



**Universidade Federal do Oeste do Pará
Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas
Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**CONSTRUÇÃO E MONITORAMENTO DE UM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS
EM ESCALA DE BANCADA, DO TIPO UCT MODIFICADO**

**CLODOALDO DE SOUSA
FERNANDO PIRES MARTINS**

**Santarém – Pará
2018**

**CLODOALDO DE SOUSA
FERNANDO PIRES MARTINS**

**CONSTRUÇÃO E MONITORAMENTO DE UM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS
EM ESCALA DE BANCADA, DO TIPO UCT MODIFICADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Área de concentração:

Tratamento de Águas Residuárias e Resíduos

Orientador:

Prof. Dr. Israel Nunes Henrique

**Santarém – Pará
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

S719c Sousa, Clodoaldo de
Construção e monitoramento de um sistema de lodos ativados em escala de bancada, do tipo UCT modificado / Clodoaldo de Sousa e Fernando Pires Martins. – Santarém, Pará, 2018.
51 fls.: il.
Inclui bibliografias.

Orientador Israel Nunes Henrique
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas, Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental.

1. Águas residuárias. 2. Esgoto. 3. Poluentes. 4. Problemas ambientais.
5. Tratamento. I. Martins, Fernando Pires. II. Henrique, Israel Nunes, *orient.*
III. Título.

CDD: 23 ed. 628.3

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Nome do Autor: SOUSA, Clodoaldo de. MARTINS, Fernando P.

Título: Construção e monitoramento de um sistema de lodos ativados em escala de bancada, do tipo UCT modificado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Data da aprovação:

Banca Examinadora

_____ Orientador e Presidente

Prof. Dr. Israel Nunes Henrique

Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental /Universidade Federal do Oeste do Pará

_____ Membro Titular

Prof. Dr. Lucinewton Silva de Moura

Curso de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará

_____ Membro Titular

Prof. Dr. Rafael Caldeira Magalhães

Curso de Bacharelado em Gestão e Ambiental/Universidade Federal do Oeste do Pará

A Deus que sempre nos mostrou os caminhos a seguir sem desistir, pois, as lutas são grandes, mas a vitória é certa

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois é de onde vem forças para seguir em frente, aos meus pais que apesar das dificuldades sempre me aconselharam da melhor maneira, a minha amada esposa pela compreensão pelos momentos de ausência e pelos conselhos sábios, ao estimado professor Israel pela orientação, e aos meus companheiros do laboratório que seguiram juntos a mim.

Clodoaldo de Sousa

A Deus, por sua infinita graça ter me concedido, dom da vida, saúde, perseverança, paciência e muita força para superar todas as dificuldades encontrada durante toda essa jornada.

Ao professor e orientador Dr. Israel Nunes pela oportunidade, confiança e estímulo acadêmico e pelo compartilhamento de seu conhecimento durante a pesquisa.

Aos meus pais, pelos incentivos e por todo o amor que me deram, além da educação, ensinamentos e apoio.

A todos meus familiares, irmãos, tios, primos e os demais, pela força e orações dedicada a durante toda essa jornada.

A todos meus amigos em especial aos amigos do grupo (LabTAR) pela força concedida todos os dias durante a implementação do projeto, aos amigos Antonino Vasconcelos, Marli Vasconcelos, Maria Izabel Magalhães, Élide Magalhães, Márcios Meurer, Rui Rodrigues, Hataide Parente, Elton Rubens, e os demais por todo apoio, força e orações durante todo percussor acadêmico.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu chegasse até aqui, meu muito obrigado.

Fernando Pires Martins

RESUMO

SOUSA, C.; MARTINS, F. P. **Construção e Monitoramento de um Sistema de Lodos Ativados em Escala de Bancada, do Tipo UCT Modificado**. 2018. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tratamento de Águas residuárias) – Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Oeste do Pará.

Dentre os problemas ambientais ocasionados pelo crescimento populacional está a contaminação das águas pelo lançamento de esgotos de maneira inadequado em cursos hídricos. Para a minimização ambiental desse efeito é necessário realizar tratamento antes de se lançar esses poluentes no meio. Desta maneira são lançadas propostas, como sistemas de lodos ativados do tipo UCT para tratamento, os quais agregam eficiência e baixo custo. Sendo assim propõe-se construir um sistema desse tipo, por este trabalhar por etapas o ganho de eficiência é elevado, sendo possível a remoção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, além de remover grande parte da matéria orgânica e ácidos graxos. O sistema é composto por cinco reatores sequenciais, anaeróbio, anóxico 1, anóxico 2, aeróbio e decantador, todos confeccionados em vidro. Para a realização do tratamento foram utilizados dispositivos de aeração, mistura e recirculação confeccionados em material alternativo. As análises dos parâmetros foram realizadas com amostras coletadas diariamente, do esgoto bruto, efluente final e licor misto. A construção do sistema teve 85% de economia quando se optou por materiais adaptados ao invés dos convencionais. As análises mostraram que o pH variou entre 7 e 8, já a alcalinidade foi de 148,58 ppmCaCO₃. Os ácidos graxos voláteis obtiveram uma redução de 81,3%. A remoção de DQO ficou em 78%. Já as formas de nitrogênio ainda persistiram no sistema com médias de nitrito e nitrato foram de 2,14 mg/L, 5,89 mg/L respectivamente e o fósforo foi removido apenas 12%. Os sólidos apresentam remoção de sólidos totais 11,12%, sólidos suspensos totais 96,2%, sólidos suspensos voláteis 95,3%. Desta maneira pode-se concluir que os sistemas de baixo custo, com materiais adaptados apresentam eficiência na remoção de poluentes e economia.

Palavras-chave: Águas Residuárias; Esgoto; Poluentes; Problemas Ambientais; Tratamento.

ABSTRACT

SOUSA, C.; MARTINS, F. P. **Construction and Monitoring of an Activated Sludge System on Workbench Scale of Modified UCT Type**. 2018. 51 f. Course Completion Work (Wastewater Treatment) - Coordination of the Bachelor's Degree in Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of the West of Pará.

Among the environmental problems caused by the population growth is the contamination of the water by the discharge of sewage in an inadequate way in water courses. For the environmental minimization of this effect it is necessary to carry out treatment before these pollutants are released into the environment. In this way, proposals are launched, such as activated sludge systems of the UCT type for treatment, which add efficiency and low cost. Therefore, it is proposed to build a system of this type, because it works in stages, the efficiency gain is high, being possible the removal of nutrients, such as phosphorus and nitrogen, besides removing much of the organic matter and fatty acids. The system consists of five sequential reactors, anaerobic, anoxic 1, anoxic 2, aerobic and decanter, all made from glass. To perform the treatment, aeration, mixing and recirculation devices made of alternative material were used. The analyzes of the parameters were performed with samples collected daily from the raw sewage, final effluent and mixed liquor. The construction of the system was 85% economical when we opted for adapted materials instead of conventional ones. The analyzes showed that the pH varied between 7 and 8, and the alkalinity was 148.58 ppmCaCO₃. Volatile fatty acids obtained a reduction of 81.3%. The removal of COD was 78%. Nitrogen forms still persist in the system with nitrite and nitrate averages were 2.14 mg / L, 5.89 mg / L respectively and the phosphorus was removed only 12%. The solids present total solids removal 11.12%, total suspended solids 96.2%, suspended solids volatile 95.3%. In this way it can be concluded that low-cost systems with adapted materials have efficiency in the removal of pollutants and economy.

Keywords: Wastewater; Sewer; Pollutants; Environmental problems; Treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo	24
Figura 2 - Configuração esquemática dos reatores.	26
Figura 3 – Esquema dos Misturadores e foto do motor e hélice produzida.....	31
Figura 4 - Esquema do sistema de recirculação.....	32
Figura 5 :- Esquema da Aeração.	33
Figura 6 - Esquema da bomba alimentadora do sistema	34
Figura 7 - Esquema da bancada utilizada como suporte para os reatores.....	35
Figura 8 - Esquema do reator anaeróbio	36
Figura 9 - Esquema do reator Anóxico 1	36
Figura 10 - Esquema do Reator Anóxico 2	37
Figura 11 - Esquema do Reator Aeróbio.....	37
Figura 12 - Esquema Decantador final	38
Figura 13 - Esquema do sistema UCT.	39
Figura 14 - Configuração real do Sistema UCT finalizado	39
Figura 15 - Ciclo de tratamento do EB, conforme avaliação experimental	40
Figura 16 - Comportamento do pH no sistema experimental avaliado (EB-UCT).....	42
Figura 17 - Comportamento da alcalinidade total no sistema experimental avaliado (EB-UCT).....	43
Figura 18 - Comportamento dos Ácidos graxos no sistema experimental avaliado (EB-UCT)	44
Figura 19 - Comportamento da DQO no sistema experimental avaliado (EB-UCT).....	45
Figura 20 - Comportamento do nitrito no sistema experimental avaliado (EB-UCT)	46
Figura 21 - Comportamento do nitrato no sistema experimental avaliado (EB-UCT).....	47
Figura 22 - comportamento do Nitrogênio amoniacal no sistema experimental avaliado (EB-UCT).....	48
Figura 23 - Comportamento do fosfato no sistema experimental avaliado (EB-UCT)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos dos parâmetros encontrados no Esgoto Sanitário (mg/L).....	17
Tabela 2 - Materiais utilizados na confecção dos dispositivos do sistema UCT modificado.	27
Tabela 3 - Valores estimados para o tratamento no sistema UCT	27
Tabela 4 - Configuração do sistema recirculação	28
Tabela 5 - Valores Unitários dos Materiais Empregados na Confecção dos Sistemas de Tratamento UCT a Nível de Bancada.....	29
Tabela 6 - Métodos analíticos dos parâmetros.....	30
Tabela 7 - Programação do regime intermitente por volume e tempo	34
Tabela 8 - Custos para a confecção do sistema UCT Convencional em escala de Bancada.....	41
Tabela 9 - Custos para a confecção do sistema UCT Alternativo em escala de Bancada.....	41
Tabela 10 - Concentração de sólidos totais do sistema experimental avaliado (EB-UCT).....	49
Tabela 11 - Concentração de sólidos suspensos totais do sistema experimental avaliado (EB-UCT)	50
Tabela 12 - Concentração de sólidos suspensos voláteis do sistema experimental avaliado (EB-UCT).....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Esgoto Sanitário.....	16
3.2	Normas e Regulamentação	17
3.3	Tratamento de Esgoto Sanitário	18
3.5	Remoção Biológica de Nutrientes.....	20
3.5.1	Nitrogênio	20
3.5.2	Remoção de Fósforo	22
4	MATERIAL E MÉTODOS	24
4.2	Área de Estudo.....	24
4.3	Etapas Construtivas do Sistema UCT.....	25
4.3.1	Confecção e adaptação dos dispositivos utilizados.....	25
4.3.2	Montagem do Sistema UCT Modificado	27
4.3.1	Comparativos entre os custos de materiais do sistema convencional e do sistema alternativo	29
4.4	Monitoramento e análises.....	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	Confecção dos dispositivos	31
5.1.1	Misturadores	31
5.1.2	Recirculadores.....	32
5.1.3	Aerador.....	33
5.1.5	Bancada Suporte	34
5.2	Reatores do sistema UCT	35
5.3	Configuração da montagem do sistema UCT	38
5.4	Cálculo dos custos de construção em escalas de bancada Convencional e alternativo.....	40
5.5	Resultados dos parâmetros Físicos e Químicos	42
5.5.1	Potencial Hidrogeniônico (pH)	42

5.5.2 Alcalinidade Total (Alct).....	43
5.5.3 Concentração de Ácidos Graxos (AGV).....	43
5.5.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	44
5.5.5 Nitrito (NO_2^-).....	45
5.5.6 Nitrato (NO_3^-).....	46
5.5.7 Nitrogênio Amoniacal (NH_4^+) (NH_3).....	47
5.5.8 Fósforo.....	48
5.5.8 Sólidos.....	49
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a demanda por recursos naturais criam pressões sobre o meio ambiente, seja ele atmosfera, terra ou água. Esta última sofre com pressões do despejo inadequado de águas residuárias que introduzem elementos, químicos como matéria orgânica e nutrientes, que em excesso causam degradação do sistema hídrico.

É notório que no meio ambiente ocorre a depuração natural desses poluentes, porém a carga excessiva acaba acometendo o meio natural a um processo de ineficiência dessa depuração, já que sobrecarrega a capacidade do mesmo, ocasionando a eutrofização, devido a carga de nutrientes, responsável pela alteração na qualidade da água.

A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (THOMANN e MUELLER, 1987), sendo que seu principal fator de estímulo é um nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo.

Tendo em vista o aumento da problemática da poluição nos corpos hídricos, principalmente em países em desenvolvimento, devido ao lançamento de esgoto in natura, buscam-se alternativas capazes de minimizar tal efeito adverso causado pelos lançamentos de águas residuárias sem tratamento (METCALF e EDDY, 2003).

Dentre estas alternativas encontram-se a construção de sistemas de tratamento de águas residuárias. Os sistemas de tratamento funcionam como barreira, na qual há uma remoção da carga poluidora que será enviada para o corpo hídrico receptor, ou será disponibilizada no solo, a qual dependerá dos tipos de legislações ambientais vigentes no país, as quais definem padrões para lançamentos de efluentes tratados (VON SPERLING, 2002).

Entre os vários sistemas de tratamento das águas residuárias, existem os sistemas de lodos ativados (SLA), que são processos de tratamentos biológicos de águas residuárias bastante consolidados e são fundamentados na retenção de uma biomassa dispersa nos reatores. Os sistemas (SLA), de um modo geral, se apresentam bastante difundidos pelo mundo e são utilizados principalmente quando se deseja uma elevada qualidade do efluente com baixos requisitos de área (FREIRE *et al.*, 2000).

O uso de variantes de lodos ativados convencionais podem ser utilizados, na obtenção de efluentes com elevada eficiências de remoção, como por exemplo, o sistema UCT, proposto por Rabinowitz e Marais (1980), o principal aspecto que o distingue dos demais é o fato de

evitar a introdução de nitrato na zona anaeróbia, dirigindo dessa forma a recirculação de lodo antes para uma zona anóxica e posteriormente para a zona anaeróbia, dessa forma potencializando a remoção de fósforo, o sistema consiste de quatro reatores e um decantador, o qual leva a sigla da universidade onde foi desenvolvido UCT (University Cape of Town).

Nesses sistemas, o controle operacional é baseado na manutenção de uma biomassa para que seja eficiente na remoção de matéria orgânica e nutrientes (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

Neste contexto, buscou-se construir um sistema de lodos ativados em escala de bancada de baixo custo, capaz de tratar esgoto de maneira simplificada e com eficiência, o qual possa ser reproduzido em escala real e seja capaz de agregar economia de recursos e eficiência no tratamento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Construir e realizar o monitoramento de um sistema de lodos ativados em escala de bancada, do tipo UCT modificado de 5 estágios, tratando esgotos domésticos em regime de fluxo intermitente.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar e comparar os aspectos construtivos da criação de um sistema UCT modificado em escala de laboratório.
- Desenvolver, adaptar e construir reatores, sistemas de recirculação, alimentação e misturadores necessários em reatores do tipo UCT.
- Calcular os custos de construção de escalas de bancada, frente a aspectos construtivos convencional e alternativo.
- Quantificar a produção de biomassa desenvolvida nas etapas de tratamento do UCT;
- Verificar o desempenho do sistema experimental com relação aos parâmetros físicos e químicos analisados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Esgoto Sanitário

O despejo líquido formado pelo esgoto doméstico e industrial, pela água de infiltração e pela parcela de contribuição pluvial é chamado de esgoto sanitário (CARVALHO e OLIVEIRA, 1997). As principais características químicas dos esgotos, de acordo com a FUNASA (2004) são:

✓ Matéria orgânica: cerca de 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica, geralmente esses compostos orgânicos são uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio, e algumas vezes com nitrogênio.

✓ Matéria inorgânica: é formada principalmente pela presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas.

O termo esgoto é usualmente aplicado para caracterizar despejos de água provenientes de diversos usos e origens (JORDÃO e PESSOA, 2009). Em suma, os seres humanos produzem tanto resíduos sólidos e líquidos quanto gasosos. Do ponto de vista da fonte de geração, entende-se por afluentes residual, uma combinação de líquidos ou resíduos carreados pela água provenientes de residências, instituições, estabelecimentos comerciais e industriais (METCALF e EDDY, 2003). As características dos esgotos são definidas pelos usos à qual a água foi submetida, e pode variar com o clima, situação social e econômica, e hábitos da população (VON SPERLING, 2005).

No sistema de caracterização de águas residuárias do tipo doméstica, a fração de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e ainda, microrganismos, nos esgotos domésticos corresponde a fração de 0,1%, já a maior parte consiste de água, aproximadamente, 99,9% (VON SPERLING, 2005).

A necessidade de tratar os efluentes é devido a estes sólidos, responsáveis pela deterioração da qualidade do corpo hídrico. Os contaminantes, como os compostos orgânicos, os sólidos suspensos, metais, nutrientes, sólidos inertes e grosseiros, sólidos dissolvidos inorgânicos, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos (VON SPERLING, 2005).

A classificação destes poluentes pode ser feita de acordo com a sua natureza, sendo eles: poluentes orgânicos biodegradáveis, poluentes orgânicos recalcitrantes ou refratários, poluentes inorgânicos, metais, nutrientes e sólidos suspensos e sedimentáveis (BRAGA, 2004).

Os principais poluentes presentes nas águas residuárias a serem lançadas nos corpos receptores (Tabela 1) estão relacionados à matéria orgânica e aos nutrientes (JORDÃO e PESSOA, 2005).

Tabela 1 - Valores típicos dos parâmetros encontrados no Esgoto Sanitário (mg/L)

Parâmetros	Esgoto forte	Esgoto médio	Esgoto Fraco
ST	1.160	730	370
SST	360	230	120
SSV	280	175	90
DBO _{5,20}	400	200	100
DQO	800	400	200
OD	0	0	0
Nitrogênio total	85	40	20
Nitrogênio orgânico	35	20	10
Amônia livre	50	20	10
N-NO ₂	0,10	0,05	0
N-NO ₃	0,40	0,20	0,10
Fósforo total	20	10	5
Fósforo orgânico	7	4	2
Fósforo inorgânico	13	6	3

Fonte: Jordão e Pessoa (2005).

A carga orgânica presente nos esgotos tem como principal consequência à diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) nos corpos receptores. Isso ocorre, pois, as bactérias naturalmente presentes no meio degradam os compostos orgânicos, consumindo o OD presente na água, o que prejudica a fauna presente no meio (SANT'ANNA JÚNIOR, 2010).

3.2 Normas e Regulamentação

Os parâmetros e critérios de lançamento de efluentes, visando à minimização dos impactos ambientais desta atividade, é estabelecida por leis e resoluções, com a finalidade de regulamentar e ter respaldo jurídico para cobrança e exigência de que se faça cumprir com o estabelecido pelas normas.

A Lei 9433/97, da Política Nacional dos Recursos Hídricos, em seu Art. 1º fundamenta que a água é um bem de domínio público, e um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Seu Art. 2º define que, entre os objetivos da Lei, esta “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

O Art. 12 da Lei 9433/97 estabelece que o lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos, líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final, está sujeito à outorga pelo Poder Público. Desta maneira o CONAMA, em sua Resolução 357 de 17 de março de 2005, trata, em seu Capítulo IV, das condições e padrões de lançamento de efluentes e estabelece que “os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d’água, após seu devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em outras normas aplicáveis”.

Para tal efeito de se atingir os padrões exigidos nas normativas a Norma Brasileira Regulamentadora 12209/2011 fixa as condições exigíveis para a elaboração de projeto hidráulico-sanitário de estações de tratamento de esgoto sanitário (ETE), ressaltando a regulamentação específica das entidades responsáveis pelo planejamento e desenvolvimento de sistemas de tratamento de esgotos sanitários (ABNT, 2011).

Sendo disposto pela Norma Brasileira Regulamentadora 13969/1997 sobre as unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, bem como seus aspectos construtivos e tem por objetivo oferecer alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanque séptico (ABNT, 1997).

Sendo os efluentes variáveis de acordo com a fonte geradora faz-se necessário conhecer profundamente as características do efluente industrial para determinar o tipo de tratamento adequado e atender os padrões de lançamento estabelecidos (BRAGA, 2005).

3.3 Tratamento de Esgoto Sanitário

A melhor maneira de se tratar o esgoto sanitário é a partir de processos biológicos, pois este é caracterizado por reproduzir os processos naturais de estabilização e autodepuração os quais ocorrem nos corpos hídricos, quando o esgoto é lançado, e a matéria orgânica é convertida em materiais mineralizados inertes (VON SPERLING, 2005). Os tratamentos baseados em processos biológicos permitem tratar grandes volumes de efluente, apresentando menor custo de funcionamento e simplicidade operacional (FREIRE et al., 2000; MOTTA et al., 2003). Sendo este utilizado para o tratamento de efluentes sanitários e industriais, principalmente quando o efluente possui alta carga poluidora e se deseja que haja uma elevada qualidade no efluente tratado (VON SPERLING, 1997).

O processo consiste na introdução de oxigênio no esgoto a ser tratado, com o objetivo de manter o ambiente aeróbio, e assim possibilitar o desenvolvimento de uma grande população de microrganismos responsáveis pela biodegradação aeróbia da matéria orgânica contida no esgoto (SANTOS *et al.*, 2011).

Os microrganismos comumente utilizados no tratamento biológico são os fungos, bactérias, vermes e protozoários, além das algas. Dentre estes as bactérias são os mais importantes na estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, 2005).

O uso de processos biológicos para a remoção mais completa do material orgânico iniciou-se nas primeiras décadas do século XIX, com a finalidade de aumentar a eficiência do tratamento das águas residuárias (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

Os sistemas de lodo ativado (SLA), de um modo geral, se apresentam bastante difundidos pelo mundo e são utilizados principalmente quando se deseja uma elevada qualidade do efluente com baixos requisitos de área (VON SPERLING, 2002). Estes sistemas apresentam diversas variações, quando se considera a remoção biológica conjunta de nutrientes (N e P), o autor também cita os principais processos utilizados em SLA destacando: o processo A₂O (Phoredox de três estágios), processo Bardenpho de cinco estágios (Phoredox), processo UCT, processo UCT modificado e reatores de operação intermitente (batelada).

No sistema UCT, proposto por Rabinowitz e Marais (1980), o principal aspecto que o distingue dos demais é o fato de evitar a introdução de nitrato na zona anaeróbia, dirigindo dessa forma a recirculação de lodo antes para uma zona anóxica e posteriormente para a zona anaeróbia, dessa forma potencializando a remoção de fósforo.

O sistema UCT de regime hidráulico contínuo, é composto por 4 reatores e um decantador, sendo o primeiro reator anaeróbio, favorecendo a biodesfosfatação, o segundo reator anóxico para desnitrificar e receber nitrato (via recirculação de licor misto), o terceiro reator com ambiente aeróbio promovendo a nitrificação (SANTOS *et al.*, 2014).

Os aspectos importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgotos são: eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, requisitos de área, impactos ambientais, custos de operação, custos de implantação, sustentabilidade e simplicidade (VON SPERLING, 1996). Sendo assim cada sistema deve ser analisado individualmente, adotando-se a melhor alternativa técnica e econômica.

3.4 Remoção de material orgânico e sólidos suspensos

O princípio geral do tratamento de águas residuárias por lodo ativado em sistemas aeróbios é a oxidação da matéria orgânica, utilizando o mesmo princípio que ocorre nos corpos d'água (matéria orgânica é convertida em CO_2 e H_2O), sendo que a biomassa pode ser separada do despejo por simples decantação (VON SPERLING, 2005).

Para a remoção de sólidos suspensos é geralmente utilizado um sistema de decantação e sedimentação em um reator de coluna d'água. Dessa forma temos a separação da fase sólida da fase líquida (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

3.5 Remoção Biológica de Nutrientes

A remoção de nutrientes é fundamental, pois evita que ocorra o processo de eutrofização dos corpos receptores, que geralmente, na sua maioria contem altos níveis de Nitrogênio (N) e Fósforo (P).

3.5.1 Nitrogênio

Segundo Van Haandel e Marais (1999), Mota e Von Sperling (2009); as fontes nitrogenadas em esgotos sanitários constituem, em geral, a principal fonte de nitrogênio orgânico, devido à presença de proteínas, e também nitrogênio amoniacal, derivado da urina, pois a ureia sofre hidrólise na água.

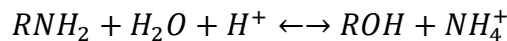
A presença de compostos orgânicos nos esgotos, principalmente dejetos, sofrem transformações, o que leva à formação de nitrogênio amoniacal nas águas, em suas formas de amônia gasosa (NH_3) ou do íon amônio (NH_4^+), através do processo de oxidação biológica que ocorre nos corpos receptores, a amônia é convertida a nitrito (NO_2^-) depois a nitrato (NO_3^-). Neste caso, para quantificar o material nitrogenado faz-se necessário seguir o parâmetro definido: deve-se quantificar a concentração do nitrogênio nas suas diferentes formas, para isto, são utilizados testes espectrofotométricos ou elétrodos específicos, os quais determinam as concentrações de amônia, nitrato e nitrito. O nitrogênio orgânico pode ser determinado após a sua conversão química para amônia (digestão). O produto dessas reações químicas de nitrogênio orgânico e amoniacal, chama-se de NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl.

3.5.1.1 Amonificação/assimilação

A reação de amonificação apresenta a conversão do nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal, já a assimilação ocorre no processo inverso (a amônia se junta à biomassa, estando presente, portanto, na forma de nitrogênio orgânico). Levando-se em consideração que o nitrogênio amoniacal, a um pH perto do valor neutro, terá, predominantemente, a forma salinizada ionizada (NH_4^+) e descrita na forma da equação 1.

Equação 1

Assimilação



3.5.1.2 Nitrificação

O processo de reação química na oxidação biológica da amônia é chamado de nitrificação, e tem como seu principal produto final o nitrato (NO_3^-). Sua ação requer a presença de dois grupos de bactérias específicas, a primeira são as do gênero *Nitrossomonas* (Nitritadoras), na qual elas oxidam a amônia para nitrito (NO_2^-), e o segundo são as *Nitrobacter* (Nitratadoras), que realizam a oxidação final do nitrito para nitrato. Dessa forma, temos a nitrificação, que é um processo que ocorre apenas em meio aeróbio. Esses dois passos são descritos pelas equações 2, 3 e 4:

Equação 2, equação geral para a nitrificação:



Equação 3, para nitritadoras ou bactérias oxidantes de nitrogênio amoniacal:



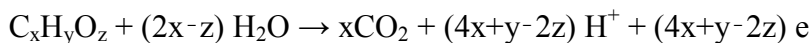
Equação 4, para nitratadoras ou bactérias oxidantes de nitrito:



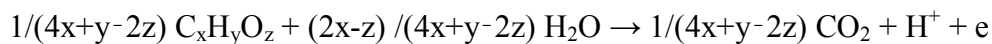
3.5.1.3 Desnitrificação

O processo de redução biológica de nitrato para nitrogênio molecular é chamado de desnitrificação, tendo-se material orgânico como redutor, sua fórmula geral é dada por $C_xH_yO_z$, isso para material orgânico, cujas suas reações de redução e de oxidação são calculadas nas seguintes equações 5, 6 e 7.

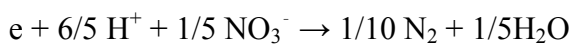
Equação 5, Oxidação:



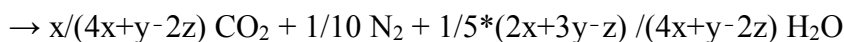
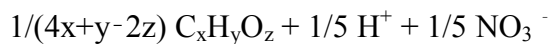
Ou:



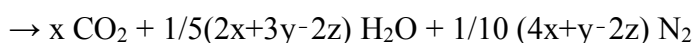
Equação 6, Redução no caso de nitrato:



Equação 7, Redox:



Ou



3.5.2 Remoção de Fósforo

3.5.2.1 Predominância do fósforo no esgoto

De acordo com Metcalf e Eddy (2003), as formas em que o fósforo se apresentam nas águas residuárias, geralmente são os fosfatos, podendo ser chamado de ortofosfato e o fósforo orgânico, encontrado em alguns aminoácidos. No efluente ocorre quase toda a mineralização do fósforo orgânicos que predomina na forma de fosfato. A ocorrência da elevada quantidade de fósforo em ambientes aquáticos, pode causar a eutrofização dos mesmos e dos sistemas de tratamento de esgoto. As principais formas de lançamento do fósforo nos corpos receptores são oriundas da agricultura que tem uso excessivos de fertilizantes químicos. Outra forma de

lançamento, está principalmente no descarte do esgoto em corpos d'água (Von Sperling, 2009).

3.5.2.2 Princípios da remoção de fósforo

A remoção biológica do fósforo em sistemas convencionais de lodo ativados, acontece através da descarga junto ao lodo de excesso. Essa remoção de fósforo em sistemas de lodo ativados é chamada de absorção em excesso de fósforo pelo lodo (HENRIQUE, 2010).

De acordo com Henrique (2010) essa remoção de P acontece quando as bactérias do tipo poli-P conseguem assimilar fósforo em concentrações acima de 2,5%, assim como investigado por van Haandel e Marais (1999).

Para van Haandel e Marais (1999), essa remoção é conseguida conforme demonstrado na equação 8. Isso para concentrações de P no efluente que é descarregado com o lodo de excesso:

Equação 8:

$$mP_1 = MP_1/MS_{ta} = (Q_a \cdot P_1)/(Q \cdot S_{ta}) = P_1/S_{ta}$$

ou

$$P_1 = mP_1 \cdot S_{ta} = f_p \cdot mE_v \cdot S_{ta} = f_p \cdot (1 - f_{us} - f_{up})$$

4 MATERIAL E MÉTODOS

A construção do Sistema de Lodos Ativados (SLA) foi determinada baseando-se em revisões de literatura, na qual foram consultados livros, periódicos disponíveis na biblioteca da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), na Web e a busca de artigos científicos localizados em revistas científicas, SciELO e outros websites.

A determinação do sistema a ser construído, baseou-se no sistema UCT modificado por Van Haandel e Marais (1999), buscando adaptação de materiais que substituam os convencionais os quais são de custos financeiros mais elevados.

O Sistema UCT projetado, contempla tanto o tratamento de esgoto no regime de fluxo intermitente, como também em fluxo contínuo, com recirculação de biomassa feita através de bombeamento. Neste contexto, o presente estudo realizou o processo de operação de funcionamento em regime de fluxo intermitente, que consiste basicamente em fluxos periódicos afluentes. Sendo posteriormente coletadas amostras do afluente (esgoto bruto) e do efluente final (esgoto tratado) para análises.

4.2 Área de Estudo

O desenvolvimento do presente trabalho ocorreu no laboratório de Tratamento de Águas Residuárias-LabTAR (Figura 1), vinculado ao Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas (ICTA) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), situado na cidade de Santarém, PA.

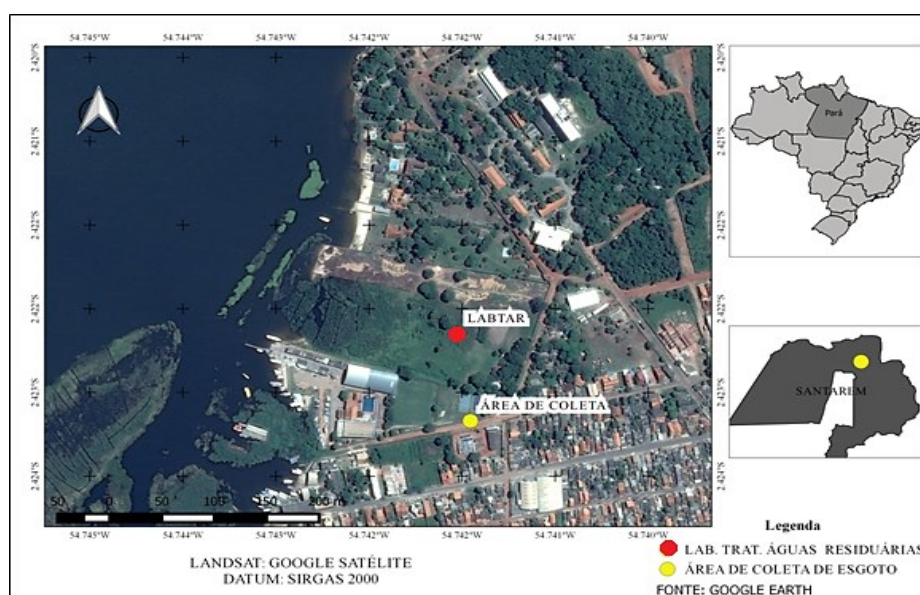
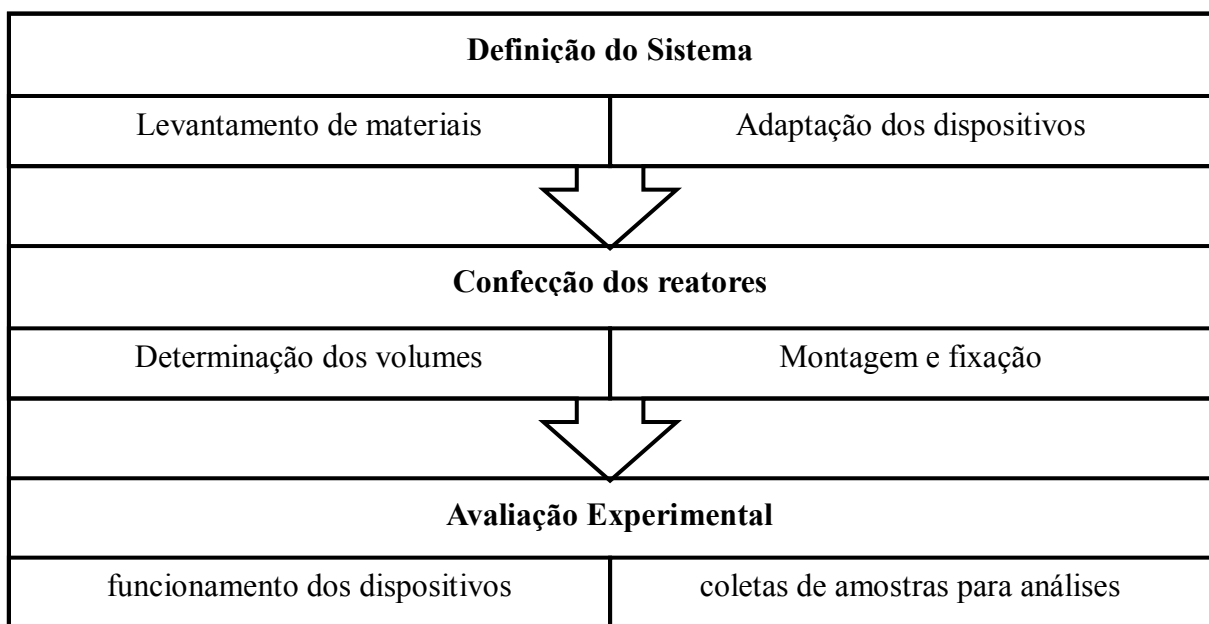


Figura 1 - Localização da área de estudo

4.3 Etapas Construtivas do Sistema UCT

As etapas para confecção do sistema UCT modificado com fins didáticos, foram realizadas com objetivo de utilizar material alternativo de baixo custo, levantando a análise dos tipos de materiais a serem utilizados, com adaptação e criação dos dispositivos e finalizando com a montagem do sistema. Outra etapa se deu no processo de monitoramento do sistema proposto. Desta maneira, a definição do melhor material para a confecção dos reatores foi o vidro, o qual possibilita a interação para utilização em aulas práticas e de custo mais acessível, neste caso optou-se pelo vidro comum de 5 mm de espessura.



4.3.1 Confecção e adaptação dos dispositivos utilizados

4.3.1.1 Reatores

A construção do sistema de tratamento em escala experimental fundamentou-se de acordo com a vazão requerida em cada nível de tratamento, cada reator deve operar com um volume útil no qual o nível de efluente não venha a transbordar.

Os reatores foram confeccionados em material de vidro, cujas dimensões variam de acordo com o volume de cada reator. O primeiro compartimento é um Reator Anaeróbio: onde ocorre a admissão do efluente, é responsável pela primeira etapa do tratamento na qual, segundo Chernicharo (2007), é o processo no qual bactérias anaeróbias convertem a matéria orgânica, em sistemas fermentativos, com o objetivo de remover parte da matéria orgânica do

esgoto bruto, é onde inicia a remoção do fósforo, o qual é acumulado pelas bactérias acumuladoras e forma posteriormente biomassa em forma de lodo.

Já o segundo compartimento é o primeiro reator Anóxico 1: este funciona sem presença de oxigênio, onde ocorre a desnitrificação, na qual o nitrogênio é removido, de acordo com Van Haandel, *et al.* (2009), a remoção do nitrogênio é aplicada em único reator em sistemas de lodo unitário.

O terceiro reator instalado é o segundo reator anóxico 2: é onde também garante um melhor polimento na remoção de nitrato no sistema.

O quarto é um reator aeróbio: onde ocorre nitrificação, oxidação da matéria orgânica por microrganismos aeróbios a aeração favorece os microrganismos presente no meio para que estejam com suas funções ativas ao máximo, consumindo assim a matéria orgânica do meio e liberando dióxido de carbono (CO₂).

O quinto é um decantador, cuja função é permitir a decantação do lodo que circula durante o processo de tratamento, garantindo assim o descarte do efluente final sem consideráveis concentrações de sólidos em suspensão. Esse decantador precisa ter uma coluna de líquido o suficiente para decantação ideal, pois é nele que ocorre a separação as fases líquidas e sólidas do sistema, sendo a fase líquida o efluente final que é descartado e a fase sólida é o lodo sedimentado, o qual é recirculado para o segundo reator anóxico (Figura 2).

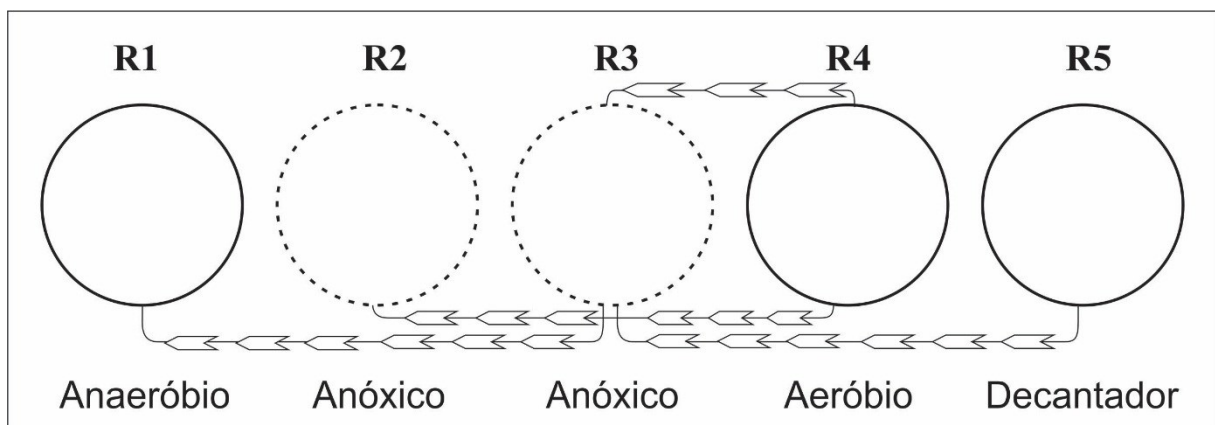


Figura 2 - Configuração esquemática dos reatores.

4.3.1.2 Dispositivos

Os dispositivos para controle da recirculação, da mistura, controladores de tempo, aeração e alimentação do sistema, foram confeccionados a partir de adaptação de materiais simples (Tabela 2).

Tabela 2 - Materiais utilizados na confecção dos dispositivos do sistema UCT modificado.

DISPOSITIVO	FUNÇÃO	MATERIAS UTILIZADOS
Recirculadores	Recircular o esgoto entre os reatores	Bomba de desaguamento de máquina de lavar, mangueiras e conexões
Aerador	Injetar ar no reator aeróbio	Soprador de ar, mangueira, tubo de plástico, pedra porosa.
Misturadores	Manter o esgoto homogeneizado nos reatores	Motor de prato de micro-ondas, tubos de plástico e pedaços de forro PVC.
Controladores de tempo	Controlar o período de funcionamento dos demais dispositivos	Temporizadores digitais e analógicos, cabos condutores e tomadas.
Alimentador do sistema	Alimentar o sistema com esgoto para tratamento	Bomba peristáltica, mangueiras.

4.2.2 Montagem do Sistema UCT Modificado

A montagem do sistema de lodos ativados do tipo UCT em 5 estágios, em escala de bancada, seguiu as etapas construtivas dos dispositivos, confecção dos reatores e finalizando a instalação completa do sistema na bancada.

O sistema foi dimensionado para tratar em cada fluxo intermitente o volume de 6 litros/dia, a partir daí foram estimados os valores de volume, vazão de entrada, tempo de detenção hidráulica e o tempo de retenção celular (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores estimados para o tratamento no sistema UCT

Parâmetro determinados	Unidade
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	7 dias
Vazão (Q)	0,0016 L/s (6 L/d)
Tempo de retenção celular (TRC)	10 dias
Intervalo entre intermitências	4 h
Tempo de intermitência	15 min (0,4 h)
Volume total do Sistema	49,5 L

Para o sistema trabalhar por gravidade foi necessário criar uma bancada em forma de degraus e dispor os reatores em cada um dos compartimentos, os quais servem de suporte para os reatores, essa disposição facilita a transferência do efluente de uma etapa do tratamento para outra. Já o processo de recirculação é ativado por bombas adaptadas com controle de

vazão. Foram utilizadas mangueiras acopladas a flanges de PVC conectados a tubos de 20 mm de diâmetro e fixadas com braçadeiras para evitar vazamentos.

O sistema de recirculação foi acoplado aos flanges de PVC com utilização de mangueiras flexíveis de 25 mm de diâmetro, presas com braçadeiras a tubo rígido de PVC. O mesmo foi feito para a saída, através de uma mangueira na qual em sua saída foi instalado um registro e uma curva de 90° e 20 mm de diâmetro e um tampão no final da maneira para o controle da vazão. Foram instalados quatro dispositivos de recirculação entre os reatores (Tabela 4).

Tabela 4 - Configuração do sistema recirculação

Reator de saída	Reator de entrada	Volume recirculado por período (L)	Tipo de processo favorecido
Aeróbio (R4)	Anóxico 2 (R3)	3	Desnitrificação
Anóxico 2 (R3)	Anaeróbio (R1)	2	Fosfatação
Decantador final (R5)	Anóxico 2 (R3)	3	Desnitrificação
Aeróbio (R4)	Anóxico 1 (R2)	6	Desnitrificação

Estas etapas de recirculação foram configuradas com temporizadores, e funcionaram em períodos diferentes (conforme cronograma operacional), para não haver transbordo de esgoto dos reatores.

O sistema de agitação foi acoplado na parte superior da bancada, fixado e configurado com o temporizador para passar um período ligado e outro desligado (intervalos de 15 minutos).

O Sistema de aeração foi instalado apenas no reator aeróbio e configurado em sistema liga/desliga para otimização da recirculação e evitar oxigenação no reator anóxico

A alimentação foi realizada através de uma bomba peristáltica de vazão (0,105 L/s), com funcionamento em períodos de 15 minutos, introduzindo esgoto bruto no sistema UCT primeiramente no reator anaeróbio a cada quatro horas, totalizando o volume de 6 L de efluente no sistema a cada 24 horas.

O descarte de efluente final foi realizado através do decantador final (R5), sendo que de acordo com a entrada do EB no sistema, o descarte também entrava em operação, pois com a elevação do nível útil do reator o efluente final foi descartado por fluxo ascendente.

4.3.1 Comparativos entre os custos de materiais do sistema convencional e do sistema alternativo

No que tange a confecção de sistemas para laboratórios em nível experimental ou para fins didáticos é importante trabalhar com as planilhas de custos, haja vista poucos recursos são aplicados nesta área, desta maneira é mostrado o comparativo entre o gasto com a confecção de um sistema convencional e um sistema alternativo de baixo custo (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores Unitários dos Materiais Empregados na Confecção dos Sistemas de Tratamento UCT a Nível de Bancada

Sistema UCT convencional	Sistema UCT Alternativo (adaptado)	Custo 1	Custo 2	Diferença
Acrílico (m ²)	Vidros (m ²)	R\$ 160,00	R\$ 80,00	R\$ 80,00
Bomba Peristáltica (Recirculação)	Bomba (Recirculação)	R\$ 329,64	R\$ 24,90	R\$ 304,74
Torneiras	Torneiras	R\$ 12,00	R\$ 3,50	R\$ 8,50
Flanges	Flanges	R\$ 8,00	R\$ 8,00	R\$ -
Motor de Agitação Vórtex	Motor de Agitação	R\$ 1.200,00	R\$ 25,00	R\$ 1.175,00
Mangueira 25mm (M)	Mangueira (m)	R\$ 12,00	R\$ 12,00	R\$ -
Curva de 90° (20mm)	Curva de 90° (20 mm)	R\$ 2,50	R\$ 2,50	R\$ -
Joelho de 90° (20 mm)	Joelho de 90° (20 mm)	R\$ 2,50	R\$ 2,50	R\$ -
Tampão 20 mm	Tampão 20 mm	R\$ 3,00	R\$ 3,00	R\$ -
Cabo de 8 mm (m)	Cabo de 8 mm (m)	R\$ 21,20	R\$ 21,20	R\$ -
Extensão Elétrica (12A)	Extensão Elétrica (12A)	R\$ 15,00	R\$ 15,00	R\$ -
Bancada De Aço	Bancada de Madeira	R\$ 550,00	R\$ 95,00	R\$ 455,00
Haste em Acrílico	Bastão de Plástico	R\$ 16,00	R\$ 0,15	R\$ 15,85
Cola de Silicone	Cola de Silicone	R\$ 26,00	R\$ 26,00	R\$ -
Braçadeiras	Braçadeiras	R\$ 3,00	R\$ 3,00	R\$ -
Registro	Registro	R\$ 16,00	R\$ 16,00	R\$ -
Automatizador	Temporizador	R\$ 102,00	R\$ 31,00	R\$ 71,00
Totais		R\$ 2.478,84	R\$ 368,75	R\$ 2.110,09

4.4 Monitoramento e análises

O desenvolvimento do experimento deu-se durante o período de quatro meses (novembro de 2017 a fevereiro de 2018), sendo que para as análises laboratoriais demanda bioquímica de oxigênio (DQO), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), ácidos graxos voláteis (AGV), Nitrogênio Amoniacal (N_2) e fósforo (P) foram feitas 4 determinações durante o último mês da pesquisa, totalizando assim quatro amostragens (determinações) sendo uma a cada semana, para as análises de potencial hidrogeniônico (pH), Alcalinidade total (Alct) foram realizadas 18 determinações e para sólidos foram realizadas três amostragens.

O monitoramento do sistema foi realizado diariamente, para o acompanhamento das atividades, desenvolvimento e adaptações do sistema.

As determinações químicas efetuadas durante o período experimental seguiram as recomendações do Apha (2012). No entanto, ácidos graxos voláteis e alcalinidades foram determinados com base no método Kapp descrito por Buchauer (1998). A Tabela 6 mostra as variáveis dos parâmetros analisadas e os métodos utilizados possibilitando assim a verificação de eficiência de remoção dos mesmos.

Tabela 6 - Métodos analíticos dos parâmetros

Variáveis	Métodos Analíticos	Referência
*DQO ($\text{mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$)	Titulométrico Refluxação Fechada	5220 C. / APHA (2012)
pH	Potencio métrico	4500 / APHA (2012)
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	-	2550 / APHA (2012)
Alcalinidade Total ($\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$)	Kapp	BUCHAUER (1998)
AGV ($\text{mgH}_{\text{Ac}} \cdot \text{L}^{-1}$)	Kapp	BUCHAUER (1998)
Nitrato ($\text{mgN-NO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$)	Salicilato de Sódio	RODIER <i>et al.</i> (1975)
Nitrito ($\text{mg N-NO}_2^- \cdot \text{L}^{-1}$)	Colorimétrico Diazotização	4500-NO2 B. / APHA. (2012)
Amônia ($\text{mgN-NH}_4^+ \cdot \text{L}^{-1}$)	Semi-Micro Kjeldahl	4500-NH3 / APHA (2012)
Fósforo e Frações ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Ácido Ascórbico	4500-P E./ APHA (2012)
*SST ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Gravimétrico	2540 D. / APHA (2012)
*SSV ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	Gravimétrico	2540 E. / APHA (2012)

*DQO – Demanda Química de Oxigênio; N-NH_4^+ – Nitrogênio Amoniacal; pH – Potencial Hidrogeniônico; SST – Sólidos Suspensos Totais; SSV – Sólidos Suspensos Voláteis; SSF – Sólidos Suspensos Fixos; AGV – Ácidos graxos voláteis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Confeção dos dispositivos

5.1.1 Misturadores

Para otimizar o processo de mistura nos reatores, foram utilizados motores de prato de micro-ondas, adaptado com uma haste de plástico e uma hélice feita com forro de PVC (Figura 4). A velocidade de rotação do motor foi controlada com uma modificação no sistema de engrenagens ficando condicionada a 25 rpm, em seguida foi fixada a haste juntamente com a hélice, para manter a homogeneização do sistema.

O dispositivo de decantação busca manter o contato da biomassa e o substrato, evitando assim que o lodo decante no fundo do reator. Os misturadores confeccionados mostraram um bom desempenho, pois os reatores mantiveram a mistura completa.

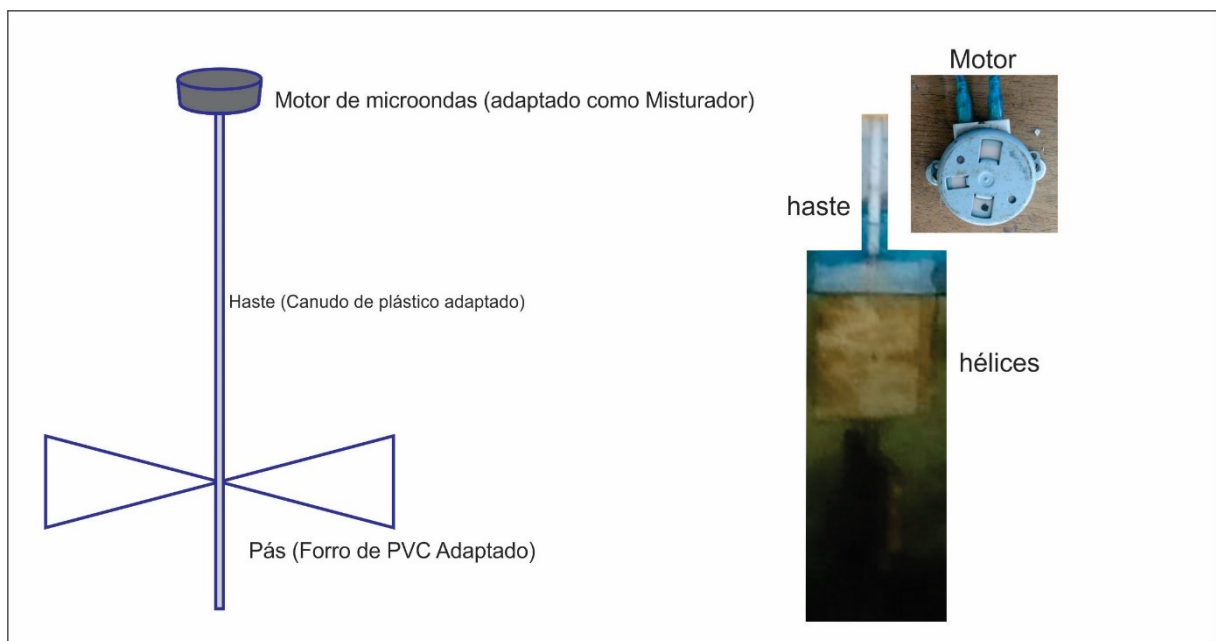


Figura 3– Esquema dos Misturadores e foto do motor e hélice produzida.

5.1.2 Recirculadores

Para garantir a eficiência do tratamento foram desenvolvidos sistemas de recirculação da biomassa. Para tanto foi necessário adaptar um sistema de bombeamento com controle de vazão (Figura 5). Foi adaptado ao sistema, bombas de máquina de lavar roupa, juntamente com conexões de PVC e mangueiras flexíveis conectoras. Como este tipo de bomba não possui controle de vazão (apenas em mudança de coluna d'água) foi adaptado um tampão na entrada e saída do sistema de bombeamento, com perfuração de diâmetro aproximado de 4mm, juntamente com um registro de PVC, permitindo assim o controle da vazão de retorno.

O processo de recirculação do licor misto visa remover a matéria orgânica e nutrientes como nitrogênio e fósforo, processos esses que perpassam pelos reatores anóxicos, tornando assim mais eficiente esse sistema (HENRIQUE *et al.*, 2014).

É importante afirmar que, a taxa de recirculação para cada sistema, não pode ser superior a 20% do volume total do reator circulado, por isso foram realizadas estas adaptações.

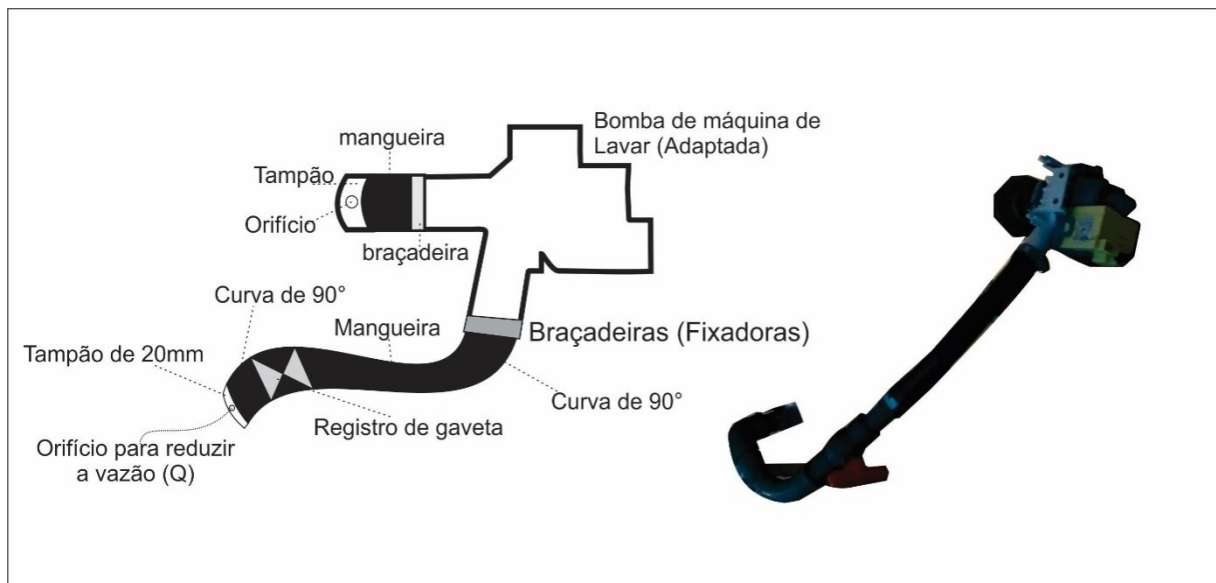


Figura 4 - Esquema do sistema de recirculação.

5.1.3 Aerador

O sistema de aeração foi configurado com a utilização de um soprador de ar, conforme apresentado na Figura 6. O sistema de aeração foi responsável por manter o reator aeróbio oxigenado, favorecendo assim a ação dos microrganismos aeróbios e permitindo que a atividade de respiração celular seja constante.

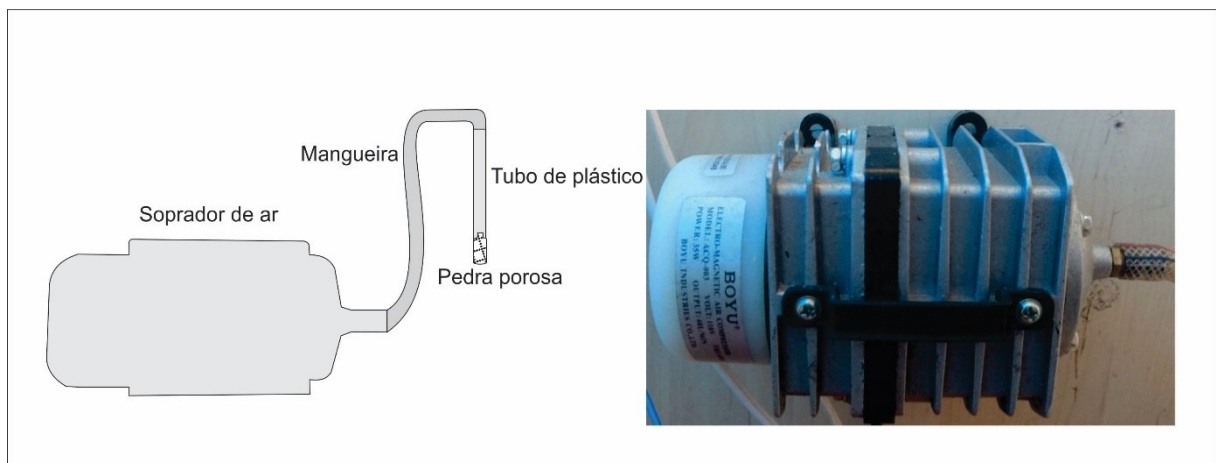


Figura 5:- Esquema da Aeração.

5.1.4 Alimentador

O sistema experimental foi monitorado em fluxo intermitente no regime de batelada, para isso foi definido o volume a ser tratado diariamente. Para o processo de alimentação foi instalada uma bomba peristáltica de baixo consumo de energia (Figura 6), no qual foi programado em temporizador analógico (em intervalos de 15 minutos) para bombear 6 Litros por dia. Neste processo a alimentação acontece juntamente com a descarga do efluente tratado (simultâneo).

O ciclo total de intermitências é de 24 horas, sendo que para cada período a alimentação o volume adicionado obedecia um intervalo de 6 h. Desta maneira, a programação ficou distribuída em 4 intermitências 15 minutos, totalizando o volume de 1,5 litros. (Tabela 7). Assim o efluente que entra no sistema tem tempo suficiente para sofrer a ação microbiológica e ser tratado.

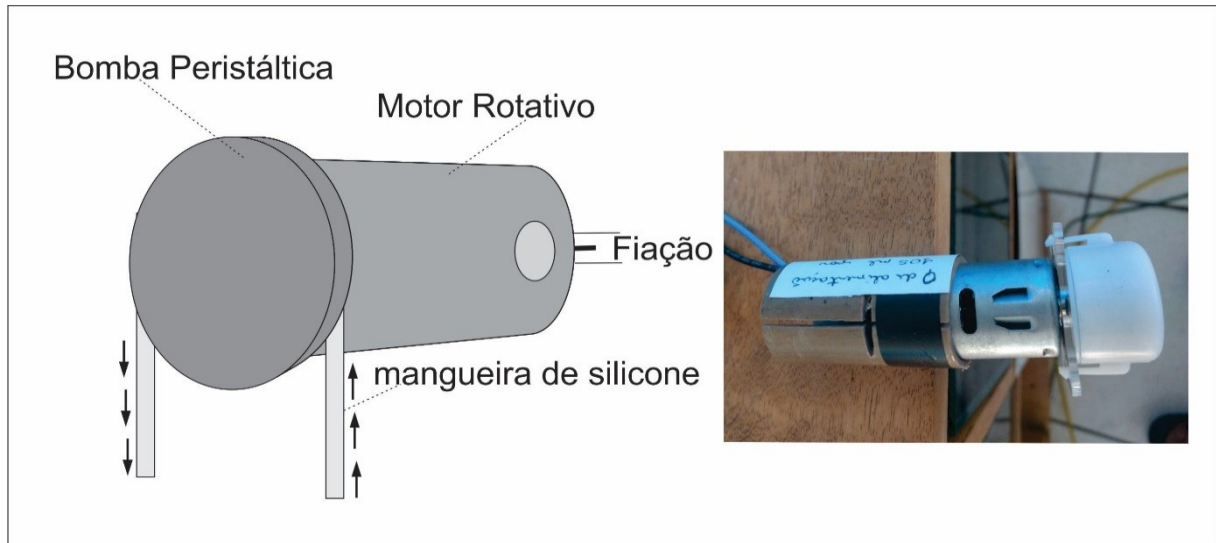


Figura 6 - Esquema da bomba alimentadora do sistema.

Tabela 7 - Programação do regime intermitente por volume e tempo

HORA	VOLUME (L)	VAZÃO (L/min)	TEMPO DE ALIMENTAÇÃO (min)
06:00	1,5	0,1	15
12:00	1,5	0,1	15
18:00	1,5	0,1	15
24:00	1,5	0,1	15

A programação feita no funcionamento da bomba de alimentação através do temporizador faz com que o processo seja automatizado, implicando apenas no acompanhamento e manutenção o que evita a alimentação seja manual, evitando assim a utilização de uma unidade Controladora Logica Padrão (CLP), que representa um alto custo de investimento.

5.1.5 Bancada Suporte

A bancada de suporte foi confeccionada em madeira, por ser de baixo custo e de fácil manuseio. O dimensionamento foi idealizado para comportar os 5 reatores com volumes diferenciados. Como esquema de engenharia, o formato em degraus facilitou o processo de transferência de efluentes por gravidade (Figura 7) e proporcionou melhora no tratamento.

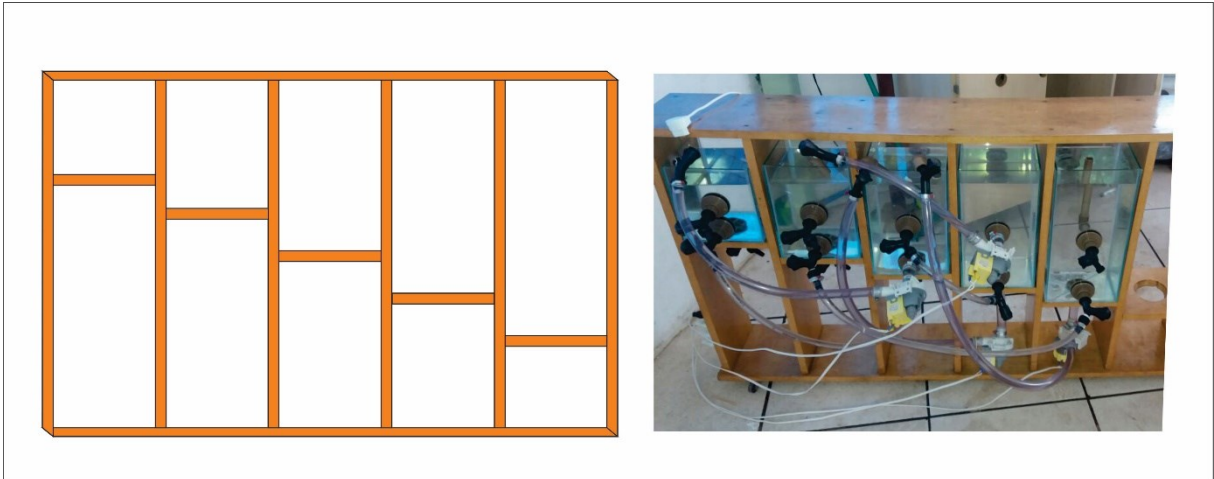


Figura 7 - Esquema da bancada utilizada como suporte para os reatores.

A bancada possui em cada um dos compartimentos aberturas na parte central superior e inferior. Na parte superior foram conectados os dispositivos de mistura, e na parte inferior os dispositivos de recirculação e descarte do lodo.

5.2 Reatores do sistema UCT

Os reatores do sistema UCT, foram devidamente calculados de acordo com as vazões requeridas (Q), bem como, o tempo de detenção hidráulica (TDH), o tempo de retenção celular (TRC) e o descarte do efluente final, desta maneira para melhor visualização foram utilizadas placas em vidro com dimensões específicas para cada reator. A escolha do vidro transparente, teve como finalidade de melhor acompanhamento do processo de tratamento, bem como, proporcionar visualização para os ensinamentos em sala de aula para os alunos.

Todos os reatores foram confeccionados com placas de vidro de 5 mm de espessura, com área da base medindo $0,036 \text{ m}^2$, com dispositivo de entrada e saída perfurado no vidro em diâmetro de 25 mm, onde se encaixou um flange, no qual é fixado o sistema de descarte ou recirculação de lodo.

A dimensão dos reatores e ilustração dos dispositivos estão representadas nas figuras: 8- Reator anaeróbio; 9- Reator anóxico 1; 10- Reator Anóxico 2; 11-Reator aeróbio e 12- Decantador.

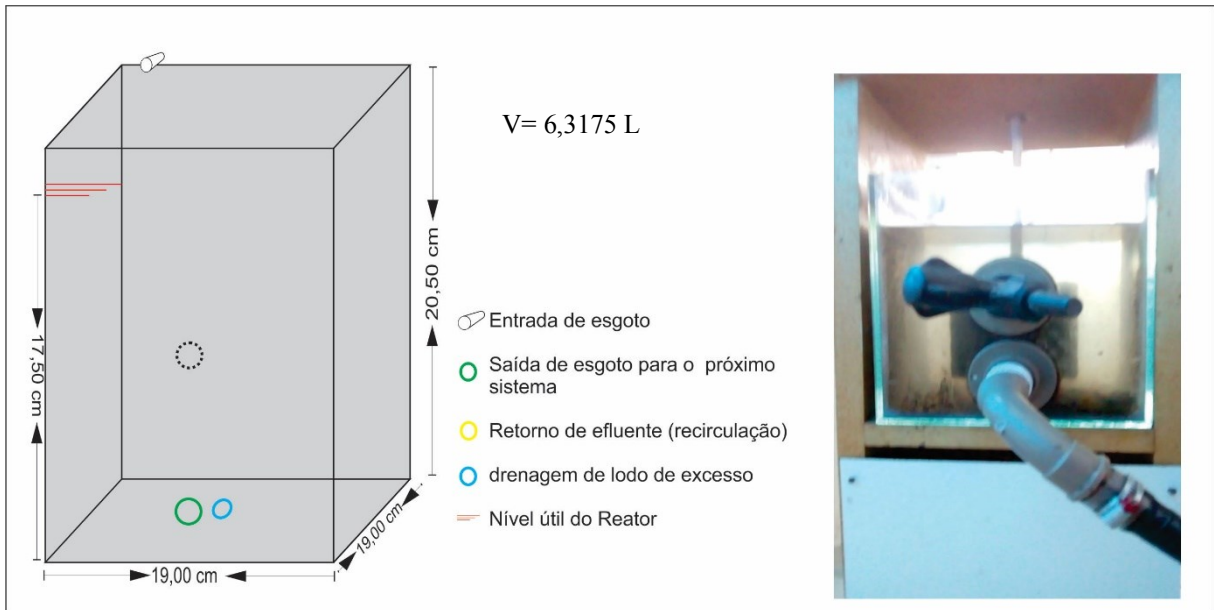


Figura 8 - Esquema do reator anaeróbio

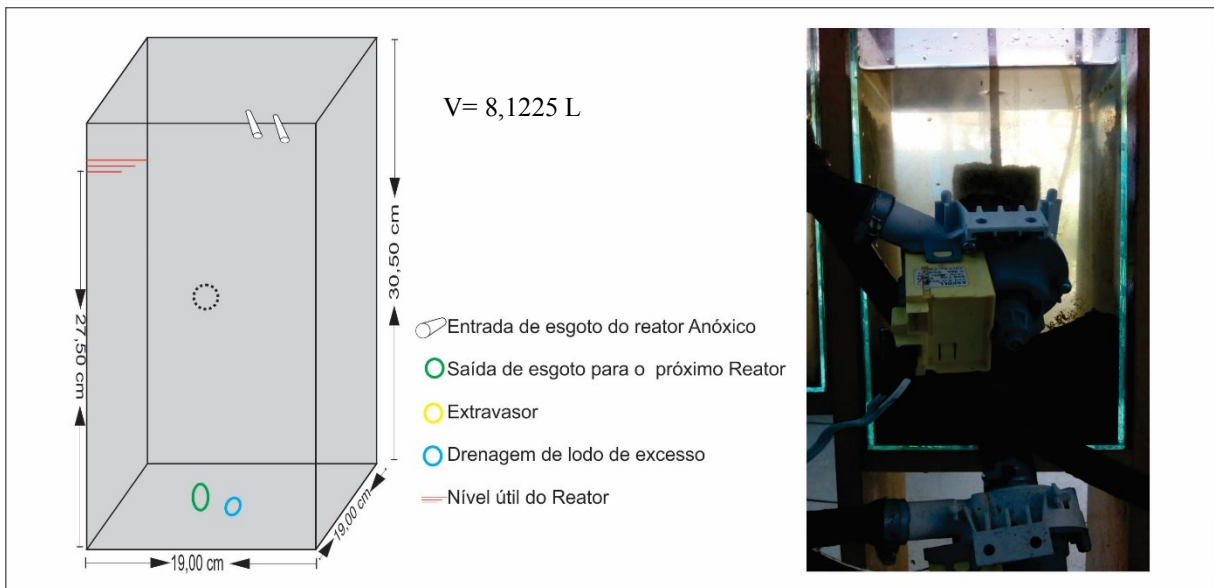


Figura 9 - Esquema do reator Anóxico 1

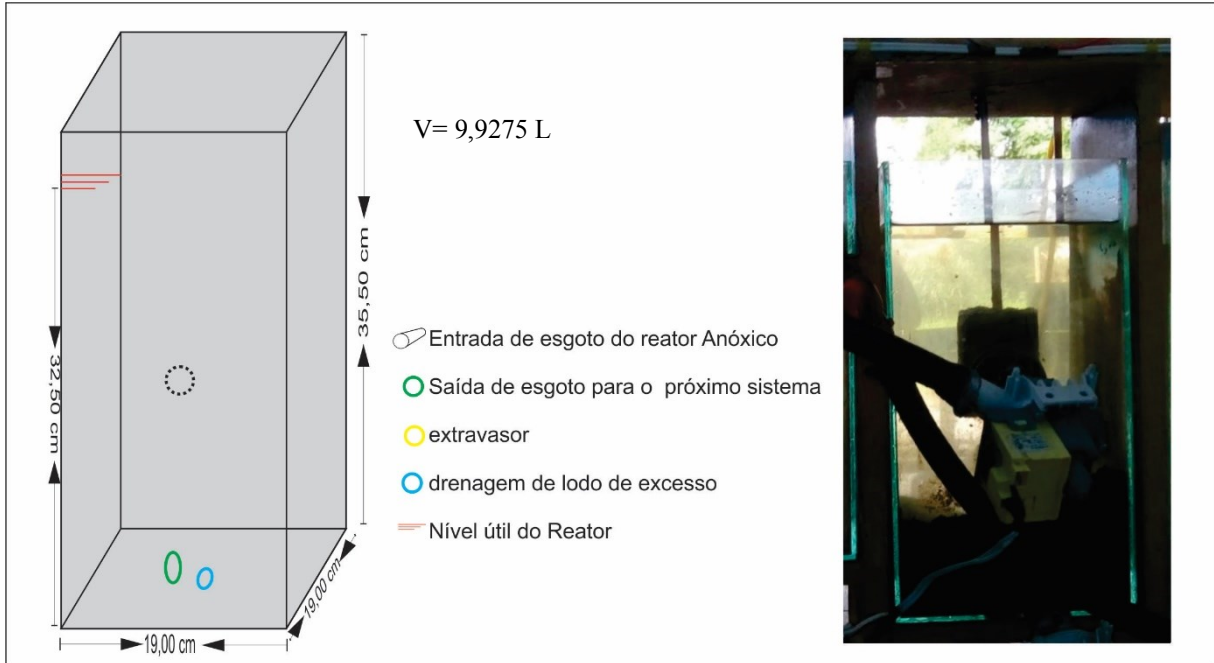


Figura 10 - Esquema do Reator Anóxico 2

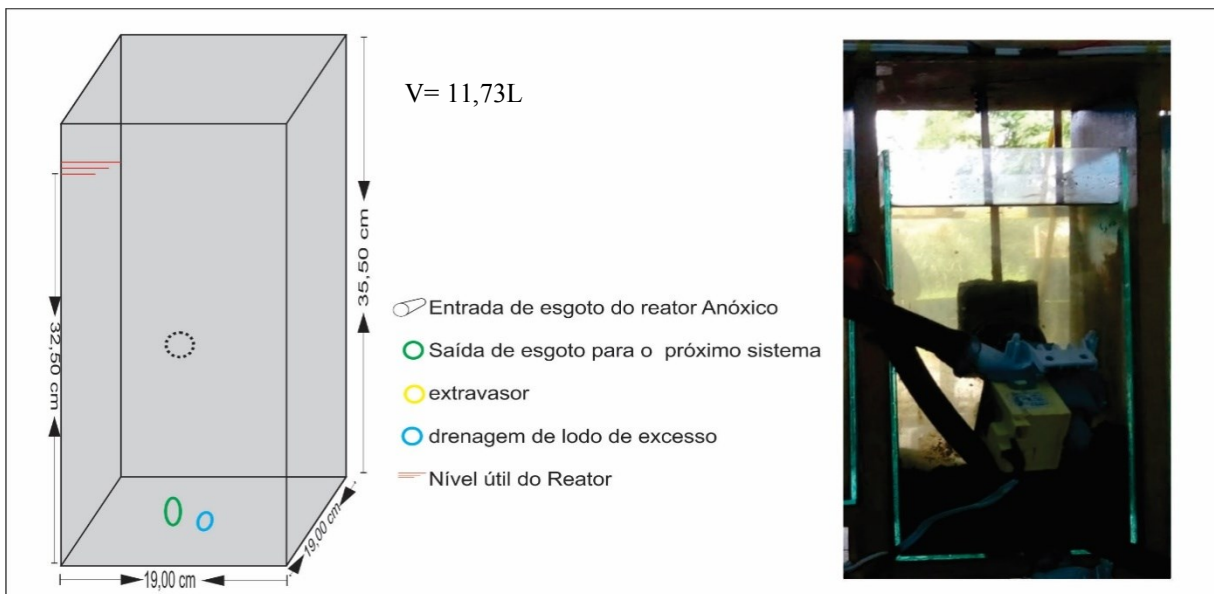


Figura 11 - Esquema do Reator Aeróbio

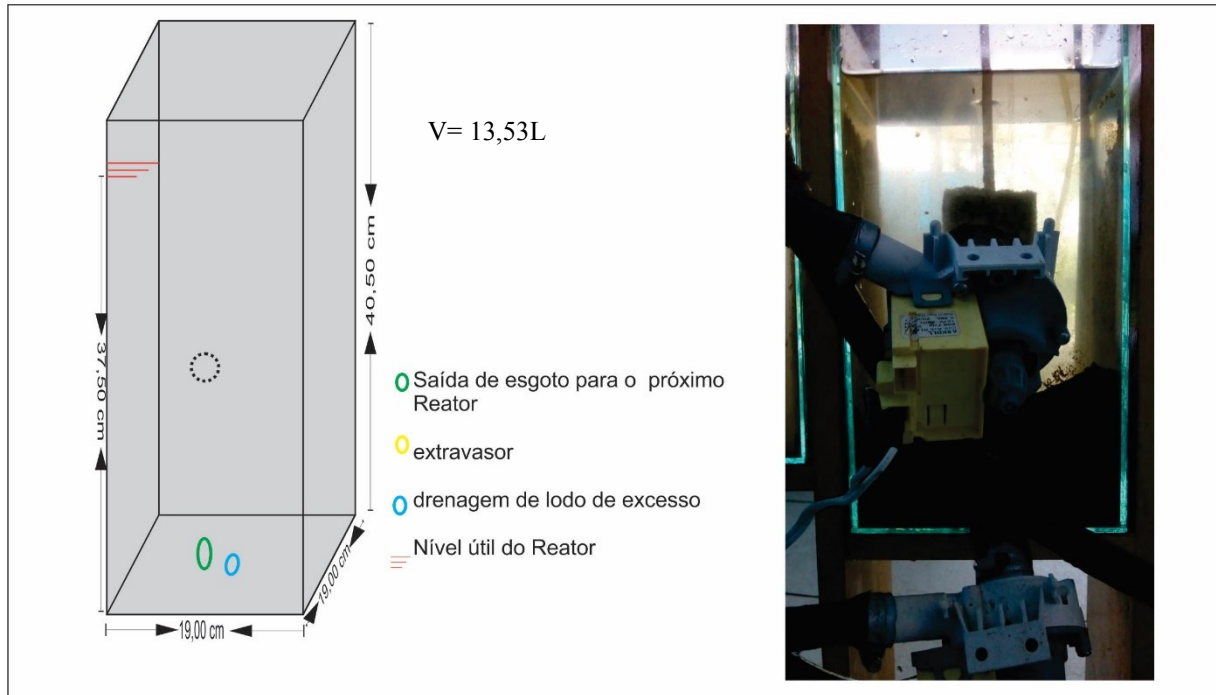


Figura 12 - Esquema Decantador final

5.3 Configuração da montagem do sistema UCT

A montagem final do sistema consistiu em instalar os reatores cada um em sua posição determinada, em seguida foram montados os dispositivos e configurados os sistemas automatizados com o uso de temporizadores, figuras 13 e 14. Como dispositivos externos ao sistema de tratamento de lodos ativados do tipo UCT em escala de bancada, foram necessários: um recipiente de armazenamento do esgoto bruto, um recipiente para descarga do efluente tratado, e um recipiente para coleta de esgotos in situ (neste caso, esgoto de sarjeta das ruas). Estes dispositivos estão apresentados na Figura 15

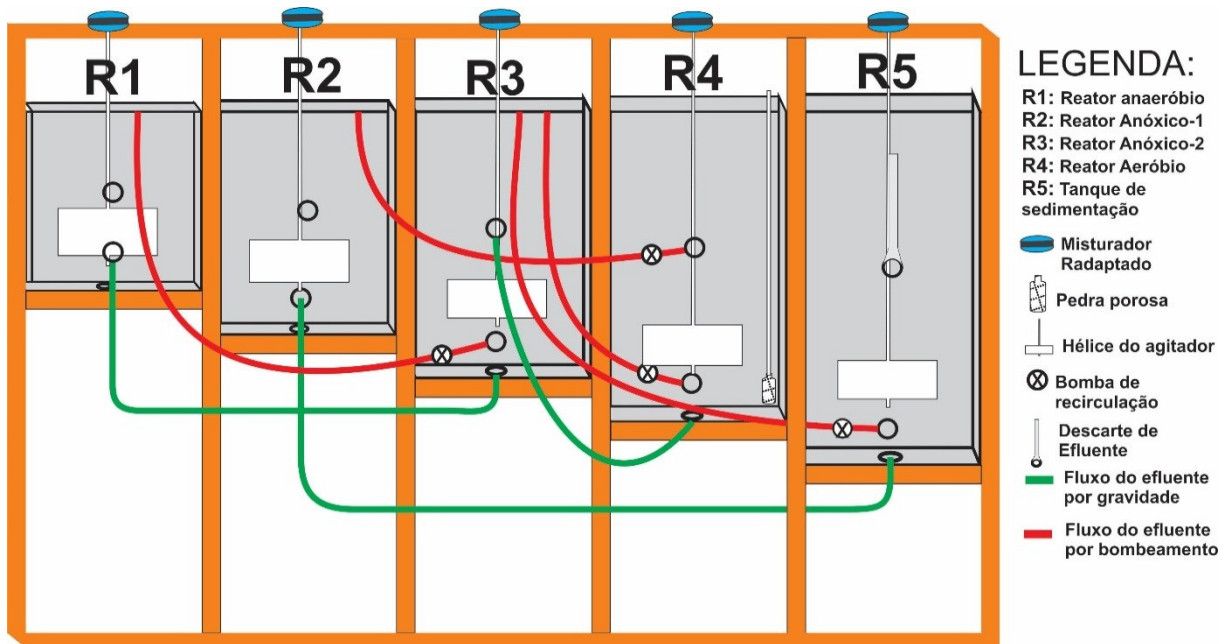


Figura 13 - Esquema do sistema UCT.



Figura 14 - Configuração real do Sistema UCT finalizado

A configuração esquemática do sistema UCT permite a interpretação e o padrão de confecção do sistema proposto de maneira clara, os fluxos de efluente e recirculação, bem como a instalação dos reatores, as dimensões e os volumes.

O sistema em funcionamento permite trabalhar com a interação de um processo de tratamento real, sendo possível determinar as etapas de maneira clara e os processos biológicos que ocorrem no sistema.

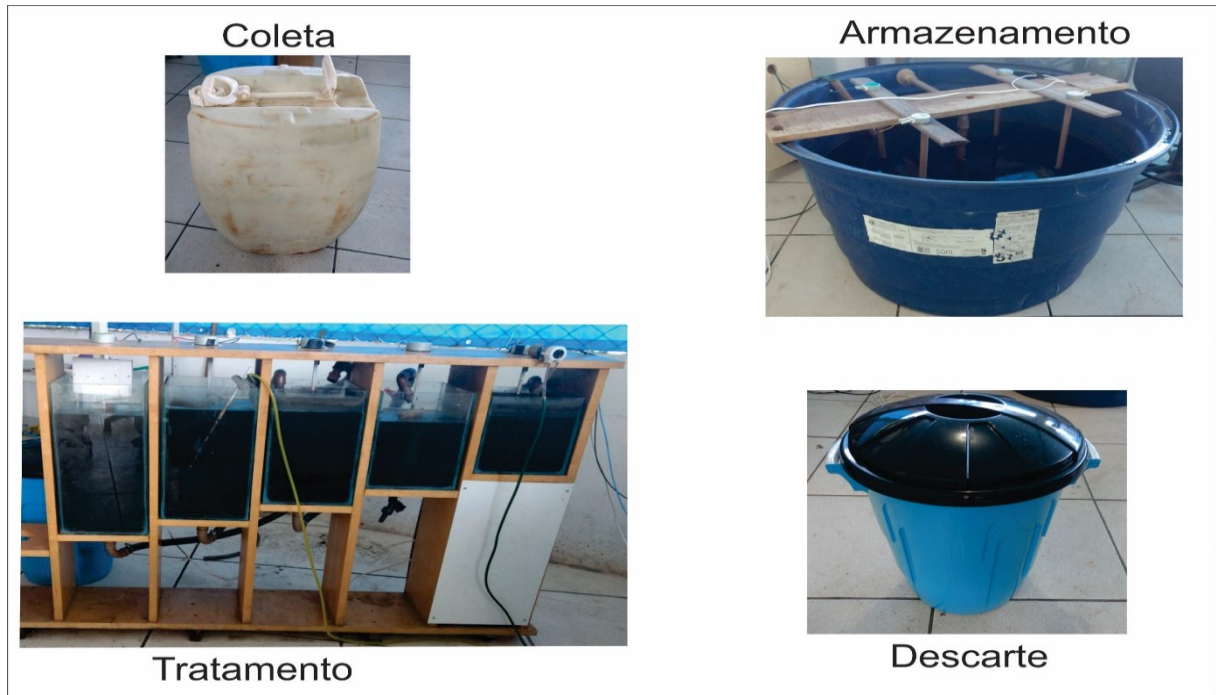


Figura 15 - Ciclo de tratamento do EB, conforme avaliação experimental

5.4 Cálculo dos custos de construção em escalas de bancada Convencional e alternativo

Os custos de construção em escala de bancada, comparados com os custos dos sistemas convencionais devem mostrar em percentuais, os valores econômicos da confecção alternativa do sistema, utilizando matérias adaptados e otimizados, já os sistemas em escala real são realizados com planilhas de custos detalhadas os quais devem levar em consideração uma série de fatores que influenciam nos custos construtivos e operacionais do sistema como um todo.

Os materiais alternativos que sejam adaptados podem acarretar grande economia em termos financeiros, para um sistema de bancada com fins didáticos e experimentais (Tabela 8 e 9), em relação a um sistema convencionalmente construído para laboratório (com materiais patenteados e com controle de empresas).

Tabela 8 - Custos para a confecção do sistema UCT Convencional em escala de Bancada

MATERIAIS	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	UNIDADE	TOTAL
Acrílico (m ²)	R\$ 160,00	1,63	m ²	R\$ 260,80
Bomba (recirculação)	R\$ 329,64	4	unid.	R\$ 1.318,56
Válvulas	R\$ 12,00	6	unid.	R\$ 72,00
Flanges	R\$ 8,00	15	unid.	R\$ 120,00
Motor de agitação	R\$ 1.200,00	5	unid.	R\$ 6.000,00
Mangueira (m)	R\$ 12,00	10	unid.	R\$ 120,00
Curva de 90°(20mm)	R\$ 2,50	10	unid.	R\$ 25,00
Joelho de 90° (20mm)	R\$ 2,50	10	unid.	R\$ 25,00
Cabo de 8mm (m)	R\$ 21,20	12	m.	R\$ 254,40
Extensão elétrica (12A)	R\$ 15,00	2	unid.	R\$ 30,00
Bancada de Aço	R\$ 550,00	1	unid.	R\$ 550,00
Haste de acrílico	R\$ 16,00	6	unid.	R\$ 96,00
cola de silicone	R\$ 26,00	1	unid.	R\$ 26,00
braçadeiras	R\$ 3,00	30	unid.	R\$ 90,00
registro	R\$ 16,00	4	unid.	R\$ 64,00
Automatizadores	R\$ 102,00	2	unid.	R\$ 204,00
Totais	R\$ 2.475,84	-	-	R\$ 9.255,76

Tabela 9 - Custos para a confecção do sistema UCT Alternativo em escala de Bancada.

MATERIAIS	VALOR UNITÁRIO	QUANTIDADE	UNIDADE	TOTAL
Vidros (m ²)	R\$ 80,00	1,63	m ²	R\$ 130,40
Bomba (recirculação)	R\$ 24,90	4	unid.	R\$ 99,60
torneiras	R\$ 3,50	6	unid.	R\$ 21,00
flanges	R\$ 8,00	15	unid.	R\$ 120,00
motor de agitação	R\$ 25,00	5	unid.	R\$ 125,00
Mangueira (m)	R\$ 12,00	10	unid.	R\$ 120,00
curva de 90°(20mm)	R\$ 2,50	10	unid.	R\$ 25,00
joelho de 90° (20mm)	R\$ 2,50	10	unid.	R\$ 25,00
Tampão 20mm	R\$ 3,00	8	unid.	R\$ 24,00
cabo de 8mm (m)	R\$ 21,20	12	unid.	R\$ 254,40
Extensão elétrica (12A)	R\$ 15,00	2	unid.	R\$ 30,00
bancada de madeira	R\$ 95,00	1	unid.	R\$ 95,00
bastão de plástico	R\$ 0,15	6	unid.	R\$ 0,90
cola de silicone	R\$ 26,00	1	unid.	R\$ 26,00
braçadeiras	R\$ 3,00	30	unid.	R\$ 90,00
registro	R\$ 16,00	4	unid.	R\$ 64,00
temporizador	R\$ 31,00	2	unid.	R\$ 62,00
Totais	R\$ 368,75	-	-	R\$ 1.312,30

A comparação entre os valores dos tipos de materiais empregados na construção do sistema alternativos se mostraram bastante satisfatórias, o que proporcionou uma economia de 85% em relação ao sistema convencional que utiliza materiais específicos para estas funções. Este fator de economia é importante, pois, geralmente os laboratórios de modo geral contam com poucos recursos para produzir sistemas de trabalho em escala laboratorial.

5.5 Resultados dos parâmetros Físicos e Químicos

5.5.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A figura 16 representa o comportamento do Potencial Hidrogeniônico (pH) durante a avaliação experimental. Os valores encontrados para pH no sistema UCT, foram média de 7,6, variando de 7,03 a 7,92 unidades de pH. No EB o valor médio de pH foi de 7,2, com variação de 6,6 a 7,72. Os valores encontrados durante a avaliação experimental se mostraram com baixas variações, apresentando desta forma boa estabilidade para os processos aeróbios de tratamento de esgotos domésticos.

Para Van Haandel e Marais (1999), as variações no pH acontecem quando há um consumo da alcalinidade durante o processo de nitrificação. Para que haja um equilíbrio da redução do pH se aplicar o processo desnitrificação no sistema no qual a mesma recupera a alcalinidade consumida na nitrificação. Segundo Ferreira *et al.* (2000), para se manter uma boa performance no sistema de tratamento de lodo ativado, tem que se manter um pH na faixa entre 6,5 a 8,0.

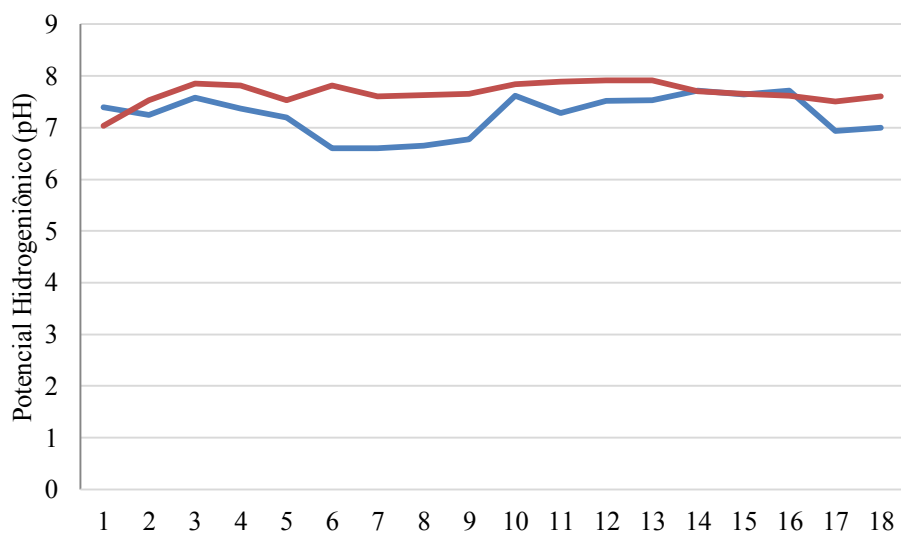


Figura 16 - Comportamento do pH no sistema experimental avaliado (EB-UCT)

5.5.2 Alcalinidade Total (Alct)

A Figura 17 representa o comportamento da alcalinidade total durante a avaliação experimental.

Durante o monitoramento do sistema os resultados da alcalinidade total apresentaram concentração média no sistema UCT de 148,58 ppmCaCO₃, havendo uma variação de 122,48 a 196,35 ppmCaCO₃. No EB a concentração média foi de 202,39 ppmCaCO₃, com variação de 133,60 a 281,60 ppmCaCO₃, essas oscilações acontecem no sistema, por causa das reações bioquímicas que representam transformação da amônia a nitrito e de nitrito a nitrato, tendo como produto final a nitrificação, na qual a mesma faz assimilação da alcalinidade.

Van Haandel e Marais (1999), explicam que há variação da alcalinidade no sistema de lodos ativados, tanto no processo de nitrificação, como no processo de desnitrificação. Para que haja essa variação do consumo da alcalinidade no processo de nitrificação e necessário ser consumido 7,14 mg CaCO₃/mgN, para que seja formado 1 mg/L nitrato. Já o processo de estabilização da alcalinidade sobre a desnitrificação é produzido 3,57 mg CaCO₃/mgN por um 1 mg/L de nitrato convertido em nitrogênio molecular.

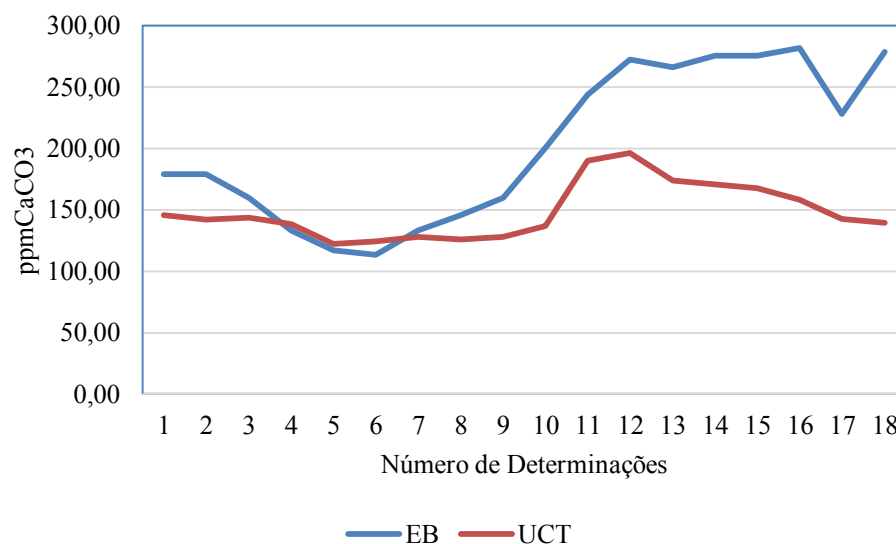


Figura 17 - Comportamento da alcalinidade total no sistema experimental avaliado (EB-UCT)

5.5.3 Concentração de Ácidos Graxos (AGV)

A Figura 18 mostra o comportamento dos valores de ácidos graxos voláteis encontrados durante a fase experimental. Observa-se que os valores de AGV se mantiveram maiores no EB para todas as amostras analisadas. No sistema UCT, o consumo de

alcalinidade foi total, surgindo apenas concentrações acima de zero nas determinações 1, 6 e 8, com valores de 8,0 mg/L, 13,75mg/L e 24,65 mg/L, respectivamente.

O afluente (EB) apresentou grande variação de concentração de AGV nas amostras coletadas, sendo que o valor médio foi de 43,17 mg/L \pm 33,67, essa variação pode estar relacionada com a condição do esgoto coletado, pois, nos diferentes dias coletados ocorreram precipitações pluviométricas, o que diluiu o esgoto bruto. Desta maneira fez-se necessário a adição de material orgânico no recipiente de armazenamento do mesmo (na forma de extratos de soja).

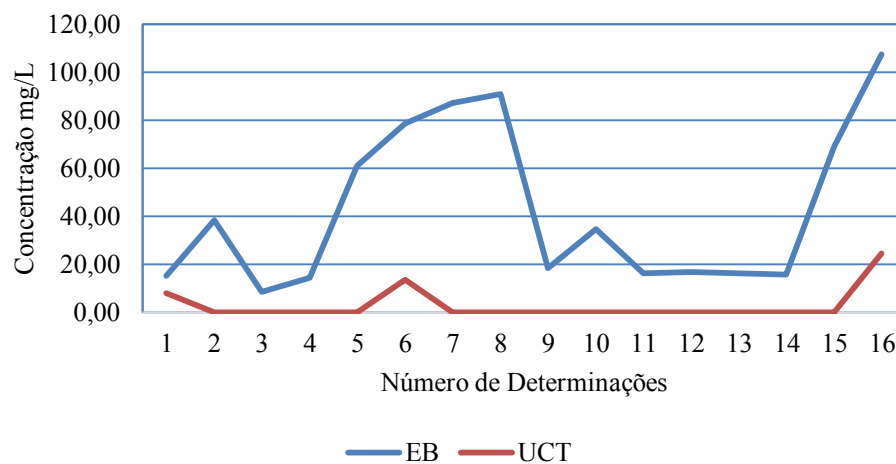


Figura 18 - Comportamento dos Ácidos graxos no sistema experimental avaliado (EB-UCT)

5.5.4 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

O comportamento das concentrações de DQO durante a avaliação experimental está representado na Figura 19

Os resultados indicam que nas determinações de DQO, o valor médio foi de 278 mg O₂/L, \pm 67 no esgoto bruto, e no efluente do sistema UCT, o valor da média foi de 67,21 mg O₂/L \pm 8,88, variando de 68 a 87 mg O₂/L. Esses resultados demonstram que a eficiência do sistema foi de 70,87% na remoção desse componente, quando comparado ao EB.

Os valores de DQO encontrados estão dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA 430/2011, cujo limite exigido para lançamento de efluente é de 125 mg O₂/L, contudo, os valores de eficiência encontrados no período do experimento ficaram abaixo dos valores de eficiência esperado para o sistema de lodos ativados citados na literatura no tratamento de esgotos domésticos. A explicação encontrada remete a algumas possibilidades: carga orgânica de baixa biodegradabilidade, fluxo de vazão intermitente (batelada) e elevado

tempo de detenção hidráulica, Von Sperling (2005), afirma que, um sistema de lodos ativados na modalidade aeração prolongada pode apresentar eficiência de remoção de DBO entre 93 e 98% e de 90 a 95% para remoção de DQO.

Rolim *et al.* (2015), ressaltam em seus estudos, que obteve 80% de eficiência na remoção de DQO, utilizando o mesmo tipo de sistema, o que remete aos resultados concordantes com o experimento atual.

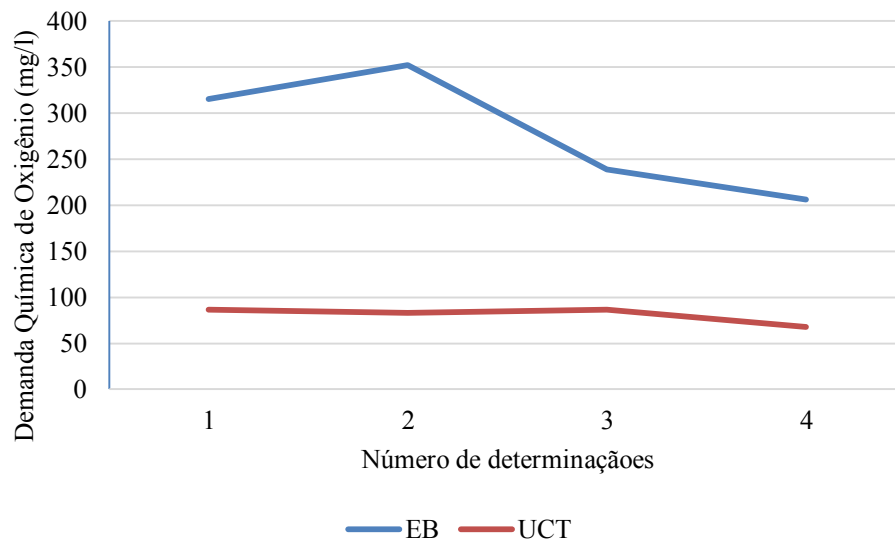


Figura 19 - Comportamento da DQO no sistema experimental avaliado (EB-UCT)

5.5.5 Nitrito (NO_2^-)

A figura 20 mostra o comportamento do nitrito no decorrer do experimento. A demonstração dos valores encontrados no processo durante a avaliação experimental, mostram os resultados do processo da nitrificação, ou seja, a oxidação da Nitrogênio Amoniacal à Nitrito. Nessa etapa o efluente apresentou valores de concentração média de 2,14 mg/L no efluente do sistema UCT, com variações de 3,36 mg/L a 1,11 mg/L. De acordo com a resolução CONAMA 357/2005, os valores apresentados pelo sistema UCT não se enquadram nos padrões de lançamento em corpos receptores de água doce onde se estabelece uma concentração de 1 mgN/L para lançamento nos corpos receptores. Contudo, ajustando o processo, com o melhoramento da carga orgânica volumétrica de entrada e diminuição do TDH, esse parâmetro poderá ser atendido.

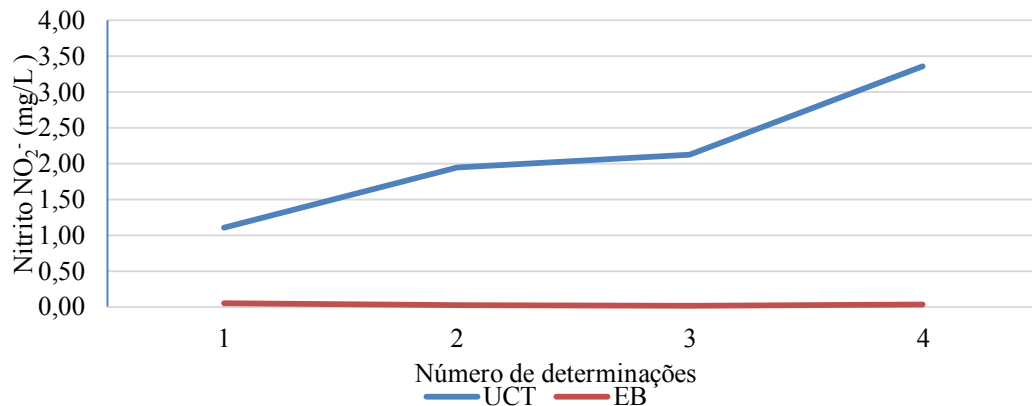


Figura 20 - Comportamento do nitrito no sistema experimental avaliado (EB-UCT)

5.5.6 Nitrato (NO_3^-)

Na figura 21, são apresentados os valores encontrados referentes ao nitrato durante a investigação experimental. Na ocorrência da segunda etapa da nitrificação, onde ocorre a conversão do Nitrito à Nitrato, sendo denominada de nitratação, os resultados encontrados no sistema UCT, tiveram variação da primeira a última amostragem, alcançando variações de 3,71 mg/L a 8,40 mg/L, com concentração média de 5,89 mg/L.

A resolução do CONAMA (357/2005), recomenda um limite máximo de lançamento de nitrato de até 10 mg/L, portanto, o efluente se enquadra nestas condições. Em relação ao processo de desnitrificação, os resultados mostraram uma leve remoção de nitrogênio, onde o nitrato é convertido a nitrogênio molecular.

Para Van Haandel e Marais (1999); Metcalf e Eddy, (2003), os limites de nitrato, estão diretamente relacionados aos processos realizados pelas bactérias desnitrificantes, responsáveis pelo processo de desnitrificação, onde o nitrato é reduzido a gás nitrogênio (N_2). A etapa final mostrou ter eficiência na remoção do nitrogênio no efluente final, com a consequente diminuição dos riscos de impactos nos corpos receptores.

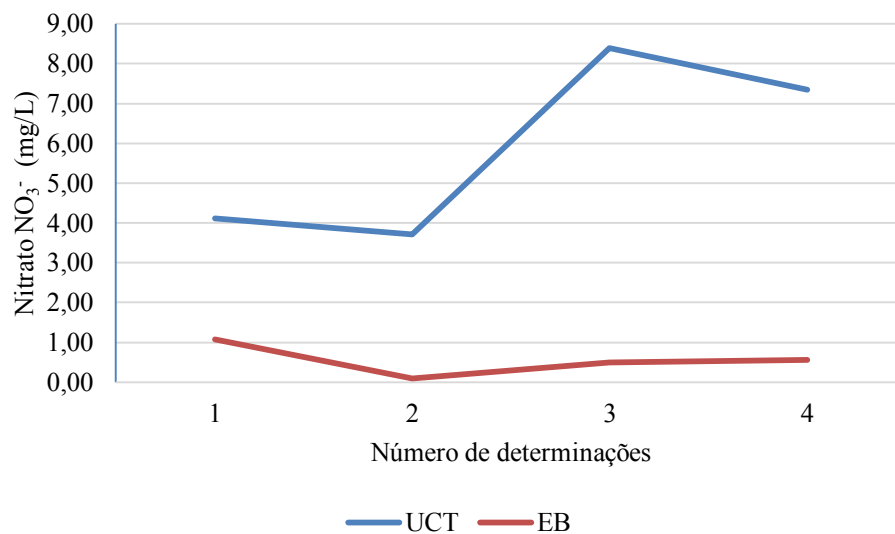


Figura 21 - Comportamento do nitrato no sistema experimental avaliado (EB-UCT)

5.5.7 Nitrogênio Amoniacal (NH_4^+) (NH_3)

A Figura 22 representa o comportamento da concentração de nitrogênio amoniacal durante a avaliação experimental (NH_4^+) (NH_3) forma iônica e molecular, respectivamente. As concentrações médias encontradas foram de 45,78 mg/L no EB e 23,53 mg/L no sistema UCT. Durante o processo de tratamento, o sistema UCT apresentou uma eficiência de remoção de 49%.

A remoção obtida neste experimento, ainda está abaixo dos valores recomendados para lançamento de efluentes (CONAMA 430/2011 – valor máximo de 20 mgN/L), bem como, o que preconiza a literatura a respeito de remoção de nitrogênio amoniacal (acima de 80%), contudo, este experimento ainda precisa de maiores cargas afluentes para atingir o ápice de eficiência.

Na remoção do nitrogênio amoniacal ocorre o processo de nitrificação com posterior processo de desnitrificação. Van Haandel e Marais (1999) exemplificam que na conversão do nitrogênio amoniacal em sistemas de lodos ativados a reação de oxidação da amônia é equivalente a 4,57 mgO/mgN, ou seja, quando se é consumido 4,57 miligramas de oxigênio um miligrama de Nitrogênio é volatilizado do sistema.

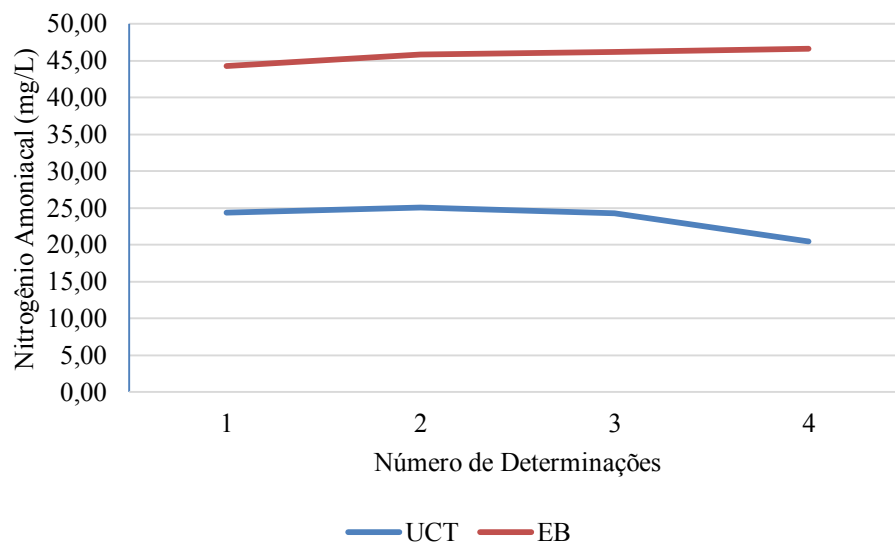


Figura 22 - comportamento do Nitrogênio amoniacal no sistema experimental avaliado (EB-UCT)

5.5.8 Fósforo

A Figura 23 representa o comportamento do fósforo na forma de fosfato durante avaliação experimental.

No efluente do sistema UCT obteve-se concentração média de 2,51 mgP/L e no esgoto bruto essa concentração foi de 2,84 mgP/L, apresentando assim, uma remoção de 12 % do fosfato. O baixo percentual de remoção desse parâmetro se deu por o efluente possuir baixa carga orgânica e ter operado com tempo de retenção celular e tempo de detenção hidráulica muito elevados.

Para sistemas do tipo UCT, essa eficiência ainda precisa ser melhorada, contudo, o melhoramento nas condições operacionais como, aumento da carga orgânica, diminuição do TDH e TRC, são fatores primordiais para alavancar este desempenho. Van Haandel e Marais (1999), explicam que, para se ter uma boa eficiência na remoção do fósforo (P), a idade do lodo tem que ser baixa (TRC de 3 a 5 dias). Ainda segundo os autores, esse fenômeno de remoção do fósforo acontece na zona anaeróbia onde são fornecidas condições de estresse bacteriano a qual resulta na liberação do fósforo, e depois passa por processo aeróbio, no qual as bactérias acumuladoras de fósforo reincorporam o fosfato e um pouco a mais (denominado de luxúria de fósforo), sendo os organismos mais comuns deste fenômeno as *acinetobacter*. Portanto quando o lodo de excesso do sistema é removido, o fósforo também é removido juntamente com as bactérias com elevados teores de fósforos.

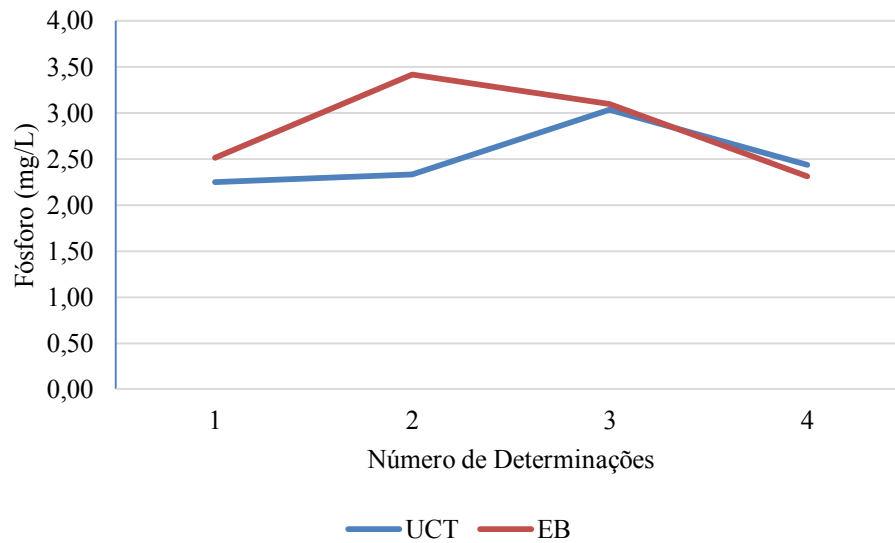


Figura 23 - Comportamento do fósforo no sistema experimental avaliado (EB-UCT)

5.5.8 Sólidos

Parte essencial deste trabalho e de qualquer sistema biológico de tratamento de águas residuárias é a avaliação de sólidos no sistema, pois este parâmetro indica a remoção do material orgânico do meio líquido bem como a produção de biomassa necessária ao processo de tratamento, sendo responsável pela clarificação do efluente final.

Os esgotos podem ser classificados em fortes, médios e fracos de acordo com a concentração de sólidos (JORDÃO e PESSOA, 2014).

De acordo com a concentração de sólidos, o esgoto utilizado apresenta-se como de característica médio, já que apresentou valores de média $707 \text{ mg/L} \pm 78$, para o parâmetro sólidos totais inferiores à $1000,00 \text{ mg/L}$.

No Licor Misto (LM) a concentração média de sólidos foi de $1291 \text{ mg/L} \pm 333$. Já o efluente final (EF) apresentou concentração média de $628,67 \text{ mg/L} \pm 35$. Os valores encontrados indicam uma eficiência de remoção de 11,12% dos sólidos totais no efluente final. A Tabela 10 mostra a concentração de sólidos totais encontradas durante a avaliação experimental.

Tabela 10 - Concentração de sólidos totais do sistema experimental avaliado (EB-UCT)

VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS	EB (mg/L)	LM (UCT) (mg/L)	EF (UCT) (mg/L)
Média	707,33	1291,33	628,67
Desvio Padrão	78,03	333,38	35,12
Máximo	784	1546	662
Mínimo	628	914	592

Na Tabela 11 são apresentadas as concentrações médias dos SST. Com base nos resultados obtidos, esses valores mostraram eficiência de remoção de 96,2%, resultados concordantes com Mota (2015), que em seu estudo conseguiu remover 97% dos SST. Esses valores médios atendem aos padrões exigidos pelo CONAMA 430/2011 para padrões de lançamento.

Tabela 11 - Concentração de sólidos suspensos totais do sistema experimental avaliado (EB-UCT)

VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS	EB(mg/L)	LM (UCT) (mg/L)	EF (UCT) (mg/L)
Média	78,00	341,33	3,00
Desvio padrão	40,15	334,74	1,41
Máximo	120	1044	4
Mínimo	40	378	2

As concentrações de SSV estão representadas na tabela 12. Relacionando os resultados encontrados, foi possível obter eficiência de remoção de 95,3%. Mota (2015), em seu estudo, conseguiu remover 82,7% dos SSV, mostrando que a eficiência do sistema mesmo com tempo de operação reduzido foi mais eficiente na remoção desse parâmetro. Esses valores médios atendem aos padrões exigidos pelo CONAMA 430/2011 para padrões de lançamento.

Tabela 12 - Concentração de sólidos suspensos voláteis do sistema experimental avaliado (EB-UCT)

VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS	EB(mg/L)	LM (UCT) (mg/L)	EF (UCT) (mg/L)
Média	57,33	341,33	2,67
Desvio padrão	40,41	164,41	3,06
Máximo	94	512	6
Mínimo	14	184	0

As concentrações de SSV do licor misto (LM) representam a biomassa existente dentro do reator aeróbio do sistema UCT. Van Haandel e Marais (1999), afirmam que uma boa atividade no sistema aeróbio pode ser conseguida com concentração de biomassa próximas a 3000 mg/L de SSV.

Para Henrique (2014), as concentrações ótimas para proporcionar uma boa atividade de remoção de nutrientes (N e P) estão diretamente ligadas a concentração de lodo ativo no sistema, independentemente de suas concentrações, contudo, fazer esta medição requer uma avaliação respirométrica do lodo.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sistema UCT construído demonstrou eficiência em seu funcionamento, com todos os dispositivos funcionando em condições de operação satisfatórias, apresentando bom desempenho frente aos processos necessários do sistema UCT de 5 estágios.

Os custos de construção do sistema em escala de bancada construído com material alternativo apresentou valores extremamente inferiores aos do sistema convencional, trazendo boa economia.

A produção de biomassa do sistema foi limitada a concentração de carga orgânica aplicada, contudo, as eficiências de remoção de matéria orgânica, sólidos e nutrientes foram satisfatórias.

Os parâmetros físicos e químicos analisados obtiveram bons resultados de remoção para a DQO, Ácidos Graxos e Sólidos, entretanto, os nutrientes (nitrogênio e fósforo), o sistema apresentou eficiência de remoção abaixo dos valores padrões consolidados.

Para os próximos experimentos com este sistema, recomenda-se:

Aumentar a carga orgânica aplicada; otimizar o tempo de detenção hidráulica e o tempo de retenção celular; utilizar decantador em formato cônico e otimizar as vazões de recirculação.

REFERÊNCIAS

AMORIM, L. L. G.; VARGAS, K. P; JESUS, E. H. A. *Análise de eficiência do sistema de lodo ativado no tratamento de efluentes de um curtume na cidade de Uberlândia-MG*. In: Anais do V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Belo Horizonte. , 2006p. 1-15.

APHA – American Public Health Association. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22th. Washington: Public Health Association, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Projetos de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 1992.

BRAGA, B.; HESPANHOL.; CONEJO, J. G L.; MIERZWA, J. C.; MARIO T. L.B.; SPANCER, M.; PORTO, M.; NUCCI.; JULIANO, N. EIGER, S. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL.– Fundação Nacional De Saúde - FUNASA. *Manual de Saneamento*. Ministério da Saúde. p 21. Brasília, 2004.

BRASIL. (2011) Resolução CONAMA nº 430/2011, de 13 de maio de 2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes*, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, nº 92, 16 de maio de 2011. p. 89.

BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 8 de jan. 2018.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. *Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico*; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasil, 2007

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos* - 2013. Brasília, 2014. 181 p.

CARVALHO, A. R., OLIVEIRA, M. H. *Princípios do Saneamento do meio*. São Paulo. SENAC, 1997 (Serie de Apontamentos Saúde). Disponível em; <<http://cac.php.unioeste.br/projetos>> Acessado em; 07 de jan. 2018

CARVALHO, A. V. P. *Proposição de modificações no processo UCT para o tratamento de esgoto sanitário visando à remoção de nitrogênio e fósforo*. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. doi:10.11606/D.3.2016.tde-06122016-144122. Acesso em: 2018-03-21.

BUCHAUER, K. A. *A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in effluents to waste – water and sludge treatment processes*. Water S. A. v. 1, n.24, 1998, p. 49 – 56.

FERREIRA, E. S. Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e desnitrificação biológica. In: *Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 27. ABES, 2000. p. 1-25 [t. XIV].

FREIRE, R.S.; PELEGRINI R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N. *Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas*. Química Nova, v. 23, n. 4, 2000, p. 504-511.

HENRIQUE, I. N. *Tratamento de águas residuárias domésticas através de sistema conjugado anaeróbio/aeróbio: alternativa tecnológica para minimização de impactos ambientais*. Tese (Doutorado em Química Industrial). Campina Grande, 2010, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2010.

HENRIQUE, I. N; SOUSA, J. T.; CEBALLOS. B. S. O.; BRASIL, D. P. *Remoção biológica de fósforo em reatores em bateladas sequenciais com diferentes tempos de retenção de sólidos*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia - IBGE; Estatística. Coordenação de Trabalho; Rendimento. *Pesquisa nacional por amostra de domicílios: Síntese de Indicadores-2009*, 2009.

JORDÃO, E.P. & PESSÔA, C.A. – *Tratamento de Esgotos Domésticos*, ABES, 7 ed., 2014.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p

JORDÃO, E. P.; PESSOA C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 5 ed. Rio de Janeiro. Editora: Synergia. 2009. 940p.

LIMA, F. S. B. C., *Identification of a Activated Sludge System on Scale Small Developed in the Laboratory*. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2011.

LOUGON, M. S.; ROCHA, S. A.; GUIMARÃES, H. F.; LOUZADA, F. L. R. O.; GARCIA, G. O. *Caracterização dos Sólidos Totais, Fixos e Voláteis nas Águas Residuárias Geradas Pela Lavagem dos Frutos do Cafeeiro*. Disponível em: <www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2011/anais/arquivos/0284_0941_02.pdf>. Acessado em: 5 de ago. 2017.

METCALF, L.; EDDY, H. P. *Wastewater engineering: treatment, and reuse*. 4 ed. New York: Ed. Mc Graw-Hill, 2003. 1819 p

METCALF, L; EDDY, H. P. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. McGraw Hill Brasil, 2016.

MILEN, L. C., *Tratamento de esgoto doméstico pelo método de escoamento superficial no solo: Uma revisão de literatura*. Revista Verde (Pombal - PB - Brasil), v 9, n. 5 , p. 26 - 33, dez, 2014, Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS>>; Acessado em: 15 de dez. 2017

MOTTA, M. N.; PONS, N.; ROCHE, H VIVIER, A. L. A. *Estudo do funcionamento de estações de tratamento de esgotos por análise de imagem: validações e estudo de caso*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 8, n. 3, 2003, p. 170-181.

MOTA, A. M. C., *Avaliação de um Sistema Híbrido Integrado de Lodo Ativado e Biofilme em Leito Móvel, para Tratamento de Esgotos Domésticos, Utilizando PVA-Gel como Meio Suporte*. XXIII,199p., (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2015).

POLIDO, L. H. *Proposta de projeto e estimativa de custos de uma estação de tratamento de esgoto para o Campus Ecoville da UTFPR*. 2013. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

RABINOWITZ, B.; MARAIS, G. V. R. *Chemical and biological phosphorus removal in the activated sludge process. Research Report, Department of Civil Engineering, University of Cape Town, South Africa, 1980*. Disponível em:<<https://open.uct.ac.za/bitstream/handle/11427/12557>>. Acessado em 3 de out. 2017.

RODIER, J. *An analysis of water, natural water, waste water, sea water: chemistry, bacteriology, biology*. Dunod, 1975.

ROLIM, H. O., CHAVES, J.R., NUNES, A.B.A., SILVA FILHO, H.A., SANTOS, E. V. M. *Qualidade dos Efluentes de Sistemas de Tratamento Biológico Uasb E UCT Para Reúso Agrícola*, Maringá-PR. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2016v9n2p393-414>> Acessado em: 10 de jan. 2018.

RABINOWITZ, B.; MARAIS, G. V. R. *Chemical and biological phosphorus removal in the activated sludge process*. Research Report, Department of Civil Engineering, University of Cape Town, South Africa, 1980

SANT'ANNA JUNIOR, G.L. (2010). *Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações*. 1 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência,. v. 1. 418p .

SANTOS, R. C. O.; BARBOSA F. O.; GIORDANO, G., 2011. *Reatores Biológicos Para Tratamento de Esgotos: Método Racional de Dimensionamento*. Disponível em: <<http://www.coamb.eng.uerj.br/download/coamb-TA-Volume3.pdf>>. Acessado em 15 de jan. 2018.

THOMANN, R.V.; MUELLER, J.A. (1987) *Principles of Surface Water Quality Modeling and Control*. Harper-Collins, New York, 644 p.

VON SPERLING, M. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: lodos ativados*. Minas Gerais: UFMG, 1997.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3^a ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol. 4 Lodos Ativados. 2 ed. Belo Horizonte: Belo Horizonte: DESA-UFMG, v1.P.428, 2002

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. *Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate*. 1st.ed. John Wiley and Sons, 1994. 222 p.

VAN HAANDEL, A.; MARAIS G., *O comportamento do Sistema de Lodo Ativado*. Campina Grande, PB: epgraf, 1999. 488 p.