetogênese serão consumidos por dois grupos de arqueias metanogênicas, sendo esses grupos as metanogênicas hidrogenotróficas que utilizam o hidrogênio e dióxido de carbono, e as metanogênicas acetoclásticas que utilizam o ácido acético e metanol.

2.2. Parâmetros físico-químicos e biológicos importantes do afluente e efluente dos reatores UASB

2.2.1. Parâmetros Físicos

➤ Condutividade Elétrica

Segundo (SILVA, 2016) É a capacidade de conduzir corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, principalmente as inorgânicas, sendo dependente do número e do tipo de espécies iônicas nela dispersas. Este parâmetro na maioria das vezes é expresso em mS cm^{-1} ou uS cm^{-1} . As águas de abastecimento e residuárias domésticas têm valores de condutividade entre 50 e 1500 uS cm^{-1} , sendo que a condutividade do esgoto é 2 ou 4 vezes superior à da água.

➤ Temperatura

A temperatura segundo (SOUZA, 2019) é um factor muito importante se tratando de efluentes, pois influência diretamente na velocidade das reações físicas, químicas e biológicas, na solubilidade dos gases, na taxa de crescimento dos microrganismos, e outros. A temperatura dos esgotos é maior que a da água e o tempo de decomposição do esgoto é diretamente proporcional à temperatura, tendo a faixa ideal para atividade biológica entre 25 e 35 °C, sendo que abaixo de 15 °C a digestão anaeróbia praticamente não se processa e pode afetar a eficiência do sistema na remoção dos sólidos e no tratamento biológico pode afetar a atividade dos microrganismos presentes no efluente.

2.2.2. Parâmetros Químicos

➤ Potencial Hidrogeniônico

O pH indica as características ácidas e básicas do esgoto, sendo que o seu valor varia entre 6,5 a 7,5 e é importante para o controle da ETE, principalmente nos processos anaeróbios e oxidativos, pois influencia na velocidade da nitrificação e é praticamente inibida com pH menor que 5,0. Para um bom tratamento, o pH deve se manter próximo da neutralidade, visto que as bactérias anaeróbias são sensíveis às alterações de pH, sendo assim torna-se importante o controle desse parâmetro. Portanto um valor de pH próximo da neutralidade indica o bom andamento do processo, enquanto que o seu decaimento indica a alteração da atividade biológica do sistema. (SILVA, 2016)

➤ Demanda bioquímica de oxigênio

A DBO é o parâmetro utilizado para medir a quantidade de oxigênio consumido por microrganismos durante a degradação da matéria orgânica, ou seja, a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica. Ela fornece uma medida indireta do teor de matéria orgânica nos esgotos e poços de água, quanto mais o seu valor, mais poluído é o ambiente (TONELLI, 2014).

➤ Demanda química de oxigênio

A DQO refere-se à quantidade de oxigênio utilizada para realizar a oxidação química da matéria orgânica, é um parâmetro muito utilizado para medir, de forma indireta, a quantidade de matéria orgânica. O valor estimado da DQO de determinado efluente fornece uma boa ideia da quantidade de matéria orgânica presente, uma vez que este método fornece uma boa oxidação de toda a matéria orgânica, inclusive, de alguns constituintes inorgânicos. Tipicamente a DQO dos esgotos domésticos varia entre 200mg L^{-1} e 800mg L^{-1} , se mantendo entre 1,7 e 2,5 vezes o valor da DBO (SOUZA, 2019).

➤ Nitrogênio

O nitrogênio é um nutriente indispensável para o crescimento de algas e o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico. O nitrogênio orgânico encontra-se na forma de proteínas, aminoácidos e ureia. A amônia é produzida como primeiro estágio da decomposição

do nitrogénio orgânico, o nitrito e encontrado no estágio intermediário da oxidação da amónia e o nitrato e o produto final da oxidação do amónio (TONELLI, 2014).

➤ **Fosforo**

O fosforo é um nutriente indispensável no tratamento biológico, encontrado na forma orgânica e inorgânica, podendo se encontrar na água sob três formas diferentes, como fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos (TONELLI, 2014).

2.2.3. Parâmetros biológicos

➤ **Coliformes Totais**

Os coliformes totais são os maiores transmissores de doenças de vinculação hídrica. Dentro do grupo dos coliformes totais em que se destacam as bactérias coliformes Termo tolerantes, eles se reproduzem sistematicamente a 44,5°C e associam-se com as fezes de animais de sangue quente (SPERLING, 2005b).

➤ **Coliformes Fecais**

Os coliformes fecais são um grupo de bactérias indicadores de organismos, originários do trato intestinal humano e outros animais. O teste deste é feito a uma elevada temperatura, na qual o crescimento de bactérias de origem não fecal é suprimido. A *Escherichia-coli* é uma bactéria pertencente a este grupo (SPERLING, 1996).

➤ ***Escherichia-coli***

É um importante indicador microbiológico, que se destaca dentro do grupo dos coliformes Termo tolerantes, por ser a única bactéria cujo habitat é exclusivo no trato intestinal do homem e de animais de sangue quente. Por isso a *E-coli* é um indicador ideal para contaminação fecal (SPERLING, 2005b).

2.3. Determinar a quantidade do biogás produzido pelos reatores UASB em duplo estágio

O biogás é um produto obtido através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. A sua produção é proveniente de um meio com condições químicas e físicas, com determinadas faixas de temperatura, de pH e da relação entre o carbono e nitrogênio da biomassa dentro de um biodigestor, no qual as bactérias hidrolíticas, acidogênicas e acetogênicas degradam a matéria orgânica produzindo acetato, que é utilizado pelas arqueias metanogênicas para a produção de metano. Dessa forma, em condições favoráveis, o metano é o principal componente do biogás, representando cerca de 60-80% desse gás (COELHO, 2021).

Segundo (MARTINS, 2018), a produção do metano é realizada por um grupo de arqueias anaeróbias estritas, denominadas metanogênicas. A produção do metano ocorre de forma biológica por meio de uma série de reações envolvendo uma complexidade de coenzimas. As coenzimas-chave na metanogênese podem ser agrupadas em duas classes: aquelas que estão envolvidas no transporte da unidade carreador C_1 do substrato inicial, CO_2 , ao produto final, CH_4 ; e aquelas que participam de reação redox, fornecendo os elétrons necessários à redução de CO_2 a CH_4 .

Em digestores anaeróbios, cerca de 70% do metano produzido advém da degradação do acetato durante o metabolismo das metanogênicas acetoclásticas. A produção e o rendimento de metano podem ser usados para avaliar o processo de digestão anaeróbia da fração orgânica.

2.4. Determinar o desempenho dos reatores UASB em duplo estágio

O bom desempenho dos reatores anaeróbios é devido a utilização do processo anaeróbio em dois estágios com reatores UASB, visto que pode conferir maior estabilidade ao sistema incrementando a hidrólise no primeiro reator, alcançando altas taxas de eficiências de remoção de matéria orgânica e de produção de metano, por consequência da organização dos microrganismos anaeróbios e sua retenção no reator. Os microrganismos fisicamente organizados no lodo ficam retidos dentro do sistema em aglomerados bacterianos, em grânulos biológicos, ou em biofilme. (SANTANA1; OLIVEIRA2, 2005)

3. METODOLOGIA

3.1. Descrição da Área de Estudo

O estudo será feito no Campo Experimental do Instituto Superior Politécnico de Gaza, que esta localizado na Vila de Lionde, no Distrito de Chókwè. O Distrito de Chókwè, situa-se no curso médio do rio Limpopo, na Província de Gaza, tem como sede distrital a cidade de Chókwè, tendo como limites geográficos os distritos de Mabalane e Guijá a Norte, Massingir e Magude a Oeste, Chibuto a Leste, Xai-Xai, Bilene, Macia e Magude a sul (MAE, 2014)

O distrito tem uma superfície de 2.443 km² e uma população de 199,523 habitantes, com uma densidade populacional de 82.9 hab/km². A população é jovem (44.7% abaixo dos 15 anos de idade), maioritariamente feminina (taxa de masculinidade de 44%) e segundo o Censo de 2007, a matriz rural e taxa de urbanização é de 32%. O distrito de Chókwè conta com quatro PA e oito localidades, sendo o posto sede que correspondente ao Município do Chókwè. A Norte deste situa-se o PA de Macarretane com as localidades de Macarretane, Machinho e Matuba; a Sudeste encontra-se o PA de Lionde, tendo como localidades Lionde Sede, Conhane e Malau; e a Sul, PA de Xilembene com as localidades de Xilembene Sede e Chiduachine (MAE, 2014). Como ilustra a figura 2 abaixo.

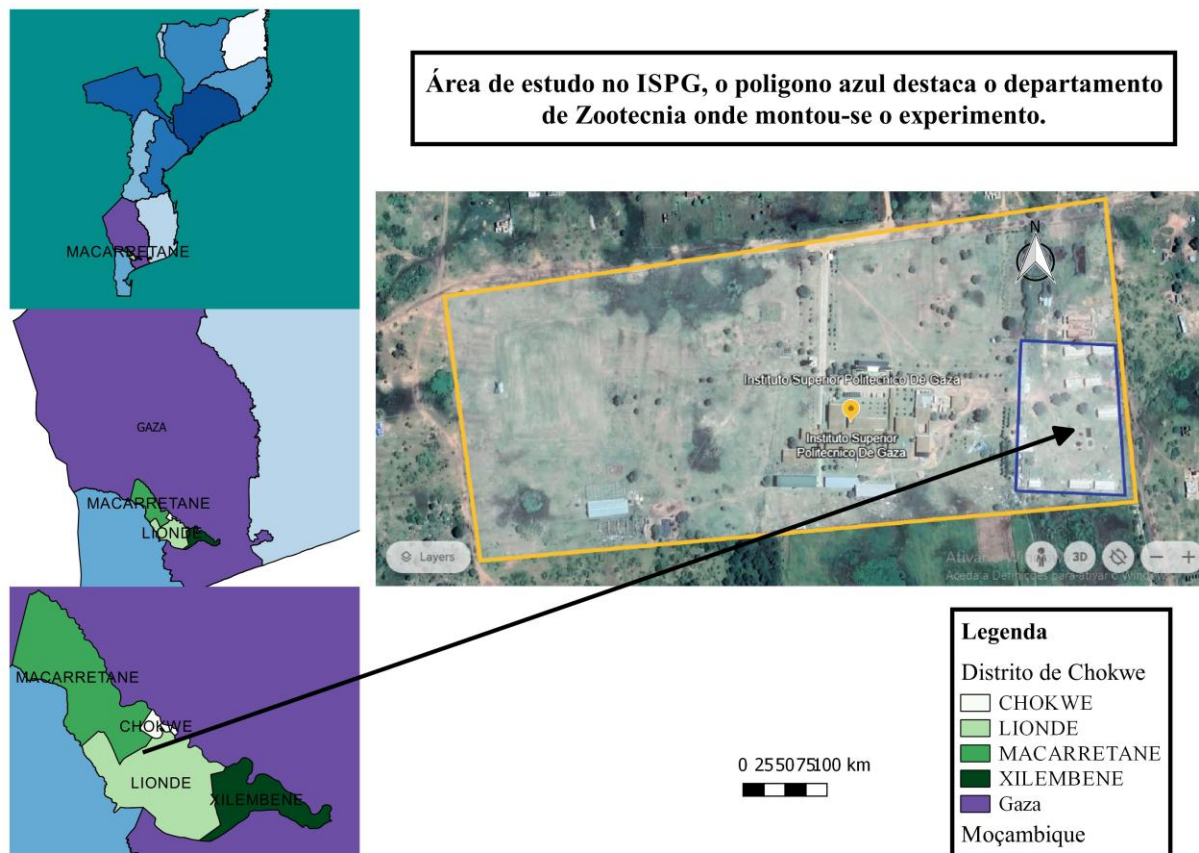


Figura 2: Mapa de localização da área e do local de estudo

3.1.2. Topografia

O Distrito de Chókwe é uma planície com menos de 100 m de altitude e está encaixada entre o rio Limpopo e Mazimuchope. As zonas mais baixas localizam-se nas bacias ao longo destes rios. As terras altas elevam-se até 70 m no Sul e ultrapassam os 80 m no Norte (MAE, 2014)

3.2. Concepção e caracterização do Sistema de Tratamento de Dejetos de Suíno (STDS)

O sistema de Tratamento de Dejetos de Suíno (STDS), foi construído do zero, instalado e operado no Instituto Superior Politécnico de Gaza, na Farma no sector de suinocultura durante 5 meses, sendo que o primeiro e segundo mês foi de construção, instalação e implantação da população bacteriana no sistema para a estabilização da matéria orgânica, sendo que os restantes 3 meses foram de coleta das amostras e análises laboratoriais na cidade de Xai-Xai na província de Gaza. O mesmo era composto por 1 Reservatório, 3 Tanques sépticos, 2 Reatores UASB, 1 Filtro e 3

Lagoas de maturação, que foi construído num intervalo de 2 semanas, usando materiais diversos como: Um balde de 80L, tubos PVC (Ø110mm), válvulas de ½", torneiras de 1", tubos de 1", cola PVC, fita isoladora, silicone, massa de ferro e tampão PVC (Ø110mm).

Descrição do sistema de tratamento

1. O reservatório (balde de 80L com altura de 63 cm) tinha dois pontos: um serviu para manter (descarregar) o dejetto e o outro serviu para controlar a saída do dejetto, que alimentava as unidades de tratamento subsequentes.
2. O sistema de tanques sépticos em três estágios foi feito de tubos de PVC com Ø11cm, altura de 100cm e capacidade de $0,0086m^3$ por estágio. Cada estágio tinha uma conduta de alimentação que vinha do reservatório e tinha um ponto de manutenção na parte inferior e outro ponto na parte superior para a saída do dejetto fermentado para os reatores UASB.
3. Os reatores UASB foram feitos de tubos de PVC com Ø11cm e altura de 100cm. Eles tinham uma capacidade de $0,00576m^3$ e foram compostos por vários componentes hidrodinâmicos que dinamizavam o sistema de tratamento biológico e o sistema de canalização que fornecia e removia o dejetto, bem como 2 componentes que controlam a vazão do lodo de cada reator.
4. A terceira unidade de tratamento foi feita de tubos de PVC Ø11cm com altura de 10 cm, comprimento de 40 cm e capacidade de 400 cm^3 . Cada unidade era composta por três lagoas de polimento em série.

O sistema de tratamento de dejetto de suíno era composto por vasos comunicantes, que foi operado sob condições hidrodinâmicas que permitia o movimento do efluente de forma continua em todo o sistema, usando um sistema de canalização composto por condutas pequenas de (PVC) e componentes de regulação do fluxo. De acordo com a figura 3, que ilustra o Layout do sistema de tratamento de efluentes de suinocultura.

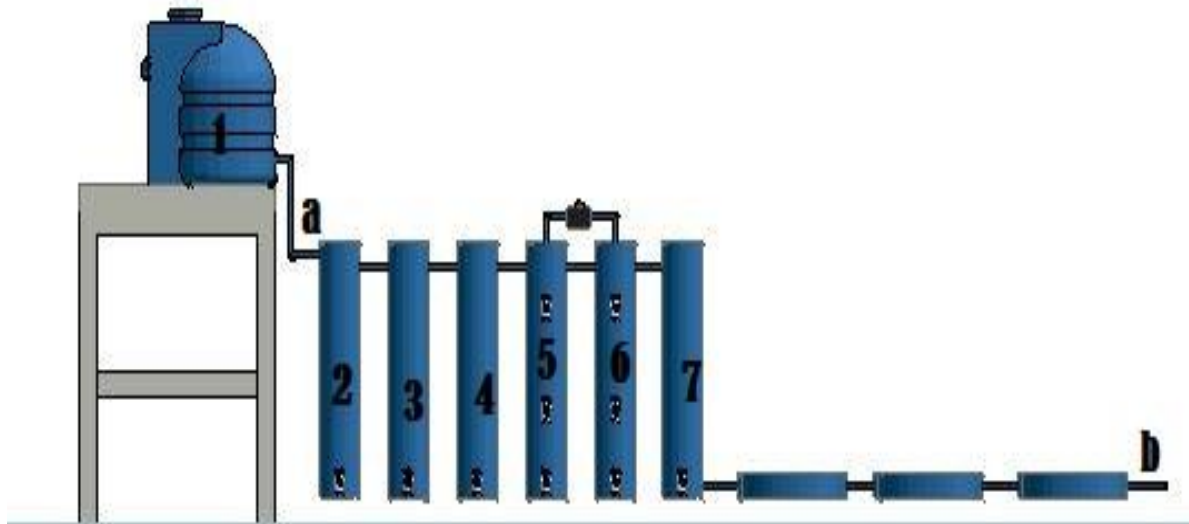


Figura 3: Layout do sistema de tratamento de efluentes de suinocultura

Legenda

- 1- Reservatório
- 2- Primeira unidade de tanque séptico
- 3- Segunda unidade de tanque séptico
- 4- Terceira unidade de tanque séptico
- 5- Primeira unidade do reator UASB
- 6- Segunda unidade do reator UASB
- 7- Filtro anaeróbio
- 8- Primeira unidade de lagoas
- 9- Segunda unidade de lagoas
- 10- Terceira unidade de lagoas
- 11- Hidrómetro
- 12- a)- Entrada do efluente bruto
- 13- b)- Saida do efluente tratado

O reservatorio recebia um efluente de 80L e o sistema tinha uma capacidade de tratamento de 20L, onde eram tratados 10L no total após 16 dias, a construção do sistema foi feita com o

intuito de garantir o reaproveitamento dos nutrientes presentes no dejetos de suíno visando sua aplicação na agricultura na forma de adubo orgânico, como ilustra a figura 4.



Figura 4: Imagem do sistema de tratamento de efluente de suinocultura instalado

3.2.1. Dimensionamento e construção dos Reatores UASBs

O tempo de detenção hidráulica não deve ser muito curto, se o tempo for curto os microrganismos não poderão decompor a matéria orgânica na sua totalidade, é importante cuidar deste fator de modo que seja maior para facilitar a decomposição da matéria orgânica na sua totalidade e garantir o desenvolvimento dos microrganismos no biodigestor

Estas unidades de tratamento foram dimensionadas segundo (VON SPERLING, 2006), adotando-se um tempo de detenção hidráulica de 12h para cada reator com um caudal 0,72 L/h para ambas as unidades. Foram usadas as seguintes equações abaixo:

$$TDH = \frac{V}{Q}$$

Equação 2

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Equação 3

$$H = \frac{V}{A}$$

Equação 4

Onde:

TDH = tempo de detenção hidráulica

V = volume

Q = caudal

A = área

D = diâmetro

H = altura

Os Reatores UASB foram construídos com tubos PVC de Ø110mm, a uma altura de 1m e com uma capacidade de 0,00576 m³, foram compostos por várias componentes hidrodinâmicas que iam ajudar a dinamizar o sistema de tratamento biológico e o sistema de canalização que ia fornecer e retirar o dejetos, duas componentes que regulavam a vazão do lodo dos reatores, tendo uma componente para cada reator, como ilustra a figura 5.

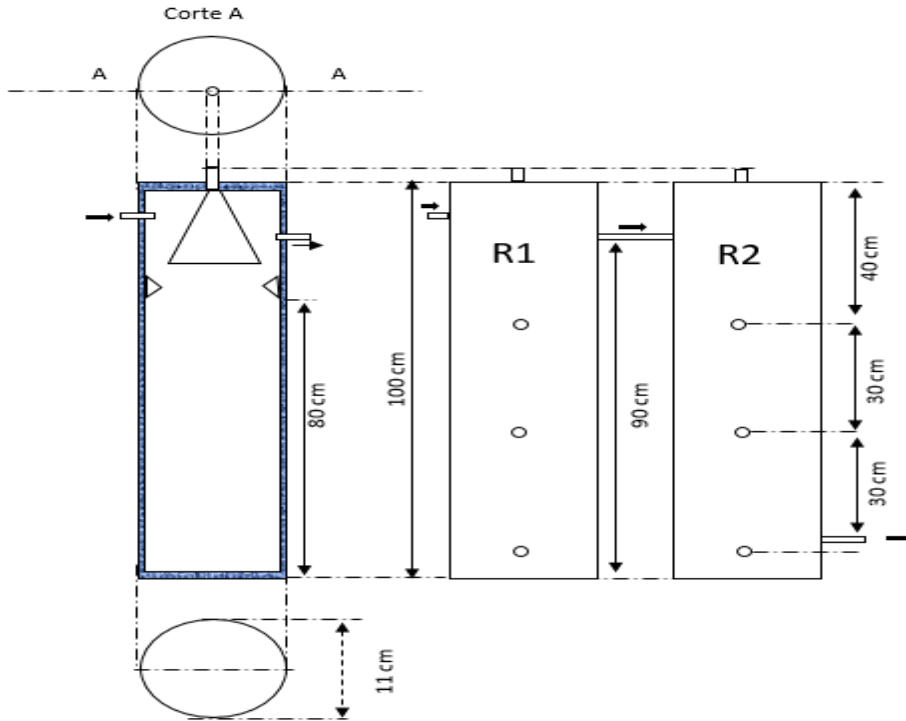


Figura 5: Layout do reator UASB e suas dimensões

Para a concepção destas unidades usou-se dois pedaços de tubos PVC com diâmetro de \varnothing 110 mm, com um comprimento de 1m para ambos, dentro dos tampões na parte superior montou-se o defletor triangular, separador trifásico circular que ajudou na separação da fração sólida e líquida, montou-se tubos de comunicação que facilitava o escoamento do dejetos e um hidrômetro. Fez-se 5 perfurações em cada reator com auxílio de um ferro quente. Em seguida montou-se duas torneiras, uma para cada reator na parte inferior dos tubos para a descarga do lodo, e a montagem de mais 4 torneiras, 2 torneiras para cada reator com o intuito de controlar a qualidade do dejetos de suíno tratado, conforme ilustrado na figura 6,7 e 8.



Figura 6: Reactores UASB montados



Figura 7: Hidrómetro montado nos reatores



Figura 8: Separador trifásico

3.3. Determinar os parâmetros físico-químicos e biológicos do afluente e efluente dos reatores UASB

Para determinar os parâmetros físico-químicos e biológicos no reator UASB, foram identificados dois pontos de coleta do efluente bruto e efluente tratado, como a entrada e saída do reator, partindo do mês de junho até ao mês de agosto. O processo de coleta de amostras foi realizado segundo as normas que estabelecem os procedimentos de coleta de amostras, antes da coleta das amostras em cada ponto o recipiente era desinfetado com o próprio dejetto do efluente, lavando o recipiente três vezes para garantir que os dados não fossem viciados, todos os recipientes foram selados e etiquetados no local da coleta e as amostras foram conservadas em recipientes plásticos para as análises físico-químico e microbiológico, como ilustram as figuras 9 e 10 abaixo.



Figura 9: Amostra do efluente bruto (R1)



Figura 10: Amostra do efluente tratado (R2)

Materiais usados para a coleta de amostras

- Garrafas plásticas de 500ml;
- Esferográfica;
- Fita cola;

- Tesoura;
- Papel.

Em seguida foram anotadas informações relevantes sobre cada ponto de amostragem como a data da coleta, pois foram de grande importância em análises posteriores e para acompanhar possíveis variações ao longo do tempo, após este procedimento as amostras foram encaminhadas ao LPHAA e foram feitas análises laboratoriais, para avaliar o nível de contaminação do efluente, como ilustra a tabela 1.

Tabela 1: Monitoramento das unidades de tratamento de efluentes

Parâmetros	Frequência	Metodologia Usada	Local
Coliformes totais	2x por mês	Membrana filtrante	LPHAA
Coliformes fecais	2x por mês	Membrana filtrante	LPHAA
E. Coli	2x por mês	Contagem na placa	LPHAA
Cor	2x por mês	Visual	LPHAA
Turbidez	2x por mês	Nefelometria	LPHAA
TDS	2x por mês	Potenciometria	LPHAA
Temperatura	2x por mês	Potenciometria	LPHAA
C. Elétrica	2x por mês	Potenciometria	LPHAA
PH	2x por mês	Potenciometria	LPHAA
Cloretos	2x por mês	Mohr	LPHAA
OD	2x por mês	Potenciometria	LPHAA
DBO	2x por mês	Potenciometria	LPHAA
DQO	2x por mês	Volumetria	LPHAA
Ferro	2x por mês	Colorimetria	LPHAA
M. Orgânica	2x por mês	Kubell	LPHAA
Fosforo	2x por mês	Colorimetria	LPHAA
Cálcio	2x por mês	Volumetria	LPHAA
Magnésio	2x por mês	Diferença	LPHAA
Nitrogênio	2x por mês	Diferença	LPHAA
Amônio	2x por mês	Colorimetria	LPHAA

Após a obtenção dos resultados laboratoriais, foram utilizadas técnicas estatísticas adequadas para analisar os dados, através do pacote estatístico EXCEL para o cálculo da média, o desvio padrão, máximo, mínimo e da eficiência. Isso ajudou a determinar e a identificar possíveis diferenças ou correlações entre as propriedades físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes de suinocultura.

3.4. Determinar a quantidade do biogás produzido pelos reatores UASB em duplo estágio

Para determinar a quantidade de biogás que foi produzido pelos reatores, foi instalado um sistema de coleta de biogás adequadamente instalado para capturar o biogás gerado pelos reatores UASB em duplo estágio. Isso incluiu dutos de coleta e medição do biogás, foi instalado um hidrômetro no sistema de coleta de biogás, em uma posição adequada para medir a vazão do biogás, foi calibrado corretamente antes de iniciar as medições e registrou-se as leituras do hidrômetro regularmente, em intervalos de tempo de 7 dias durante três meses, para acompanhar a produção de biogás ao longo do tempo, anotou-se informações relevantes como data, hora e condições operacionais dos reatores UASB, que podiam afetar a produção de biogás, como ilustra a figura 11.



Figura 11: Hidrómetro

Foram utilizadas as leituras do hidrômetro para determinar a vazão do biogás em unidades de volume por unidade de tempo, multiplicando a vazão do biogás pela fração de metano presente no biogás para obter a vazão de metano produzida. Assim sendo a fórmula básica para o cálculo da quantidade de biogás produzido com base nas leituras de vazão foi:

Quantidade de biogás produzido = Vazão de biogás x Fração de metano

$$Qb = Vb \times FrM$$

Equação5

Onde: A vazão de biogás é medida em unidades de volume por unidade de tempo, como metros cúbicos por hora (m³/h).

A fração de metano é a percentagem de volume de metano (CH₄) no biogás total, determinada por análise da composição do biogás.

E salientar que essa fórmula considera apenas a fração de metano e não leva em conta outros gases presentes no biogás, como dióxido de carbono (CO₂) e traços de outros gases. Além disso, para obter a quantidade total de biogás produzido ao longo do tempo, foi necessário integrar a vazão de metano em relação ao tempo, considerando as leituras periódicas do hidrômetro.

3.5. Determinar o desempenho dos reatores UASB em duplo estágio

A avaliação do desempenho do reator, foi dada por meio de análises laboratoriais, que permitiram calcular a eficiência de remoção de DQO e DBO, comparou-se as concentrações de entrada e saída do reator, e calculou-se a percentagem de remoção da matéria orgânica. Foi útil analisar a variação desses parâmetros ao longo do tempo, pois isso permitiu identificar tendências e verificar a estabilidade do processo de digestão anaeróbia.

Foi necessário monitorar a produção específica do biogás, pois a composição do biogás, além da fração de metano, também inclui outros componentes, como dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂) e traços de outros gases e também a avaliação da eficiência na remoção do nitrogênio e fósforo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2. Parâmetros físico-químicos e biológicos do afluente e efluente dos reatores UASB

A tabela 2 ilustra os resultados das médias e da eficiência de avaliação nos reatores UASB no tratamento de dejetos de suíno, porém esta fase constitui a aplicação das concentrações na fórmula estabelecida para cada parâmetro analisado e de referir que se tratando da eficiência, o dejetos bruto corresponde ao afluente e no segundo reator corresponde ao efluente.

Tabela 2: Resultados das médias e da eficiência dos reatores UASB

Parâmetros	Dejeto Bruto	Reator UASB 1	Reator UASB 2	Eficiência (%)
Coliformes Totais		197	250	0
Coliformes	48.67	12.83	29.33	39.74
Fecais				
E. coli	7.5	0	2.67	64,4
Turbidez	302.41	269.43	297.82	1.52
TDS	3716.00	3231.17	3065.83	17.50
Temperatura	23.15	23.27	23.1	0.21
C. elétrica	7430.17	6457.67	6132	17.47
pH	6.28	6.52	6.48	0
Cloretos		226.9	209.53	0
O. Dissolvido	7.19	6.68	7.11	1.11
DBO	4.36	4.13	4.08	6.42
DQO	3.31	3.22	3.23	2.41
Ferro	0.02	0.02	0.02	0
M. orgânica		2.5	2.5	0
Fosforo	0.05	0.05	0.06	0
Cálcio	102.33	101	96.33	5.86
Magnésio	65.71	64.74	63.76	2.97
Nitrogênio	1.53	1.44	1.42	7.19
Amônio	0.08	0.1	0.06	25

Os gráficos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9, que seguem ilustram a variação temporal das concentrações dos parâmetros físico-químicos e biológicos analisados.

4.1.1. Parâmetros físicos

Condutividade Eléctrica

Segundo (SILVA, 2016), a condutividade eléctrica para as águas de abastecimento e residuárias domésticas têm valores de condutividade entre 50 e 1500 $\mu\text{S cm}^{-1}$, sendo que a condutividade do esgoto é 2 ou 4 vezes superior à da água.

Considerando que os reatores estão tratando efluentes de suinocultura, é importante destacar que esses efluentes geralmente apresentam cargas orgânicas e inorgânicas significativamente mais elevadas, devido a presença de resíduos de alimentos, produtos químicos e excremento de animais. Assim sendo, a condutividade eléctrica mínima e máxima encontrada no primeiro reator foi de 4635 e 8265 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e no segundo reator foi de 4225 e 8002 $\mu\text{S cm}^{-1}$, com uma média de 6457.67 e 6132 $\mu\text{S cm}^{-1}$, podendo se verificar uma redução de sólidos dissolvidos presentes no efluente, que indicam uma eficácia parcial dos processos de tratamento ao longo do tempo.

Quanto maior for a quantidade de íões dissolvidos, maior será a condutividade eléctrica da água. A condutividade eléctrica da água pode variar de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas

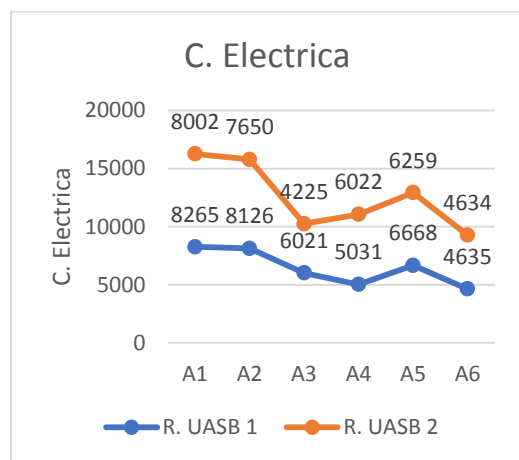


Gráfico 1: Condutividade eléctrica

Temperatura

A temperatura segundo (SOUZA, 2019), é um fator muito importante pois influencia diretamente na velocidade das reações físicas, químicas e biológicas. A temperatura dos esgotos é maior que a da água e o tempo de decomposição do esgoto é diretamente proporcional à temperatura, tendo como faixa ideal para atividade biológica entre 25 e 35 °C, sendo que abaixo de 15 °C a digestão anaeróbia praticamente não se processa e pode afetar a eficiência do sistema.

Neste período observou-se no primeiro reator temperaturas mínimas e máximas de 22.7 e 24.2 °C respectivamente e no segundo reator com 22.5 e 23.9 °C e com uma média de 23.7 e 23.1 °C. Este estudo correu no período de inverso, na qual as temperaturas encontradas foram abaixo de 25 °C condicionando assim o processo de digestão anaeróbia, sendo que a temperatura ótima de crescimento é aquela que possibilita o mais rápido crescimento, durante o menor período de tempo e, conseqüentemente, a densidade de micro-organismos da biomassa, influenciando na DBO e DQO, no processo de remoção da matéria orgânica.

A temperatura possui maior influência face aos microrganismos, afeta o seu desenvolvimento, pois estes são classificados de acordo com a sua temperatura ótima de crescimento. O aumento da temperatura beneficia o processo de digestão anaeróbica, eliminando os patógenos, garantindo maior solubilidade dos compostos orgânicos, porém é desvantajoso até certo ponto visto que promove a dissociação de amônia e o mesmo é um inibidor microbiológico. Com a variação da temperatura para faixa mínima, influencia na redução do rendimento para a produção do biogás com qualidade, se a temperatura for muito alta irá promover a desnaturação enzimática resultando na parada de produção do biogás

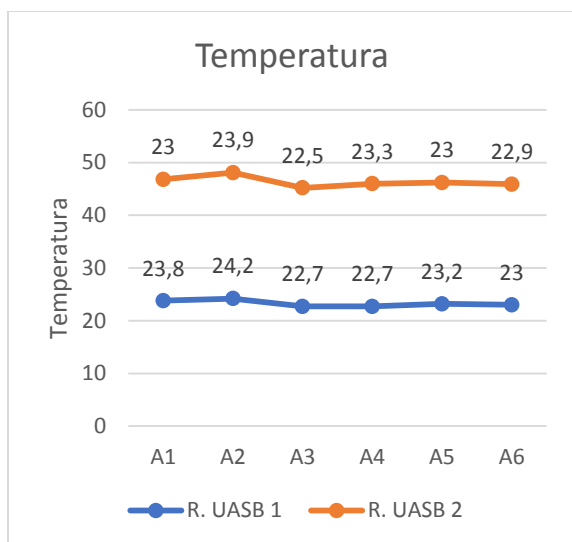


Gráfico 2: Temperatura

4.1.2. Parâmetros químicos

pH

Segundo (SILVA, 2016), o PH deve variar entre 6.5 a 7.5, para que ocorra um bom tratamento e se manter próximo da neutralidade, visto que as bactérias anaeróbias são sensíveis às alterações de pH, portanto um valor de pH próximo da neutralidade indica o bom andamento do processo, enquanto que o seu decaimento indica a alteração da atividade biológica do sistema.

O pH teve uma variação ao longo do tratamento, no primeiro reator com concentrações mínimas e máximas de 6.1 e 6.9 e no segundo reator com 6.1 e 6.7, com uma média de 6.52 e 6.48. neste processo o pH não foi o esperado para que houvesse a estabilização das bactérias no reator.

O pH é um dos factores que influenciam na estabilização da digestão anaeróbica, porem a não monitoria do mesmo pode exercer a função de inibidor sobre os microrganismos. O pH é importante para o controle da ETE, principalmente nos processos anaeróbios e oxidativos, pois influencia a velocidade da nitrificação no processo que é praticamente inibida com pH menor que 5,0 e pode afetar uma variedade de equilíbrio químico que ocorre naturalmente ou em processos unitários de tratamento de efluentes.

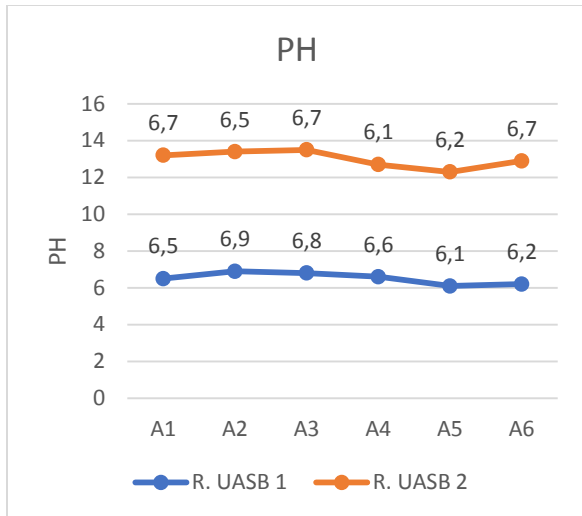


Gráfico 3: Potencial Hidrogeniônico

Demanda bioquímica de oxigênio

A DBO é o parâmetro utilizado para medir a quantidade de oxigênio consumido por microrganismos durante a degradação da matéria orgânica. Ela fornece uma medida indireta do teor de matéria orgânica nos esgotos e poços de água, quanto mais o seu valor, mais poluído e o ambiente. (TONELLI, 2014)

No princípio do tratamento da DBO verificou-se altas concentrações de matéria orgânica, tanto no primeiro reator assim como no segundo, mas foi se degradando ao longo do tempo. No primeiro reator registou-se concentrações mínimas e máximas de 3.8 e 4.32 mg/l e no segundo reator com 3.46 e 4.76 mg/l, com uma média de 4.13 e 4.08 mg/l. Isso mostra que houve uma evolução no processo de tratamento, porém a redução da matéria orgânica não foi muito significativa.

Quando temos baixas concentrações da matéria orgânica, a decomposição da DBO é feita por meio de ações aeróbicas, e quanto mais alto for a concentração da matéria orgânica o processo aeróbico torna-se incapaz de degradar, desta sendo a decomposição da DBO é feita por ações anaeróbicas.

Chernicharo (2007), citado por (SILVA, 2016) destaca que eficiências de 75 % ou mais, ocorrem normalmente em regiões de climas mais quentes, onde a temperatura de operação dos reatores

está dentro da faixa ótima para a atividade anaeróbia, entre 25 e 35 °C, o que não é o caso do reactor em estudo, que apresenta um efluente com temperatura entre 22.5 e 23.9 °C.

A demanda bioquímica de oxigênio aumenta com a quantidade de matéria orgânica biodegradável presente no efluente, toda matéria orgânica biodegradável tem demanda de oxigênio e os microrganismos dissolvem o oxigênio para ajudar na estabilização por meio de ações anaeróbicas. As ações aeróbicas decompõem o DBO quando há baixas concentrações de matéria orgânica, mas quando a concentração de matéria orgânica aumenta, as ações aeróbicas não podem decompor.

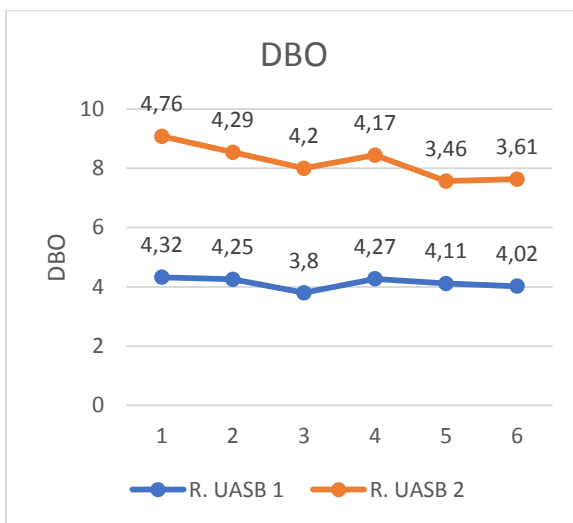


Gráfico 4: Demanda bioquímica de oxigênio

Demanda química de oxigênio

A DQO refere-se à quantidade de oxigênio utilizada para realizar a oxidação química da matéria orgânica, uma vez que este método fornece uma boa oxidação de toda a matéria orgânica, inclusive, de alguns constituintes inorgânicos. (SOUZA, 2019)

A DQO no processo de tratamento, teve como concentrações mínimas e máximas 2.71 e 3.62 mg/l e no segundo reator com 2.91 e 3.41 mg/l, com uma média de 3.22 e 3.23 mg/l. Neste período houve muita variabilidade da concentração da matéria orgânica, condicionando também a remoção de nutrientes e da matéria orgânica, fazendo com que o processo de tratamento não seja eficiente.

Os valores encontrados são a medida indireta do teor de matéria orgânica presente no efluente e é igual a quantidade de matéria orgânica possível de ser oxidado por um agente químico. Em muitos casos este parâmetro tem sido mais usado para avaliar a poluição da água residual.

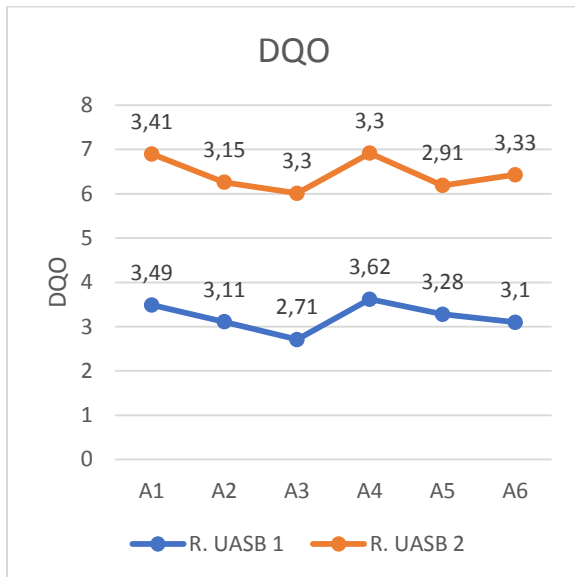


Gráfico 5: Demanda química de oxigênio

Fosforo

O fosforo é um nutriente indispensável no tratamento biológico, encontrado na forma orgânica e inorgânica, podendo se encontrar na água sob três formas diferentes, como fosfatos orgânicos, ortofosfatos e polifosfatos (TONELLI, 2014).

O nitrogênio e o fósforo são nutrientes com baixa biodegradabilidade, por isso, é mais difícil ter resultados satisfatórios no tratamento por meio de processos tradicionais. O aumento da concentração desses nutrientes nos ecossistemas aquáticos tem como consequência a transformação de um ambiente oligotrófico em eutrófico. O fosforo é parte integrante do protoplasma das células dos microrganismos, constituindo num dos elementos essenciais para a síntese bacteriana.

Durante o processo de tratamento, o fósforo teve no primeiro reator concentrações mínimas e máximas de 0.04 e 0.06 mg/l e no segundo reator com 0.04 e 0.07, com médias de 0.05 e 0.06 mg/l. Isso condicionou a estabilização da matéria orgânica no processo de tratamento.

O fósforo é um macronutriente essencial para quase todas as espécies, sejam animais ou vegetais. É um determinante para a produção de alimentos, assim como para evitar a mineração e tornar os processos produtivos mais sustentáveis, é fundamental conseguir reutilizar o P presente nos dejetos suínos. A relação C,P e N resulta em um aumento na produção de metano.

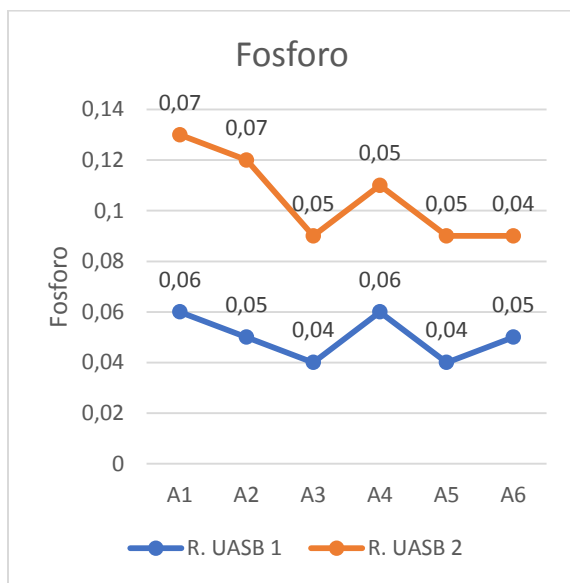


Gráfico 6: Fosforo

Nitrogénio

O nitrogénio é um nutriente indispensável para o crescimento de algas e o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico. O nitrogénio orgânico encontra-se na forma de proteínas, aminoácidos e ureia. A amónia é produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogénio orgânico, o nitrito é encontrado no estágio intermediário da oxidação da amónia e o nitrato é o produto final da oxidação do amónio (TONELLI, 2014).

Valores significativamente menores podem indicar uma insuficiência de carbono na conversão do nitrogênio disponível, o que pode resultar no acúmulo de amônia, que em altas concentrações pode impedir o desenvolvimento de bactérias

O nitrogênio teve no primeiro reator, concentrações mínimas e máximas de 1 e 1.96 mg/l e no segundo reator com 1.1 e 2.15, com uma média de 1.44 e 1.42 mg/l, afetando assim o desenvolvimento dos microrganismos no processo de tratamento.

O nitrogênio é um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento dos dejetos. Usualmente é verificado nas formas de nitrogênio orgânicos (dissolvido ou em suspensão) e amoniacal.

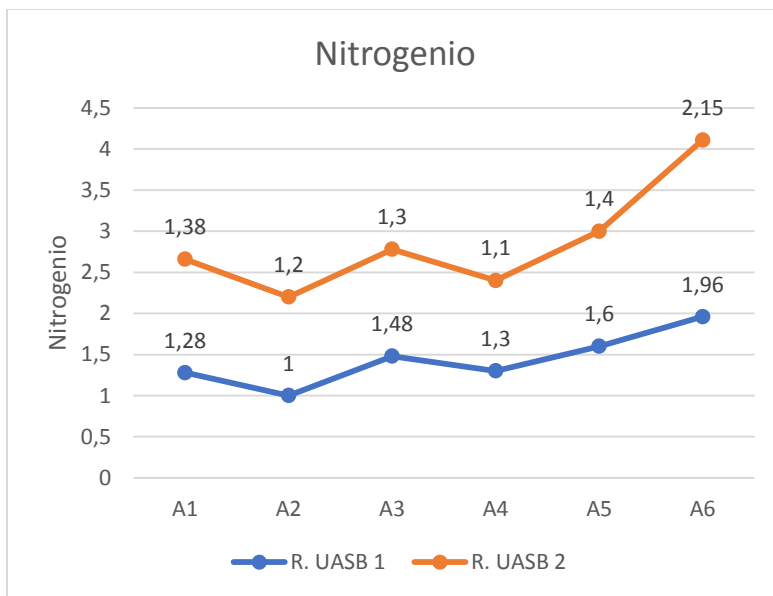


Gráfico 7: Nitrogênio

4.1.3. Parâmetros biológicos

Coliformes fecais

Os coliformes fecais são um grupo de bactérias indicadores de organismos, originários do trato intestinal humano e outros animais. O teste deste é feito a uma elevada temperatura, na qual o crescimento de bactérias de origem não fecal é suprimido. A *Escherichia-coli* é uma bactéria pertencente a este grupo (SPERLING, 1996).

Os coliformes fecais no primeiro reator apresentam valores mínimos e máximos de 0 e 38 Ufc/L e no segundo reator com 4 e 52 Ufc/L, com médias de 12.83 e 29.33 Ufc/L. Neste período notou-se um crescimento gradual das bactérias.

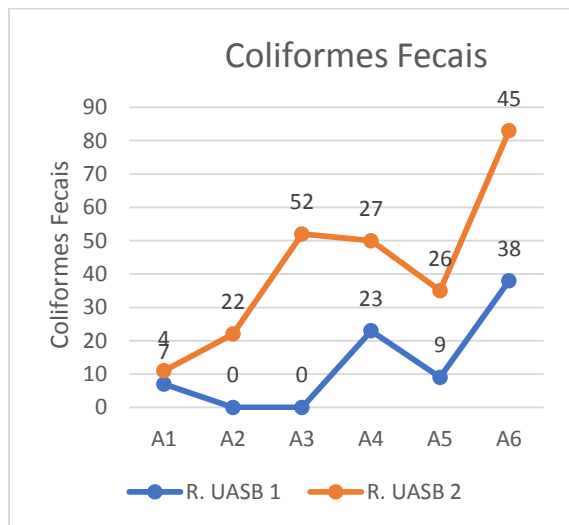


Gráfico 8: Coliformes fecais

Escherichia coli

É um importante indicador microbiológico, que se destaca dentro do grupo dos coliformes Termo tolerantes, por ser a única bactéria cujo habitat é exclusivo no trato intestinal do homem e de animais de sangue quente. Por isso a *E-coli* é um indicador ideal para contaminação fecal (SPERLING, 2005b).

Inicialmente não há presença da *E. coli* no primeiro reator e no segundo reator, mudando drasticamente no último mês que no primeiro reator não apresenta nenhuma bactéria, mas na saída do segundo reator se registou o mínimo de 0 e máximo de 16 Ufc/L, com uma média de 2.67 Ufc/L.

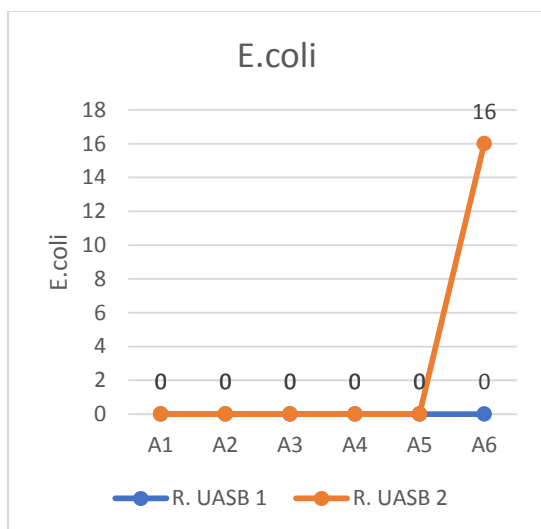


Gráfico 9: Escherichia coli

4.2. Quantidade do biogás produzido pelos reatores UASB em duplos estágios

Tabela 3: Leituras da vazão do biogás

Data	Vazão (m³)
21/06/2023	1
28/06/2023	1
04/07/2023	1
11/07/2023	1
18/07/2023	2
25/07/2023	2
01/08/2023	2
08/08/2023	2
15/08/2023	3
22/08/2023	3
29/08/2023	3
05/09/2023	3
Media	2 m³/semana

O biogás é um produto obtido através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, dessa forma, em condições favoráveis, o metano é o principal componente do biogás, representando cerca de 60-80% desse gás. (COELHO, 2021)

Adotou-se 70% como a fração do metano, onde obteve-se 16.8 m³ de biogás produzido num período de 3 meses. Essa quantidade de biogás baixa, deveu-se a variações decorrentes no processo de tratamento, como choques térmicos e processos de transformação para a estabilização do efluente.

4.3. Desempenho dos reatores UASB em duplo estágio

Os gráficos 10 e 11 abaixo, apresentam variações das concentrações medias mensais na remoção de DBO e DQO.

Um reator anaeróbio bem projetado costuma obter um efluente com a eficiência média de remoção de 65% de DQO e 70% de DBO. Porém, possui eficiência insatisfatória quanto a remoção de nitrogênio, fósforo e coliformes. (SOUZA, 2019)

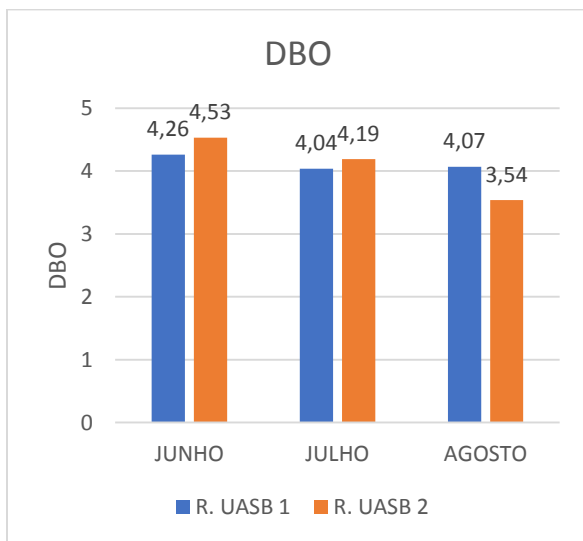


Gráfico 10: Médias mensais da demanda bioquímica de Oxigênio

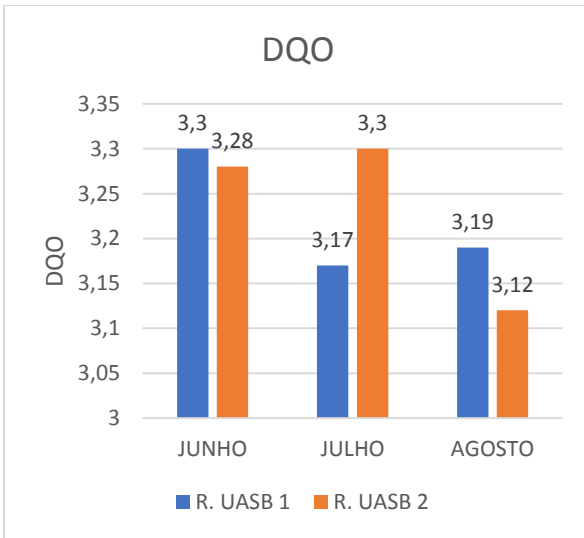


Gráfico 11: Médias mensais da demanda química de oxigênio

De acordo com as concentrações das médias mensais, a DBO assim como a DQO, não foram eficientes na remoção da matéria orgânica, nutrientes e coliformes. O que pode ter influenciado para essa ineficiência, pode ter sido o tempo de detenção hidráulica que não foi suficiente para ajudar no processo de transformação e remoção da matéria orgânica, choques térmicos, assim como zonas mortas.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho dos reatores UASB em duplo estágio no sistema de tratamento de efluentes de suinocultura no campus do ISPG.

- Os parâmetros físico-químicos e biológicos a partir das amostras coletadas nos dois pontos de amostragem em que foi referenciado na metodologia do presente trabalho e das análises de qualidade do dejetos feitas no laboratório, foram minimamente satisfatórios.
- concluiu-se que o sistema dimensionado apresentou resultados não satisfatórios, a quantidade de biogás produzida durante os três meses de estudo foi de 16.8 m³, valor esse que não é suficiente para usar como fonte de energia renovável nas zonas rurais.
- No que diz respeito a operação do sistema, não teve um bom desempenho no tratamento de efluente, visto que a remoção da DBO no sistema de tratamento apresentou uma eficiência de 6.42% e a DQO com uma eficiência de 2.41%, sendo que esses valores estão muito abaixo do recomendado e do esperado, isso em comparação com estudos anteriores e diversos autores, o sistema não foi eficiente.

6. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se:

- a) Fazer-se um estudo similar, em que as análises das amostras sejam realizadas em mais de um laboratório para melhor confiabilidade dos resultados;
- b) Criação da população bacteriana no reator, deve ser num período maior a 3 meses para que haja uma melhor estabilização da matéria orgânica,;
- c) Projeção de um sistema de tratamento de acordo com o volume a ser tratado, para minimizar as falhas nos sistemas;
- d) O processo de tratamento deve ser realizado na estação quente, pois temperaturas altas influenciam na velocidade das reações físicas, químicas e biológicas, permitindo assim o desenvolvimento microbiano, de modo que haja eficiência no sistema de tratamento;
- e) Este processo deve ser realizado com TDH maior que 12 horas para cada reator, para permitir que haja eficiência na remoção da matéria orgânica assim como o desempenho do reator;

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, P. C. D. S. & A. A. D. Tratamento de dejetos suínos com biorreator UASB. Mossoró – RN - BRASIL: Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Dezembro de 2013. 141 - 147 p. Disponível em: <<http://revista.gvaa.com.br/>>.
2. CHATAQUE, M. F. D. S. Análise experimental do desempenho de um reator híbrido anaeróbio-aeróbio na remoção de matéria carbonácea e nitrogenada. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020.
3. COELHO, L. D. N. Análise da presença de bactérias resistentes ao antibiótico tilosina em cama de aviário submetida a um pré-tratamento térmico e digestão anaeróbia. OURO PRETO - MG: OURO PRETO - MG Universidade Federal de Ouro Preto, 2021.
4. DUDA, R. M. Desempenho de sistema composto por reatores anaeróbios em série seguido de filtro biológico percolador no tratamento de águas residuárias de suinocultura. Jaboticabal, SP - Brasil: Universidade estadual paulista, faculdade de ciências agrárias e veterinárias, 2010.
5. MAE. Perfil do distrito do Chókwè província de Gaza. [S.l.]: Maputo, 2014.
6. MALUNGA, J. M. Avaliação da Eficiência na Remoção de Matéria Orgânica e Sólidos Suspensos Totais na Estação de Tratamento de Águas Residuais da Cidade da Beira. Vilankulo: Escola Superior de Desenvolvimento Rural, Maio 2015.
7. MARTINS, A. D. S. Digestão Anaeróbia De Resíduos Alimentares: Efeito Da Carga Orgânica E Da Adição De Elementos Traço Sobre A Produção De Metano E A Diversidade Microbiana. Belo Horizonte-MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.
8. MATAVELE A.S. Desempenho de um sistema de tratamento de águas de esgoto sanitário composto por tanques sépticos, reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e lagoas facultativas no primeiro bairro do Município de Chókwè. Gaza. (2021).
9. OLIVEIRA, A. T. D. Tratamento de águas residuárias de suinocultura por processo físico-químico. Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia e Tecnologia Ambiental: Frederico Westphalen, RS, 2020.

10. PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Efeitos do ph, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (uasb) tratando efluentes de suinocultura. *Ambi-Agua*, Taubaté: Universidade Federal de Lavras - UFLA, v. v. 4, 2009. 157-168 p.
11. RAMALHO, J. A. D. N. *Análise De Sistemas Piloto Composto Por Reator Uasb Seguido Por Lodo Ativado Com Decantação Intermediária*. Natal/RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.
12. RODRIGUES, L. D. S.. *Concepção e avaliação de sistema de tratamento com reator anaeróbio de manta de lodo (uasb) e lagoa de polimento para 36 águas residuárias de suinocultura*. [S.l.]: Escola de Veterinária da UFMG, 2008.
13. SANTANA¹, D. M. A.; OLIVEIRA², D. A. R. *Desempenho De reatores Anaeróbios De Fluxo Ascendente Com Manta De Lodo Em Dois Estágios Tratando Águas Residuárias De Suinocultura*. [S.l.]: [s.n.].
14. SILVA, D. C. P; AMARAL, D. A. A. *Tratamento de dejetos suínos com biorreator UASB*. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*
15. SILVA, V. F. D. *Avaliação da eficiência de tanque séptico no tratamento de esgoto sanitário e proposição de tecnologia complementar por meio de modelo de apoio multicritério à decisão*. Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Cerro Largo: CERRO LARGO – RS, 2016.
16. SOUZA, Í. T. A. D.. *Análise da influência da sazonalidade na eficiência da estação de tratamento de esgoto do município de caldas novas-go itala tainá alves de souza*. Instituto federal de educação, ciência e tecnologia Goiano – campus rio verde : Rio Verde, GO, 2019.
17. SPERLING, M. V. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Departamento de Engenharia Sanitaria e Ambiental - DESA, 1996.
18. SPERLING, M. V. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005b.
19. TONELLI, R. T. D. A. *Avaliação De Parâmetros Físico Químicos De Cama Sobreposta De Suínos Tratada Em Biodigestor*. Lavras - MG: Universidade Federal de Lavras , 2014

8. APÊNDICES

Apêndice 1

Dimensionamento dos reatores UASB (1 e 2)

DADOS	EQUAÇÃO	RESOLUÇÃO
TDH=12h	$TDH = \frac{V}{Q}$	Volume
Q=0.2ml/s	$V = TDH \times Q$	V=12×3600×0.2
V=?		V=8640ml
A=?	$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$	$V = \frac{8640}{1000} = \frac{8.64L}{1000} = 0.00864m^3$
H=?	$h = \frac{V}{A}$	Área
		$A = \frac{\pi \times (0.11)^2}{4} = 0.0095m^2$
		Altura
		$h = \frac{0.00864}{0.0095} = 0.91m \times 100$
		$= 91cm \approx 1m$

D=110mm

$$D = \frac{110}{1000} = 0.11m$$

1m=100cm

Onde: TDH- tempo de detenção hidráulica

Q- caudal

V- volume

A- area

H- altura

D- diâmetro

Apêndice 2

Cálculo da quantidade do biogás produzido

$2\text{m}^3/\text{semana} \times 12\text{semanas} = 24\text{m}^3$ em 3 meses

Adotando 70% da fração do metano, segundo (COELHO, 2021), tem-se:

DADOS	EQUAÇÃO	RESOLUÇÃO
FrM=70%	$Q_b = V_b \times FrM$	$Q_b = 24\text{m}^3 \times 70\%$
$V_b = 24\text{m}^3$		$Q_b = 16.8\text{m}^3$
$Q_b = ?$		

Onde: FrM- fração do metano

V_b - vazão do biogás

Q_b - quantidade do biogás

Apêndice 3

Reator UASB 1

Parâmetros	Amostr a 1	Amostr a 2	Amostr a 3	Amostr a 4	Amostr a 5	Amostr a 6			
							Media	Maxim o	Minim o
Coliformes totais	300	82	100	200	300	200	197	300	82
Coliformes fecais	7	0	0	23	9	38	12.83	38	0
E.coli	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turbidez	298	322	209	243	283.34	261.23	269.43	322	209
TDS	4132	4062	3010	2518	3347	2318	3231.17	4132	2318
Temperatura	23.8	24.2	22.7	22.7	23.2	23	23.27	24.2	22.7
C. eléctrica	8265	8126	6021	5031	6668	4635	6457.67	8265	4635
Ph	6.5	6.9	6.8	6.6	6.1	6.2	6.52	6.9	6.1
Cloretos	478	514.02	106.35	95.71	89.33	77.99	226.9	514.02	77.99
OD	6.59	6.95	6.45	6.88	6.35	6.88	6.68	6.95	6.35
DBO	4.32	4.25	3.8	4.27	4.11	4.02	4.13	4.32	3.8

DQO	3.49	3.11	2.71	3.62	3.28	3.1	3.22	3.62	2.71
Ferro	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
M. Orgânica	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Fósforo	0.06	0.05	0.04	0.06	0.04	0.05	0.05	0.06	0.04
Cálcio	112	114	100	98	90	92	101	114	90
Magnésio	70.27	78.32	61.97	62.22	59.53	56.12	64.74	78.32	56.12
Nitrogénio	1.28	1	1.48	1.3	1.6	1.96	1.44	1.96	1
Amónio	0.08	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	0.1	0.08	0.06

Apêndice 4

Reator UASB 2

Parâmetros	Amostr a 1	Amostr a 2	Amostr a 3	Amostr a 4	Amostr a 5	Amostr a 6			
							Media	Maxim o	Minim o
Coliformes totais	300	300	200	200	200	300	250	300	200
Coliformes fecais	4	22	52	27	26	45	29.33	52	4
E.coli	0	0	0	0	0	16	2.67	16	0
Turbidez	324	282	304	365.3	297.14	214.5	297.82	365.3	214.5
TDS	4000	3825	2113	3008	3134	2315	3065.83	4000	2113
Temperatura	23	23.9	22.5	23.3	23	22.9	23.1	23.9	22.5
C. eléctrica	8002	7650	4225	6022	6259	4634	6132	8002	4225
pH	6.7	6.5	6.7	6.1	6.2	6.7	6.48	6.7	6.1
Cloretos	434	460.85	99.26	106.35	74.44	82.26	209.53	460.85	74.44
OD	7.11	7.64	6.91	6.96	6.8	7.23	7.11	7.64	6.8
DBO	4.76	4.29	4.2	4.17	3.46	3.61	4.08	4.76	3.46
DQO	3.41	3.15	3.3	3.3	2.91	3.33	3.23	3.41	2.91
Ferro	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
M. Orgânica	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Fósforo	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.04
Cálcio	104	100	94	102	88	90	96.33	104	88
Magnésio	67.34	77.59	58.56	60.02	58.07	61	63.76	77.59	58.07
Nitrogénio	1.38	1.2	1.3	1.1	1.4	2.15	1.42	2.15	1.1
Amónio	0.07	0.05	0.05	0.06	0.08	0.06	0.062	0.08	0.05