



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

DIVISÃO DA AGRICULTURA

CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Desempenho de um Sistema de Tratamento de Água de Esgoto Sanitário Composto por Tanques Sépticos, Reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) e Lagoas Facultativas no Primeiro Bairro do Município de Chókwè.

Autor: Aristides Salvador Matavele

Tutor: Mário Tauzene Afonso Matangue, Ph.D

Lionde, Setembro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Monografia científica sobre DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE ESGOTO SANITÁRIO COMPOSTO POR TANQUES SÉPTICOS, REATOR UASB (UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET) E LAGOAS FACULTATIVAS NO PRIMEIRO BAIRRO DO MUNICÍPIO DE CHÓKWÊ, apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Divisão da Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

Monografia defendida e aprovada no dia 6 de Agosto de 2021

Júri

Supervisor:



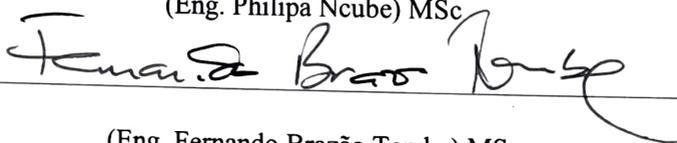
(Dr. Mário Tauzene Afonso Matangue) Ph.D

Avaliador 1:



(Eng. Philipa Ncube) MSc

Aaliador 2:



(Eng. Fernando Brazão Tembe) MSc

Lionde, Setembo de 2021

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJECTIVOS	3
1.1.1. Geral.....	3
1.1.2. Específicos	3
1.2. Problema e justificação	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Esgoto	5
2.1.1. Esgoto sanitário.....	5
2.1.2. Parâmetros físico-químicos e biológicos de esgoto sanitários.....	5
2.2. Parâmetros Físicos	5
2.2.1. Odor.....	5
2.3. Parâmetros Químicos	6
2.3.1. Demanda bioquímica de oxigénio (DBO).....	6
2.3.2. Demanda Química de Oxigénio (DQO).....	6
2.3.3. Nitrogénio.....	7
2.3.4. Fósforo	7
2.3.5. Potencial hidrogeniónico (pH)	8
2.4. Parâmetros Biológicos	8
2.4.1. Coliformes Termotolerantes.....	8
2.4.2. Coliformes fecais.....	8
2.4.3. Escherichia coli	9
2.5. Unidades de tratamento de água residuárias	9
2.5.1. Tempo de detenção hidráulico médio (TDH)	9
2.5.2. Tanque Séptico	9
2.5.3. Projeto de tanques sépticos	9
2.5.4. Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket).....	10
2.5.5. Projeto de reator UASB	11
2.5.6. Lagoas facultativas.....	11
2.5.7. Projeto das lagoas facultativas	11
3. METODOLOGIA.....	12
3.1. Localização da área de estudo.....	12
3.2. Concepção do Sistema de Tratamento de Esgoto na Escala de Bancada (STEEB)	14
3.3. Caracterização do Sistema de Tratamento de Esgoto na Escala de Bancada	16

3.3.1. Parâmetro do efluente doméstico	16
3.3.2.2. Tanques sépticos	17
3.3.2.3. Reator UASB.....	20
3.3.4. Avaliação da eficiência do Sistema de Tratamento do Esgoto Sanitário em escala de Bancada.....	24
3.3.5. A partida do Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário em Escala de Bancada	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5. CONCLUSÃO	42
6. RECOMENDAÇÕES	43
7. REFERÊNCIAS	44
8. ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: CONCENTRAÇÃO E PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DO ESGOTO SANITÁRIO ...	5
TABELA 2: MATERIAL USADO NA CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO	15
TABELA 3: ROTINA DE MONITORAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM ESCALA DE BANCADA	25
TABELA 4: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DO ESGOTO SANITÁRIO DA CIDADE DE CHÓKWÈ.....	27
TABELA 5: DADOS DO TANQUE SÉPTICOS	28
TABELA 6: EFICIÊNCIA DOS TANQUES SÉPTICOS NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	29
TABELA 7: DADOS DO REATOR UASB.....	31
TABELA 8: EFICIÊNCIA DO REATOR UASB	32
TABELA 9: DADOS DE DIMENSIONAMENTO DE LAGOA FACULTATIVA	34
TABELA 10: EFICIÊNCIA DAS LAGOAS FACULTATIVAS	34
TABELA 11: DADOS DE EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE TRATAMENTO.....	37
TABELA 12: AVALIAÇÃO DO ESGOTO TRATADO	41
TABELA 13: TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA (H)	47
TABELA 14: CLASSE DE LANÇAMENTO E REUSO DE ESGOTO DOMÉSTICO.....	47

LISTA DE FIGURA

FIGURA 1: TANQUE SÉPTICO DE CÂMARA ÚNICA E SEUS COMPONENTES.....	10
FIGURA 2: ESQUEMA DE UM REATOR UASB.....	10
FIGURA 3:ESQUEMA DE UMA LAGOA FACULTATIVA	11
FIGURA 4: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	12
FIGURA 5: (1) PONTO DE COLECTA DE COMPOSTO POR CAIXA DE AREIA E O SISTEMA DE GRADEAMENTO EM FLUXO VERTICAL E (2) PONTO DE LANÇAMENTO DE ESGOTO A QUAL FAZ PARTE DA VALA DE DRENAGEM	13
FIGURA 6:MATERIAL USADO PARA CONSTRUÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO	15
FIGURA 7:LAYOUT FINAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO	16
FIGURA 8: VISTA GERAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO NA ESCALA LABORATORIAL OU DE BANCADA	17
FIGURA 9: FASE CONSTRUTIVA DO MODELO DE TANQUE SÉPTICOS, DESTAQUE PARA ABERTURA DOS FUROS E COLOCAÇÃO DAS TAPAS	19
FIGURA 10:ESQUEMA DO PROJETO DOS TANQUES SÉPTICOS E OS DETALHES DOS SEUS COMPONENTES	19
FIGURE 11: O REATOR UASB DESTAQUE PARA OS DISPOSITIVOS DE ENTRADA (3) SAÍDA (1) E O SEPARADOR TRIFÁSICO (2).....	21
FIGURE 12: ESQUEMA DO PROJETO DO REACTOR UASB.....	22
FIGURE 13:MODELO DE LAGOA FACULTATIVA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO	23
FIGURE 14: ESQUEMA DO PROJETO DAS LAGOAS	24
FIGURE 15: AMOSTRA COLECTADA.....	26
FIGURA 16: VARIAÇÃO MENSAL DE CONCENTRAÇÃO DE DBO, DQO, N E P DO EFLUENTE DO TANQUE SÉPTICO	30
FIGURA 17:VARIAÇÕES DE CONCENTRAÇÕES MÉDIAS REATOR UASB	33
FIGURA 18:VARIÇÃO MENSAL DAS CONCENTRAÇÕES.....	35
FIGURA 19: SISTEMA DE TRATAMENTO EM FUNCIONAMENTO.....	36
FIGURA 20:VARIAÇÃO DE MÉDIAS POR UNIDADE DE TRATAMENTO	37
FIGURE 21: VARIAÇÃO DE EFICIÊNCIAS DE DBO, DQO, N E P POR UNIDADE DE TRATAMENTO	38
FIGURE 22:MATERIAL USADO.....	49

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- COV- Carga orgânica volumétrica;
- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio;
- DQO - Demanda Química de Oxigênio
- d - Dia
- ISPG - Instituto Superior Politécnico de Gaza
- m - Metro
- m² - Metro quadrado;
- m³ - Metro cúbico;
- ml - mililitros
- N- Nitrogênio
- NBR - Norma Brasileira;
- OD - Oxigênio Dissolvido
- P - Fósforo
- pH - Potencial hidrogeniônico;
- S - Segundos
- SS - Sólidos em suspensão
- STEEB - Sistema de Tratamento de Esgoto na Escala de Bancada
- TDH - Tempo de detenção hidráulica;
- TDS - Sólidos totais dissolvidos
- UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reactor anaeróbico de fluxo ascendente);
- °C - Graus celsius;
- % - Percentagem;



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Declaração

Declaro por minha honra que este 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, Setembro de 2021

Aristides Salvador Matavele

DEDICATÓRIA

Eu dedico este trabalho aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelos todos feitos desde o início desta jornada e por permitir que tudo acontecesse sobre sua vontade.

O meu maior agradecimento ao Dr. Mário Tauzene Afonso Matangue pela paciência, compreensão e pelo todo auxílio prestado para o término desta jornada

Agradecer aos meus pais, Orlando e Maria Piedade, as minhas irmãs, Helga, Nelfa e Orlanda, pelo apoio e suporte em todos os momentos da vida, a todos familiares que com muita persistência apoiaram sem se cansar, agradeço também a todos colegas e amigos que direta ou indiretamente ajudaram para que este propósito se concretizasse.

RESUMO

O presente trabalho fala do tratamento de esgoto sanitário em Moçambique precisamente no primeiro bairro da cidade de Chókwè e reuso de efluentes tratados na irrigação agrícola. Foi aplicado neste trabalho um sistema de tratamento anaeróbio e aeróbio composto por um reator (UASB), tanques sépticos e lagoas facultativas, objetivando o reuso do efluente tratado na irrigação agrícola a luz das normas técnicas Moçambicanas e Brasileiras (NBR-12209/1992; NBR-13969/1997; NBR-7229/1993), como uma alternativa viável para sanar o problema causado pela possível ineficiência do sistema atualmente usado para tratar esgoto sanitário. O sistema de tratamento em miniatura foi instalado no Instituto Superior Politécnico de Gaza e monitorado por aproximadamente 8 meses, sendo que os primeiros dois meses foram para construção, instalação, implantação da população bacteriana que se usou o esgoto suíno para acelerar o processo e a coleta das primeiras amostras do sistema e nos restantes meses foram feitas coletas das amostras e as análises em um laboratório de referência na cidade de Xai-Xai na província de Gaza (Laboratório Provincial de Higiene Água e Alimentos). Os resultados destas análises foram analisados e processados usando o Excel. Com o estudo foram obtidos resultados referentes as aplicações dos parâmetros dos projectos do sistema de tratamento, tendo sido avaliadas as variações das médias de eficiências do sistema de tratamento nos parâmetros que se seguem; Ferro (47 %), Fósforo (70.93 %), Matéria orgânica (100 %), DQO (98%), DBO (100 %), OD (57.5%) e Nitrogénio (88.47 %) tendo uma média das eficiências acima de 50% dando um aproveitamento positivo ao estudo. Entretanto o sistema de tratamento de esgoto apresentou resultados de eficiência de poluentes, com médias superiores aos estipulados na norma para qualidade de água do reuso na irrigação agrícola, tendo DBO < 5.0; DQO <50; Nitrogénio <0,7. E por fim conclui-se que o sistema de tratamento de esgoto sanitário estudado pode ser uma alternativa viável para tratar o esgoto sanitário do primeiro bairro de Chókwè.

Palavra-chave, Esgoto sanitário, Tanque Séptico, Reator UASB, Lagoas facultativas

ABSTRACT

The present work reflected on the treatment of sanitary sewage in Mozambique precisely in the first district of the city of Chókwè and the reuse of effluents treated in agricultural irrigation. An anaerobic and aerobic treatment system composed of a reactor (UASB), septic tanks and optional ponds was developed in this work, aiming at reusing the effluent treated in agricultural irrigation in light of Mozambican and Brazilian standards (NBR-12209/1992; NBR - 13969/1997: NBR-7229/1993), as a viable alternative to solve the problem transmitted by the possible inefficiency of the system currently used to treat sanitary sewage. The miniature treatment system was installed at the Higher Polytechnic Institute of Gaza and monitored for approximately 8 months, the first months being for construction, installation, implantation of the bacterial population that formed the swine sewage to speed up the process and the collection of the first ones belong to the system and in the remaining months, they were collected from our analyzes in a reference laboratory in the city of Xai-Xai in the province of Gaza (Provincial Laboratory for Water and Food Hygiene). The results of the analyzes were formed and processed using Excel. With the study, results were obtained regarding the application of the parameters of the treatment system projects, having been evaluated as variations in the average efficiencies of the treatment system in the parameters that follow; Iron (47%), Phosphorus (70.93%), Organic matter (100%), COD (98%), BOD (100%), OD (57.5%) and Nitrogen (88.47%) having an average efficiencies above 50% giving a positive result to the study. However, the sewage treatment system results in pollutant removal efficiency, with averages higher than those stipulated in the standard for water quality for reuse in agricultural irrigation, having BOD < 5.0; COD <50; Nitrogen <0.7. Finally, it is concluded that the studied sewage treatment system may be a viable alternative to treat the sewage of the first district of Chókwè.

Keywords: Sanitary sewer, Septic tank, UASB reactor, Optional ponds

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso vital na natureza e desempenha papel fundamental na vida dos seres vivos. Por muito tempo água foi considerada um recurso inacabável no planeta. Apesar de todos os esforços para armazenar e diminuir o seu consumo, ficando esta cada vez mais escassa e sua qualidade se deteriorando a cada atividade humana nela aplicada, uma das soluções para esta escassez, o saneamento do meio e principalmente o tratamento de esgoto (CIESIELSKI, 2011).

Segundo BRAZIL (2008), o tratamento de esgoto tem como propósito retirar a maior parte do material sólido da água e devolver de forma mais limpa à natureza, de modo a atender aos padrões de qualidade de lançamento de efluente, conforme a legislação vigente. A escolha do sistema de tratamento de esgoto deve levar em consideração a situação do corpo receptor e sua capacidade de autodepuração.

Nos sistemas de tratamento anaeróbio procura-se em acelerar a digestão criando-se condições favoráveis. Essas condições se referem tanto ao próprio projeto do sistema de tratamento como às condições operacionais nele existente. O desenvolvimento de reatores fundamentados no processo anaeróbio vem ocorrendo nas últimas décadas e provocando mudanças na concepção dos sistemas de tratamento de águas residuárias. O sistema anaeróbico e de extrema aceitação pelas inúmeras vantagens aplicáveis em tais como a rápida remoção de matéria orgânica (SCHUMANN, 2016).

A tendência de uso de reatores anaeróbio como principal unidade de tratamento biológico de esgoto deve-se, principalmente à constatação de fração considerável de material orgânico que pode ser removido em geral próximo de 70%, nessa unidade sem dispêndio de energia ou adição de substâncias químicas auxiliares (SCHUMANN, 2016).

Em função da rápida e crescente urbanização e da necessidade de opções adequadas de tratamento de água residuárias de baixo custo, o reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), como tecnologia amplamente estudada mostra-se como uma opção apropriada para o tratamento de efluentes domésticos em países tropicais em desenvolvimento (CHERNICHARO, 2007).

A unidade de pós-tratamento pode ser usada para a remoção de parcela da fração remanescente de matéria orgânica, de forma a permitir a produção do efluente final com

qualidade compatível com as necessidades que se impõem pelos padrões legais de emissão de efluentes e a reservação do meio ambiente (CAMPOS, 1999).

Países em via de desenvolvimento mantêm baixos índices de investimento no tratamento de esgoto, onde essa situação é agravada pelo intenso crescimento populacional nos centros urbanos, contribuindo para que a qualidade dos corpos hídricos fosse imensuravelmente afetada, inclusive extrapolando os territórios urbanos. Consequente, há uma necessidade de adoção de práticas que permitam a conciliação dos modos de produção das premissas da qualidade ambiental (BRASIL, 2008).

Segundo ALBERTO *etal* (2010) Moçambique é um dos países mais pobres do mundo, os investimentos em infraestruturas dentre elas o de abastecimento de água e esgotamento sanitário devem desempenhar um importante papel no processo. Neste sentido, para redução de iniquidades, o Governo Nacional declara que o saneamento, a saúde e o meio ambiente têm sido colocados no topo da agenda do Estado (MUHATE, 2016).

Tendo como propósito o auxílio no saneamento a saúde pública do distrito de Chókwé, foi realizado no Instituto Superior Politécnico de Gaza um trabalho que teve como propósito a avaliação de desempenho de um sistema de tratamento de esgoto sanitário em escala laboratorial para primeiro bairro do Município de Chókwè, com vista a propor uma alternativa de saneamento sustentável ao meio ambiente e despertar a consciência em reuso de efluente doméstico tratados na agricultura.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

- Avaliar o desempenho de um sistema de tratamento de esgoto sanitário do primeiro bairro do município de Chókwè em escala de bancada composto por tanques sépticos, reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) e lagoas de facultativas, operados em série visando o reúso de efluente na agricultura.

1.1.2. Específicos

- Determinar os parâmetros do projeto de tanques sépticos, reator UASB, lagoas facultativas;
- Determinar parâmetros físico-químicos e biológicos do esgoto sanitário;
- Determinar parâmetros físico-químicos e biológicos do efluente tratado em cada unidade;
- Estimar o desempenho do sistema de tratamento de esgoto.

1.2. Problema e justificação

O tratamento ineficiente das águas residuais é um dos graves problemas para a saúde humana e para o meio ambiente, polui as águas, solo e ainda afecta diretamente a qualidade do ar através da emissão de maus odores (COLARES, 2013).

O esgoto sanitário do primeiro bairro do município de Chókwè é coletado através de uma rede de esgoto e lançado na vala de drenagem agrícola a qual possui várias espécies vegetais, torna-se em uma " natural que descarrega o seu efluente no rio Limpopo após 5 km de percurso do ponto de entrada do esgoto (HICEP, 2003).

O rio Limpopo em alguns pontos ou trechos próximos de locais de descarga de esgoto ou efluente agrícola pode estar sujeito ao processo de eutrofização, o qual é bastante notável na época fresca quando a vazão é menor.

Neste contexto surge de um lado a necessidade de mais estudos de monitoria e avaliação desta vala de drenagem perspetivando o aumento do seu desempenho e por outra vertente, uma proposta de novos sistemas alternativos de tratamento de esgoto sanitário para o primeiro bairro de município Chókwè que sejam eficientes e de baixo custo, capazes de tratar não só a matéria orgânica carbonácea, mais também a nitrogenada e fosfatada e o reaproveitamento do efluente na agricultura.

Os sistemas anaeróbicos concretamente os tanques sépticos e o reator USAB são conhecidas pela sua elevada eficiência, isto é, acima de 95.0 % na remoção de matéria orgânica carbonácea e semelhantemente, na mesma percentagem as lagoas facultativas são alternativas acertadas na remoção da matéria orgânica nitrogenada e fosfatada sobretudo em regiões semiáridas e tropicais (CHERNICHARO, 2007).

Portanto, o presente trabalho tem como escopo avaliar o desempenho de um sistema anaeróbio de tratamento de esgoto sanitário de primeiro bairro do município de Chókwè em escala laboratorial composto por tanque séptico, reator anaeróbio e lagoas facultativas operando em série, visando o reuso de efluentes na agricultura e os resultados obtidos poderão servir de base para dimensionar um sistema em escala real alternativo à vala de drenagem que no cômputo geral possui baixo desempenho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Esgoto

2.1.1. Esgoto sanitário

Esgoto é o termo utilizado para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidades públicas, as de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais, e outros efluentes sanitários (ANDRADE, 2016). O esgoto sanitário pode ser definido como o despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industriais, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária (ABTN, 1986).

2.1.2. Parâmetros físico-químicos e biológicos de esgoto sanitários

Análises laboratoriais são baseada em parâmetros físico-químicas e biológicas dos principais parâmetros de eficiência de tratamento ilustrados na tabela 1: DBO, DQO, SS, Sólidos Sedimentáveis, turbidez e pH (ANDRADE, 2016).

Tabela 1: Concentração e parâmetros físicos-químicos do esgoto sanitário

Parâmetros físicos-químicos e biológico	Concentração	Fonte
pH	6,5 -7,5	CONAMA
DBO _{5,20} (mg/L)	110 - 400	Metcalf & Eddy
DQO (mg/L)	250 -1000	Metcalf & Eddy
Sólidos sedimentáveis	12 - 45	Metcalf & Eddy
Sólidos Suspensos	15 - 75	CONAMA
Turbidez (NTU)	5 – 20	CONAMA
Temperatura	T < 40 ⁰ C	CONAMA

Adaptado de ANDRADE (2016)

2.2. Parâmetros Físicos

2.2.1. Odor

O odor indica o estado de decomposição de esgoto e a tonalidade acinzentada acompanhada de alguma turbidez é típica de esgoto fresco e a cor preta é típica de esgoto velho (FANUSA 1991 citado por KARASEK, 2011).

Os odores característicos do esgoto são causados pelos gases formados no processo de decomposição, quando fresco e razoavelmente suportável, mas quando velho ou séptico

tem um odor insuportável de ovo pode, em virtude da libertação do gás sulfídrico (VON SPERLING 1996 citado por KARASEK 2011).

A turbidez também indica o estado em que o esgoto se encontra. Este parâmetro está relacionado com a concentração dos sólidos em suspensão. Esgoto mais frescos ou mais concentrados possuem geralmente maior turbidez. A Temperatura é em geral, pouco superior à temperatura das águas de abastecimento. A velocidade da decomposição do esgoto é proporcional ao aumento da temperatura (VON SPERLING (1996 citado por KARASEK 2011)).

2.3. Parâmetros Químicos

2.3.1. Demanda bioquímica de oxigénio (DBO)

A demanda bioquímica de oxigénio representa a quantidade de oxigénio dissolvido necessária aos microrganismos na estabilização da matéria orgânica em decomposição, sob condições aeróbias. Quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável presente no efluente, maior é a DBO (DUTRA, 2014).

A sua determinação no laboratório é usado o método de *Titulação de Winkler*, referenciado no *Standard Methods* é classificada como DBO₅ devido a oxidação da matéria orgânica num período de 5 dias e temperatura ótima para ação dos microrganismos de 20 °C. Os seus valores padrões em esgoto sanitário variam de 110 a 350 mg/L (JORDÃO e PESSOA 1995 citado por MELO 2007).

Segundo VON SPERLING (2005), os valores de concentração da DBO de efluente dos tanques sépticos variam de 200 a 250mg/L, sendo que as concentrações reatores UASB variam de 70 a 100 mg/L e 50 a 80 mg/L para a concentração em lagoas facultativas.

2.3.2. Demanda Química de Oxigénio (DQO)

A demanda química de oxigénio expressa o consumo de oxigénio resultado da oxidação química da matéria orgânica. Este valor representa uma indicação indireta do teor de matéria orgânica presente no esgoto. A relação DQO/DBO para esgotos domésticos brutos, varia em torno de 1.7 a 2.4, caracterizando uma relação intermediária, onde a fração biodegradável e a fração inerte não apresentam diferença elevada (DUTRA, 2014).

A DQO é determinada em laboratório pelo método *Eletrométrico*, referenciado no *Standard Methods*, que consiste na oxidação química da matéria orgânica num período

de duas (2) a três (3) horas, e o seu valor padrões estão entre a margem de 250 e 800 e sua unidade é expressa em mg/L (NETO 1977 citado por MELO 2007).

Nas concentrações de DQO nos efluentes de esgoto doméstico, VON SPERLING (2005) afirma que os valores de concentração da DQO de efluente dos tanques sépticos variam de 400 a 450mg/L, sendo que as concentrações reatores UASB variam de 180 a 270 mg/L e 120 a 200 mg/L para a concentração em lagoas facultativas.

2.3.3. Nitrogénio

O nitrogénio é um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento de esgotos. Usualmente é verificado nas formas de nitrogénio orgânico (dissolvido ou em suspensão) e amoniacal ($N-NH_4^+$) ou ionizado (NH_4^+), característicos de poluição fresca (DUTRA, 2014).

O nitrogénio em laboratório é determinado através do método *Espectrofometria*, referenciado no *Standard Methods* e os seus valores padrões variam de 12 a 45 e sua unidade é expressa (mg/L). Sendo este parâmetro que funciona como um importante fertilizante para a eutrofização e pontos de despejo de esgoto com alto teor (GARCEZ 2004)

Os valores de concentrações do Nitrogénio nos efluentes dos esgotos doméstico para VON SPERLING 2005. O efluente dos tanques sépticos tem concentrações de Nitrogénio que devem ser superiores a 30 mg/L, sendo que as concentrações dos reatores UASB tem de ser superior a 20 mg/L e superior 15 mg/L para a concentração em lagoas facultativas.

2.3.4. Fósforo

O fósforo é parte integrante do protoplasma das células dos microrganismos, constituindo-se num dos elementos essenciais para síntese bacteriana (DUTRA, 2014).

E de terminado da seguinte através do método *Colométrico*, referenciado no *Standard Methods* e tem como seus padrões de 4 a 12 e sua unidade é expressa (mg/L). O fósforo na água apresenta-se principalmente nas formas de orto fosfatos, polifosfato e fósforo orgânico. É um nutriente indispensável no tratamento biológico, e uma preocupação em relação ao fósforo está ligado ao fenómeno de eutrofização adequada principalmente deste nutriente (CIESIELSKI, 2011).

Segundo SMITH e SCHINDLER (2009) A descarga de altas concentrações do fósforo e nitrogénio em cursos de água associados a outros fatores provém o fenómeno da eutrofização, que resulta conseqüentemente na alteração dos padrões de qualidade da água: o sabor, no odor, na turbidez e na cor da água, traz também a redução do oxigénio dissolvido, provoca crescimento excessivo de plantas aquáticas e mortalidade de espécies aquáticas (BARRETO & BARROS, 2013).

De acordo com VON SPERLING (2005). O efluente dos tanques sépticos tem concentrações de fósforo que devem ser superior 4 mg/L, sendo que as concentrações dos reatores UASB tem de ser superiores a 4 mg/L e valores superiores 4 mg/L para a concentração em lagoas facultativas.

2.3.5. Potencial hidrogeniónico (pH)

Indica as características ácidas ou básicas do esgoto. Os processos de oxidação biológica tendem a reduzir o pH, deixando o esgoto mais ácido (FUNASA, 1996).

De acordo com Speece (1996) o pH é um parâmetro fundamental para o controle do processo biológico, isto em função de cada microrganismo atuar em uma determinada faixa de pH (CAMPOS, 1999).

2.4. Parâmetros Biológicos

2.4.1. Coliformes Termotolerantes

Segundo (MENEZES & SIQUEIRA, 2012) o grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui os géneros *Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwenia* e *Enterobactéria*.

Todas as bactérias coliformes são gram-negativas manchadas, de hastes não esporuladas que estão associadas com as fezes de animais de sangue quente e com o solo. As bactérias coliformes termo-tolerantes reproduzem-se ativamente a 44,5 °C e são capazes de fermentar o açúcar (SABESP, 2009).

2.4.2. Coliformes fecais

O grupo de bactérias coliformes é encontrado no intestino de animais de sangue quente (homem, porco, cão, vaca, gato) onde vivem saprofiticamente, não causando em geral, nenhum dano ao hospedeiro. Cada pessoa descarta de 100 a 400 bilhões de organismos coliformes por dia, além de outras bactérias. Tais organismos nem sempre são

patogênicos, mas indicam uma satisfatória contaminação e a potencialidade de transmissão de doenças segundo (BRANCO 1986 citado por MATOS,2003).

2.4.3. Escherichia coli

A escherichia coli é um bacilo Gram negativo, fermentativo, geralmente móvel, com flagelos peritríquios e fimbras (QUINN *et al.* 2005), é a principal bactéria anaeróbia facultativa presente no trato intestinal de animais de sangue quente, é facilmente isolada e identificada (DERISIO, 2012). A E.coli se encaixa no grupo dos coliformes termotolerantes, desenvolvendo-se até 44,5 °C, com produção de ácido, gás e aldeído, e está relacionado ao risco de doenças gastrointestinais (MATOS, 2003).

2.5. Unidades de tratamento de água residuárias

2.5.1. Tempo de detenção hidráulico médio (TDH)

Tempo de detenção hidráulico 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 (MONTEIRO & SOBRINHO, 1999).

Segundo a NBR13369 (ABTN,1997), o tempo de detenção hidráulica relacionado com temperatura média do mês mais frio do ano (18.0 °C a 21.0 °C) deve ter um tempo de detenção hidráulica igual ou superior a 8 horas.

2.5.2. Tanque Séptico

Os tanques Sépticos são câmaras fechadas com a finalidade de deter aos despejos domésticos, por um período de tempo estabelecido, de modo a permitir a decantação dos sólidos e retenção dos material grosso contido nos esgoto transformando-os bioquimicamente, em substâncias e compostos mais simples e estáveis (FUNASA, 1996).

2.5.3. Projeto de tanques sépticos

Uma fossa séptica deve ser projetada de modo que suas dimensões atendam satisfatoriamente a vazão afluyente, permitindo manutenção de forma fácil, económica e segura NBR 13669 (ABTN, 1997). A figura 1 ilustra um desenho esquemático de um tanque séptico de câmara única, e detalhes dos dispositivos de entrada e saída do esgoto e sua cortina de em concreto, geralmente os tanques podem ser de câmara única, câmara em série ou sobreposta e podem ter a forma cilíndrica ou prismática retangular.

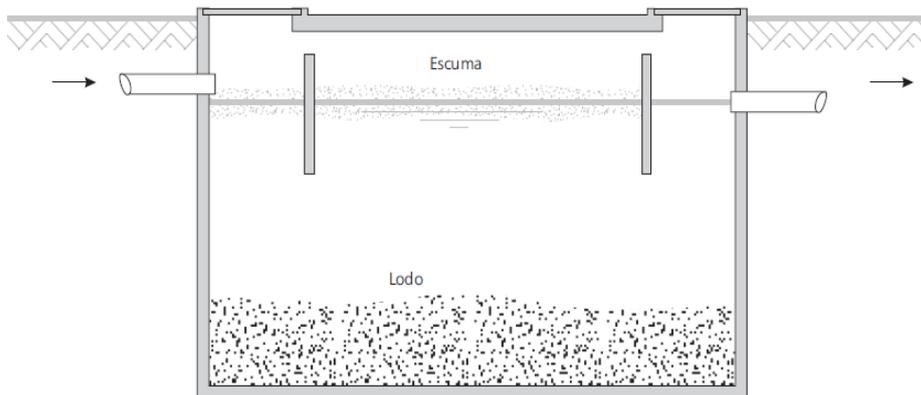


Figura 1: Tanque Séptico de câmara única e seus componentes

Fonte: CAMPOS (1999)

2.5.4. Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Segundo Chermicharo (2007) o reator UASB é uma unidade de tratamento de esgoto no qual o fluxo ascende de esgoto através de um leito de lodo denso e de elevada atividade. (CAMPOS, 1999)

Conforme mostra a figura 2, o perfil sólido no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximo ao fundo, até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator e a estabilização de matéria orgânica ocorre em toda as zonas de reação, sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás (CAPASSI, 2013).

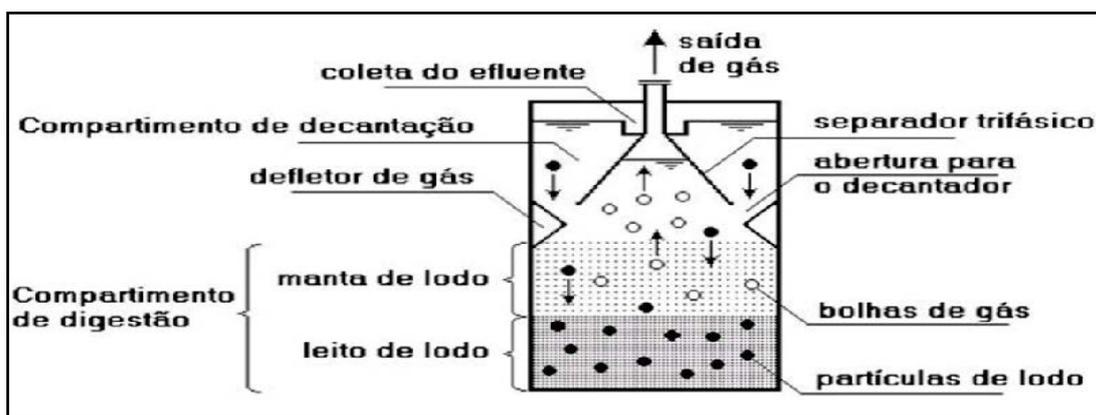


Figura 2: Esquema de um reator UASB

Fonte: CHERNICHARO (1997)

2.5.5. Projeto de reator UASB

O projeto desta unidade de tratamento é majoritariamente, referenciado pelos parâmetros para seu dimensionamento que são: volume e área do reator, carga volumétrica hidráulica e orgânica (CHV), carga orgânica volumétrica (COV) e tempo de detenção hidráulica (CAPASSI, 2013). A figura 2 apresenta as características básicas de um reator UASB

2.5.6. Lagoas facultativas

A lagoa facultativa tem um sistema que consiste na retenção do fluido por um período de tempo longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização de matéria orgânica dissolvida e suspensa, ainda remanescente dos sistemas anteriores, se desenvolvam. (CIESIELSKI, 2011).

2.5.7. Projeto das lagoas facultativas

O processo das lagoas facultativas, dentre os métodos de lagoas de estabilização, é o mais simples, pois depende apenas de processos puramente naturais e a sua construção baseia-se principalmente em movimento de terra (corte e aterro) e preparação de taludes. Utilizando para a sua projeção a carga do afluente, TDH, inclinação dos taludes e a relação do comprimento e largura, conforme ilustra a figura 3 (VON SPERLING 2005 citado por FERREIRA, 2017).

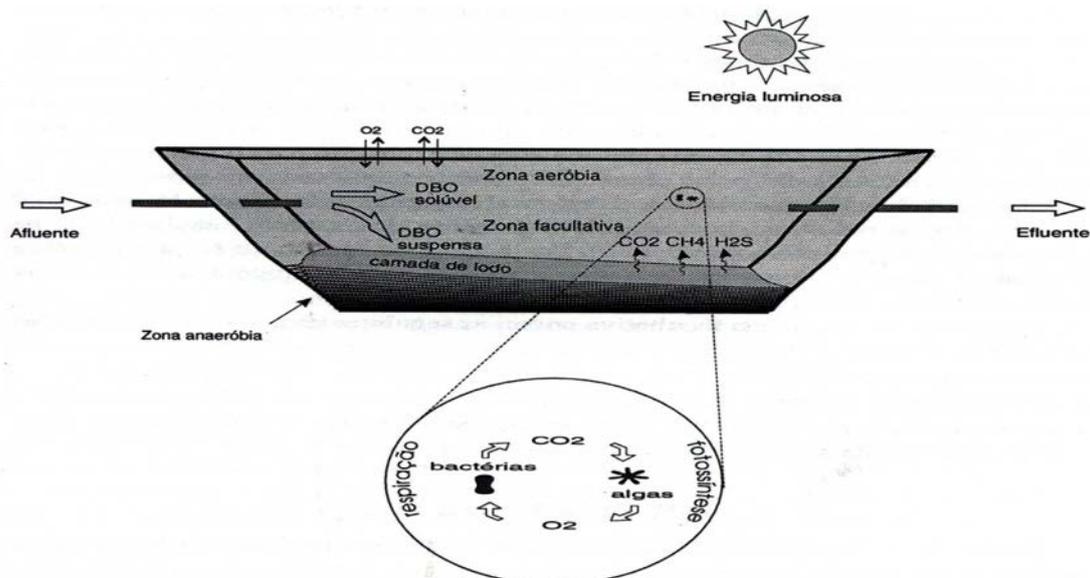


Figura 3: Esquema de uma lagoa facultativa

Fonte: VON SPERLING (2017)

3. METODOLOGIA

3.1. Localização da área de estudo

O Distrito de Chókwè está situado a Sul da província de Gaza, no curso médio do rio Limpopo, tendo como limites a Norte o rio Limpopo que o separa dos Distritos de Massingir, Mabalane e Guijá, a Sul o distrito de Bilene e o rio Mazimuchope por Distrito de Bilene, Chibuto e Xai-Xai, a Este confina com os Distritos de Bilene e Chibuto e a Oeste com os Distritos de Magude e de Massingir, como ilustrado na figura 4 (MAE, 2014).

O Distrito de Chókwè, com uma área de 1 864 km², apresentava em 2007 e uma população com uma densidade populacional de cerca de 1.200 hab/km², é o segundo maior centro urbano da Província de Gaza e prevê-se que o Distrito em 2020 venha a atingir os 223 mil habitantes (MAE, 2014).

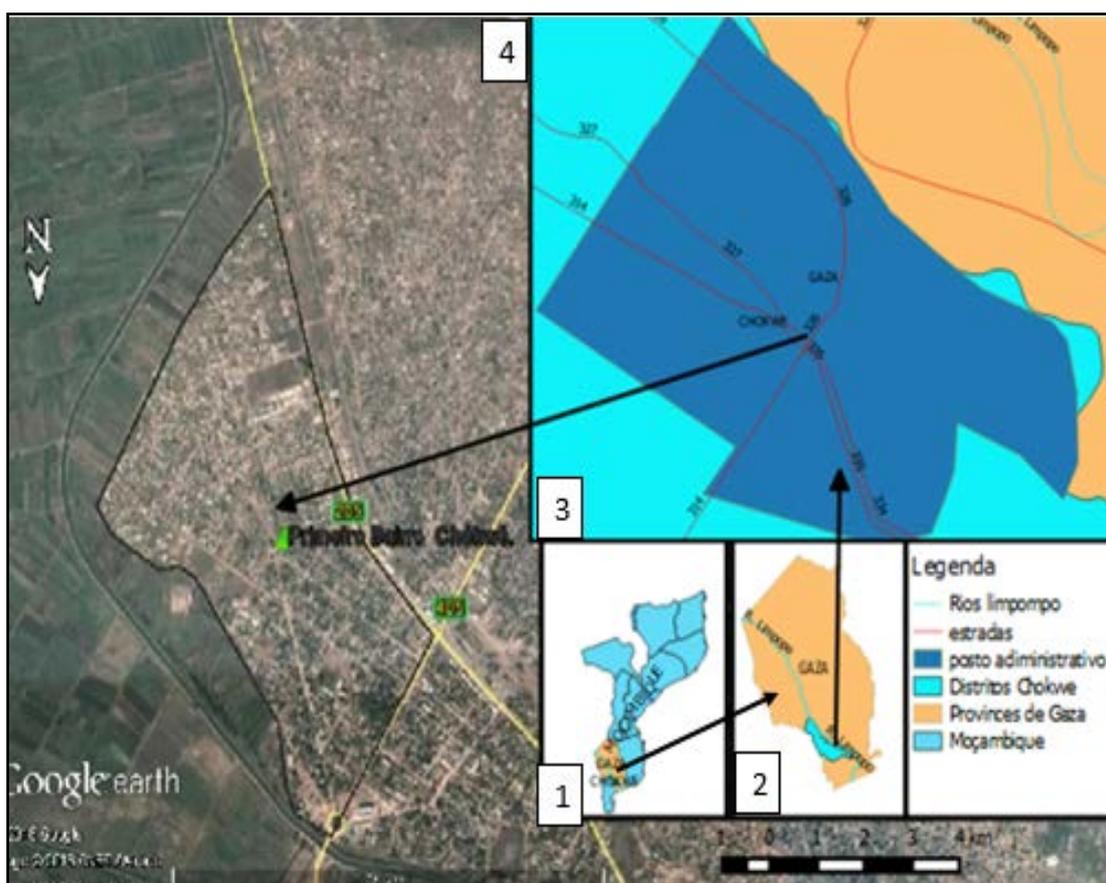


Figura 4: Mapa de localização da área de estudo

O clima do Distrito é dominado pelo tipo semiárido (seco de savana), onde a precipitação varia de 500 a 800 mm, confirmando o gradiente do litoral para o interior, enquanto a evapotranspiração potencial de referência (ET_o) é da ordem dos 1400 a 1500 mm (MAE, 2014).

De acordo com o plano de uso de terra de Chókwè, com informações de 2007, cerca de (43.5%) da população faz uso de água proveniente de fontenários, poços ou furos; cerca de (24.3%) utiliza água canalizada e (9.1%) recorre a lagos e rios (MAE, 2014).

O ponto de coleta de esgoto bruto era composto por um sistema de gradeamento e um caixa de área (desarenador) de fluxo vertical feita de betão e protegida na sua parte superior por uma malha metálica a qual visava o tratamento preliminar do esgoto conforme ilustrado na Figura 5. Na lateral do desarenador encontra-se uma conduta e de seguida um canal aberto retangular que conduzem o esgoto até a vala de drenagem feita de uma *wetland* natural, a qual dista á alguns metros da estrutura.



Figura 5: (1) Ponto de coleta de composto por caixa de areia e o sistema de gradeamento em fluxo vertical e (2) Ponto de lançamento de esgoto a qual faz parte da vala de drenagem

Vala de drenagem (Vala 1) é uma infraestrutura hidráulica que tem como função a recolha de esgoto agrícola, produzido nos campos agrícolas situados arredores da cidade de Chókwè. Ela possui um comprimento de cerca de 14880 m, drenando uma área de 2500 há contemplando cerca de 7 canais secundários onde são praticados intensivamente a agricultura com uso constante de insumos agrícolas.

A Vala 1 é a primeira conduta aberta de drenagem desde o Nó (primeira ramificação do canal) e a maior em comprimento no sector montante (HICEP, 2003).

Verifica-se ainda que esta vala recebe água de drenagem proveniente do 1º e 2º bairro da cidade de Chókwè, resultante do esgoto humano não tratado incluindo esgoto do Hospital Rural do Chókwè (HICEP, 2003).

3.2. Concepção do Sistema de Tratamento de Esgoto na Escala de Bancada (STEEB)

O sistema de Tratamento de Esgoto na Escala de Bancada (STEEB) foi instalado e operado nas instalações do Instituto Superior Politécnico de Gaza por aproximadamente (8) meses. O mesmo era composto por 1 Reservatório, 3 Tanques Sépticos, 1 Reator UASB, 3 Lagoas facultativa tendo sido construído em um intervalo de 4 semanas usando matérias diversos conforme ilustrado na Tabela 2.

O reservatório era composto por um ponto de controlo e manutenção, um equipamento de controlo de vazão no efluente do reservatório e sistema de canalização colocado na parte inferior do reservatório, que alimentava o sistema das restantes unidades do sistema de tratamento.

Os Tanques Sépticos eram compostos por 3 unidades de alturas diferentes ligadas em série, com 2 condutas de alimentação de um tanque para o outro dos três tanques, 3 pontos de controlo tendo 2 para cada tanque Séptico e 3 pontos de controlo de manutenção situados na parte superior de cada tanque Séptico.

O Reator UASB era composto por várias componentes hidrodinâmicos que dinamizam o sistema de tratamento biológico e o sistema de canalização que fornecia e retirava o esgoto, 1 componente para regular a vazão do efluente do reator e 1 componente que regulava a vazão do lodo do reator.

A terceira unidade de tratamento aeróbica composta por uma série de três lagoas que operavam em intervalo de tempo estipulado.

Este estudo foi conduzido e monitorado sobre situações reais com propósito de obter informações verídicas e fiáveis, que reflitam a veracidade das condições a serem implementadas no tratamento de esgoto sanitário por um sistema anaeróbio e aeróbio em escala real.

Tabela 2: Material usado na concepção do sistema de tratamento

Material					
Nº	Reservatório 1	Tanque Sépticos	Reator UASB	Reservatório 2	Lagoas Facultativa
1	Balde (PVC, 20L)	Tubo (PVC, Ø110)	Vidro (5mm)	Garrafa (pt, 5L)	Vidro (5mm)
2	Válvula (1")	Válvula (1")	Válvula (1")	Válvula (1")	_____
3	_____	Torneiras (1")	Torneiras (1")	_____	Curcas
4	Tubo (1")	Tubo (1")	Tubo(1")	Tubo (1")	Tubo (1")
5	Cola (PVC)	Cola (PVC)	Cola (PVC)	Cola (PVC)	_____
6	Silicone	Silicone	Silicone	Silicone	Silicone
7	_____	Redutor de vazão (PVC, Ø110)	_____	_____	_____
8	_____	Tapão de Tubo (PVC, Ø110)	_____	_____	_____

O STEEB sistema de tratamento não tinha um sistema de bombeamento, todo o sistema foi operado por um sistema gravitacional, criando condições hidrodinâmicas que permitiram o fluxo contínuo e equitativo em todo sistema de tratamento usando um sistema de canalização composto por condutas (PVC) e componentes de regulação do fluxo.

A figura 6 ilustra os materiais exatos usados para a construção de Sistema de tratamento de esgoto em Escala de Bancada.



Figura 6: Material usado para construção do sistema de tratamento

3.3. Caracterização do Sistema de Tratamento de Esgoto na Escala de Bancada

3.3.1. Parâmetro do efluente doméstico

Os estudos iniciais das características do efluente doméstico produzido na cidade de Chókwè foram realizado por MIGUEL, (2019), as análises foram realizadas no laboratório de Xai-xai.

O Layout final do Sistema de Tratamento de esgoto sanitário na escala de bancada está ilustrada na figura 7. Os tanques sépticos foram projetados para iniciar o processo de digestão anaeróbio sobre a hidrólise acidogénese conseguida pela ação de exoenzimas excretas pelas bactérias fermentativas hidrópicas e acidogénicas (CHERNICHARO, 2007)

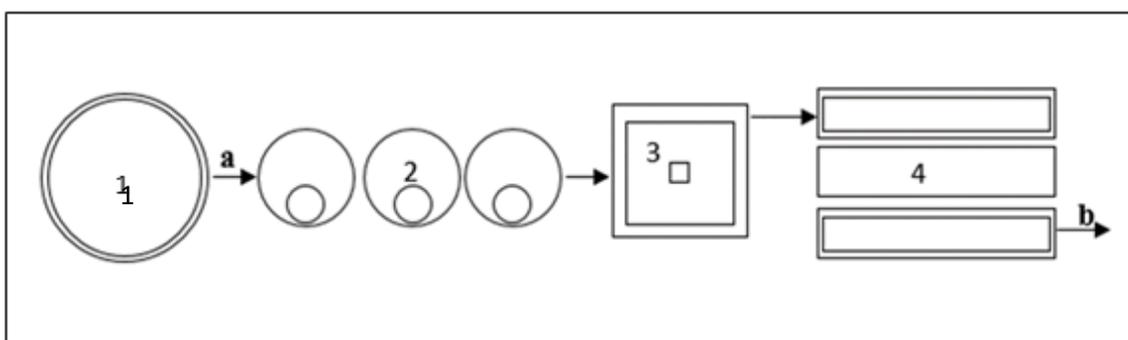


Figura 7: Layout final do sistema de tratamento de esgoto sanitário

Legenda da figura 7:

- 1- Reservatório;
- 2- Tanques sépticos;
- 3- Reator UASB;
- 4- Lagoas Facultativas;
- a- Afluente (esgoto bruto);
- b- Efluente (esgoto tratado).

O modelo em escala de bancada do Sistema de tratamento de esgoto sanitário da cidade de Chókwè, foi construído com base em matérias alternativos de fácil aquisição no mercado local, a execução foi sobre aplicação em escala de bancada para refletir o mais próximo possível das configurações reais para projeto de estação de tratamento do esgoto do primeiro bairro de Chókwè conforme ilustra a figura 8 e dessa forma obter um modelo

reduzido, operacional e de custo reduzido, para alcançar resultados realísticos, promissores que serão base para a implementação deste projeto.



Figura 8: Vista geral do sistema de tratamento de esgoto sanitário na escala laboratorial ou de bancada

3.3.2. Dimensionamento do Sistema de tratamento de Esgoto Sanitário em escala de bancada

3.3.2.1. Reservatório do sistema

Para concepção desta unidade de tratamento foi usado um recipiente plástico com a capacidade volumétrica de 20 L, o qual alimentava todo sistema sem alterar a vazão pela redução da pressão no reservatório, para escoar o efluente do reservatório foi perfurado á 2.0 cm de altura da sua base do reservatório com um metal aquecido. Posteriormente foi fixado uma válvula de uma polegada na perfuração feita no recipiente, e fixada nas extremidades da válvula um o tubo de 16.0 mm de diâmetro (ϕ) que levaria o esgoto para a unidade seguinte do sistema.

3.3.2.2. Tanques sépticos

Para o dimensionamento do tanque séptico recorreu-se a base NBR7.229 (ABTNT, 1982) com o auxílio do manual de desenvolvimento e avaliação de um protótipo de estação

compacta para tratamento de esgoto em unidades residências unifamiliares desenvolvidas por SILVA. (2014), A execução dos cálculos de tanque sépticos foi realizada usando as equações 1, 2, e 3, tendo como base do dimensionamento o tempo de detenção hidráulica (TDH) e diâmetro do tanque, patentes de forma detalhados no anexo III.

$$V = A \times h \quad \text{Equação: 1}$$

$$A = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad \text{Equação: 2}$$

$$Q = \frac{V}{TDH} \quad \text{Equação: 3}$$

Onde:

V = volume do tanque séptico

A = área da base

Q = caudal

h = altura

D = diâmetro

Nesta etapa foi usado um tubo PVC de \varnothing 110.0 mm, usado comumente na instalação hidráulica em residências para canalização de águas negras, recortado em três 3 peças de dimensões diferentes. O primeiro com 46.0 cm, o segundo com 51.0 cm e 56.0 cm de altura para o terceiro, conforme ilustrado na figura 8.

Seguiu-se a montagem de torneiras, válvulas e tubos de comunicação e para tal foi aquecido uma peça metálica de diâmetro de 10.0 mm (\varnothing) para perfurar os tubos ao longo do seu comprimento, cada tubo foi perfurado 4.0 vezes, 2.0 perfurações para tubos de comunicação ou escoamento de caudal de um tanque para o outro, 1 para a válvula para o escoamento do lodo e uma perfuração para torneira de coleta de amostras para controle de qualidade.

Conforme ilustrado na figura 9, este processo foi repetido em todos os outros 2.0 tubos, em seguida aplicou-se cola de PVC nas extremidades das peças e encaixou-se nas perfurações feitas em cada tubo PVC, em seguida colocou-se o tampão com auxílio da cola de PVC nas duas extremidades de modo a ter formato de cilindros, para tal, foi necessário submeter as extremidades dos tubos ao fogo (aquece-los) de modo a expandirem para que o tampão pudessem encaixar nas extremidades com facilidade e

usou-se a cola de PVC nas extremidades dos tubos para fixa-las e garantir que não haja infiltrações a pois o enchimento.

A figura 9: as fases da concepção do modelo dos Tanques Sépticos



Figura 9: Fase construtiva do modelo de tanques sépticos, destaque para abertura dos furos e colocação das tapas

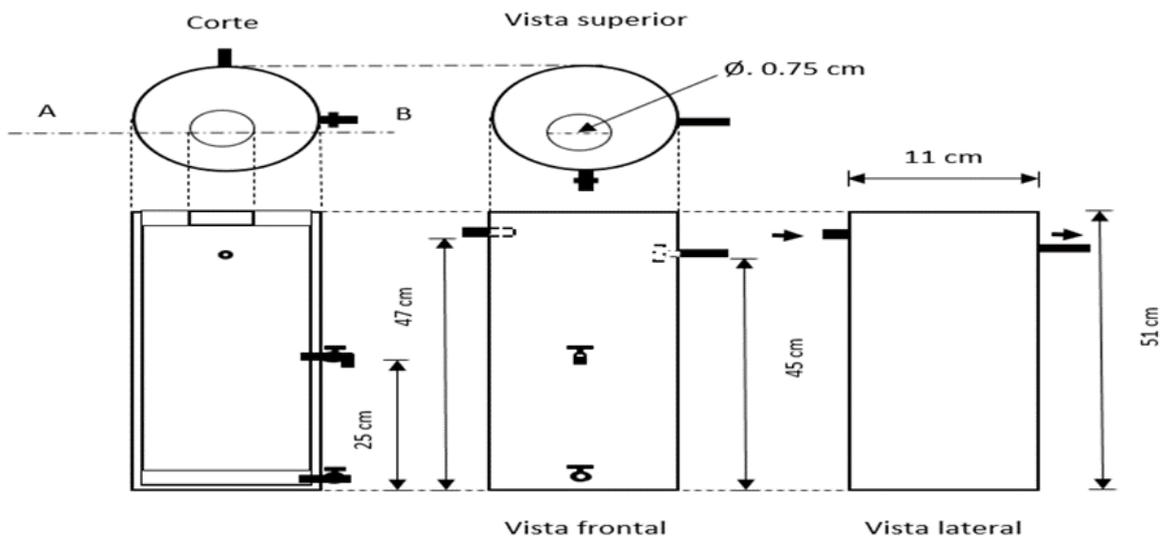


Figura 10: Esquema do projeto dos tanques sépticos e os detalhes dos seus componentes

3.3.2.3. Reator UASB

Esta unidade de tratamento foi dimensionada segundo as orientações de RISSOLI. (2004), Tendo como base do dimensionamento o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 horas e um caudal do sistema de 0.5L/h

$$V = TDH \times Q \quad \text{Equação: 4}$$

$$A = \frac{V}{H} \quad \text{Equação: 5}$$

Onde:

A= área da base

V= volume do reator

H = altura do reator

TDH= tempo de detenção hidráulica

Q = vazão do projeto

Concepção Reator UASB

Utilizou-se vários materiais para dar vida a esta unidade de tratamento dos quais o vidro de 5 mm de espessura para a concepção estrutural do reator **uasb** e a maior parte dos componentes internos como; o deflector triangular, separador trifásico prismático e o coletor de gás prismático. Esses todos elementos são de um reator UASB de forma prismática e para a canalização e regulação do caudal, foram moldadas nas extremidades do reator duas válvulas de retenção para regular o caudal do efluente e a remoção do lodo com uma conduta de 0.5 cm de diâmetro para a entrada do afluente como ilustrado na figura 10.

O Reator UASB teve as seguintes dimensões geométricas; altura de 35.0 cm, área de 225.0 cm², comprimento da base de 15.0 cm, 7.0 cm para o separador trifásico e o deflector de gás com 3 cm, duas válvulas de retenção de uma polegada e uma conduta de 36 cm de comprimento e com 0.5 cm de diâmetro os detalhes geométricos do reator UASB estão ilustrados na figura 11.

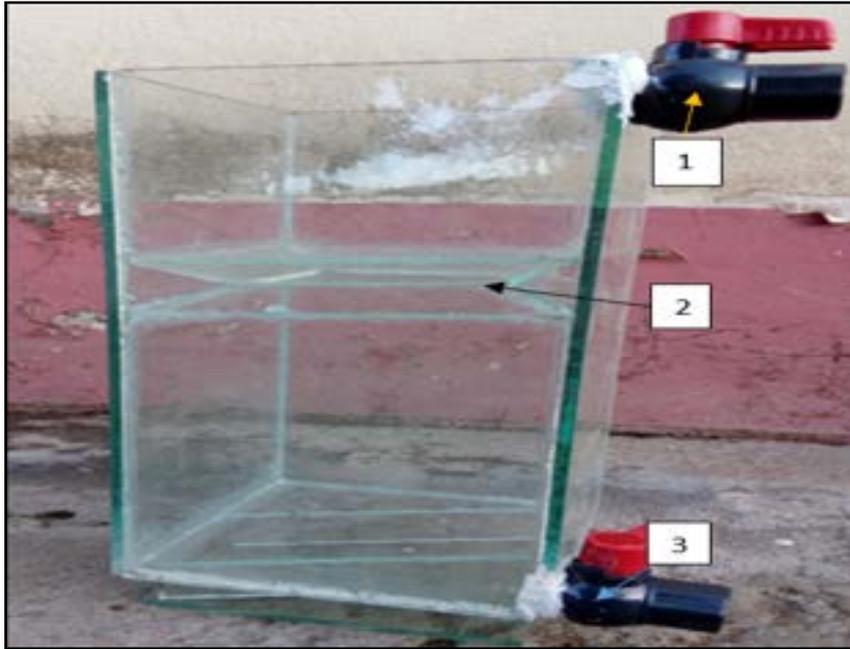


Figure 11: O reator UASB destaque para os dispositivos de entrada (3) saída (1) e o separador trifásico (2)

Para a moldagem do reator, foi necessário recortar o vidro em peças com muito cuidado de forma a ter as medidas simétricas nas peças e também, para permitir o encaixe das mesmas. Seguiu-se a moldagem do reator, que consistiu em aplicar o silicone nas extremidades das peças de vidro e fixa-las com uma fita isoladora, começando por colar as peças maiores e posteriormente as peças menores tendo sido aguardado por um período mínimo 2 horas para que o silicone secasse permitindo que fossem fácil a união entre elas. E depois das peças de vidro terem sido moldadas, foi a vez de colocar os outros componentes: válvulas de 1.0" e condutas de canalização que permitisse a entrada do afluente e saída do efluente.

Estão apresentados alguns componentes do reator na figura 10, estando referenciadas de forma numérica, onde o 1 é a válvula de regulação do afluente do reator que esta na parte superior do reator, 2 está indicado o deflector de gás que foi fixado nas paredes do reator e 3 uma válvula de regulação de lodo do reator e mesmo podia ser usado como uma válvula de emergência para escoar o esgoto caso seja necessário.

A figura 12 ilustra o esquema do projeto do reator UASB em planta baixo e em perfil mostrando os detalhes construtivos

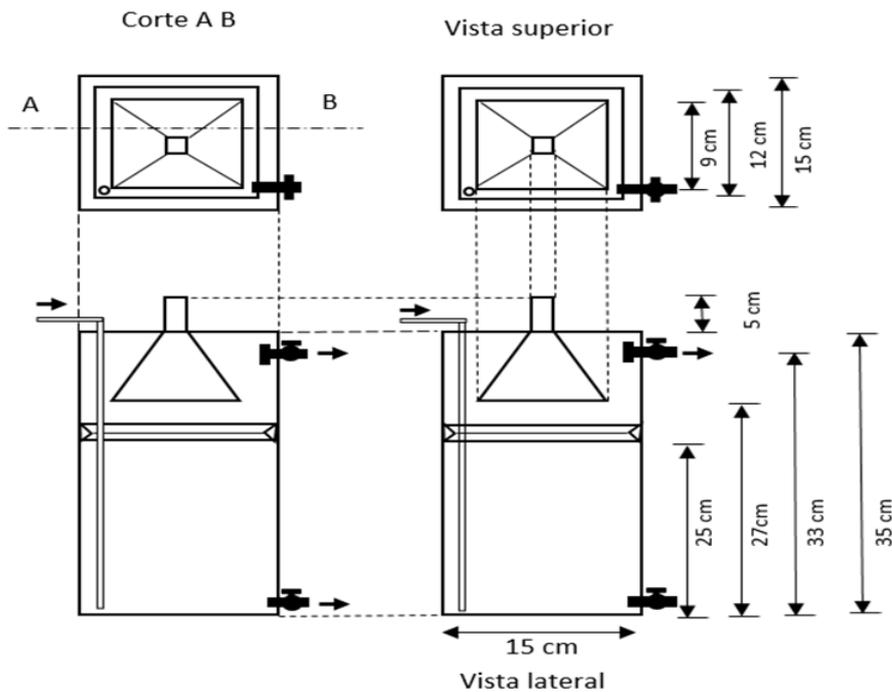


Figure 12: Esquema do projeto do reator UASB

3.3.3.3. Lagoas facultativas

Para o dimensionamento da lagoa facultativa adotou-se um tempo de detenção hidráulica em dias, uma profundidade em (m) com base na relação de comprimento por largura (C/L) (5/1) obter a largura em (m) e comprimento (m). Segundo Piveli (2004) a profundidade de lagoas facultativas deve ser igual ou inferior a 1.0 m em escala real, para permitir a incidência da radiação ultravioleta da luz solar e o volume útil foi obtido pela equação 6.

$$V_u = Q_{\text{média}} \times TDh \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

TDH = tempo de detenção hidráulica (d);

V_u = Volume útil de cada lagoa (m^3);

I = Inclinação dos taludes: (1:2) sendo 1 (V) / 2 (H).

Segundo Fonseca (2005), O tempo de retenção é um parâmetro de verificação, e o tempo mínimo para cada lagoa deve ser (3.0) dias, segundo (Von Sperling, 2002) e (2.0) dias tempo mínimo (Jordão e Pessoa, 1995).

A moldagem das lagoas facultativas foi feita na base de materiais diversos tais como: vidro transparente de 5 mm, silicone, tubos flexíveis 16.0 mm, curvas conectoras e cola de PVC. Para dar vida as lagoas facultativas. A geometria do protótipo da lagoa teve as seguintes dimensões: a base inferior com uma área de 60.0 cm², base superior com 300.0 cm² e (1/2) de inclinação, como mostras a Figura 11. Na concepção do modelo em vidro primeiro foi recortado o vidro em peças pequenas e em seguida coladas uma a outra com silicones, iniciando com as peças maiores e posterior a base e por fim foi feita a canalização das lagoas que consistiu no corte dos tubos de 15.0 mm de diâmetro.



Figure 13: Modelo de Lagoa facultativa do sistema de tratamento de esgoto

A figura abaixo 14 ilustra o esquema do projeto das Lagoas Facultativas em planta baixo e em perfil mostrando os detalhes construtivos

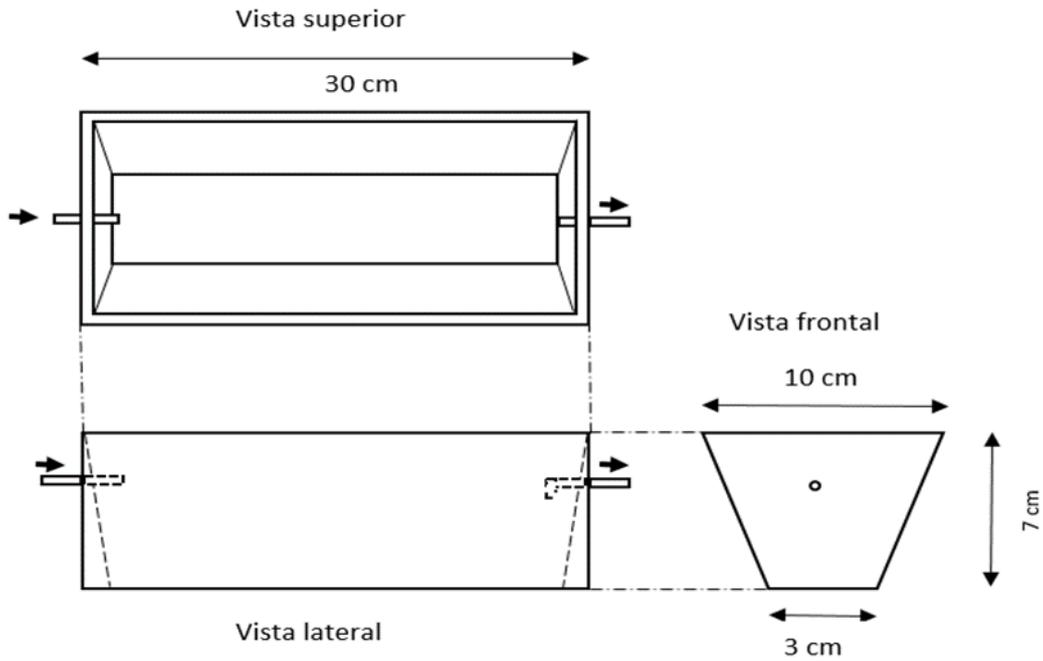


Figure 14: Esquema do projeto das lagoas

3.3.4. Avaliação da eficiência do Sistema de Tratamento do Esgoto Sanitário em escala de Bancada

A eficiência na remoção dos poluentes foi determinada pela equação 7:

$$E_f = \frac{c_a - c_o}{c_a} \times 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

Ef = Eficiência do sistema de tratamento (%).

C_a = Concentração final de esgoto (mg/L)

C_o = Concentração inicial do esgoto (mg/L)

3.3.5. A partida do Sistema de Tratamento de Esgoto Sanitário em Escala de Bancada

Tabela 3: Rotina de monitoramento do sistema de tratamento de esgoto em escala de bancada

Monitoramento de frequência do STESEB				
Afluente	–	Frequência	Método usado	Referências
Efluente				
Ph		1x por semana	Electrometria, APHA ¹	LPHAA ²
Cond, elétrica		1x por semana	Electrometria, APHA	LPHAA
Turvação		1x por semana	Nefelométrico, APHA	LPHAA
Temperatura		1x por semana	Electrometria, APHA	LPHAA
TDS		1x por semana	Electrometria, APHA	LPHAA
Coliformes totais		1x por semana	Membrana filtrante, APHA	LPHAA
Ferro total		1x por semana	Colorimétrico, APHA	LPHAA
Matéria orgânica		1x por semana	Colorimétrico, APHA	LPHAA
Fósforo		1x por semana	Colorimétrico, APHA	LPHAA
Nitrogênio		1x por semana	Titrimétrico, APHA	LPHAA
OD		1x por semana	Electrométrico, APHA	LPHAA
DBO		1x por semana	Electrométrico, APHA	LPHAA
DQO		1x por semana	Electrométrico, APHA	LPHAA

¹APHA - American Puplic Health Association.

² LPHAA – Laboratório Provincial de Higiene de Água e Alimentos.

No sistema de tratamento de esgoto sanitário foi usado, na fase inicial foi aplicada esgoto suíno para alcançar de forma rápida a criação de colônia de bactérias anaeróbicas, por conter uma carga orgânica maior em relação a esgoto posteriormente usado.

A tabela 3 ilustra a rotina de monitoramento do sistema de tratamento durante a fase de implantação da população bactéria, esta etapa foi realizada com intuito de uniformizar a coleta das amostras, atendendo o facto das unidades do sistema de tratamento estarem operando em diferentes TDHs. Essa rotina foi vital na implantação e monitoramento do desenvolvimento da população bacteriana e foram realizados de acordo com o que prescreve o Standart Methods (APHA *et al.* 1995) segundo a informação obtida no laboratório.

Coleta das amostras

De início foram coletadas amostras no ponto de lançamento de esgoto do sistema de coletores da cidade de Chókwè, que abrangem o primeiro e segundo bairro, em seguida foram coletadas amostras do esgoto suíno produzido nos campos do Instituto Superior politécnico de Gaza, e por fim foram coletadas as amostras das todas as unidades do sistema de tratamento em bancada.

As amostras foram coletadas todas elas nas primeiras horas da manhã no intervalo das 6h as 9h, e prontamente conduzidas ao laboratório, foram coletadas com auxílio de uma garrafa (Pet) recortada ao meio, e as coletadas na vala de drenagem foram coletadas com auxílio de um instrumento feito com uma garrafa reciclável de 2 litros e um cabo de vassoura, estas foram coletadas na superfície da água, em uma profundidade de 10 a 15 centímetros. Todos os frascos foram selados e etiquetados no local da coleta como ilustrado na figura 15.



Figure 15: Amostra coletada

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características do esgoto Bruto

A tabela 4 ilustra as características e padrões de qualidade de esgoto bruto quanto ao seu grau de poluição, esses parâmetros expressam as condições para a degradação da matéria orgânica biodegradável presente no esgoto bruto.

Tabela 4:Características físico-químicas e Biológicas do esgoto sanitário da cidade de Chókwè

Características do esgoto do município de Chókwè			
Parâmetros	Concentrações	Unidade	Referências
Ph	8.8	-----	6.0 – 9.0
Condutividade elétrica	833	µs/cm	-----
Temperatura	23.2	°c	35
TDS	254	Ppm	60
Coliformes totais	350	ufc/L	-----
Ferro total	0.7	mg/L	1.5-10
Fósforo	0.5	mg/L	10
Nitrogênio	0.65	mg/L	-----
OD	7.6	mg/L	-----
DBO	31.55	mg/L	200-500
DQO	147.5	mg/L	150

Decreto nº 18/2004

MIGUEL (2019), avaliando a eficiência da vala 1 no tratamento do esgoto sanitário do município de Chókwè obteve valores de concentrações no ponto de lançamento de esgoto sanitário de pH de (6.3 a 8.0), DBO (7.0 a 9.1 mg/L), e coliformes fecais 93 a 2400 ufc/mL.

Os valores das médias de concentração obtidos nestes estudo não são similares em parte devido a interferência de dois fatores a considerar, a diferença no período de realização do estudo e o lançamento direto do esgoto sanitário por veículos coletores de esgoto residencial, que alterando dessa forma a qualidade do esgoto sanitário no local.

4.2. Tanque séptico

Esta etapa de tratamento em miniatura foi desenhada e executada em três unidades em série com alturas diferentes com o intuito de simular um fluxo em pistão e usar a gravidade para conduzir o fluido entre os tanques, conforme ilustrado na tabela 5 os resultados do dimensionamento dos componentes geométricos das unidades em análise.

Tabela 5: Dados do tanque sépticos

Dimensões de tanques sépticos			
Parâmetros	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3
Altura (m)	0.46	0.51	0.56
Área da base (m ²)	9.5	9.5	9.5
TDH (horas)	8.0	8.0	8.0
Q.médio (L/h)	0.5	0.5	0.5
Volume útil (L)	4.0	4.0	4.0

Os parâmetros geométricos apresentados na Tabela 5 e na figura 10, são referentes aos tanques sépticos dimensionados neste trabalho para dar vida a uma unidade de tratamento com 13.11 litros de volume. Os valores obtidos na Tabela 5 para os tanques sépticos do sistema de tratamento são similares aos achados do KONDO. (2007), No tratamento de efluente com reator anaeróbio feito de materiais recicláveis utilizando uma mini-estação de tratamento de esgoto em residências. A diferença de algumas unidades o estudo são justificado com aspectos referente a diferença nos volumes e usados em cada unidade.

4.2.1. Avaliação da eficiência dos tanques sépticos

Na eficiência desta unidade de tratamento é comumente expressa em função dos parâmetros adotados nos diversos processos de tratamento, mas neste estudo foram usados os parâmetros ilustrado na tabela 6, são resultados correspondentes a operação conjunta dos 3 tanques, sendo o efluente final colhido no terceiro tanque.

Tabela 6: Eficiência dos tanques sépticos no processo de tratamento de esgoto sanitário

Eficiência no ponto I			
Parâmetro	E. Bruto	E. tratado	Efic. (%)
Ph	8.11	8.0	1.36
Condutividade elétrica	741.13	716	9.56
Turvação	15.86	9.0	40.39
Temperatura	24.54	25.0	-0.36
TDS	329.0	306	16.47
Coliformes totais	418.75	285	25.21
Ferro total	0.70	0.54	22.86
Matéria orgânica	17.47	7.0	60.65
Fósforo	0.50	0.47	6.0
Nitrogénio	0.65	0.51	21.54
OD	7.6	7	19.26
DBO	28.02	8.0	71.78
DQO	129.14	83.0	35.73
Total			26

COLARES *et al.*, (2013), na remoção de coliformes fecais e médias inferiores a remoção da DQO, em estudo sobre avaliação da eficiência tratamento de esgoto em tanques sépticos seguidos de leito cultivado com diferentes meios de suporte, obteve com os três tanques sépticos em série uma média de eficiência na remoção da demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO) 42.3%, a eficiência de remoção da demanda Química de Oxigénio (DQO) foi de 23.58% e a eficiência média para remoção de 95.99% coliformes fecais. Figura 16, ilustra variação mensal de concentração da DBO, DQO, N e P do efluente do Tanque Séptico.

Para os parâmetros da DBO, DQO e coliformes fecais, as médias das concentrações foram de alcançadas de forma parcial confortados com as citações acima referida, esta diferença ocorreu relativamente pelo facto dos sistemas terem operado com algumas diferenças no TDHR de cada estudo usado e qualidade do esgoto e os volumes.

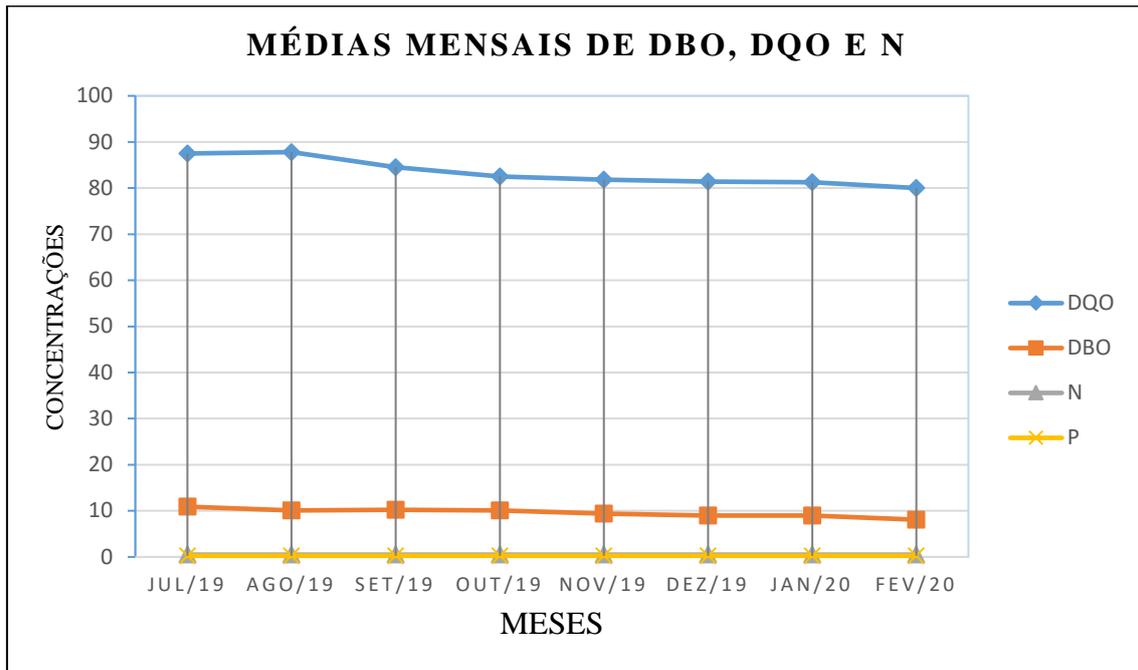


Figura 16: Variação mensal de concentração de DBO, DQO, N e P do efluente do tanque séptico

Esta etapa de tratamento experimental teve uma eficiência satisfatória, tendo sido avaliado sua eficiência em parâmetros que indicam a qualidade e a composição do esgoto, a média de eficiência na remoção de DBO foi de (71.78%), a média de eficiência na remoção DQO (35.73%), média de eficiência na remoção da turbidez (40.39 %) e (25.21%) coliformes fecais.

As médias mensais dos parâmetros apresentados da figura 16, são referentes a análises feitas durante o estudo que mostram uma ligeira variação do primeiro ao último mês, na remoção do DBO e DQO, uma variação razoável na remoção do N e P, pois esta etapa de tratamento estava condicionada para a remoção destes poluentes. O Nitrogênio e fósforo são os nutrientes essenciais para todos os processos biológicos, presença de N indica a existência de matéria orgânica, A quantidade de N e P, deste interferem diretamente na velocidade de crescimento dos micros organismos anaeróbico, e o N e P são responsáveis pela metano gênese.

4.3. Reator UASB

A tabela 7 ilustra detalhadamente dados obtidos no dimensionamento desta unidade, que foi possível com auxílio de dados estimados e constantes patentes no anexo 1.

Tabela 7: Dados do reator UASB

Dimensões do reator UASB		
Parâmetro	Valores	Unidades
Altura (h)	0.34	M
Área da base (a)	0.196	m ²
Tempo de detenção (TH)	13.4	H
Q.médio	0.5	L/h
Volume do reator (V)	0.0067	m ³

Os parâmetros ilustrados na Tabela 7 e Figura 12 as componentes e medidas exatas usadas na construção do modelo do reator UASB, com um volume útil de 6.7 litros.

Parâmetros similares foram usados na min-estação de tratamento de esgoto em residências, para tratar esgoto com reator UASB de volume de 4 litros, feito de matérias recicláveis num estudo feito por MARTINS (2012).

Os parâmetros deste estudo foram ligeiramente superiores, pelo facto de este estudo ter decorrido em condições diferente no que concerne ao tipo de unidade, número de unidades e tipo de materiais aplicadas no sistema, MARTINS, (2012), optou apenas por usar matérias reciclável (garrafas Pet) para sua mini-estação.

4.3.1. Avaliação eficiência do reator UASB

A tabela 8 ilustra resultados de médias de eficiência da avaliação desta etapa de tratamento que consistiu na aplicação das concentrações na fórmula para cada parâmetro analisado. De referir que o afluente de reator, o efluente dos tanques sépticos e a eficiência é aludido pelo acrónimo (E. TQ), (E. UASB) e (Efici) na tabela 8.

Tabela 8: Eficiência do reator UASB

Concentrações médias e eficiência no ponto II (React UASB)			
Parâmetro	E.TQ	E.UASB	Efici. (%)
Ph	8.0	8.0	0.0
Cond, elétrica	716	691.0	3.42
Turvação	9.0	2.8	68.89
Temperatura	25.0	23.4	4.92
TDS	306	244.5	20.13
Coliformes totais	285	245.0	14.0
Ferro total	0.54	0.45	16.67
Matéria orgânica	7.0	2.8	59.7
Fósforo	0.47	0.31	34
Nitrogênio	0.51	0.4	21.57
OD	7.0	4.9	27.94
DBO	8.0	2.5	67.37
DQO	83.0	36.3	56.33
Total			30.55

Segundo JORDÃO e PESSÔA (2009) e SCHUMANN (2016) a remoção de DBO e DQO para sistemas de reatores UASB variam 60.0 % a 75.0 %.

Segundo VON SPERLING (1996), um reator UASB no tratamento de esgoto sanitário deve alcançar valores de eficiência para os seguintes parâmetros DBO variam 60% a 80%, N entre 10% a 25%, P estão no intervalo de 10% a 20%, e os coliformes fecais de 65% a 90% em TDH 0.3 dias a 0.5 dias.

Os resultados referidos na tabela 8, são em parte inferiores aos recomendados devido à variabilidade na qualidade do efluente usado, pois os valores de concentração do esgoto estipulados são bastante elevados, mesmo como essa diferença foram alcançadas de forma positiva a eficiência na maioria dos parâmetros.

O gráfico que segue ilustra as variações das concentrações da DBO, DQO e Nitrogênio no reator uasb são relativamente inferiores, sendo que as características do esgoto usado

neste estudo tinham concentrações inferiores ao usado por SILVA e JORDÃO e PESSÔA.

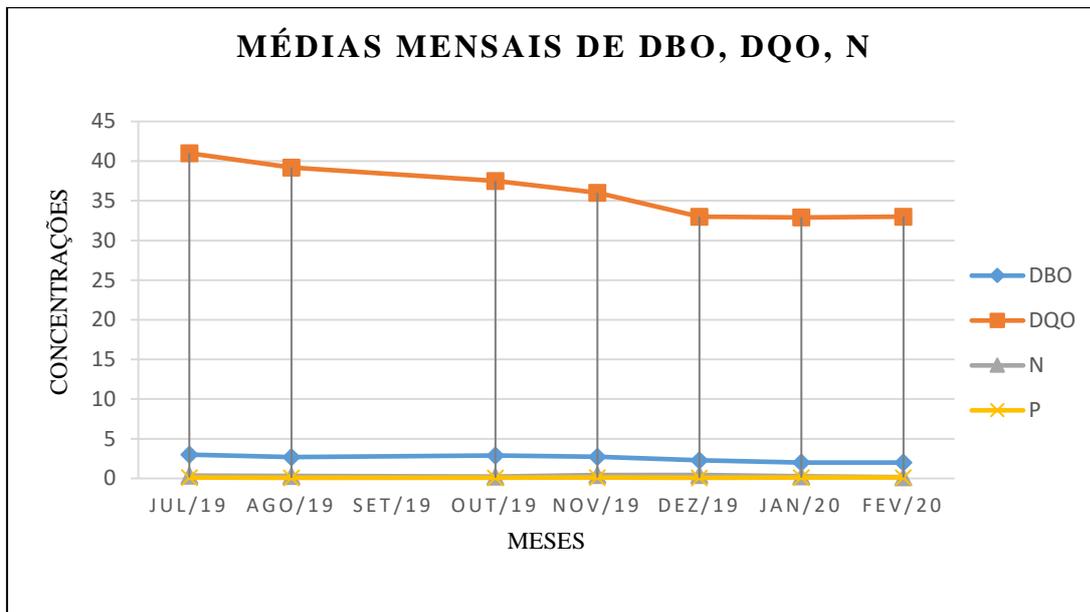


Figura 17: Variações de concentrações médias reator UASB

As eficiências na remoção do DBO e DQO atingiram os valores almejados para esta etapa de tratamento, tendo apresentado variações que variam em função do tempo de estudo, com tudo o gráfico ilustra que a medida que o sistema de tratamento operava havia uma tendência de aumento de eficiência na remoção de concentração dos poluentes.

Nos parâmetros avaliados nesta etapa, as médias mostraram uma estabilização desses parâmetros mesmo em alguns tendo tido médias reduzidas no que diz a remoção de poluentes, o que pode ser pelas características qualitativas do efluente.

4.4. Lagoas Facultativa

Para o dimensionamento das lagoas facultativas necessita-se do uso dos dados do caudal máximo diário e adotou-se um valor mínimo de profundidade segundo VON SPERLING (2002) e médio da profundidade para JORDÃO e PESSOA.

As lagoas são projetadas com baixas profundidades com os objetivos de maximizar a penetração dos raios ultravioletas e a produção fotossintética.

A tabela 9 apresenta de forma resumida o projeto usado na construção dos modelos das lagoas facultativas e o esquema da figura 17 representa de forma detalhada as dimensões aplicadas nesta etapa final do tratamento do esgoto.

Tabela 9: Dados de dimensionamento de lagoa facultativa

Dimensões das lagoas facultativas			
Parâmetros	L1	L2	L3
Profundidade (cm)	7	7	7
Área da base (cm ²)	90	90	90
Comprimento da base (cm)	30	30	30
Largura da base (m)	10	10	10
TDH (d)	3	3	3
Volume da lagoa (ml)	1131	1131	1131
Vazão (L/dia)	0.025	0.025	0.025

4.4.1. Avaliação da eficiência das lagoas Facultativas

A eficiência desta unidade do sistema tratamento experimental é apresentada na tabela 10, estão expressos os parâmetros físico-químicos e biológicos dos efluentes das 3 lagoas facultativas e as eficiências percentuais de poluentes biodegradáveis em lagoas aeróbicas.

Tabela 10: Eficiência das Lagoas facultativas

Eficiência no ponto III (lagoas)			
Parâmetros	E. UASB	E.LM	Efici. (%)
pH	8.1	7.6	6.36
Condutividade elétrica	691.0	526.3	23.84
Turvação	2.8	3.2	-14
Temperatura	23.4	23.2	1.12
TDS	244.5	247.8	-1.33
Coliformes totais	245.0	235.0	12.24
Ferro total	0.45	0.13	39.77
Matéria orgânica	2.8	3.2	-14
Fósforo	0.31	0.09	70.97
Nitrogênio	0.4	0.3	45.61
OD	6.8	6.1	10.29
DBO	2.5	2.3	8
DQO	36.3	34.0	6.21
Total			15.44

Na remoção do nitrogênio e fósforo, as lagoas apresentaram uma eficiência razoável para os valores padronizados na norma, mesmo não sendo similares aos 13% para Nitrogênio e de 56% para o fósforo anteriormente obtido no estudo do desempenho de lagoas facultativas utilizando macrófitas aquáticas e chicaneamento por (POLISEL, 2005).

As lagoas facultativas na remoção de poluentes desde efluente, foram razoáveis para valores padronizados nas normas de qualidade de água de esgoto tratado e eficiências obtidas por JORDÃO e PESSOA. (1995), Assim sendo esta etapa teve eficiência insignificante na remoção desses parâmetros.

Tendo apresentado os valores de eficiência próximos de (13.5 % e 2.65 %) para DQO, e para JORDÃO e PESSOA (1995), DBO e DQO estão no intervalo de (75.0 % a 85.0 % e 60.0 % a 80.0 %) respectivamente.

O gráfico 18 apresenta informação da variabilidade das concentrações dos parâmetros em função de tempo.

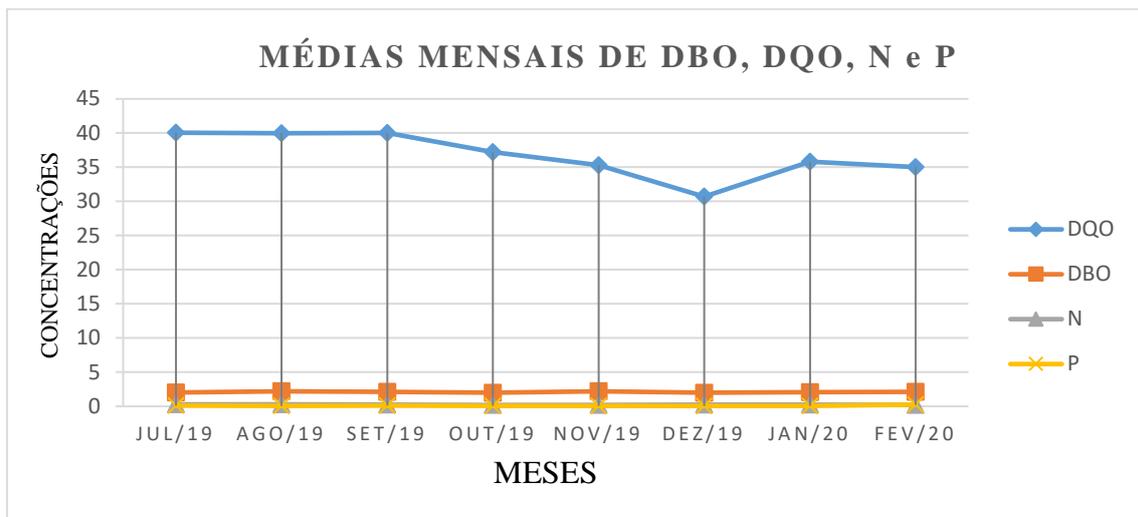


Figura 18: Variação mensal das concentrações

As lagoas facultativas apresentaram médias de concentração na remoção de poluentes que foram razoáveis do recomendado pela norma CONAME.

É de referir que a eficiência razoável desta etapa de tratamento na remoção do nitrogênio e fósforo deve-se a problemas operacionais, o tempo de detenção hidráulica, o volume dimensionado e o clima, todos esses fatores condicionaram eficiência razoável das lagoas.

4.5. Avaliação do desempenho do protótipo

O sistema de tratamento foi operado e monitorado por aproximadamente (8.0) meses, nesse período houveram muitas variáveis de evolução no que diz respeito a sua operação e monitoramento, das quais as mais destacadas foram os fatores meteorológicos.

Ao fim do (6^º) mês o desempenho de todas unidades do sistema de tratamento apresentavam uma evolução no que diz a remoção de patógenos e o desempenho do sistema encontrava estável. O sistema de tratamento no seu todo mostrou-se eficiente nos parâmetros essenciais, pois estavam dentro dos padrões requeridos pelas normas e padrões do decreto N^º 8.468/1976 de reúso de esgoto sanitário.

A figura 19 mostra o modelo do sistema de tratamento em operação



Figura 19: Sistema de tratamento em funcionamento

KONDO. (2007), Construiu protótipo de uma estação de tratamento de esgoto composto por um reator Anaeróbico de fluxo ascendente (UASB), caixa de gordura, decantador primário e decantador secundário, construído com base de materiais recicláveis, como garrafas plásticas de 5.0 L e 2.0 L, mangueira de chuveiro, cola e arame, obtendo valores satisfatório de eficiência nos parâmetros físico-químicos.

A figura 20 ilustra a Variação de DBO, DQO, N e P por unidade de tratamento

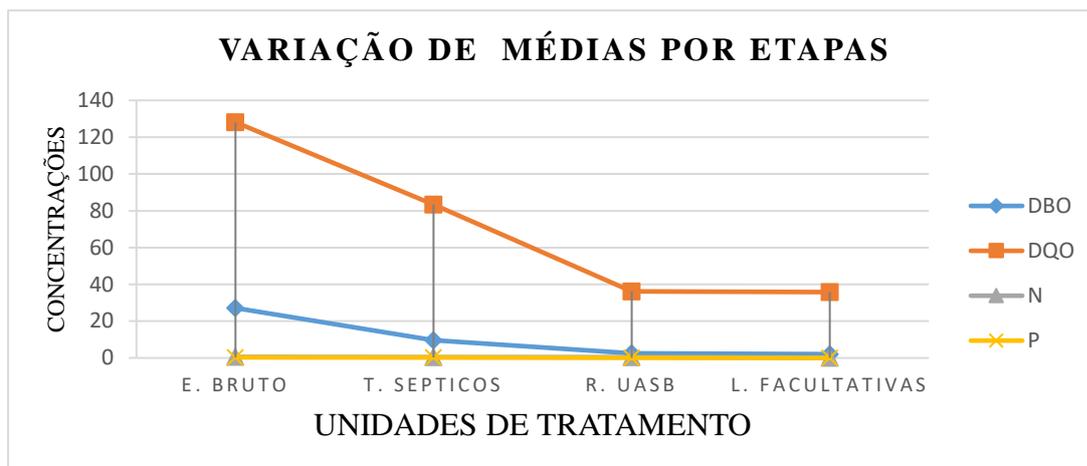


Figura 20: Variação de médias por unidade de tratamento

Tabela 11: Dados de eficiência do Sistema de tratamento

Eficiência do sistema de tratamento de esgoto							
Parâmetros	Tanq. Sépticos		Rea. UASB		Lag. Facultativas		Total
	C.méd	Efic. (%)	C.méd	Efic. (%)	C.méd	Efic. (%)	
pH	8.11	1.36	8.0	0.0	7.6	6.36	7.7
Conduc. Eléctrica	741.13	9.56	716	3.42	526.3	23.84	36.8
Turvação	15.86	40.39	9.0	68.89	3.2	-14	95.5
Temperatura	24.54	--	25.0	---	23.2	--	--
TDS	329.0	16.47	306	20.13	247.8	-1.33	35.3
Coliformes totais	418.75	25.21	285	14.0	235.0	12.24	51.5
Ferro total	0.70	22.86	0.54	16.67	0.13	39.77	86.6
Matéria orgânica	17.47	60.65	7.0	59.7	3.2	-14	105.6
Fósforo	0.50	6.0	0.47	34	0.15	51.61	91.7
Nitrogénio	0.65	21.54	0.51	21.57	0.3	45.61	88.7
OD	7.6	19.26	7.0	27.94	6.1	10.29	57.5
DBO	28.02	71.78	8.0	67.37	2.3	8	147.1
DQO	129.14	35.73	83.0	56.33	34.0	6.21	98.3
Total		32.05		30.55		15.44	71.3

C.méd é concentração média do afluente.

MARTINS (2012), com mini-estação de tratamento de esgoto em residências, desenvolveu um protótipo de estação de tratamento de esgoto feito por materiais de baixo custo como garrafas plásticas, tubos de pequenos diâmetro e torneiras, tendo obtido resultados de eficiência de DBO de 60 a 80 %, Nitrato 40 a 90 % e o pH entre 6.0 a 8.0.

A variação das médias de concentração por unidade de tratamento no gráfico reflete valores decrescentes desde a entrada na primeira unidade de tratamento até a última unidade. Assim sendo o sistema foi eficiente de etapa para etapa conforme vai decrescendo o gráfico, e mantendo-se sem nenhuma alteração significativa e não atingindo padrões recomendados mesmos tendo valores de eficiência muito altos.

A figura 21 mostra a variação de eficiências de DBO, DQO, N, P por unidade de tratamento

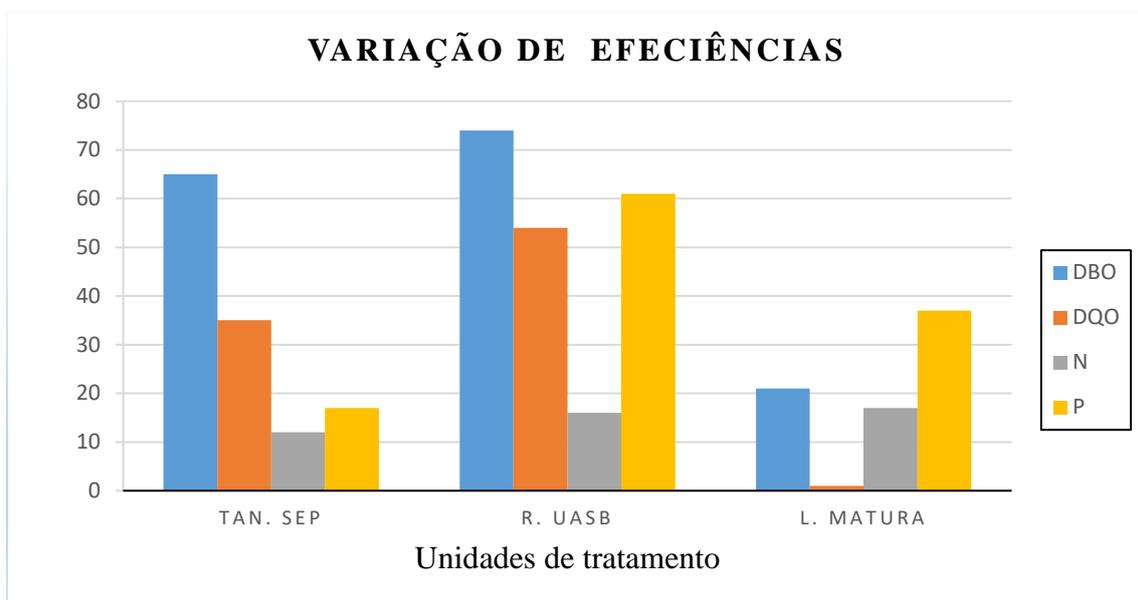


Figure 21: Variação de eficiências de DBO, DQO, N e P por unidade de tratamento

Variação de eficiências de DBO, DQO, N e P por unidade de tratamento em função das unidades de tratamento é notável que a variabilidade em cada parâmetro de acordo com a capacidade de remoção de cada unidade de tratamento, a DBO em função de unidades de tratamento foi mais eficaz na segunda unidade de tratamento e razoável na terceira decrescendo de valores próximos de 70% para 20% na terceira unidade. Em suma todos parâmetros ilustraram maior eficiência na segunda unidade de tratamento (reator UASB)

4.5.1. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

A figura 21 ilustra variações médias das concentrações da DBO referentes as etapas do tratamento do esgoto, que teve uma variação brusca do primeiro mês para o segundo mês de estudo, isto pode estar relacionado ao facto da estação de tratamento ter iniciado com esgoto de carga baixa, pois no mês seguinte foi usada um esgoto de alta carga orgânica, conseqüentemente apresentou alteração na eficiência da remoção da DBO.

E quanto ao tempo de análise, este parâmetro teve algumas variações nas médias mensais, foi necessário passar o primeiro mês de estudo para começar a registar médias de todas etapas acima de 50.0 % na remoção do DBO.

O comportamento do gráfico acima sobre as médias mensais do DBO do sistema de tratamento no seu todo mostram uma descida nos valores e mantendo ate os últimos meses nos padrões exigidos pela CONAMA para irrigação agrícola.

4.5.2. Demanda química de oxigênio (DQO)

Os resultados ilustrados na figura 21 indicam que as médias de DQO foram eficientes em todas as etapas de tratamento do sistema, apresentando um gráfico decrescente do DQO em relação as etapas de tratamento e em função do tempo.

POVINELLI (1994) e SILVA (2002), usando um sistema anaeróbico no tratamento de esgoto com tempos de detenção diferentes obteve médias de eficiências superiores a 50% na estabilização do DQO.

Neste parâmetro o sistema apresentou médias de eficiência relevantes ao longo do período e também em termo das etapas, tendo registado a melhor redução deste parâmetro na segunda etapa e a média mais baixa no quarto mês do estudo.

KONDO e ROSA (2007), operando protótipo de uma estação de tratamento de esgoto, composto por um reator UASB como unidade principal, com materiais recicláveis, realizou um estudo de tratamento de esgoto escolar, um sistema de tratamento em miniatura, feito de materiais recicláveis, obteve resultados de eficiência que chegam a 85.0 %, que mostram uma grande capacidade desse sistema no tratamento de esgoto.

Referente ao estudo a cima citado, com material diferente e tempo de estudo diferente, em alguns parâmetros houve concordância, em outros com valores superiores, chegando a registar em alguns parâmetros eficiência entre 34.0 a 92.0 %, e média geral do sistema do tratamento próximo de 56.0 %.

MARTINS. (2012), Com material reciclável, tratou esgoto de residências em uma miniestação, obtendo médias de eficiências de vários parâmetros que mostram que o sistema pode tratar o esgoto sanitário de residências.

O estudo não foi operado com materiais similares dos autores citados e tanto como as etapas e período de estudo, eis a razão para discordância em médias de eficiências de alguns parâmetros analisados.

4.6. Aplicação (reúso) do efluente tratado

Segundo o decreto Nº 8.468/1976 e a resolução CONAMA Nº357/2005, a qualidade do efluente tratado é de (*classe 2*), patente no anexo I, tendo parâmetros admissíveis para varias actividades do reúso de efluente de esgoto sanitário, para o caso do objetivo deste estudo, a qualidade do efluente é aceitável para a prática de irrigação agrícolas, mas é de referenciar que a norma recomenda o uso de irrigação por sulcos para esta qualidade de esgoto.

4.6.1. Oxigénio dissolvido (OD)

Em relação ao OD, demonstram que todos os valores deste parâmetro está de acordo com decreto Nº 8.468/1976 para reuso de efluentes de esgoto sanitário na agricultura. Pois os valores de OD são superiores a 5.0 mg/l.

4.6.2. Demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO)

Os valores de DBO verificados neste parâmetro mostraram que as médias de remoção de poluentes são inferiores a 5.0 mg/l, assim sendo, o sistema de tratamento de esgoto para este parâmetro foi eficiente e está dentro dos limites do decreto Nº 8.468/1976 para qualidade de efluentes tratados.

4.6.3. Ferro Total

O valor apresentado na tabela acima sobre a concentração deste parâmetro, não alcança os padrões indicados pelas normas, pois é a média de concentração da mesma é muito elevada, mais o sistema foi razoável na estabilização deste parâmetro pois a aplicação deste efluente pode ser feito de forma segura por uma irrigação superficial

A tabela 12 ilustra as condições do esgoto tratado e a confrontação dos dados com as condições padronizadas pela CONAMA para o reuso do esgoto sanitário na irrigação agrícolas.

Tabela 12: Avaliação do esgoto tratado

Parâmetros	Médias	Norma: class 2	Avaliação
Ph	8.1	6.0 a 9.0	Atende
Condutividade elétrica	526.25	-----	Atende
Turvação	6.1	Inferior a 10.0	Atende
Temperatura	23.15	Inferior a 40.0	Atende
TDS	207.75	-----	Não Atende
Coliformes totais	215	Inferior a 1000	Atende
Ferro total	0.1	0.01	Não Atende
Matéria orgânica	3.48	-----	Não Atende
Fósforo	0.04	Inferior a 0.093	Atende
Nitrogênio	0.3	Inferior a 0.7	Atende
OD	4.5	Superior a 2.0	Atende
DBO	3.41	Inferior a 5.0	Atende
DQO	34.0	Inferior a 50.0	Atende

5. CONCLUSÃO

Segundo o estudo anteriormente feito sobre o sistema de tratamento de esgoto de Chókwe, estes apresentaram uma eficiência razoável de remoção de poluentes do esgoto sanitário, pois foram apontados diversos e prováveis razões para esse sucedido.

Os parâmetros usados neste estudo foram todos citados e referenciados, tendo resultado em uma aplicação viável e aplicável no estudo realizado. Para os tanques sépticos foram aplicados um volume total de 13 litros e TDH de 24 horas para os três tanques, para o reator UASB os parâmetros aplicados segundo NBR 13669, tendo sido um volume de 6.7 litros e TDH de 13.4 horas, e para as lagoas facultativas foram aplicados os seguintes parâmetros: 1131 ml de volume e 3 dias de TDH.

A respeito da remoção do DBO, este sistema de tratamento em estudo apresentou aproximadamente 100 % de eficiência, no tanque séptico apresentou uma eficiência aproximada à 71 %, 67 % no reator UASB, e 8 % na lagoa facultativas.

Em relação a remoção do DQO, o protótipo apresentou resultados aproximados à 98 % de eficiência, e para cada etapa de tratamento apresentou, 35% para o tanque séptico e 56.0% no reator UASB e 6 % para as lagoas facultativas.

O sistema de tratamento dimensionado avaliado neste estudo, apresentou resultados positivos no que diz respeito a sua operação, porém certas etapas do tratamento não tiveram eficiências padronizadas nas normas para certos parâmetros estudados, tendo registado maior média de eficiência do protótipo, no *reator UASB* com cerca de 30 %, e na sua maioria as etapas do protótipo deram resultados que estão de acordo com os limites das normas, com eficiências médias acima de 30 % para todos os parâmetros.

E de referir que alguns parâmetros do esgoto tratado neste sistema experimental, não atingiram valores esperados para o reuso na irrigação de hortícolas, devidos alguns problemas operacionais no sistema, mais com uma boa percentagem dos parâmetros estando eles dentro do limite estipulado pela norma.

6. RECOMENDAÇÕES

Recomendo que ao se repetir ou fazer um estudo similar, em caso de existência de condições financeiras, a aconselha-se a fazer as análises das amostras em mais de um laboratório de modo a ter uma fonte de comparação e constatação.

Para que este estudo alcance resultados mais satisfatórios ele deve ser realizado no intervalo de tempo superior a (8) meses de operação e avaliação.

Recomenda-se a realização do estudo no período mais frio do ano, para observar-se o desenvolvimento do protótipo em temperaturas amenas.

E necessário o uso de equipamentos de proteção no momento de coleta ou manejo do esgoto sanitário e higienizar corretamente as mãos com algum detergente de desinfecção, pois o esgoto sanitário pode conter microrganismos patogênicos, estes microrganismos podem ser capazes de transmitir doenças ao ser humano.

7. REFERÊNCIAS

- ABTN.12209, N. (1992). *Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro.
- 13969, N. (1997). *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Brasil.
- 18, D. n. (2004). *Regulamento sobre Padrões de Qualidade Ambiental e de Emissão de Efluentes*. Portugal.
- 7229, N. (1993). *Projecto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro.
- 8.468, D. N. (1976). *Regulamento da lei nº 997, de 31 de maio de 1976 que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente*. Brasil.
- ABTN. (1986). *Estudo de comparação de sistemas de esgoto sanitário*. Brasil.
- ANDRADE, V. S. (2016). *Sistema computacional para pré-dimensionamento de estações de tratamento de esgotos domésticos paramunicípios de pequeno e médio porte*. Juiz de Fora.
- Ávila, R. O. (2005). *Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro*. Rio de Janeiro.
- BARRETO, L., & BARROS, M. F. (2013). *Eutrofização em rios brasileiros*. Brasil.
- BASTOS, R. X. (2005). *4. Tratamento de esgotos sanitários e usos múltiplos de efluentes*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande.
- BRASIL. (2008). *Processos de tratamento de esgoto*. Brasília.
- CAMPOS, R. J. (1999). *Tratamento de esgotos sanitário por processo anaeróbico e deposição controlada no solo*. Rio de Janeiro.
- CAPASSI, C. M. (2013). *Dimensionamento de um reator uasb para tratamento de água residuárias de suinocultura*. Brasil.
- CHERNICHARO, C. A. (2007). *Reatores Anaeróbios*. Belo Horizonte.
- CIESIELSKI, J. (2011). *Dimensionamento de uma nova estação de tratamento de efluentes domésticos da central de abastecimento do Paraná-CEASA/PR*. Curitiba.
- COLARES, J. G. (2013). *Deficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leito cultivado com diferentes meios de suporte*. Brasil.
- CONAMA, R. (2005). *Nº 357*. Brasil.
- DUTRA, G. H. (2014). *Avaliação técnico-econômica de alternativas de lodos ativados no tratamento de esgotos domésticos*. Florianópolis.

- FERREIRA, C. A. (2017). *Dimensionamento e comparação de sistemas de tratamento de esgoto para a cidade Romaria-MG*. Uberlândia.
- FONSECA, P. W. (2005). *Avaliação do desempenho e caracterização de parâmetros em lagoas facultativas e de maturação*. Rio de Janeiro, Brasil.
- FUNASA. (1996). *Esgoto sanitário*. . Brasil.
- GARCEZ, L. N. (2004). *Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial*. São Paulo.
- GARCEZ, l. n. (2004). *Manual de procedimentos tecnicos laboratorias voltado para analise de água de esgoto sanitario e industrial*. Brasil.
- HICEP. (2003). *Manual de Operação e Manutenção do regadio do Chókwè*. Chókwè.
- JORDÃO, P. E. (2014). *Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. Brasil.
- KARASEK, & Rogério. (2011). *Dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto. Estudo de caso para o município de Itaperuçu*. Curitiba.
- KONDO, M. M. (2007). *Protótipo de reator anaeróbico, tratamento de esgoto domestico na escola*. Brasil.
- MAE. (2014). *Perfil do distrito do Chókwè província de Gaza*. Maputo.
- MARTINS, F. N. (2012). *A utilização de mini-estações de tratamento de esgoto em residência*. Brasil.
- MATOS, K. M. (2003). *Viabilidade da irrigação com água contaminada por esgoto doméstico na produção hortícola*. São Paulo.
- MELLO, r. (2007). *Avaliação de estação de tratamento de esgoto do bairro Novo Horizonte na cidade da Araguari*. Minas Gerais.
- MENEZES, M., & SIQUEIRA, J. (2012). *Parâmetros da qualidade da água e aspetos ambientais do Rio Sarandi e Rio Anta Gorda*. Paraná.
- MIGUEL, E. (2019). *Avaliação da eficiência da vala 1 no tratamento do esgoto sanitário do município de Chókwè*. Chókwè.
- MONTEIRO, L., & SOBRINHO, P. (1999). *Rede cooperativa de pesquisas, lagoas anaeróbia*. Rio de janeiro.
- MOTERANI, F. (2010). *Monitoramento biológico e físico- químico de reatores anaeróbicos (RAC-UASB) no tratamento de efluentes líquidos da suinicultura*. Minas Gerais. Brasil.
- MUHATE, C. J. (2016). *Identificando os constrangimentos na operação e manutenção da estação de tratamento de águas residuárias da cidade de Maputo, Moçambique*. Campina Grande.
- NETO, c., & CAMPOS, J. (1999). *Rede cooperativa de pesquisas, Tratamento de esgotos*. Rio de Janeiro.

- NUVOLARI, A. (2011). *Esgoto sanitário - coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. São Paulo.
- PIVELI, P. R. (2004). *Tratamento de esgotos sanitários*. Brasil.
- RISSOLI, C. A. (2004). *Estudo de parâmetros operacionais do reator uasb tratando esgoto doméstico e avaliação da biodegradabilidade do seu efluente*. Brasília.
- SABESP. (2009). *Padrões de lançamento para Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) domésticos*. Brasil.
- SCHUMANN, C. (2016). *Estudo de viabilidade técnica e econômica do tratamento de esgoto no município de Arroio Grande/RS*. Pelotas.
- SILVA, A. L. (2014). *Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de estação compacta para tratamento de esgoto em unidades residenciais unifamiliar*. Brasil.
- SILVA, H. G., & NOUR, A. E. (2002). *Estudando o efeito do tempo de detenção hidráulica na remoção de DQO, DBO e SST em um reator compartimentado anaeróbico tratando esgoto sanitário*. Brasil.
- UCKER, F. (2002). *Sistema de Tratamento de Esgoto Para o Município de Restinga Seca, Acadêmicos de Engenharia Ambiental*. Brasil.
- VIANA, C. L. (2016). *Estudo de tecnologias de tratamento biológico anaeróbico como alternativa para tratamento de condensado de unidade produtiva de sulfato de amônio*. Brasil.

8. ANEXOS

ANEXO I

Tabela 13: Tempo de detenção hidráulica (h)

Temperatura do esgoto (°C)	Tempo de detenção hidráulica (h)	
	Média diária	Mínimo (durante 4a 6)
16-19	> 10-14	> 7-9
20-16	> 6-9	> 4-6
> 26	> 6	> 4

Fonte: Adaptados de Lettinga & Hulshoff-Pol (1991)

Tabela 14: Classe de lançamento e reuso de esgoto doméstico

Parâmetro	Classe a	Classe b	Classe c	Classe d
Temperatura (°C)	Inferior a 40	Inferior a 40	Inferior a 40	Inferior a 40
TH	Entre 6 a 9	Entre 6 a 9	Entre 6 a 9	Entre 6 a 9
DBO _{5,20} (mg/l)	Inferior a 20	Inferior a 30	Inferior a 50	Inferior a 60
DQO (mg/l)	Inferior a 50	Inferior a 75	Inferior a 125	Inferior a 150
Oxigênio dissolvido (mg/l)	Superior a 2	Superior a 2	Superior a 2	Superior a 2
Sólidos sedimentáveis (mg/l)	Inferior a 0,1	Inferior a 0,1	Inferior a 0,1	Inferior a 0,1
SFN totais (mg/l)	Inferior a 20	Inferior a 20	Inferior a 50	Inferior a 60
Nitrogênio amoniacal (mg/l)	Inferior a 5	Inferior a 5	Inferior a 5	Inferior a 5
Nitrato – N (mg/l)	Inferior a 20	Inferior a 20	Inferior a 20	Inferior a 20
Fosforo (mg/l)	Inferior a 1	Inferior a 1	Inferior a 2	Inferior a 5
Coliformes fecais (NMP/100ml)	Inferior a 1000	Inferior a 1000	Inferior a 500	Inferior a 1000
Oleio e graxas (mg/l)	Inferior a 30	Inferior a 30	Inferior a 10	Inferior a 50

Fonte: NBR13969/1997

ANEXO II

Nº	Quantidade	Matérial	Descrição
1	1.5m	Vidro	4 mm
2	0.5m	Vidro	3 mm
3	1.5m	Tubo de Pvc	Ø 110 mm
4	3	Torneiras Plásticas	1"
5	6	Válvulas de Retenção	1"
6	3	Tampões	Ø 110 mm
7	3	Tampões	Ø 75 mm
8	3	Redutores	Ø 110 mm
9	4	Cola de Silicone	400 ml
10	0.5m	Tubos	Ø 10 mm
11	1	Balde	20 L
12	1	Cola Pvc	500 mL
13	1	Fita Métrica	3 m
14	10	Curvas Conectoras	10 mm
15	3	Fita Adesiva	10 mm
16	1	Garrafas Pet	500 mL
17	1	Esferográficas	-
18	1	Bloco de Notas	-



Figure 22:Material usado

ANEXO III

DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO

1. Tanques sépticos

Dados	Equação	Resolução
$Q = 0.132 \text{ mL/s}$	$V = Q \times T$	Volume $V = 0.132 \times 28800$
$TDH = 8 \text{ h}$	$A = \frac{\pi \times D^2}{4}$	$V = 4000 \text{ mL}$
$V = ?$	$h = \frac{V}{A}$	$V = 4L$
$h = ?$		Área $A = \frac{\pi \times (110)^2}{4}$
$A = ?$		$A = 0.91 \text{ mm}^2$
$D = 110 \text{ mm}$		Altura $h = \frac{4}{0.91}$ $h = 44 \text{ cm}$

Onde: L= largura, C= comprimento, h= altura, TDH = tempo de detenção, Q= caudal, D= diâmetro, A área

2. Reator UASB

Dados	Equação	Resolução
$Q = 0.132 \text{ mL/s}$	$V = A \times h$	Área $A = 14 \times 14$
$TDH = 8 \text{ h}$	$A = l \times c$	$A = 225 \text{ cm}$
$V = ?$		$V = 225 \times 35$
$h = 35 \text{ cm}$		$V = 6.7L$
$C = 15 \text{ cm}$		
$L = 15 \text{ cm}$		

Onde: L= largura, C= comprimento, h= altura, TDH = tempo de detenção, Q= caudal, A-área.

3. Lagoas facultativas

Dados	Equação	Resolução
Q=?	$A = \frac{(B \times b) \times h}{2}$	Área $A = \frac{(9.5 + 2.5) \times 6.5}{2}$
Tdh = 3 d	$V = A \times C$	$A = 39 \text{ cm}^2$
C= 30cm		$V = 29 \times 39$
h = 6.5cm		$V = 1131 \text{ cm}^3$
B1= 2.5		$V = 1131 \text{ mL}$
B1=9.5cm		

Onde: L= largura, C= comprimento, h= altura, TDH = tempo de detenção, Q= caudal

4. Cálculo da eficiência do sistema de tratamento de esgoto

Dados	Equação	Resolução
Ef.TQ = 25.78%	$E_f = \frac{c_a - c_o}{c_a} \times 100$	
Ef. R. UASB= 27.0%	$Ef. total = Ef. TQ + Ef. R. UASB + Ef. LF$	
Ef. LF= 9.34%		
Ef. Total=?	$Ef. total = (25.78 + 27.0 + 9.34)\%$	
	$Ef. total = 56.5\%$	

Onde: Ef.TQ = Eficiência do tanque Séptico; Ef.R. UASB = Eficiência do reator UASB;

Ef. LF = Eficiência das lagoas facultativas;

Ef. Total = Eficiência total

C_o = Concentração inicial do esgoto (mg/L)

Ef = Eficiência do sistema de tratamento (%).

C_a = Concentração final de esgoto (mg/L)