

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

RENAN DE ASSIS DOS SANTOS

**MONITORAMENTO DE PROCESSOS QUÍMICOS DURANTE STARTUP DE
REATOR ANAERÓBICO UASB: ANÁLISES DA MANTA DE LODO PRESENTE DO
REATOR**

ARAGUAÍNA-TO

2021

RENAN DE ASSIS DOS SANTOS

**MONITORAMENTO DE PROCESSOS QUÍMICOS DURANTE STARTUP DE
REATOR ANAERÓBICO UASB: ANÁLISES DA MANTA DE LODO PRESENTE DO
REATOR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a
Universidade Federal do Tocantins - UFT, para
obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Joseilson Alves de Paiva.

ARAGUAÍNA-TO

2021


RENAN DE ASSIS DOS SANTOS


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal do Tocantins — UFT como requisito parcial da avaliação da disciplina Estágio Supervisionado IV—TCC.

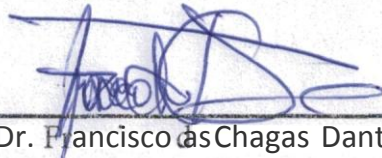
Orientador: Prof. Dr. Joseilson Alves de Paiva.

Aprovado em: 24 / 02 / 2021.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Joseilson Alves de Paiva (Orientador)


Engenheiro Químico Calilo Manoel Michel Miranda
Engenheiro Químico
CRO 12300746


Prof. Dr. Francisco das Chagas Dantas de Lemos

ARAGUAÍNA-TO

2021

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por estar sempre comigo, ajudando-me a acreditar que posso ir além, dando-me forças nas dificuldades. Sou muito grato ao meu orientador que nas horas de dúvidas foi fundamental para que eu prosseguisse com meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). A minha família foi de grande valia para minha motivação, todos os dias de realização deste curso. Agradeço a diretoria da empresa Gelnex, pois as visitas técnicas e observações colhidas no ambiente industrial permitiu um aprofundamento sobre a temática abordada. Evidencio que a maioria das vezes que estive preocupado com as responsabilidades em estudar, a motivação foi conseguida por meio de professores, amigos e familiares. Agradeço, portanto a Universidade Federal do Tocantins (UFT) como a principal parceira institucional para a consumação desta graduação. Meus professores que exemplarmente foram a minha inspiração e a minha família que esteve oferecendo o incentivo essencial para a continuidade do processo.

RESUMO

Esta pesquisa descreve o uso do reator anaeróbico utilizado em processos industriais, discutindo suas funções no tratamento de efluentes oriundos de atividades destas organizações. O princípio de funcionamento deste equipamento baseia-se na decomposição de materiais orgânicos, onde a sua eficácia depende da ação de microrganismos que agem diretamente nos resíduos. O resultado deste processo resulta na produção de alguns componentes, entre eles o gás metano. O objetivo desta pesquisa é descrever os processos físico-químicos e analíticos, que envolvem o monitoramento de parâmetros de funcionamento, durante startup de sistema, reator anaeróbico UASB. Deve-se resaltar que este sistema corresponde ao princípio de tratamento primário dos efluentes, pós-tratamento inicial, o efluente é direcionado para um segundo reator (Aeróbico) para dar prosseguimento ao tratamento final. Para a verificação *in loco*, foi realizada pesquisa na empresa Gelnex, localizada no município de Araguaína-TO. Onde utiliza-se um reator tipo UASB para tratamento primário dos efluentes oriundo do processo industrial. Nesse sentido descrevem-se os processos químicos durante o seu monitoramento, dando ênfase para dados como: alcalinidade total, acidez volátil, Ph e demanda química de oxigênio.

Palavras-chaves: Reator anaeróbico UASB. Análise químico-física.

ABSTRACT

This research aims to describe the use of anaerobic reactors for industrial purposes providing a discussion on its functions at wastewater treatment plants. The anaerobic reactor main goal is to decompose organic matter, where the decomposition efficacy is due to microorganisms presented in the reactor. On account of the decomposition, some by-products are formed, such as methane. The objective of this case study is to describe the physical-chemical process down to the last detail, as well as, its analytical aspects in which embraces the UASB reactor operational parameters during its start-up. Furthermore, the anaerobic reactor is the primary treatment, after the initial one, being followed by an aerobic reactor in order to conclude the treatment. For this reason, a company named Gelnex, situated on Araguaína-TO, was used to conduct the process verification. The wastewater produced during the company production process has its primary treatment at an UASB reactor. Consequently, the chemical processes are described during its period of monitoring, emphasizing data such as total alkalinity, volatile acidity, pH, and chemical oxygen demand (COD).

Key words: Anaerobic reactor UASB. Physical-chemical analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas da digestão anaeróbia

Figura 2: Desenho esquemático do reator UASB

Figura 3: Detalhes interno do reator anaeróbio

Figura 4: Detalhes do equalizador de pressão

Figura 5: Mapa de localização da GELNEX, Município de Araguaína/TO

Figura 6: Série histórica dos valores de pH e temperatura do reator anaeróbio

Figura 7: Série histórica dos valores de Alcalinidade total e Acidez volátil

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Concentração média de alcalinidade total do reator UASB

Tabela 02: Concentração média de acidez voláteis do reator UASB

Tabela 03: Série histórica dos valores médio de pH

Tabela 04: Variação da demanda química de oxigênio (DQO) média de saída do reator UASB

Tabela 05: Variação da temperatura média de saída do reator UASB.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Conjunto de imagens do Reator anaeróbico

Imagem 2: Buretas graduadas 50 mL, utilizadas na titulação

Imagem 3: CO₂ sendo eliminado pelo processo de aquecimento utilizando chapa aquecedora

Imagem 4: Equipamento de leitura de pH (FiveEasy Plus Benchtop FP20 pH/mV Micro Kit)

Imagem 5: Kit indicador de DQO reagente 20-1500mg/L para digestor (HACH)

Imagem 6: Reator para digestão de DQO (Demanda Química de Oxigênio) modelo DRB200

Imagem 7: Tubos de ensaio de vidro borossilicato

Imagem 8: Espectrofotômetro de bancada com faixa de comprimento de onda visível (de 320 a 1.100 nm)

Imagem 9: Equipamento de leitura de Temperatura (FiveEasy Plus Benchtop FP20 pH/mV Micro Kit)

LISTA DE ABREVIACOES

UASB: Do Inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (Manta de lodo anaeróbico de fluxo ascendente)

DQO: Demanda química de oxigênio

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Histórico	14
1.2 Fundamentos da digestão anaeróbia	15
1.3 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia	16
1.4 Alcalinidade total	16
1.5 Ácidos Graxos Voláteis (AGVs)	17
1.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	17
1.7 pH	18
1.8 Temperatura	18
1.9 Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo	19
2 OBJETIVOS	22
2.1 Objetivo geral	22
2.2 Objetivos específicos	22
3 METODOLOGIA	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 Startup do reator	27
4.2 Monitoramento físico-químico	27
4.3 Alcalinidade Total	28
4.4 Acidez Volátil	29
4.5 pH (potencial hidrogeniônico)	30
4.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)	32
4.7 Temperatura	34
4.8 Análise preliminar dos resultados	35
5 CONCLUSÃO	37
6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	38

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais o processo industrial utiliza de tecnologias para tratamento de resíduos, dejetos, bem como os efluentes, considera-se isto a parte que geralmente é descartada após os produtos ficarem prontos. A legislação ambiental e as demandas por uma consciência em produtos e processos que não agridam a natureza, faz com que haja investimentos em tratamentos de resíduos sólidos e líquidos oriundos das fábricas. Na produção industrial a utilização dos recursos naturais, principalmente a água de rios para diversos processos, assim como no caso de usinas de produção de alimentos, fertilizantes, produtoras de álcool, com também processamento de couros bovinos. Para estes processos são necessários antes do projeto de implantação, constar na estrutura os processos que incluem tratamentos de efluentes e as condições mínimas para que seja garantido a qualidade da água devolvida aos mananciais após o processo industrial (AMARAL,2004; AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

O progresso industrial traz consequências para o meio ambiente, isto é, quando não há controle tratamento de resíduos sólidos, rejeitos e efluentes, originados dos diversos processos industriais, contribuem negativamente para a natureza. Técnicas utilizadas para tratamento e consequentemente prevenção de rios são bem mais econômicas de que a sua recuperação quando se encontra poluído (SILVA, 2012).

O tratamento de efluentes não é uma alternativa para os empresários no processo de que instalação de indústria. Sabe-se que todas as etapas de cumprimento da legislação vigente devem ser realizadas, pois o funcionamento de produção ocorrerá após as devidas análises efetuadas pelos órgãos governamentais, como por exemplo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente – (IBAMA).

Uma das formas de tratamento para resíduos classificados como efluentes é a utilização de biodigestores, eles desenvolvem um importante papel junto a processos indústrias que geram este tipo de resíduos. O biodigestor é parte fundamental para o tratamento de efluentes industriais, este equipamento faz-se necessário devido a suas características, pois, realiza a separação de partículas poluidoras, permitindo assim a melhoria na qualidade do efluente que geralmente é despejado em mananciais de origem (VIVIAN, 2010).

A relevância do biodigestor para o tratamento de efluentes é incontestável, levando em consideração que a maioria dos sistemas de estação de tratamento de resíduos líquidos possuem o equipamento denominado de biodigestor como o principal fator para a estabilidade de condições físico-químicas dos efluentes, a fim de seja possível um descarte sem agressão ao meio ambiente (DE AZEVEDO FRIGO, 2015, p. 23).

No tratamento específico de efluentes, o biodigestor anaeróbico, desempenha papel indispensável no tratamento de poluente nas águas que foram originadas após o percurso do sistema fabril. Para que seja assegurado o padrão de qualidade do efluente, a parte líquida oriunda da indústria deve ser destinada para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), antes do seu retorno aos rios (VIVIAN, et al. 2010).

Os efluentes, no entanto, é a parte denominada de resto industrial ou resíduo, este tipo de material é largamente encontrado devido ao labor humano, quase sempre oriundo de processos industriais e por extensão, proveniente de esgoto. Como são na forma líquida e gasosa, quando não tratados devidamente, possuem o potencial de modificar os corpos que presentes no meio ambiente, podendo causar a famigerada poluição dos recursos hídricos (FRIES; AITA, 2009, p. 23).

A responsabilidade no tratamento de efluentes se faz necessária, pois o descarte inadequado deste pode comprometer a qualidade dos ecossistemas e gerara prejuízos ambientais, originando doenças e interferindo negativamente na qualidade de vida e o bem-estar social (AMARAL, 2004).

Os biodigestores, são equipamentos largamente utilizados na indústria, entretanto tem crescido sua utilização em propriedade privadas com o objetivo de produzir biogás e biofertilizante. Diversos são os materiais que podem ser processados no biodigestor, como por exemplo, restos de vegetais, principalmente nas usinas que industrializam produtos de origem vegetal (BORBA, et. al. 2010), como folhas, cascas de semente e palhas, algumas vezes há a combinação de restos vegetal, animal e de atividade humanas. No caso de animais, geralmente utiliza-se o esterco e a urina. Nos centros urbanos, onde se produz muito lixo doméstico, e conseqüentemente fezes e urina, constitui-se como outra alternativa de matéria que são encaminhadas para os biodigestores (AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

Tecnicamente o biodigestor é um recipiente onde se coloca os materiais que se deseja processar, devido a ocorrência da digestão da matéria, o equipamento tem esse nome, este processo ocorre no seu compartimento fechado, pois a técnicas é desenvolvida a partir do isolamento do ar atmosférico, nessas condições o material denominado de biomassa começa a ser metabolizado. As bactérias anaeróbicas são responsáveis diretas para que ocorra a digestão dos resíduos industriais (CABELLO, 2007).

Define-se um biodigestor como uma câmara hermeticamente isolada, onde a matéria acondicionada sofre atividades de fermentação anaeróbica, isto é, sem contato com o ar atmosférico, podendo produzir, dependendo dos resíduos que são colocados no seu interior, o gás metano e o biofertilizante, além de modificar a qualidade de resíduos líquidos, como os efluentes (AMARAL, 2004, p. 12).

No biodigestor existe um sistema de descarga onde é descartado o efluente, que nesse caso, oferece condições favoráveis para ocorrência do seu processo e geração de biofertilizantes, neste caso, o equipamento tem a função de produzir biogás, que é coletado em outro compartimento, denominado de gasômetro (AQUINO, 2005).

O emprego de fertilizantes orgânicos tem papel fundamental no aumento de produção, visto que, podem melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, além de promover um desenvolvimento vegetativo adequado à obtenção de produtividade economicamente viável produtores rurais (FERREIRA, 2016. P. 12).

Nesse sentido, os biodigestores apresentam funções para vários fins, como, o processamento de dejetos oriundos de propriedades de criação de animais de origem bovina ou em granjas. A agropecuária o utiliza para gerarem energia necessária para o próprio consumo e até obterem lucro com a produção obtida (SOUBES, 1994).

O biodigestor para realizar o processamento dos materiais, depende de muitos fatores, entre eles encontra-se, a temperatura e o potencial Hidrogeniônico (pH), sendo importantes para não somente a digestão anaeróbia, mas também para todos os processos biológicos, uma vez que está diretamente vinculado à taxa metabólica microbiana. Deve-se também observar as características dos materiais, estes devem oferecer condições de nutrientes para ação das bactérias digestoras. Outro aspecto importante nesta fase é o período para que aconteça todas as etapas, isto envolve um período específico que se chama tempo de retenção, este interstício é necessário para que ocorram as devidas transformações (MIELE, 2011).

No entanto, as grandes indústrias como as sulco-alcooleiras e as de produção de alimento investem fortemente em biodigestores, pois a legislação ambiental, dependendo o tipo de efluentes gerados destas indústrias, torna-se obrigatório a instalação do equipamento no complexo industrial. A contribuição na preservação do meio ambiente gerada pelo tratamento obtido nos biodigestores é confirmada cientificamente, seja no tratamento de efluentes industriais como para a redução dos gases que contribuem para o efeito estufa (AUGUSTO, et al. 2011).

Compreende-se, portanto, o papel de importância deste equipamento para a preservação do meio ambiente, interferindo diretamente na qualidade de vida das pessoas, promovendo o bem-estar, pois produzem energia que é utilizada para uma infinidade das atividades humanas. No caso de indústrias a redução dos impactos ambientais nos rios, devido ao tratamento de efluentes que são devolvidos nos rios locais.

1.1 Histórico

De acordo com Oliveira, et. al (2011), o princípio de funcionamento do biodigestor é baseado na aceleração da decomposição da matéria que está em seu interior, isto ocorre devido à ausência de oxigênio, obtendo como resultados deste ciclo operacional a produção de biogás e biofertilizante, podendo também ser produzido de forma artesanal desde que exista conhecimento sobre seu mecanismo e processos envolvidos.

Um biodigestor compõe-se, basicamente, de uma câmara fechada na qual uma biomassa (em geral detritos de animais) é fermentada anaerobicamente, isto é, sem a presença de ar. Como resultado desta fermentação ocorrem a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. É possível, portanto, definir biodigestor como um aparelho destinado a conter a biomassa e seu produto: o biogás (GASPAR, 2003, P. 15).

Na visão de Oliveira, et. al. (2011), este processo acontece naturalmente na natureza, porém nos biodigestor este processo de decomposição é acelerado, devido principalmente à ação das bactérias, para isto é essencial à manutenção dos parâmetros de ambiente equilibrado. Em um modelo básico de um biodigestor tem-se, a parte essencial que é o fermentador, é dentro deste recipiente que acontecerá toda a atividade anaeróbica.

O processo de digestão anaeróbia pode ser utilizado para resíduos orgânicos, tanto sólidos quanto líquidos, constituindo uma forma eficiente de tratamento, por trabalhar com quantidades consideráveis de matéria orgânica. Esse processo consiste em uma atividade realizada por grupos específicos de bactérias, que atuam sobre os dejetos orgânicos (FERREIRA, 2016. P. 07).

Para que ocorra decomposição da matéria por bactérias há de se condicionar um conjunto de fatores, pois isto interfere na qualidade da produção de gás obtida que depende e está intrinsecamente associada com a tecnologia utilizada, como também da natureza da matéria prima que se dispõe, assim para os biodigestores há a necessidade de escolher as funcionalidades de acordo ao objetivo que se deseja alcançar (AUGUSTO, 2011).

Conforme De Azevedo Frigo, et. al. (2015), as tecnologias utilizadas para o tratamento de efluentes, águas oriundas de processos indústrias são chamados de biodecompostores.

Silva, et al., (2014), enfatiza que, a alimentação do fermentador como sendo outro fator que interfere na qualidade do processamento de material e produção, pois há necessidade de flexibilização da tecnologia para atender aos vários tipos de resíduos que a indústria irá gerar, sendo que, o próprio fermentador é quem vai indicar o período de reabastecimento de substrato, ocasionando oscilações em cada processo realizado.

1.2 Fundamentos da digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo complexo, embora consista basicamente na degradação da matéria orgânica em ausência de oxigênio, que gera: gás metano, dióxido de carbono e outros produtos gasosos em proporções menores. A bioconversão na digestão anaeróbica depende de diversos microrganismos que atuam de forma conjunta para degradação do material orgânico. A **figura 1** apresenta etapas do processo anaeróbio e os subprodutos gerados em cada uma delas.

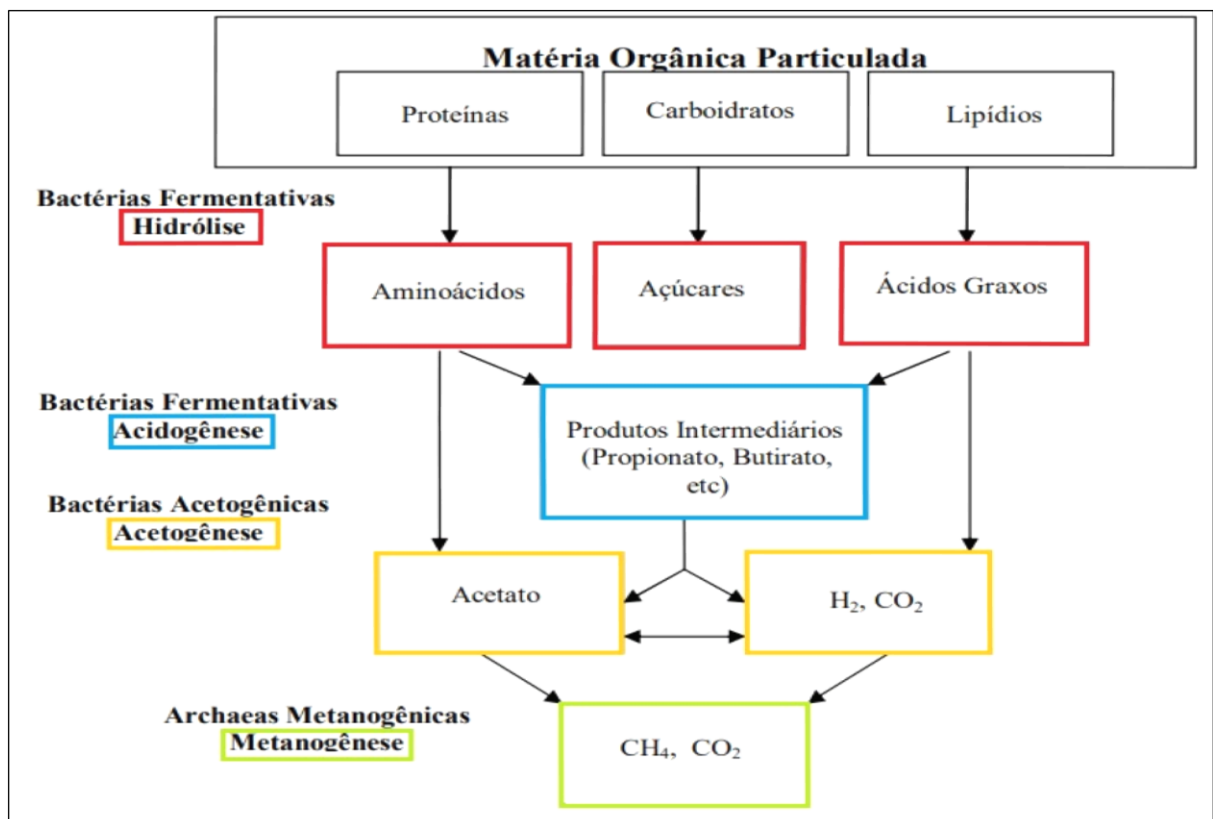


Figura 1. Etapas da digestão anaeróbia, Fonte: adaptado de Lettinga *et al.*, 1996).

Na hidrólise e acidogênese, uma das fases de digestão anaeróbia atuam as bactérias hidrolíticas fermentativas, onde o material orgânico complexo é convertido em açúcares, aminoácidos e ácidos. Em seguida, as bactérias acetogênicas consomem este material orgânico gerado pelas bactérias fermentativas, ocorrendo então a produção de hidrogênio, dióxido de carbono e acetato (SILVA, 2012).

O biogás gerado obtido no processo de digestão anaeróbia é composto principalmente por metano e dióxido de carbono, é produzido pela ação das arqueias metanogênicas hidrogenotróficas e as metanogênicas acetoclásticas, onde há o consumo do hidrogênio e acetato, respectivamente. A maior parte da produção de metano em sistemas anaeróbios

provém da conversão de acetato pelas metanogênicas acetoclásticas, por isto a importância da conversão da matéria orgânica em acetato (BORBA, 2011).

As espécies de metanogênicas capazes de formar metano a partir do acetato são geralmente os microrganismos predominantes na digestão anaeróbia. Pertencem a dois gêneros principais, *Methanosaeta* e *Methanosarcina*. O gênero *Methanosaeta* utiliza exclusivamente acetato tendo, por este, mais afinidade que as metanosarcinas. O gênero *Methanosarcina* é considerado mais versátil dentre os microrganismos metanogênicos, pois possuem espécies capazes de utilizar, além do acetato, também hidrogênio e compostos metilados, como as metilaminas e o metanol (Soube, 1994).

A formação dos produtos metabólicos intermediários deve estar em equilíbrio, para manter a eficiência do processo de digestão anaeróbia. A instabilidade do processo anaeróbio ocorre quando a velocidade de produção de ácidos é maior que seu consumo, acarretando queda do pH e inibição das atividades das arqueias metanogênicas, que são sensíveis a mudanças das condições ambientais (Ribas et al., 2007).

1.3 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia constitui um sistema ecológico sensível às variações das condições ambientais, principalmente quanto às arqueobactérias metanogênicas, que são as mais fortemente afetadas por variações nas condições ambientais. Os fatores mais importantes a serem observados na digestão anaeróbia são: a temperatura, o pH, alcalinidade, acidez volátil, descritas a seguir (RIBAS, 2007).

1.4 Alcalinidade total

A alcalinidade é um processo com papel importante na neutralização de ácidos originados no processo. Considerando uma condição tampão que é vital para os processos de digestão anaeróbia que neutraliza eventual produção de ácidos graxos (acético, propiônico, butírico). A forma de alcalinidade é originada por bicarbonatos, a qual é a principal fonte de capacidade tampão na faixa próxima a pH neutro (OLIVEIRA, 2011).

A alcalinidade produzida é devida principalmente à presença dos íons bicarbonato e carbonato. A relação de acidez volátil e alcalinidade (AV/AL) é o principal indiciador de desbalanceamento no sistema de digestão anaeróbia. Normalmente esta relação não deve superar a faixa de 0,1 e 0,3, apresentando um a partir de 0,4 indica possível instabilidade do

processo de digestão anaeróbia, como uma relação a partir de 0,8 indica um provável colapso do processo (Souza, 1984).

1.5 Ácidos Graxos Voláteis (AGVs)

Os ácidos graxos voláteis (ácido acético, propíonico, butírico) são os produtos intermediários mais importantes no processo de digestão anaeróbia (Smith, 1973). Um acúmulo elevado de ácidos graxos dentro do sistema pode causar um decréscimo do pH isto tem uma relação direta com a capacidade do tampão no processo (alcalinidade), pois pede ser adequada para neutralizar os ácidos acumulados.

Os AGVs desempenham um papel importante no monitoramento e controle de reatores anaeróbicos, pois são responsáveis por uma resposta rápida nas alterações no sistema, por exemplo, quando há sobrecargas orgânicas (Ahring et al., 1995), ou, no caso da introdução de um tóxico. O aumento destes ácidos tem influência direta com a diminuição da produção de biogás (Hill et al., 1987). A um pH em torno de 5, os ácidos graxos voláteis estarão dissociados em aproximadamente 50%. Uma concentração de ácido acético e ácido propiônico na forma desassociada de 16 e 6 mgDQO/L, pode causar 50% de inibição da atividade metanogênica (Zegers, 1987).

Ácidos graxos voláteis em sua forma não ionizada presentes em um pH do sistema inferior a 6, causar uma severa inibição das ações das bactérias metanogênicas. A medição dos AGVs indicando um possível desbalanceamento, tornando-se um limitante deste parâmetro de controle é o tempo de resposta do problema (CABELLO, 2007).

1.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO mede a quantidade equivalente de oxigênio presentes, necessários para oxidação das substâncias orgânicas presentes no afluente. A oxidação do afluente realizada no laboratório por oxidante forte em um meio ácido, a determinação deste parâmetro em análise laboratorial tem uma importância ambiental, pois, permite determinar características do efluente e determinar uma medida do grau de contaminação. Após a ADQO determinada há a escolha da tecnologia apropriada para estabilizar o efluente analisado. O parâmetro da DQO permite avaliar o desempenho operacional do reator anaeróbio em termos de matéria orgânica total removida no sistema (OLIVEIRA, 2011).

1.7 pH

O pH representa a concentração hidrogeniônica e determinante para obter acidez instantânea ou efetiva no sistema, para que os processos anaeróbios ocorram de forma satisfatória o pH deve estar na faixa de 6,5 a 7,5. No processo de degradação anaeróbia existem diversos tipos de bactérias como as metanogênicas e acidogênicas, o equilíbrio ecológico entre espécies de microrganismos anaeróbios interfere diretamente na eficiência do sistema de tratamento (MIELE et al. 2011).

Metcalf & Eddy (1991), relatam que o pH do sistema interfere no crescimento das bactérias, sendo que, a maioria delas não suportam pH acima de 9,5, ou abaixo de 4,0, eles descrevem que, a faixa ótima de pH para o crescimento de bactérias é entre 6,5 a 7,5.

Grupos bacterianos apresentam em geral níveis de atividade satisfatórios próximos a pH neutros, os grupos hidrolíticos na faixa de 7,02 a 7,4, os acetogênicos na faixa de 6,5 e 7,5, as baterias metanogênicas têm redução de sua atividade em pH acima de 7,8 ou menor que 6,3. A faixa de pH recomendado para a digestão anaeróbia é de 6 a 8,5. (CHERNICHARO, 1997).

Quando há um sobrecarga de matéria orgânica no sistema as bactérias metanogênicas então continuamente em sobrecarregadas, o reator apresentará uma queda do pH no sistema, causando acidificação no reator com um efluente de pH entre 4,5 a 5. (GASPAR, 2003).

1.8 Temperatura

A temperatura interfere na eficiência dos processos de digestão anaeróbia, quando atinge valores de 15° ou menores tende a decrescer seu rendimento. A temperatura influencia nas atividades dos microrganismos, além disso, também pode determinar a quantidade de energia produzida tendo relação pH-alcalinidade. Os microrganismos são classificados com base na faixa de temperatura ideal para crescerem e metabolizarem (Lettinga et al., 2001).

Os ambientes anaeróbios em relação à temperatura podem subdividir-se em três categorias: faixa psicrófila (0 e 20°C), faixa mesófila (20 e 45°C) e a faixa termófila (45 e 60°C). Com isto, alterações acentuadas de temperatura no reator podem gerar problemas críticos. Podendo ocorrer até a perda completa da flora microbiana metanogênica (FRIES; AITA, 2009).

Chernicharo (2007) relata que a produção do metano ocorrer numa faixa temperatura entre de 0 a 90 °C. Dois níveis de temperatura são associados à digestão anaeróbia, um na

faixa mesófila e outro na faixa termófila. Van Haandel e Lettinga (1994) distinguem também uma região de digestão mesofílica, abaixo de 45 °C, e uma região termofílica acima desta. Geralmente o projeto dos reatores anaeróbios tratando esgoto diluído é feito na faixa mesofílica. Com isto, regiões de clima quente são mais propícias para o tratamento de esgoto por processo anaeróbio.

1.9 Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo

Dentre os sistemas de tratamento anaeróbio existentes para efluentes de esgoto de tratamento doméstico ou industrial, iremos destacar o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, que é objeto de estudo do presente trabalho. Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo foram desenvolvidos na década de 70 pelo Prof. Lettinga e sua equipe na Universidade de Wageningen, na Holanda (van Haandel e Lettinga, 1994). Estes reatores são unidades de tratamento de esgoto, posteriormente foram disseminados em vários países, considerando a condição climática da região onde serão implantados. No Brasil a condição climática favorece a adoção deste tipo de sistema, tendo também vista, a carência deste sistema de tratamento de esgoto em território nacional, associado às vantagens que essa modalidade de tratamento apresenta.

Segundo Louzada (2000), a aplicação da tecnologia de sistema de tratamento anaeróbio para efluentes de esgotos sanitários se limita a poucos países, destacando-se que o maior número destes se encontra em países da América Latina. Em uma visão básica os reatores anaeróbios de fluxo ascendentes e manta de lodo, UASB, são constituídos por um tanque alimentado por esgotos pela base inferior, definindo um fluxo ascendente e com saída pela parte superior.

Ao longo do perfil vertical do tanque do UASB, o lodo (constituído dos grânulos de agregados de biomassa) varia a sua concentração. Na base do reator é formado um lodo mais denso e com elevada capacidade de sedimentação (leito de lodo), no entanto há uma variação gradativa até a superfície onde se encontra um lodo mais leve e disperso no topo do reator (manta de lodo). A Figura 2 apresenta um desenho esquemático do reator UASB. O fluxo ascensional Constante realiza o papel de misturar de substrato com a biomassa, neste contato é que é promovida a estabilização da matéria orgânica ao longo do leito e da manta de lodo (BORBA, 2012).

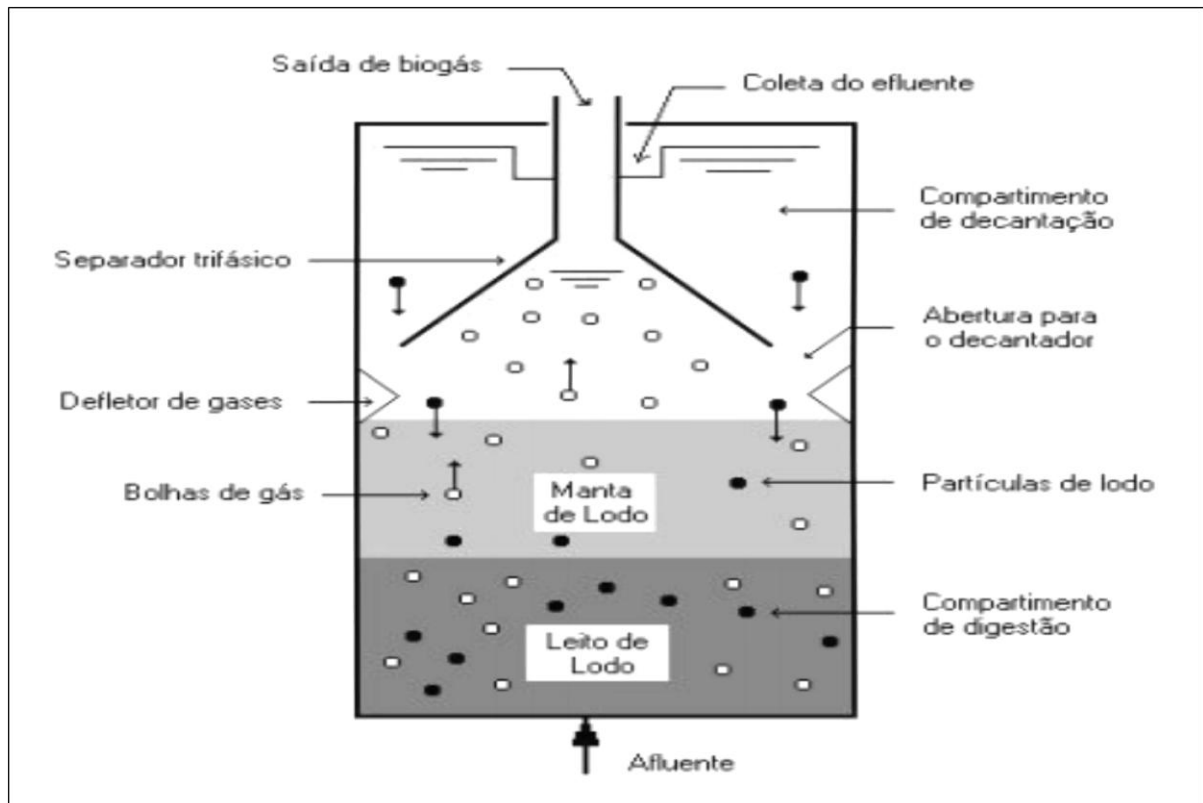


Figura 2. Desenho esquemático do reator UASB, Fonte: (Chernicharo, 1997)

Após a passagem pela zona de reação, o esgoto, por um mecanismo de separação de gases, os formados pelo processo (biogás) são conduzidos para o compartimento de saída de gases, onde é liberado na superfície da massa líquida. De outro lado, o esgoto, sem os gases dissolvidos, é direcionado para compartimentos de decantação. Neste compartimento de decantação a base do sistema tem uma inclinação onde os sólidos vão se depositando e, os flocos formados vencem a força de atrito e neste momento eles deslizarão encaminhando-se de volta ao compartimento de digestão (RIBAS, 2007).

Como se pode observar, a manutenção de velocidades adequadas (fluxo), como também a definição de mecanismos de separação eficientes de fases, tornam-se elementos que garantem a efetividade do desempenho do reator. Periodicamente há a necessidade de descarte de uma parcela do lodo produzido, ele apresenta-se com alta densidade e com alto grau de estabilização (OLIVEIRA, 2011).

Chernicharo (1997) destaca que, o desenvolvimento de biomassa de elevada atividade, como um eficiente dispositivo de separação de fases são aspectos fundamentais ao processo de tratamento no UASB. Este dispositivo, se bem projetado, garante uma eficiente separação dos gases da massa líquida, facilitando a entrada no compartimento de decantação

de líquido contendo nos reduzidos teores de gases gerados durante o processo, aumentando assim a eficiência da decantação dos sólidos suspensos que estão presentes na massa líquida.

Este presente trabalho descreve os processos químicos que envolvem o monitoramento do Reator Anaeróbico UASB, durante o período de startup que corresponde ao tratamento primário dos efluentes. Foi realizado em 2020 na indústria Gelnex Araguaína – TO. Onde destacam-se análises de determinação de alcalinidade total, acidez volátil, como também demanda química de oxigênio (DQO), pH e temperatura do efluente de saída do reator. Estas análises são importantes no acompanhamento dos parâmetros de funcionamento do sistema.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Descrever os processos físico-químicos e analíticos, que envolvem o monitoramento de parâmetros de funcionamento, durante a implantação de sistema, reator anaeróbico UASB.

2.2 Objetivos específicos

- Descrever o funcionamento de reator anaeróbico UASB.
- Descrever os processos analíticos de determinação de alcalinidade total, acidez volátil, demanda química de oxigênio (DQO), pH e temperatura.
- Apresentar dados coletados das análises obtidas durante o período de startup.

3 METODOLOGIA

As coletas de dados foram feitas na empresa Gelnex – Araguaína - Tocantins, no período de 01/setembro/2020 a 30/novembro/20. Onde foi observado e registrado o processo de startup, que corresponde à implantação e monitoramento do funcionamento de reator anaeróbico UASB. Associado a isto fez-se descrição e coleta de dados dos processos metodológicos de análises química como, dados de alcalinidade total, acidez volátil, demanda química de oxigênio (DQO), pH e temperatura do reator implantado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Descrição do equipamento, reator UASB

O reator UASB foi construído em alvenaria argamassada, impermeabilizada com Sika Top, a fim de melhorar e se prevenir qualquer corrosão. O reator possui um volume de 1.000 m³, com 12,0 metros de diâmetro e 9,0 metros de altura. **Imagem 1.**

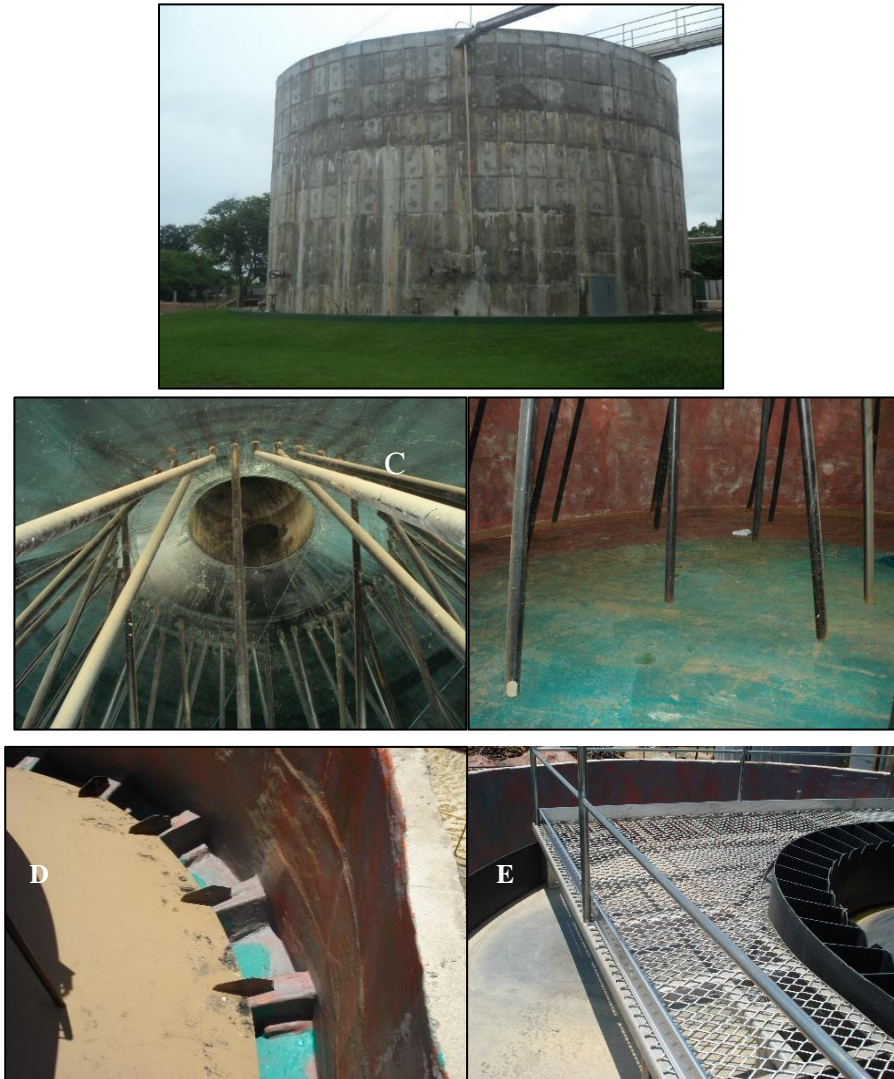


Imagem 1. Vista do reator anaeróbio, A – vista externa, B- Separador trifásico, C – Base do sistema e canais de fluxo ascendente, D – Vista superior do separador trifásico, E – Vista superior do reator Fonte: fotos do próprio autor

O separador trifásico do reator UASB foi construído utilizando-se chapas metálicas de aço inoxidável, com formato semicircular com diâmetro de 11 m. **Figura 3.**

O separador trifásico exerce também a função de um defletor de sólidos. Quando da ascensão de partículas sólidas (lodo) junto com bolhas de biogás, o choque destas com as paredes do separador trifásico faz com que se separassem, obrigando assim, os sólidos a retornarem, por sedimentação, para o fundo do reator.

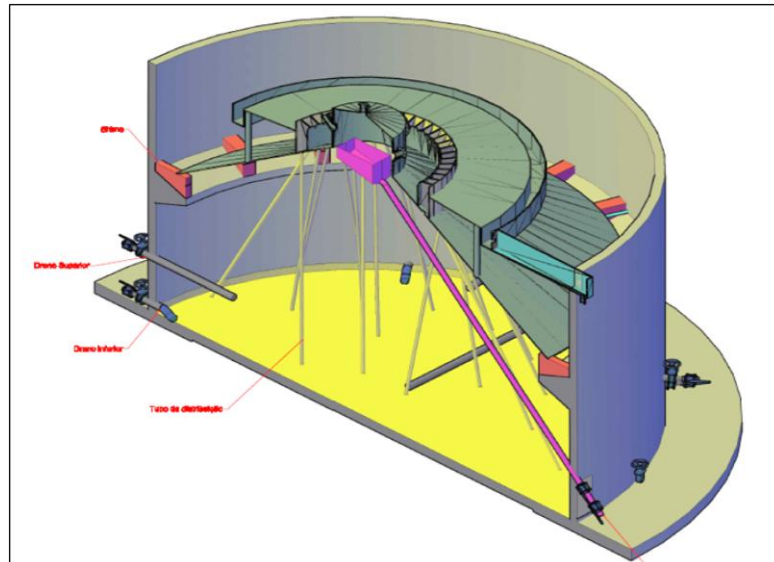


Figura 3. Detalhes interno do reator anaeróbico, Fonte: Gelnex Ind. E Comercio LTDA

O biogás produzido na degradação anaeróbica é coletado pelo separador trifásico (gás-sólido-líquido) instalado na parte superior do tanque. Esta estrutura de coleta permite que o líquido fique com menor turbulência e que as partículas de lodo retornem para a zona de digestão. O movimento ascendente das bolhas de biogás gera condições de mistura no interior do reator junto com o fluxo afluyente desde o fundo. O separador de fase favorece também o retorno do lodo para manter elevada a capacidade de retenção de uma quantidade importante de biomassa ativa.

O biogás é conduzido por meio de tubos aço inoxidável de 6" ao equalizador de pressão e, posteriormente, sendo reaproveitado na produção de vapor gerando economia de 15% no consumo de lenha nas caldeiras (Fonte: Gelnex Ind. E Comercio LTDA). **Figura 4.**

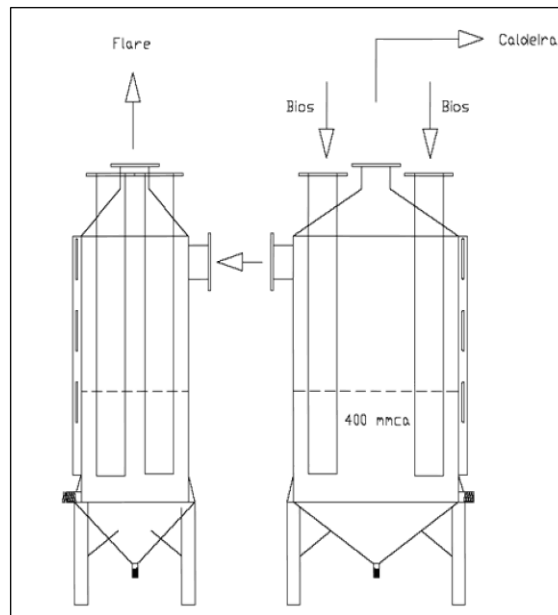


Figura 4. Detalhes do equalizador de pressão, Fonte: Gelnex Ind. E Comercio LTDA.

O afluente ingressa pelo fundo do reator mediante a 48 tubos de distribuição por onde o fluido escoe ascendentemente passando pela biomassa.

A empresa Gelnex indústria e comercio LTDA com área localizada na Rodovia TO –



222, km 10, Barra da Grota, Município de Araguaína/TO. **Figura 5.**

Figura 5: Mapa de localização da GELNEX, Município de Araguaína/TO. (Fonte: Imagem satélite – Google Earth – Coordenadas Geográficas 7o 11'59,49"S 48o 18'05,44" W)

A unidade atua na fabricação e comercialização de diferentes tipos de gelatina e colágeno de alta qualidade, destinadas a indústria alimentícia e farmacêutica, que são

distribuídos para o mercado interno brasileiro e internacional presente em mais de 50 países. O empreendimento é responsável pela produção total de gelatina no estado, e pela contratação da mão de obra local, contribuindo diretamente para o desenvolvimento da região.

Ademais, preocupa-se em respeitar princípios íntegros como o compromisso com a preservação ambiental, a responsabilidade social e transparência com seus fornecedores e clientes.

A indústria possui uma Estação de Tratamento de Efluentes – ETE exclusiva para os efluentes industriais, composta por tanques de equalização, caixas de decantação de sólidos, flotodecantador primário, reator anaeróbio tipo UASB, tanque de aeração forçada e decantadores secundários.

4.1 Startup do reator

Antes de iniciar a partida do reator foi realizado o teste de estanqueidade que consiste simplesmente em preencher o local com água. Após as primeiras 48 horas, foi realizada uma inspeção visual constatando que não havia vazamentos no tanque.

Para a partida do reator foi utilizado como inóculo, biomassa ativa proveniente de outros reatores da mesma unidade de tratamento de efluente. Foram inoculados 169 m³ de lodo anaeróbio, aproximadamente, 25% do volume útil do reator.

4.2 Monitoramento físico-químico

Os parâmetros de controle, utilizados no monitoramento do reator UASB durante sua partida, bem como a frequência das análises e metodologia, estão apresentados no **quadro 01**.

Quadro 1. Parâmetros, frequência e metodologia para as análises físico-químicas realizadas no lodo e no efluente.

Parâmetros Físico-químicos	Frequência	Metodologia
pH	Diária	Potenciometria
Alcalinidade total	5 x semana	Titulometria
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Diária	HACH Company Method 8000 aprovado pela USEPA.
Acidez total	5 x semana	Titulometria
Temperatura	Diária	Termômetro

Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2021.

As análises realizadas seguem as seguintes marchas analíticas para monitoramento dos parâmetros de funcionamento do reator. Deve-se ressaltar a necessidade de compreensão

destas técnicas utilizadas, pois o profissional responsável terá que realizar as marchas analíticas e apresentar os resultados com clareza. Estes dados obtidos das análises são responsáveis por explicitar as condições de funcionamento do reator UASB, e conseqüentemente avaliar o seu desempenho.

4.3 Alcalinidade Total

As análises de alcalinidade total foram realizadas das amostras coletadas durante o período de startup. Inicialmente é realizada a aferição do potenciômetro a pH 7,0. Logo após, com papel filtro quantitativo de filtração média (faixa branca) é feita a medição volumétrica de 50 mL da amostra filtrada em um Erlenmeyer de 500 mL. Utilizando titulação acidimétrica da amostra com uma solução de H₂SO₄ 0,1 N até o pH 4,0. O volume gasto na titulação é usado para calcular a alcalinidade total em CaCO₃. Através da **equação 1** é possível expressar a alcalinidade total em mg/L de CaCO₃. **Imagem 02.**

$$\frac{VG \times N \times 50.000 \times fc}{V \text{ amostra}} \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde:

N = normalidade do H₂SO₄

VG = volume gasto do ácido utilizado na titulação

V amostra = volume de amostra.

fc = fator de correção do H₂SO₄



Imagem 2. Buretas graduadas 50 mL, utilizadas na titulação. Fonte: fotos do próprio autor

A análise de alcalinidade total é um parâmetro fundamental na avaliação da estabilidade do processo anaeróbio, pois ela indica capacidade de neutralizar os ácidos formados e tamponar o pH quando ocorrer acumulação de ácidos voláteis, **Tabela 01:**

Tabela 01. Concentração média de alcalinidade total do reator UASB.

Parâmetros Físico-químico	Período					
	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
Alcalinidade Total (mg/L)	3581	3253	3112	2700	2525	2712

Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2021.

Como é apresentado na **Tabela 01** os valores da alcalinidade do reator UASB apresentam uma redução na alcalinidade total ao longo do período de startup, em função da caracterização do afluente, mantendo a capacidade de tamponamento do sistema, sendo fundamental para evitar desbalanceamentos do processo anaeróbio. A faixa da distribuição dos dados obtidos da alcalinidade foi de 2329 a 4378 mgCaCO₃/L, com uma média de 2974 mgCaCO₃/L.

4.4 Acidez Volátil

Para determinação da acidez voláteis é utilizada a mesma solução, em qual, foi realizada a determinação da alcalinidade total em CaCO₃. Em seguida adiciona-se ácido sulfúrico 0,1 N até pH 3,3 a 3,5.

Depois da titulação ácida se faz a retirada do dióxido de carbono (CO₂) formado na reação. A retirada do CO₂ é por aquecimento da amostra 75±5 °C por três minutos, colocando o Erlenmeyer sobre a chapa aquecedora da marca Tecnal. Após a eliminação do CO₂, a amostra é resfriada em banho de gelo até atingir a temperatura ambiente. **Imagem 03.**



Imagem 3. CO₂ sendo eliminado pelo processo de aquecimento utilizando chapa aquecedora

Fonte: fotos do próprio autor

Em seguida titula-se a amostra com solução de NaOH 0,1 N até o pH 4,0 inicialmente, prossegue-se a análise zerando-se a bureta, e titula-se a solução até pH 7,0 considera-se o volume gasto para o cálculo da acidez volátil, expressa em mg/L de CH₃COOH com a equação 2.

$$\frac{VG \times N \times 60.000 \times fc}{V \text{ amostra}} \quad (\text{Eq. 02})$$

Onde:

N = normalidade do NaOH.

VG = volume de NaOH gasto na titulação.

V amostra = volume de amostra.

Fc = fator de correção do NaOH.

Os valores obtidos para acidez voláteis indicam que o processo de digestão anaeróbia ocorreu a contento, **Tabela 02:**

Tabela 02. Concentração média de acidez voláteis do reator UASB

Parâmetro Físico-químico	Período					
	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
Acidez voláteis (mg/L)	114	130	78	130	96	74

Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2021.

Na **Tabela 02** mostra o comportamento da concentração de acidez volátil ao interior do reator anaeróbio UASB, apresentando resultados aceitáveis com concentrações médias iguais 104,0 mg/L. Observa-se, também, que os valores da acidez volátil não tiveram aumento superior ao limite de 200,0 mg/L. Indicando-se que a acidificação não comprometeu o processo de digestão anaeróbia.

Avaliando os parâmetros de ácidos voláteis e alcalinidade total, induz-nos a conclusão de que o processo não apresentou anormalidade durante os 90 dias de partida do sistema.

4.5 pH (potencial hidrogeniônico)

Para o pH foi usada a técnica de potenciometria, o pH era medido imediatamente após a coleta da amostra a cada 3 horas, no equipamento pHmetro modelo Five Easy da marca Mettler Toledo. **Imagem 04.**



Imagem 4. Equipamento de leitura de pH (FiveEasy Plus Benchtop FP20 pH/mV Micro Kit)
Fonte: fotos do próprio autor, 2021.

Para Chernicharo (1997) o pH ótimo em sistemas anaeróbios de tratamento de efluentes depende do substrato e dos micro-organismos envolvidos no processo.

A variação do pH de saída do efluente no reator UASB durante o período de partida do sistema está apresentado na **Tabela 03.**

Tabela 03. Série histórica dos valores médio de pH.

Parâmetro Físico-químico	Período					
	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
pH	7,31	7,68	7,54	7,32	7,41	7,26

Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2021.

O valor mínimo de pH do efluente de saída do reator foi de 7,12, enquanto que o valor máximo medido foi de 7,94, tendo como média para o startup de 7,42.

Conforme pode ser visto na **Tabela 03**, os resultados de pH, na saída do reator, indicam que o sistema operou nas faixas adequadas de pH para sistemas anaeróbios, o que ficou demonstrado que a alcalinidade do sistema está dentro dos parâmetros ideais para funcionamento. Isso pode ser visto pelos valores médios de pH na saída, havendo pouca variação do mesmo no sistema. Essa pequena variação dos valores de pH pode ser creditada ao reciclo do efluente, cuja alcalinidade é mantida no sistema.

4.6 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO é o método que determina a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica e inorgânica oxidável presente em uma amostra (APHA, 2012). A determinação da DQO foi feita seguindo o método Hach 8000, aprovado pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) para efluente. E para isto foi utilizado kit, onde se tem as soluções de reagentes já padronizadas e pré-dosadas (ácido sulfúrico e dicromato de potássio). Essas soluções vêm em tubos de ensaio de vidro borossilicato 16mm diâmetro (**Figura 5**) e faixa de análise 20 – 1500 mg/L.



Imagem 5. Kit indicador de DQO reagente 20-1500mg/L para digestor (HACH)
Fonte: fotos do próprio autor, 2021.

Para a determinação da DQO foi utilizado um reator modelo Hach DRB 200, onde as amostras do branco e do efluente de saída do reator UASB (Ponto 1 e Ponto 2) são colocadas a 150 °C por duas horas para ocorrer a digestão, **Imagem 6**.

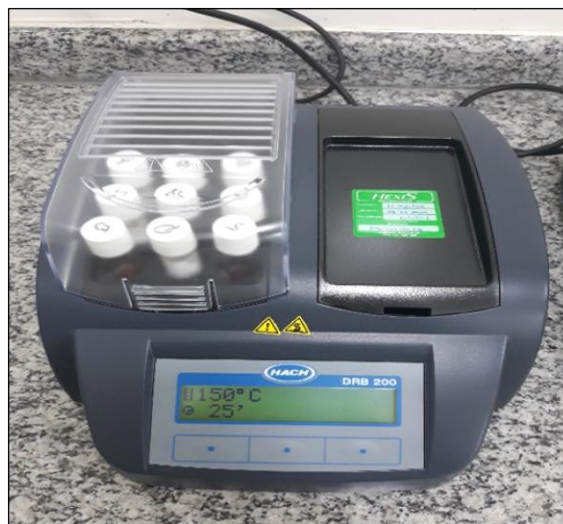


Imagem 6. Reator para digestão de DQO (Demanda Química de Oxigênio) modelo DRB200
Fonte: fotos do próprio autor, 2021.

Após as 2 horas de digestão à 150 °C, o reator é desligado por aproximadamente 20 minutos até que os tubos de ensaio atinjam 120 °C, para somente então ser retirados posteriormente. **Imagem 7.**



Imagem 7. Tubos de ensaio de vidro borossilicato. Fonte: fotos do próprio autor, 2021.

Após os Tubos de ensaio de vidro borossilicato estando sobre uma estante, é certificado que os mesmos estejam em temperatura ambiente, permitindo-se o início do processo de leitura da DQO em um espectrofotômetro modelo Hach DR 3900. **Imagem 8.**



Imagem 8. Espectrofotômetro de bancada, faixa de comprimento de onda visível (de 320 a 1.100 nm)
Fonte: fotos do próprio autor, 2021.

Contudo, antes da execução das análises, realizou-se diluições das amostras visando atingir o limite de detecção do kit utilizado.

Os valores das concentrações de carga orgânica de saída do reator UASB expressa em DQO total podem ser vistos na **Tabela 4**.

Tabela 4. Variação da demanda química de oxigênio (DQO) média de saída do reator UASB.

Parâmetro Físico-químico	Período					
	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
DQO (mg/L)	1751	1151	861	1090	801	1224

Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2021.

Os resultados obtidos mostram concentrações médias de DQO total foram de 1146 mg/L, indicando que não houve impacto negativo na manta de lodo do reator UASB durante seu período de partida.

4.7 Temperatura

A medição das temperaturas do efluente de saída do reator UASB foi realizada por meio do pHmetro modelo Five Easy da marca Mettler Toledo, que também mede a temperatura. As temperaturas eram medidas após a coleta das respectivas amostras. **Imagem 9.**

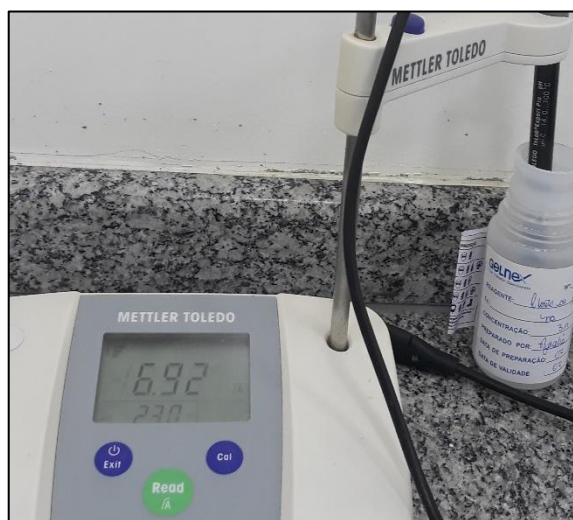


Imagem 9. Equipamento de leitura de Temperatura (FiveEasy Plus Benchtop FP20 pH/mV Micro Kit)
Fonte: fotos do próprio autor, 2021.

As faixas mais apropriadas para a operação da digestão anaeróbia são a mesofílica (20 a 42°C) com ótimo a 35°C e a termofílica (59 a 65°C) com ótimo em 55°C (CHERNICHARO, 1997).

Por ser um fator operacional de extrema importância, a variação da temperatura pode ser observada através da **Tabela 5**.

Tabela 5. Variação da temperatura média de saída do reator UASB.

Parâmetro Físico-químico	Período					
	15 dias	30 dias	45 dias	60 dias	75 dias	90 dias
Temperatura (°C)	35,09	36,23	36,79	36,88	35,75	34,92

Fonte: elaborado pelo próprio autor, 2021.

De acordo com a **Tabela 4**, observa-se um pico máximo de temperatura de 36,88°C, valor médio correspondente ao período de partida e um valor mínimo de 34,92°C, salienta-se que não ocorreram mudanças bruscas na temperatura.

Analisando os valores obtidos, pode-se observar que o sistema operou na faixa mesofílica, onde durante boa parte do período, as temperaturas foram próximas ao valor ótimo da atividade microbiana.

4.8 Análise preliminar dos resultados

As séries históricas dos resultados obtidos durante ao período de startup (90 dias) do reator UASB são apresentadas na **Figura 6 e 7**:

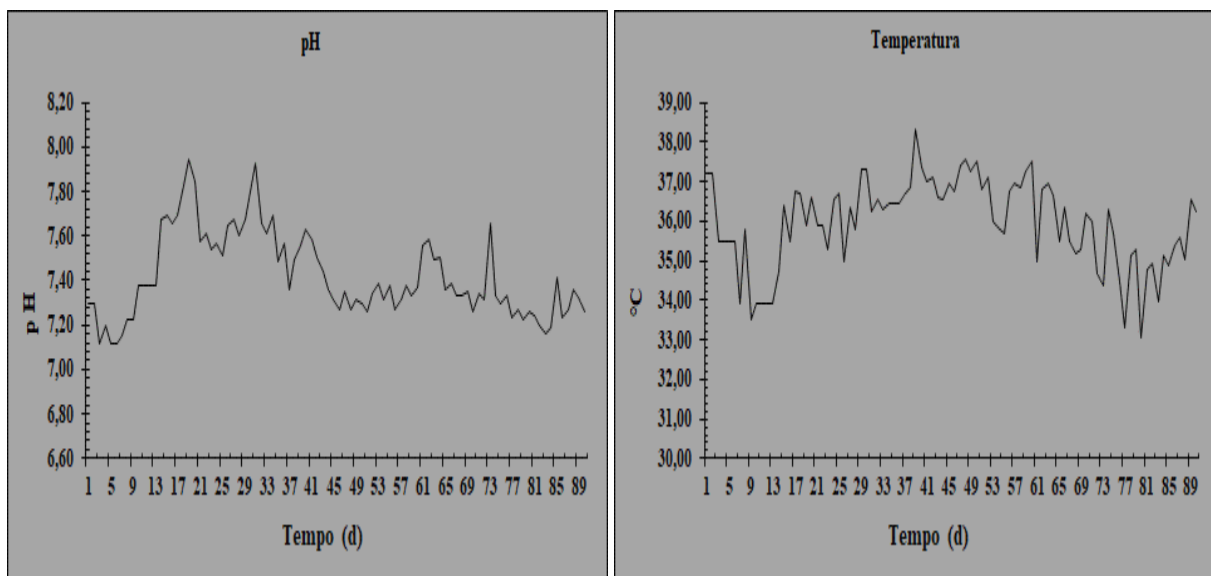


Figura 6. Série histórica dos valores de pH e temperatura do reator anaeróbio

Fonte: fotos do próprio autor, 2021.

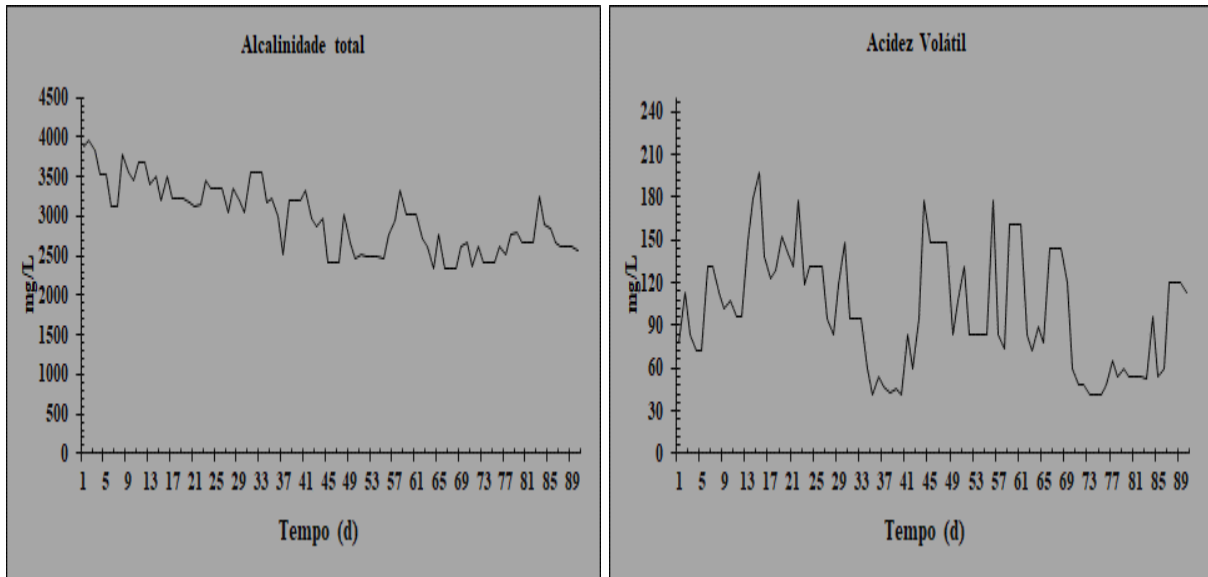


Figura 7. Série histórica dos valores de Alcalinidade total e Acidez volátil
 Fonte: fotos do próprio autor, 2021.

Os indicadores de estabilidade (pH, alcalinidades, ácidos voláteis e temperatura) mostraram-se eficientes no acompanhamento da digestão anaeróbia. Estes parâmetros indicaram que a digestão, no interior do reator UASB comportou-se de forma estável, com capacidade de auto-regulação, superando acúmulos de ácido voláteis momentâneos.

Quanto aos dados apresentando deve-se ressaltar que estes resultados obtidos se devem ao tipo de efluente industrial apresentando, que possui características próprias, inerentes ao processo industrial. Tendo suas características químicas, físicas e biológicas específicas de acordo com o ramo de atividade da indústria (Gelatina). Impossibilitando a comparação destes com os demonstrados na literatura. Portanto, cada reator é monitorado com suas especificidades de resultados de análises individualmente, em função do tipo de afluente.

5 CONCLUSÃO

O reator anaeróbico UASB, teve seu processo de startup realizado, estabelecendo os parâmetros de seu funcionamento, que deverão ser mantidos aproximados durante todo seu funcionamento.

Os parâmetros obtidos como: alcalinidade total, acidez volátil, demanda química de oxigênio (DQO), pH e temperatura do reator implantado, são característicos da natureza do efluente gerado na indústria de produção de gelatina.

Conforme pode ser visto na **Figura 6**, os dados apresentam que o reator UASB operou nas faixas adequadas de pH, indicando que o sistema não sofreu mudanças brusca na fase líquida que pudessem comprometer as diferentes populações de microrganismos anaeróbios, demonstrando que a biomassa presente no reator está aclimatada ao tipo de afluente. O reator operou na faixa de temperatura mesofílica, constatando sua importância no desempenho da comunidade microbiana anaeróbia.

O reator UASB apresentou boas condições de tamponamento, indicando que ocorreu a digestão anaeróbia no sistema. A capacidade tampão é fundamental para evitar desbalanceamentos do processo anaeróbio pela alta produção e acúmulo de ácidos orgânicos.

A utilização deste processo pela indústria local representa um importante papel na proteção ambiental da localidade e região onde está instalada, pois a mesma é responsável pelo tratamento dos efluentes por ela gerado.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMARAL, Cecília Maria Costa do et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, p. 1897-1902, 2004.

AQUINO, Sérgio F. de; CHERNICHARO, Carlos A. L.; **Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbicos sob estresse: causas e estratégias de controle.** Scientific Electronic Library Online. Disponível em: www.scielo.org. Vol. 10 – Nº 2 – Abr-Jun, 152-161, 2005.

AUGUSTO, Karolina Von Zuben et al. Tratamento e reuso do efluente de biodigestores no processo de biodigestão anaeróbia da cama de frango. 2011.

BORBA, Fernando Henrique et al. Avaliação da eficiência da técnica de eletro-floculação no tratamento de efluentes de indústrias de subprodutos avícolas. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 6, n. 1, 2010.

CABELLO, Cláudio. Tratamento de efluentes líquidos de fecularia em biodigestores anaeróbicos de fluxo ascendente. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 3, 2007.

CHERNICHARO C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbicos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG, v.5, 1997.

DE AZEVEDO FRIGO, Késia Damaris et al. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, v. 4, n. 1, p. 57-65, 2015.

DE MORAIS OLIVEIRA, Arley Borges et al. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 690-700, 2011.

DEMO, Pedro. **Metodologia científica em ciências químicas.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2018.
FACTOR, Thiago L.; DE ARAÚJO, Jairo AC; VILELLA JR, Luiz VE. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 143-149, 2008.

FERREIRA, Matos Camila. **Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção.** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, 2016. 52 f.: il.

FRIES, Marcos Rubens; AITA, Celso. Aplicação de esterco bovino e efluente de biodigestor em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo: efeito sobre a produção de matéria seca e absorção de nitrogênio pela cultura do sorgo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, v. 20, n. 1, 2009.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias Propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: Um estudo de caso na região de**

toledo-pr. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LETTINGA, G.; HULSHOF Pol, L. W.; ZEEMAN, G. **Anaerobic wastewater treatment**. 1996. In: Biological wastewater treatment, Wageningen Agricultural University.

MIELE, M. et al. Impacto econômico de um sistema de tratamento dos efluentes de biodigestores. In: **Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá. Anais... Cuiabá: Sbea, 2011. 1 CD-ROM. CONBEA., 2011.

OLIVEIRA, Arley Borges de Moraes et al. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 690-700, 2011.

ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de. Potencial de produção de biogás remanescente nos efluentes de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos, com e sem separação da fração sólida, e conduzidos sob diferentes tempos de retenção hidráulica. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 679-686, 2009.

APHA, **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**, 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2012.

RAUPP, Fabiano Maury et. al. **Como elaborar trabalhos monográficos: teoria em pratica**. 3 eds. Atlas. São Paulo, 2016.

RIBAS, M. M. F.; MORAES, E. M.; FORESTI, E. **Avaliação da acurácia de diversos métodos para determinação de ácidos graxos voláteis e alcalinidade a bicarbonato para monitoramento de reatores anaeróbios**. 2007. In: ABES 007/06.

SILVA, Felipe Pinheiro et al. Parâmetros físico-químicos na operação de biodigestores para suinocultura. **Revista Tecnológica**, p. 33-41, 2014.

SILVA, Wilson Tadeu Lopes da et al. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química Nova**, v. 35, n. 1, p. 35-40, 2012.

SOUBES, M. **Microbiologia de la digestion anaerobia**. 1994. In: Anais III Taller y Seminario Latinoamericano: tratamiento anaerobio de aguas residuales. Montevideo, Uruguay, 15-28.

SOUZA, M. E. **Fatores que influenciam a digestão anaeróbia**. DAE, 44, 88-94. (1984).

VIVAN, Marcelo et al. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.