



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

FÁBIO FABRICIO DE SOUSA CAVALCANTE

**DESEMPENHO DE FILTROS AERÓBIOS NA NITRIFICAÇÃO DE
EFLUENTE DE TANQUE SÉPTICO**

CAMPINA GRANDE
2013

FÁBIO FABRICIO DE SOUSA CAVALCANTE

**DESEMPENHO DE FILTROS AERÓBIOS NA NITRIFICAÇÃO DE
EFLUENTE DE TANQUE SÉPTICO**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para conclusão do curso de Licenciatura Plena em Ciências Biológicas.

ORIENTADORA: PROF^a DR^a BEATRIZ SUSANA OVRUSKI DE CEBALLOS

CAMPINA GRANDE
2013

C376d Cavalcante, Fábio Fabricio de Sousa
Desempenho de filtros aeróbios na nitrificação de efluente de tanque séptico [manuscrito] / Fabio Fabricio de Sousa Cavalcante. - 2013.
51 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2013.

"Orientação: Profa. Dra. Beatriz Suzana Ovruski de Ceballos, Departamento de Ciências Biológicas".

1. Filtros aeróbios. 2. Nitrificação. 3. Tratamento de efluente. I. Título.

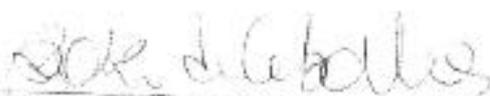
21. ed. CDD 628.3

FÁBIO FABRÍCIO DE SOUSA CAVALCANTE

**DESEMPENHO DE FILTROS AERÓBIOS NA NITRIFICAÇÃO DE
EFLUENTE DE TANQUE SÉPTICO**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento à exigência para conclusão do curso de Licenciatura Plena em Ciências Biológicas.

Aprovada em 14/11/2013.



Prof. Dr^a. Beatriz Susana Ovraski de Ceballos/UEPB
Orientadora



Prof. Dr^a. Maria Auxiliadora Gusmão/UEPB
Examinadora Interna



Professora M.Sc. Airine de Brito Guerra
Examinadora Externa

A Deus, que concebeu o dom da vida e que me sustenta nos momentos de aflições.

“A sua misericórdia que vai de geração a geração sobre os que o temem. Derrubou do seu trono os poderosos e exaltou os humildes....”(Lc 1;50-52).

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Márcia Alves de Souza e Irenaldo do Nascimento Costa, pelos incentivos e carinho ao longo de minha vida e pela força e estímulos durante meus estudos universitários.

À professora Beatriz Susana Ovruski de Ceballos, pela orientação, pela amizade e oportunidade de desenvolver este trabalho. E pelas lições que me permitiram desenvolver competências e habilidades que levo para toda a minha vida.

Ao professor Dr. José Tavares e ao Dr. Israel Nunes pelos ensinamentos e por partilhar seus conhecimentos.

Ao companheiro Tércio José, pelos dias de trabalho com alegria e força, sem desanimar diante dos obstáculos.

A Mestra Elaine de Brito Guerra, pela colaboração e atenção sempre que foi solicitada, pelos conselhos e ajuda nos momentos difíceis.

Aos membros da banca examinadora, Dra Avany e Mestre Elaine de Brito Guerra, por participarem da banca examinadora, pelas sugestões e discussões que enriquecem este trabalho.

A Izabelly Gomes, pela compreensão diante das minhas ausências e pelo carinho constante.

A Juliana Almeida e Wagner Almeida, pela amizade e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos da UEPB: Gustavo Bezerra, Diego Leal, Regina Vanessa, Erika Rozy, Viviane Patrício e Jaqueline Misael, obrigado pelo apoio e amizade.

A todos os colegas e amigos da turma de Biologia 2008.2, que durante os anos de curso estiveram presentes em momentos felizes, tristes ou difíceis e que foram superados pelo companheirismo. Muito obrigado!

A todos os que de alguma forma contribuíram para minha formação, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

No Brasil os níveis de coleta e de tratamento dos esgotos domésticos e industriais são precários caracterizando a problemática do setor sanitário: a maior parte dos resíduos líquidos de origem doméstico e industrial são lançados “in natura” ou mal tratados no ambiente, causando poluição e eutrofização nos corpos aquáticos o que favorece a disseminação de doenças de veiculação hídrica. Com a finalidade de minimizar em parte esses impactos, o presente trabalho avaliou a eficiência da nitrificação no pós tratamento dos efluentes de um tanque séptico seguido de filtro anaeróbio através de um sistema constituído por filtros biológicos de areia de fluxo intermitente que trata esgoto do tipo doméstico proveniente de um setor da UEPB. O sistema, situado no bloco do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da UEPB trata os esgotos dos banheiros e do restaurante desse setor; foi construído há vários anos e seus efluentes infiltram no solo do jardim onde está instalado. Os filtros aeróbios que fazem o pós tratamento foram construídos com duas caixas de fibra de polietileno preenchidas com brita e areia. Ambos receberam o mesmo material de recheio e os mesmos sistemas de aeração construídos com tubos de PVC; a diferença foi o tempo de detenção hidráulica. Um dos filtros aeróbios (FA1) foi alimentado com vazão de 100 L.dia^{-1} durante 2 minutos e 45 segundos e, o outro (FA2) recebeu a vazão de 200 L.dia^{-1} durante 5 minutos e 30 segundos. Houve remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), de 69,3% em FA1 e de 63,7% em FA2, e as remoções de nitrogênio amoniacal foram de 45,2% em FA1 e 40,8% em FA2. Esses compostos de nitrogênio foram oxidados para nitrito e deste para nitrato, indicando boa capacidade microbiana de conversão. A menor eficiência de FA2 deve-se à carga orgânica aplicada neste filtro. No efluente a concentração de nitratos indica que o mesmo tem bom potencial de fertilização e pode ser reutilizado para irrigar parques e jardins que não estarão em contato com as pessoas, por exemplo, para árvores e plantas ornamentais, para arvores frutíferos altos com os frutos distantes do chão e aplicando-se irrigação localizada, visto que os coliformes termotolerantes remanescentes foram, em média, de 4×10^4 UFC/100 ml. O sistema de pós-tratamento testado se mostrou uma tecnologia alternativa boa e descentralizada de baixo custo para a melhoria de efluentes destinados à irrigação ao favorecer a nitrificação dos esgotos efluentes do sistema anaeróbio e pode ser aplicado em nível domiciliar.

Palavras-Chave: Filtros aeróbios; nitrificação; pós-tratamento; reuso.

ABSTRACT

In Brazil the levels of collection and treatment of domestic and industrial sewage are precarious and represent a sanitary and a public health problem: most of the domestic and industrial waste are released "in natura" or partially treated in the environment, causing pollution and eutrophication in the receptors water bodies, also they spread of waterborne diseases. In order to minimize those impacts, this study assessed the effectiveness of post-treatment the effluent from a septic tank followed by anaerobic filter, with evaluation the nitrification process, of a system consisting of biological sand filters with intermittent flow. The system, located in the Center for Science and Technology (CCT) UEPB treats sewage from the toilets and from the restaurant located at that sector. The aerobic filters were constructed with two polyethylene boxes filled with gravel and sand. Both received the same packing material and the same aeration systems built with PVC pipes, the difference was the hydraulic retention time. An aerobic filter (FA1) was fed with a flow rate of 100 L.day^{-1} for 2 minutes and 45 seconds and other aerobic filter (FA2) received a flow rate of 200 L.day^{-1} for 5 minutes and 30 seconds. Removal of Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) was also high, 69.3% in FA1 and 63.7% in FA2; ammonia nitrogen removals were 45.2% and 40.8% in FA1 and FA2, it was a good conversion to nitrate. Nitrate concentration stimulate the reuse. The effluent can be reused to irrigate parks and garden without direct contact with people or fruitful trees, applying located irrigation because final fecal coliforms concentrations were $4 \times 10^4 \text{ UFC/100 ml}$. The pos-treatment system tested in this research is an alternative decentralized low cost treatment method for domestic sewage that can be applied at the household level.

Keywords: Aerobic filters, nitrification, post treatment, water reuse.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1:	Parâmetros analisados, métodos e frequências das análises.....	37
TABELA 2:	Valores médios de N-NO ₂ , N-NO ₃ , NTK, N-NH ₄ , no esgoto bruto e nos efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio e dos filtros de areia FA1 e FA2.....	38
TABELA 3:	Valores médios e eficiência de remoção de N-NO ₂ , N-NO ₃ , NTK, no esgoto bruto e nos efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio e dos filtros de areia 1 e 2.....	42
TABELA 4:	Apresenta valores médios de coliformes termotolerantes e a eficiência de remoção no esgoto bruto e nos efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio e dos filtros de areia 1 e	44

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1:	Composição do Esgoto (adaptado de Mara, 1976).....	19
FIGURA 2:	Planta baixa do tanque séptico/filtro anaeróbio, Campina Grande, 2012	30
FIGURA 3:	Corte AB do tanque séptico/filtro anaeróbio, Campina Grande, 2012.....	30
FIGURA 4:	Filtro anaeróbio do CCT/UEPB - Campina Grande 2011.....	31
FIGURA 5:	Visão geral do sistema experimental com destaque para o efluente do tanque séptico para o tanque de equalização (P2) e os filtros aeróbios (P3) e (P4).....	31
FIGURA 6:	Tanque de equalização do CCT.....	32
FIGURA 7:	Estrutura das caixas d'água utilizadas na construção do tanque séptico e nos filtros aeróbios nos sistema de tratamento do CCT/UEPB/2012.....	33
FIGURA 8:	Preenchimento das caixas com brita na base (A), areia na porção mediana (B) e brita na porção superficial (C). Visualização do tubo de aeração.....	34
FIGURA 9:	Tubulação de eliminação de efluente com cano de aeração (porção superior).....	34
FIGURA 10:	Sistema de captação inferior com tubulação de aeração (A); eliminação do efluente de um dos filtros aeróbios por uma “torneira” colocada na porção inferior (B).....	35
FIGURA 11:	BOX PLOT de distribuição dos valores de temperatura do monitoramento do esgoto bruto e efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio, dos filtros aeróbios. FA1 e FA2, Campina Grande, 2012	39
FIGURA 12:	Gráficos BOX PLOT de distribuição dos valores de pH obtidos na monitoração do esgoto bruto e efluentes do tanque	

	séptico/filtro anaeróbio, dos filtros aeróbios 1 e.2, Campina Grande, 2012.....	41
FIGURA 13:	Gráficos BOX PLOT de distribuição dos valores de N-NO ₂ do monitoramento de esgoto bruto e efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio, dos filtros aeróbios 1 e 2, Campina Grande, 2012.....	43
FIGURA 14:	Gráficos BOX PLOT de distribuição dos valores de N-NO ₃ obtidos na monitoração esgoto bruto e efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio, dos filtros aeróbios 1 e 2, Campina Grande, 2012.....	44

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1 SANEAMENTO AMBIENTAL	16
3.1.1 CONTEXTO HISTÓRICO	16
3.1.2 CONTEXTO ATUAL.....	17
3.2 ESGOTO SANITÁRIO	18
3.2.1 TANQUE SÉPTICO	21
3.2.2 FILTRO ANAERÓBIO	21
3.2.3 FILTRO AERÓBIO INTERMITENTE DE AREIA	22
3.3 PROCESSO DE OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA	24
3.4 BIOFILME	25
3.5 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 ÁREA DE ESTUDO	29
4.2 TANQUE SÉPTICO FILTRO ANAERÓBIO	29
4.3 ESTRUTURA DO SISTEMA EXPERIMENTAL	3ERRO! INDICADOR NÃO
DEFINIDO.0	
4.4 TANQUE DE EQUALIZAÇÃO.....	31
4.5 FILTROS AERÓBIOS	32
4.6 METODOLOGIA DA PESQUISA	36
4.7 PARÂMETROS ANALÍTICOS	36
4.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1 TEMPERATURA	38
5.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)	38
5.3 NUTRIENTES	40
5.4 COLIFORMES TERMOTOLERANTES.....	44

6.0 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
ANEXOS.....	50

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é parte fundamental das políticas públicas que visam à saúde da população. No Brasil, são baixos os níveis de atendimento em relação à coleta e ao tratamento de esgotos sanitários (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2011). Apenas 46,2% do esgoto gerado no Brasil é coletado, isso incluindo a área urbana e rural, e apenas 37,9% do esgoto coletado recebem algum tipo de tratamento (Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento – SNIS, 2010).

O lançamento indiscriminado de esgotos não tratados no ambiente tem sido a principal causa da eutrofização de corpos aquáticos destinados ao abastecimento humano e à disseminação de doenças infecciosas de veiculação hídrica (VON SPERLING *et al.*, 2009). Tecnologias eficientes e econômicas que tratem os esgotos eliminando os componentes eutrofizantes, como compostos de nitrogênio são importantes para ampliar os sistemas de tratamento e melhorar a qualidade dos efluentes para atingir os níveis de lançamento recomendados pela legislação vigente (JORDÃO, 2005). Outra opção é a aplicação de um tratamento apropriado que permita seu reuso na irrigação restrita (FLORENCIO *et al.*, 2006).

Diante da problemática no setor sanitário, aliado ao quadro epidemiológico e ao perfil socioeconômico das comunidades brasileiras, constata-se a necessidade por sistemas simplificados de coleta e tratamento dos esgotos, que devem ter baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização e sustentabilidade do sistema como um todo (CHERNICHARO, 2007).

O sistema formado por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio tem sido bastante utilizado em comunidade de pequeno porte e no meio rural. Atua removendo a maior parte dos sólidos em suspensão, os quais sedimentam e passam por um processo de digestão anaeróbia no fundo do tanque, que efetua a remoção complementar de DBO (VON SPERLING, 2005). O tratamento anaeróbio é um tratamento biológico com microrganismos que não precisam de oxigênio dissolvido para seu metabolismo, transformando os dejetos orgânicos em compostos mais simples como ácidos orgânicos simples, metano, gás carbônico e água (METCALF e EDDY, 2003). Estes compostos podem retornar ao meio ambiente sem comprometer os ecossistemas, por integrar-se facilmente às teias e cadeias alimentares (VON SPERLING, 2005).

Os reatores anaeróbios apresentam alta eficiência de degradação da matéria orgânica (médias de 90 a 70%), mas dificilmente produzem efluentes que atendem aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira para descarga no ambiente (Resolução CONAMA 357/2005). Portanto, torna-se relevante o pós-tratamento desses efluentes, como uma forma de adequá-los aos requisitos legais seja de reuso, seja de lançamento.

De acordo com Tonetti (2005) a junção de reator anaeróbio com filtros biológico é uma boa alternativa para tratar esgotos domésticos que visa o baixo custo, com possibilidade de utilização do efluente tratado na irrigação. Desse modo, pode-se diminuir o emprego das águas de fontes de boa qualidade, que deveriam ficar restritas para usos como o consumo humano após da potabilização, ou seja, resguardando-as para usos mais nobres.

A demanda crescente por água tem feito do reuso planejado da água de esgotos uma questão relevante. O crescimento populacional e o aumento das atividades humanas levam à degradação dos corpos d'água gerando um cenário de escassez de recursos hídricos nos aspectos quantitativos e qualitativos em diversas regiões do mundo (PHILIPPI, 2003). O reuso de efluentes sanitários tratados pode desempenhar um papel essencial no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como fonte substituta para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação. O uso do esgoto tratado na agricultura é uma forma de reciclagem de nutrientes e de água, e contribui com a redução dos impactos ambientais aos corpos d'água e ao solo (HESPANHOL, 2003)

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um sistema simples e econômico de pós tratamento com filtros intermitentes aeróbios de areia utilizando os esgotos os efluentes de um outro sistema, simples e econômico constituído por tanque séptico/filtro anaeróbio seguido que removem matéria orgânica e nutrientes dos esgoto dos blocos de aulas do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da UEPB e avaliar a viabilidade do efluente final ser reusado na irrigação de algumas áreas do Campus I.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o desempenho de dois filtros aeróbios com diferentes tempos de detenção hidráulica na nitrificação e na remoção de coliformes termotolerantes a partir do efluente de um sistema piloto de tratamento de esgoto constituído por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio situado no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da UEPB, e verificar se o efluente final pode ser reutilizado na irrigação dos jardins do campus I.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conhecer a eficiência da remoção da série nitrogenada e de coliformes termotolerantes no sistema piloto de tratamento de esgoto do bloco do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT/UEPB).
- Verificar se o sistema de pós tratamento favorece a nitrificação e a remoção de coliformes termotolerantes produzindo um efluente com menor risco à saúde pública.
- Avaliar se o efluente final satisfaz as condições legais de lançamento nos corpos receptores para os parâmetros nitrato, pH, temperatura e coliformes termotolerantes de acordo com a legislação vigente e para o reuso na irrigação.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SANEAMENTO AMBIENTAL

3.1.1 Contexto Histórico

O saneamento está intimamente ligado à saúde humana e desenvolveu-se de acordo com a evolução das diversas civilizações como as dos egípcios (3.700 A.C.), babilônios (1.900 A.C.), gregos (1.200 A.C.) e romanos (700 A.C.) que cuidavam dos seus dejetos. Relatos antigos apontam ruínas de uma civilização na Índia há 4.000 anos onde existiam redes de esgoto, banheiros e sistema de drenagem nas ruas (FUNASA, 2007).

A Bíblia, no velho testamento, expõe diversas abordagens intrinsecamente ligadas às práticas sanitárias do povo judeu, como a lavagem das mãos antes de comer, de lavagem das roupas sujas para evitar aparecimento de doenças (escabiose), e cita a localização das fontes de água para abastecimento do povo longe de possíveis contaminações, as quais eram mantidas limpas e se fossem poços, bem tampados (SCLIAR, 2007).

Na Idade Média, houve perdas das conquistas sanitárias obtidas e transferidas pelas culturas judaica, grega e romana com Galeno (199-210 D.C.), e árabe com Avicena, na Pérsia (908 a1030 D.C.), entre outras. O consumo de água per capita de certas cidades europeias chegou a 1L. hab⁻¹.dia⁻¹, e entre outras consequências ocorreram sucessivas epidemias como a Peste Negra ou Peste Bubônica que assolou o continente europeu e matou 1/3 de sua população. O quadro característico desse período é o lançamento de dejetos na rua. Esses hábitos se mantiveram até antes da metade do século XIX em grandes megalópoles industriais como Londres. O saneamento ganha novamente força em torno de 1850, pelos estudos do médico John Snow sobre a forma de transmissão da cólera e sobre a importância do saneamento básico na saúde pública (purificação da água e sistemas de coleta e tratamento dos esgotos) com os estudos e trabalhos de Edwin Chadwick (SCLIAR, 2007).

A partir dos inícios do século XX ocorre maior atenção à proteção da qualidade de água e dos mananciais até sua entrega ao consumidor e a avaliação das descargas dessas águas

na natureza depois do seu uso, transformadas em esgotos. Essa preocupação teve embasamento nas descobertas de diversos cientistas que mostraram que a transmissão de microrganismos patogênicos e de doenças causadas por agentes físicos, químicos e biológicos está diretamente ligada com o saneamento básico, conhecimentos que acompanharam a evolução do conceito de saúde e de saúde pública (SNOW, 1999; SCLiar, 2007).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2004) saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. Pode se caracterizar o saneamento como o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar a capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo ambiente e proporcionar Saúde Ambiental, mantendo condições de higiene e a preservação dos ambientes ou ecossistemas naturais, evitando sua poluição ou colaborando com a diminuição dos impactos antropogênicos.

O Saneamento básico inclui diversos aspectos: abastecimento com água potável, coleta, tratamento e disposição final dos esgotos e dos resíduos sólidos e gasosos, os serviços de limpeza urbana, a drenagem urbana, o controle de vetores e dos reservatórios de doenças, entre outros. Portanto a falta de saneamento básico implica em diversos problemas ambientais e de saúde humana, tais como a poluição ambiental e a proliferação de inúmeras doenças por veiculação hídrica (FUNASA, 2007).

3.1.2 Contexto Atual

Atualmente, cerca de 770 milhões de pessoas no mundo não têm acesso a uma fonte de água boa, e 2,5 bilhões não têm acesso a saneamento básico. Até 2015, o número de pessoas sem acesso a água pode atingir três bilhões (ONU, 2013). Estima-se ainda que 2 milhões de toneladas de dejetos humanos são despejados diariamente nos rios, na forma de esgoto bruto (IBGE, 2011)

De acordo com o Departamento de Saúde Pública e Meio Ambiente da Organização Mundial de Saúde saneamento e água potável são a chave do desenvolvimento e do progresso humano com dignidade. Saneamento é um direito humano e componente fundamental de prevenção primária para garantir saúde à população.

O Brasil possui serviços de tratamento de esgoto deficientes, especialmente nas regiões periféricas das zonas urbanas e nas rurais onde está concentrada a maior parte da população carente. Destaca-se que os investimentos em saneamento têm um efeito direto na redução dos gastos públicos com serviços de saúde: para cada real investido no setor de saneamento economizam-se quatro reais na área de medicina curativa (FUNASA, 2007).

A Pesquisa Nacional Saneamento Básico (2008) apontou dados alarmantes sobre as condições do sistema do esgoto sanitário brasileiro. Verificou-se a falta de rede coletora de esgoto em 2.495 municípios, apesar de haver aumento na proporção de domicílios com acesso à rede de esgoto (de 52,2%, em 2000, para 55,2%, em 2008). Coleta de esgotos não significa que todos eles são tratados: no Brasil o IBGE (2011) indica que do total de esgoto coletado apenas 28,5% dos municípios recebem algum tipo de tratamento que nem sempre satisfaz as normas de qualidade para lançamento no ambiente.

Ainda segundo dados do IBGE (2011) 30,5% do total dos municípios brasileiros lançam esgoto não tratado em rios, lagos ou lagoas que são destinadas a vários usos, como o abastecimento de água, recreação, irrigação e aquicultura, entre outros. Água mal tratada pode causar numerosas doenças na população abastecida.

3.1.3 Esgoto Sanitário

O esgoto sanitário em toda sociedade urbanizada é oriundo de três fontes distintas: doméstico, águas de infiltração e industriais (VON SPERLING, 2005); uma parcela é de águas pluviais (CHAGAS, 1999).

Há profunda necessidade de tratar esgotos, a fim de eliminar constituintes que prejudicam a vida humana e a dos corpos receptores, causando a transmissão de doenças de veiculação hídrica. Tratar esgotos sanitários é prevenir doenças, evitar a eutrofização dos cursos d'água superfícies e preservar o meio ambiente (SOUSA *et al.*, 1996).

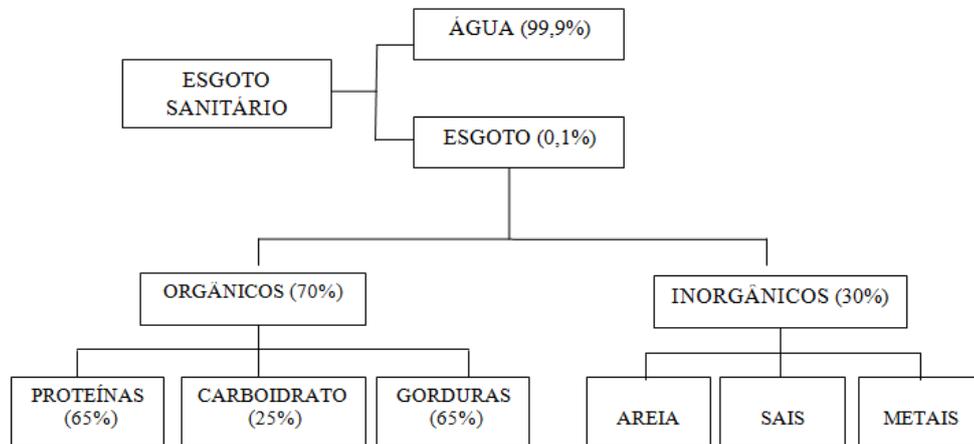
Os esgotos domésticos são compostos essencialmente da água do banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagens provenientes principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas (JORDÃO; PESSOA, 2009).

As substâncias presentes nos esgotos são constituídas principalmente por proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), e gorduras (aproximadamente 10%), além de uréia,

surfactantes, fenóis, pesticidas e outros em menores quantidades. Há também presença de algas e microorganismos como bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos (JORDÃO; PESSOA, 2009).

Segundo VON SPERLING (2005) usando dados de Mara, (1976), os esgotos domésticos possuem aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos, que são de natureza orgânica e inorgânica, suspensos e dissolvidos e microorganismos que podem formar colóides que são partes dos sólidos acima citados. A Figura 1 apresenta a composição dos esgotos domésticos.

Figura 1: Composição do Esgoto (adaptado de Mara; 1976).



Os esgotos possuem características físicas, químicas e biológicas em função do uso ao qual foram submetidas às águas que os originaram e apresentam variação de sua qualidade dependendo da situação social e econômica da comunidade e dos hábitos da população assim como do clima (VON SPERLING, 2005).

Os sistemas de tratamento dos esgotos podem ser classificados segundo os níveis de tratamento. Assim o tratamento pode ser: a) preliminar, que se destina apenas à remoção dos sólidos grosseiros e da areia, b) tratamento primário o qual visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica; c) tratamento secundário que remove matéria orgânica e eventualmente nutriente, com a inclusão de uma etapa biológica e d) o tratamento terciário, que objetiva a remoção de nutrientes e poluentes específicos, como compostos não biodegradáveis e tóxicos. Segundo Von Sperling (2005) geralmente os tratamentos que

produzem efluentes de melhor qualidade utilizam associação desses processos (preliminar + primário + secundário) e às vezes terciário como ultimo passo (VON SPERLING, 2005).

Em relação aos tipos de processos em função da presença o não de oxigênio dissolvido, os processos biológicos secundários podem ser aeróbios ou anaeróbios.

Dentro dos anaeróbios se destacam os tanques sépticos, também denominados de fossas sépticas e os filtros anaeróbios de fluxo ascendente ou descendentes e dentre os aeróbios estão os lodos ativados e alguns filtros aeróbios ascendentes ou descendentes que estimulam a nitrificação (METCALF; EDDY, 2003).

No Brasil, várias técnicas de tratamento de esgotos são empregadas, desde sistemas com processos muito simples até muito sofisticados. Entre as tecnologias de baixo custo destaca-se o uso de tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios (JORDÃO; PESSOA, 2009).

Em geral, atualmente no Brasil se tratam os esgotos para que estes retornem a um corpo aquático receptor. Considerado que o tratamento dos esgotos urbanos retira entre 80% e 90% da carga residual do esgoto bruto fica ainda uma carga de “resíduos” que podem ser reutilizados em usos menos nobres que o consumo humano além de usar a água que compõe os esgotos. A água é hoje um bem precioso e que deve ser cuidado, não desperdiado e bem aproveitado. Então, ao invés de despejar efluentes nos rios, com 10% a 20% de resíduos, uma abordagem sustentável preconiza seu aproveitamento na irrigação de lavouras, com tecnologia usadas em diversos países, como Arábia Saudita, Austrália, Chile, Estados Unidos, Egito, Israel e Tunísia entre outros países. Nesses países, o reuso segue padrões de qualidade, definidos por órgãos ambientais e pela Organização Mundial de Saúde, que protegem a saúde ambiental e a saúde humana. Para a irrigação de lavouras ou de parques e jardins deve se usar esgoto tratado e a condição ideal, para diminuir custos, é que as Estações de Tratamento estejam próximas às áreas de plantio. Quando essa situação não é possível, o transporte terá de ser equacionado, sendo um item adicional de custos (MANCUSO; SANTOS, 2003).

3.2 TANQUE SÉPTICO

O tanque séptico foi à primeira unidade idealizada para tratamento de esgotos e até hoje é a numericamente mais empregada em todos os países, devido à simplicidade e aos baixos custos de construção e operação. É muito utilizada em comunidades que geram vazões de esgotos relativamente pequenas, também é empregado em áreas urbanas desprovidas de rede coletora pública de esgoto sanitário (JORDÃO; PÊSSOA, 2005).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (NBR 7229/93) define o tanque séptico como uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão (ABNT, 1993). Os tanques sépticos são estruturas em geral retangulares e impermeáveis, com tubulação para entrada de esgoto bruto e saída de efluente pré-tratado, que recebem os esgotos domésticos e vários outros tipos de águas servidas. São construídos geralmente para atender a pequenos grupos de pessoas, visando o polimento prévio dos esgotos.

Os tanques sépticos são reatores biológicos anaeróbios, onde ocorrem reações químicas e biológicas com participação de microrganismos que degradam e reduzem ativamente a matéria orgânica em ausência de oxigênio molecular (ou de oxigênio livre), por isso sua denominação de anaeróbios. Nesses tanques, o esgoto é transformado pelos microrganismos anaeróbios em matéria orgânica digerida, ácidos graxos, etc, com formação de uma densa biomassa de microrganismos anaeróbios que liberam biogás, composto principalmente de metano e gás carbônico. Suas principais funções incluem a retenção dos despejos domésticos e/ou industriais por um período determinado, tempo de detenção hidráulica, permitindo a sedimentação dos sólidos maiores e mais pesados e a decomposição/biodegradação da parte orgânica, além de reter o material graxo não biodegradado (VON SPERLING, 2005).

3.3 FILTRO ANAERÓBIO

Os filtros anaeróbios consistem basicamente em tanques contendo material inerte que servem de suporte para aderência e desenvolvimento de microrganismos. Podem ser utilizados como a principal unidade de tratamento, mas são mais adequados para pós-tratamento. São utilizados principalmente para o “polimento” de efluentes de reatores

anaeróbios que removem sólidos suspensos que em grandes quantidades podem obstruir os interstícios do meio suporte nos filtros (METCALF; EDDY, 2003).

Segundo a NBR 13.969/97 o filtro anaeróbio consiste em um reator biológico onde o esgoto é depurado pela ação de microrganismos anaeróbios dispersos tanto no espaço vazio do reator quanto nas superfícies do meio filtrante. Este é utilizado mais como retenção dos sólidos. Todo processo anaeróbio é bastante afetado pela variação de temperatura do esgoto e o pH . Sua aplicação deve ser feita de modo criterioso e o processo é eficiente na redução de cargas orgânicas elevadas, desde que outras condições sejam satisfatórias. Já os efluentes dos filtros anaeróbios podem exalar maus odores e apresentar cor escura (ABNT, 1997).

A operação dos filtros anaeróbios é muito simples sendo necessária periodicamente a remoção do excesso de lodo do meio filtrante. Esta remoção consiste em drenar os líquidos (por descarga de fundo ou sucção) com vazão bem maior que no fluxo normal, provocando velocidades mais altas de escoamento nos interstícios que durante o funcionamento normal, de forma que provoque o carregamento de parte do lodo em excesso ali acumulado. A frequência de remoção do lodo em excesso depende, principalmente, das condições do afluente, do tipo de material suporte, granulometria e forma e da altura do leito. Normalmente a remoção do excesso de lodo se faz necessária em períodos de quatro a oito meses dependendo das condições reais de operação (ANDRADE NETO *et al.*, 2002).

Apesar da importância dos reatores anaeróbios, logo após o tratamento é necessário uma etapa complementar como a utilização de reatores aeróbios. O sistema anaeróbio é a primeira etapa do processo e deve-se considerar que mesmo não produz efluente adequado aos padrões legais de lançamento, sendo necessário um pós-tratamento que complete a remoção da matéria orgânica, nutrientes e organismos patogênicos (CHERNICHARO, 1997).

Callado (2001), afirma que a combinação de uma unidade anaeróbia e outra aeróbia é uma alternativa inovadora e de alta eficiência na purificação dos esgotos.

3.4 FILTRO AERÓBIO INTERMITENTE DE AREIA

Os filtros biológicos consistem em um dos variados tipos de reatores aeróbios que atuam com meio de suporte onde se agregam microrganismos que na presença de oxigênio molecular ocorre à respiração aeróbia através de uma ventilação natural e uma carga hidráulica movida pelo próprio esgoto (VON SPERLING, 2005).

A filtração aeróbia apresenta eficiência significativa de remoção de DBO e possibilita a nitrificação de acordo com as condições do clima e das características do afluente que devem ser favoráveis para o desenvolvimento de uma população de bactérias nitrificantes que deve se bem estabilizada (METCALF; EDDY, 2003).

De acordo com a NBR 13.969/97 o filtro de areia deve ser operado de modo a manter condição aeróbia no seu interior. Para tanto, a aplicação do efluente deve ser feita de modo intermitente, com emprego de uma pequena bomba ou dispositivo dosador, permitindo o ingresso de ar através de uma tubulação que permite a manutenção do ambiente aeróbio durante o período de repouso. Deve ser prevista uma caixa de reservação do efluente do tanque séptico com uma bomba de recalque ou com um sifão, a montante do filtro de areia. A primeira é utilizada preferencialmente quando o nível previsto do filtro de areia está acima do nível de tubulação de efluente do tanque séptico; a segunda opção é adequada onde o filtro de areia está em nível inferior à saída do tanque séptico. O volume da caixa deve ser dimensionado de modo a permitir no máximo uma aplicação do efluente a cada 6 h (ABNT, 1997).

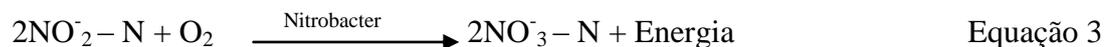
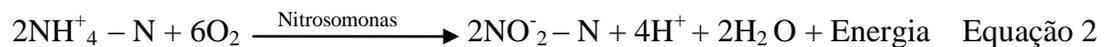
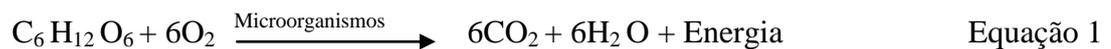
O filtro intermitente de areia é uma tecnologia de tratamento do esgoto convencional adaptável a pequenas comunidades, que pode possibilitar o reuso seguro da água em irrigação porque em geral o processo contribui com a preservação dos nutrientes (FORESTI *et al.*, 2006). O Brasil é o país que mais tem aplicado reatores anaeróbios para o tratamento de esgotos sanitários e a tecnologia anaeróbia encontra-se praticamente consolidada e, nos últimos 10 anos as alternativas de tratamento geralmente incluem reatores anaeróbios (HAANDEL; LETTINGA, 1994; JORDÃO E PESSOA, 2005).

Segundo Jordão e Pessoa (2005) e Von Sperling (2005), os principais sistemas de tratamento de esgotos utilizados em estações de tratamento no Brasil são: lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, lodos ativados e reatores aeróbios com biofilmes. Porém, embora apresente grandes vantagens, um reator anaeróbio dificilmente tem um efluente que atende aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação ambiental brasileira para descarte no ambiente e em geral é necessário o pós-tratamento do efluente (ANDRADE NETO *et al.*, 2002).

3.5. PROCESSO DE OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Segundo Von Sperling (2005) a oxidação da matéria orgânica dos esgotos ocorre quando os microrganismos em presença de oxigênio molecular (ou seja, em um processo aeróbio) usam o material orgânico como fonte de alimento, oxidando parte do carbono que é convertido em biomassa microbiana e o remanescente em dióxido de carbono, ou seja, os microrganismos convertem o carbono orgânico dos esgotos (matéria orgânica) em biomassa microbiana e em carbono inorgânico (CO₂).

O nitrogênio por ação microbiana passa por diversas transformações: a amônia é oxidado em nitritos por bactérias oxidantes do gênero nitrosomonas, e bactérias aeróbias do gênero nitrobacter oxidam os nitritos em nitratos (HAANDEL *et al.*, 2009b). Em seu conjunto essas reações são fases do processo de nitrificação e apresentadas a seguir.



Em processos aeróbios procura-se intensificar a proliferação de microrganismos, principalmente bactérias, que além de oxidar aerobicamente a matéria orgânica, formam massas biológicas capazes de se aderir a partículas em suspensão formando biofilmes que aceleram a biodegração microbiana da matéria orgânica (RODRIGUES *et al.*, 2006).

O tratamento anaeróbio é um processo de degradação da matéria orgânica sem oxigênio livre e resultam produtos orgânicos mais solúveis e gases, como CO₂ e CH₄. A solubilização de compostos orgânicos por atividade enzimática (ou biológica) é denominada de digestão. O processo de digestão anaeróbia ocorre em quatro fases. Na primeira ocorre a hidrólise do material em suspensão, sedimentáveis, em substâncias solúveis ou ao menos em um estágio intermediário, pela ação de enzimas exógenas liberadas pelas bactérias que exercem atividade catalisadora sobre as partículas orgânicas com o intuito de solubilizá-las e torná-las assimiláveis pelas células bacterianas (CHERNICHARO, 2007).

Na segunda etapa, de acidogênese, os compostos dissolvidos, gerados no processo de hidrólise ou liquefação, são absorvidos pelas bactérias fermentativas e, após a produção de ácidos, alcoóis orgânicos mais simples, entre outros (processo de acidogêneses), são

excretadas como substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGV), álcoois, ácidos lácticos e compostos minerais como CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S (HAANDEL, LETTINGA, 1994; CHERNICHARO, 2007).

Nesse ambiente parte da matéria orgânica biodegradável é convertida em próprionatos (com três C) e butiratos (com quatro C), produtos esses que são posteriormente facilmente decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das bactérias acetogênicas e constituem a terceira fase ou de acetogêneses. Na quarta etapa ou final do processo anaeróbio, ocorre a formação do gás metano pela ação das bactérias metanogênicas. Essas bactérias se classificam em dois grupos: as bactérias metanogênicas acetoclásticas, responsáveis por 70 a 60% da produção de metano (CH_4) e as bactérias metanogênicas hidrogenotróficas que produzem os 30 a 40 % restantes. O produto final da digestão anaeróbia é CH_4 , H_2O e CO_2 (CHERNICHARO, 2007; FORESTI *et al.*, 2006).

3.6 BIOFILME

Quanto ao crescimento de biomassa, os processos podem ser de crescimento biológico em meio suspenso, (lodo ativado, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios), e de crescimento biológico em meio suporte (Ex: filtro biológico), onde a massa biológica (biofilme) cresce sobre um material que serve de suporte (FORESTI *et al.*, 1999; RODRIGUES *et al.*, 2006. FLORENCIO *et al.*, 2009). Sistemas com biofilmes, ou seja, de crescimento aderido, incluem filtros percoladores, filtros biológicos aerados, filtros biológicos rotatórios de contato, e reatores de leito em movimento e leito fixo (METCALF, EDDY, 2003).

O biofilme é uma biomassa formada pelo agrupamento imobilizado de diversos organismos sobre uma superfície coberta de material orgânico (MADIGAM *et al.*, 2010). Sua formação se inicia com a fixação das bactérias. No caso do crescimento biológico em meio suspenso, a imobilização ocorre formando lodo biológico, onde os microrganismos se agregam em flocos dispersos até grânulos densos. Os microrganismos agregados formam um lodo floculento, que ocupa parte ou quase totalmente o volume do reator (FORESTI *et al.*, 1999).

Florencio *et al.*, (2009) descrevem o processo de formação do biofilme nos reatores: quando o esgoto entra em contato com o meio suporte começa a se desenvolver sobre o mesmo uma população microbiana com características de película gelatinosa que é o biofilme. A fase inicial do desenvolvimento do biofilme envolve a adsorção de compostos orgânicos sob o material a ser colonizado. Essa camada inicial é um pré-requisito para uma posterior aderência microbiana mais estável. O crescimento do biofilme começa após esta fase formada inicialmente por bactérias e seguidamente por protozoários, fungos e outros organismos do esgoto; o biofilme cresce aderido ao suporte sólido, que usualmente é impermeável. Quando em contato com o ar, absorve-o, enriquecendo-se de oxigênio, favorecendo o desenvolvimento rápido dos organismos presentes, os quais se alimentam da matéria orgânica do esgoto, dissolvida ou finamente suspensa. Os materiais solúveis são consumidos rapidamente enquanto as partículas maiores ficam aderidos ou capturadas na película gelatinosa para aumentar e acelerar a formação do biofilme. Então as partículas orgânicas aderidas são reduzidas pelas bactérias com uso de exoenzimas microbianas ate moléculas e podem ser então assimiladas pelos microrganismos e metabolizadas (MADIGAM *et al.*, 2010).

Os reatores com biomassa fixa (ou biofilme) incluem, além dos filtros percoladores e os biodiscos, diversos tipos de reatores com leito suporte fixo ou móvel (FLORENCIO et al, 2009). Utilizam geralmente materiais de alta superfície específica, para a adesão da biomassa, podendo ser grãos de reduzido diâmetro (0,2 a 2 mm) ou material de grande porosidade (esponjas). Sua principal vantagem, com relação aos processos com leito fixo, é a ausência de colmatação do meio filtrante; suas principais desvantagens são os elevados custos operacionais (especialmente de energia) e os dispositivos sofisticados necessários à adequada distribuição de fluxo e aeração. São indicados para o tratamento de efluentes diluídos. Seus custos de implantação chegam a ser 50% menores do que o de sistemas de lodos ativados, embora os custos de operação e manutenção sejam superiores (GONÇALVES *et al.*, 2009).

3.7 REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

O nitrogênio presente no esgoto fresco está combinado na forma de proteína e uréia. As bactérias que participam do ciclo do nitrogênio transformam o nitrogênio dos esgotos em amônia se for um ambiente anaeróbio e este será oxidado em um ambiente aeróbio para nitrito

e em seguida para nitratos. A concentração com que o nitrogênio aparece sob essas várias formas indica a idade do esgoto e/ou sua estabilização em relação à demanda de oxigênio (VOLSCHAN *et al.*, 2009): quanto maior é a concentração de amônia e de nitritos mais novo ou “jovem,” é o esgoto e quanto maior a concentração de nitrato mais “velho” ele é. A nitrificação, seguida de desnitrificação até NH_3 e ou N_2 são processos largamente utilizados para a remoção de nitrogênio das águas residuárias.

O processo de nitrificação consiste na oxidação da amônia a nitrato, através de bactérias aeróbias de vários gêneros de bactérias autótrofas que não necessitam de substrato orgânico para crescimento: os microrganismos envolvidos neste processo utilizam o gás carbônico (CO_2) como a principal fonte de carbono e a energia para o metabolismo dessas bactérias é proveniente da oxidação de substratos inorgânicos de nitrogênio, como amônia e nitritos (MADIGAN, *et al.*, 2010.) As bactérias nitrificam a amônia a nitrato passando por uma etapa intermediária de formação de nitrito utilizando oxigênio molecular ou seja é um processo aeróbio, no qual o oxigênio é o acceptor de elétrons (FLORENCIO *et al.*, 2009). Através da transferência de elétrons para o oxigênio na respiração aeróbia, ocorre ganho de energia necessária para síntese de proteínas (MADIGAN *et al.*, 2010).

O primeiro estágio do processo é a oxidação do íon amônio a nitrito (Equação 4):



Esta reação é geralmente catalisada por bactérias de gênero *Nitrosomonas* em especial por duas espécies, *N. europaea* e *N. monocella*. Bactérias de outros gêneros também participam do processo, como *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosocytis* e *Nitrosogloea*. O íon hidrogênio liberado na oxidação do amônio a nitrito causa queda no pH do efluente, o que pode ser um problema em sistemas fechados, ou com longo tempo de retenção, pois a redução do pH poderá inibir ou mesmo parar a nitrificação (METCALF; EDDY, 2003).

Em um segundo estágio, o nitrito é oxidado a nitrato (Equação 5):



O gênero *Nitrobacter* participa dessa etapa junto com os gêneros *Nitrocystis*, *Nitrococcus* e *Nitrospira* (MADIGAN *et al.*, 2010).

A temperatura ótima para o crescimento das bactérias nitrificantes varia entre 28 e 36°C, esperando-se pouco ou escasso crescimento abaixo de 4°C (FLORENCIO *et al.*, 2009). Os valores de pH ótimo para a nitrificação são próximos de 7,5. O pH tem acentuado efeito inibitório para *Nitrobacter*, e governa a dissociação do íon amônio.

A desnitrificação é o processo anaeróbico por meio do qual o nitrato ou nitrito são convertidos a nitrogênio gasoso (N₂). A reação dá-se através da seguinte sequência: nitrato, nitrito, óxido nitroso e nitrogênio gasoso (MADIGAN *et al.*, 2010).

A desnitrificação ocorre em ambiente anóxico, por meio de bactérias que utilizam uma fonte de carbono como doador de elétrons. A redução de nitrato a nitrogênio gasoso é efetuada em dois passos básicos, o primeiro envolve a redução do nitrato a nitrito. No segundo, o nitrito é reduzido a nitrogênio gasoso. Várias bactérias heterotróficas são hábeis em desnitrificar efluentes em condições anóxicas (*Pseudomonas*, *Paraccocus*, *Alcaligenes*, *Thiobacillus* e *Bacillus*). (MADIGAN *et al.*, 2010; METCALF; EDDY, 2003).

É possível que a rota de redução do nitrato seja determinada pelo tipo de fonte redutora. As bactérias fermentativas associadas a lodo metanogênico transformam parte do nitrato em amônio (Equação 6) se estão presentes substratos facilmente fermentáveis, é a chamada redução desassimilatória.



Equação 6

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O sistema de tratamento de esgotos aqui avaliado está instalado na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) - Campus I, no bloco do Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) e atende uma população universitária de 2.700 estudantes, 180 professores e 40 funcionários incluindo os da limpeza, perfazendo um total de 2.920 pessoas. O esgoto analisado foi produzido nos banheiros e na cantina. Esses resíduos líquidos são conduzidos por tubulação até um tanque séptico seguido de filtro anaeróbio e de um tanque de equalização, que se conecta a dois filtros aeróbios. Os dois filtros Biológicos Aeróbios descendentes foram incorporados para realizar esta pesquisa e se constituíram em sistemas de pós-tratamento. O período de estudo foi de julho de 2011 a agosto de 2012.

4.2 TANQUE SÉPTICO E FILTRO ANAERÓBIO

O Tanque séptico apresenta 2,40 metros de altura, 2 metros de largura, 4 de comprimento e esta dividido em 2 compartimentos (separados por um parede – chicana - no meio do tanque), e o efluente passa para o filtro anaeróbio por um tubo de policloreto de vinil (PVC) com fluxo ascendente (Figura 2 e 3).

O filtro anaeróbio possui as mesmas dimensões do tanque séptico, composto por uma laje de concreto com fundo falso e furos padrões de 3 cm de diâmetro, e 15cm de distância entre eles, e o meio filtrante está formado por uma camada de brita (nº3) com altura de 1 metro (Figura 4).

Nas figuras 2 e 3 respectivamente são apresentados a planta baixa e corte do tanque séptico e do filtro anaeróbio, fornecidas pelo Departamento de Engenharia da Prefeitura Universitária da UEPB.

Figura 2: Planta baixa do tanque séptico, seguido por filtro anaeróbio. Campina Grande, 2012.

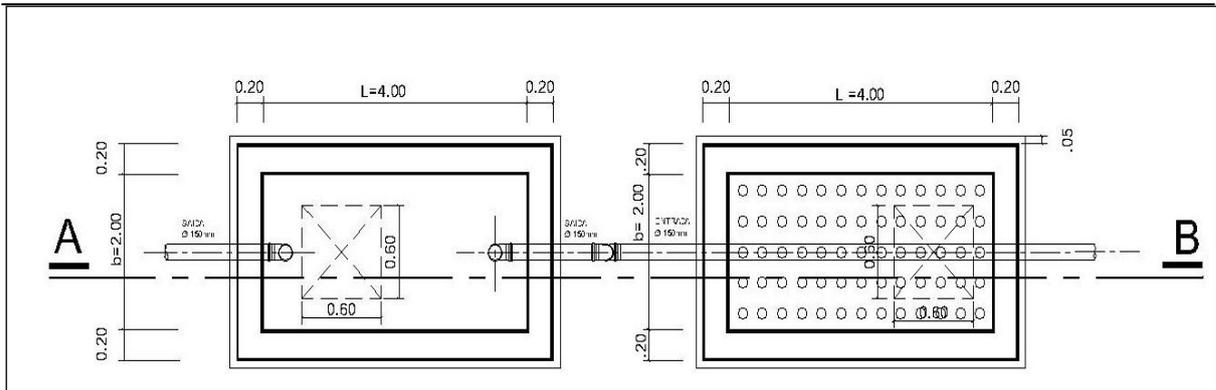
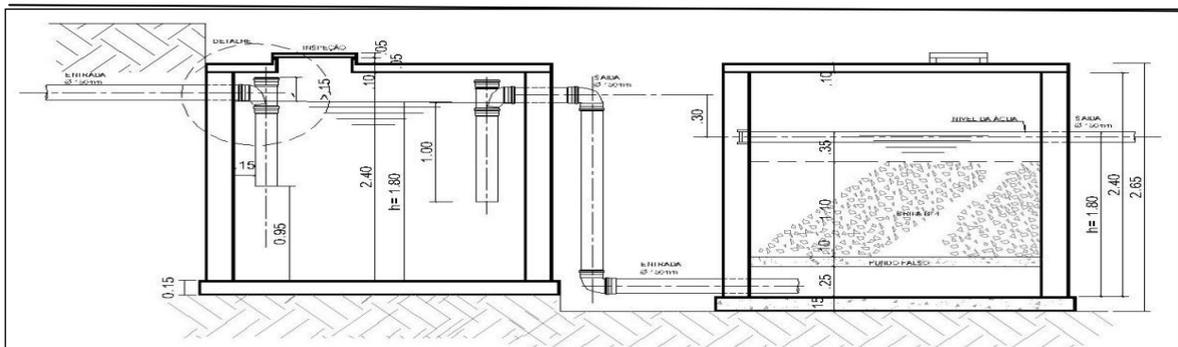


Figura 3: Corte AB do tanque séptico, seguido por filtro anaeróbio. Campina Grande, 2012.



O tanque séptico foi construído segundo a norma NBR-7229 (ABNT, 1997). É definido como “unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão”. A diferença entre uma fossa de um tanque séptico, é que o tanque séptico é unidade de tratamento de esgotos, com efluente a ter um destino final, que em sistemas de disposição local de esgotos é geralmente por infiltração no solo através de sumidouro ou valas de infiltração, enquanto a fossa é utilizada para disposição final dos esgotos (HARTMANN, 2009).

No sistema estudado o tanque séptico seguido de filtro anaeróbio atuam no tratamento primário. Segundo METCALF & EDDY (2003), o tratamento primário consiste na remoção de uma parte dos sólidos suspensos e matéria orgânica presente no esgoto.

Figura 4 – Filtro anaeróbio do CCT/UEPB- Campina Grande, 2011.

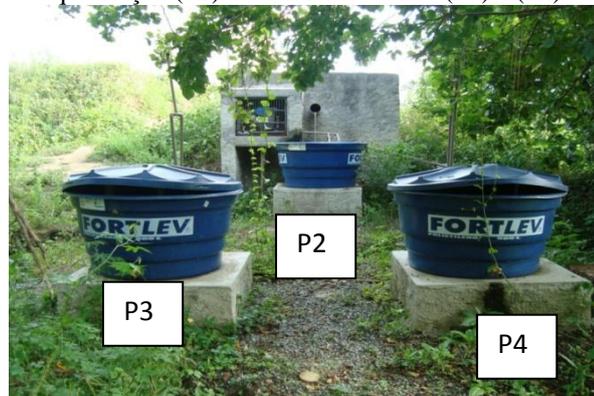


Fonte: autor deste trabalho, 2012.

4.3 SISTEMA EXPERIMENTAL

O sistema experimental é constituído de um tanque de equalização e dois filtros aeróbios (Figura 5).

Figura 5: Visão geral do sistema experimental com destaque para o efluente do tanque séptico para o tanque de equalização (P2) e os filtros aeróbios (P3) e (P4).



Fonte: autoria própria, 2012.

4.3.1 TANQUE DE EQUALIZAÇÃO

O tanque de equalização foi construído com uma caixa de fibra de vidro com capacidade para 500 litros (Figura 6). Sua principal função é impedir a sedimentação dos sólidos, evitando a decomposição por organismos anaeróbios e a liberação de maus odores (VON SPERLING, 2005).

Figura 6: Tanque de equalização do CCT.

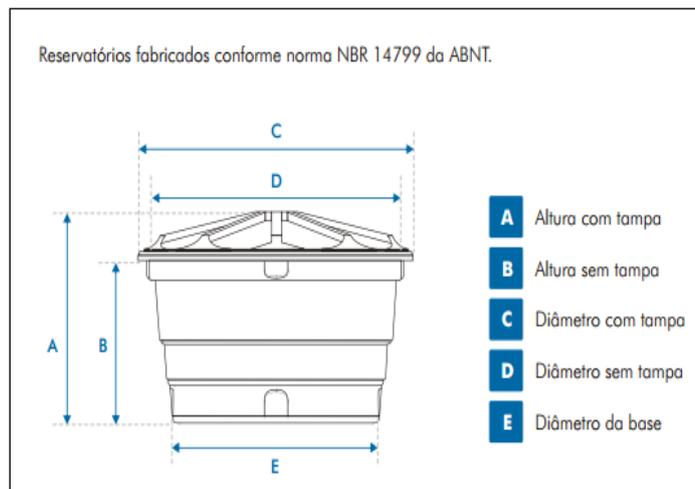


Fonte: autoria própria, 2012.

4.3.2 FILTROS AERÓBIOS

Os filtros aeróbios foram construídos com duas caixas de fibra em polietileno, com capacidade de 500 litros. Cada uma possui 1,22 m de diâmetro na área superior e 0,95 m de diâmetro na área inferior da caixa, e altura de 0,65 m (Figura 7). Na parte superior e no fundo de cada caixa foi montado um sistema de drenagem composto por canos de PVC.

Figura 7: Estrutura das caixas d'água utilizadas na construção do tanque séptico e nos filtros aeróbios nos sistema de tratamento do CCT/UEPB/2012.



Fonte: (CAIXA ..., 2012) <http://www.fortlev.com.br/produto/11>

O tanque de equalização e os filtros aeróbios foram dispostos em forma de um triângulo com as medidas de espaço e altura desde solo até a superfície da caixa citados a seguir:

- Tanque de equalização e filtro aeróbio 1 (distância e alturas):
 - Distância: 2.79 m;
 - Altura tanque de equalização: 1.12 m;
 - Altura filtro 1: 0.88 m.

- Tanque de equalização e filtro aeróbio 2 (distância e alturas):
 - Distância: 2.81m;
 - Altura tanque de equalização: 1.12 m;
 - Altura filtro 2: 0.96 m.

- Filtro aeróbio 1 e Filtro aeróbio 2 (distância e alturas):
 - Distância: 2 metros;
 - Altura filtro 1: 0.88 m;
 - Altura filtro 2: 0.96 m.

A vazão do filtro anaeróbio para o tanque de equalização foi medida por um período de 12 horas consecutivas, durante duas semanas, sempre em dias de fluxo normal dos alunos nos prédios do CCT, porém não antes ou após feriados e nem o as segundas ou sextas-feiras, por serem dias próximos aos finais de semana quando se reduz o numero de alunos. Foi medido um volume de 16.448 L em um período de 12 horas consecutivas (das 07:00 h da às 19:00h) que corresponde a uma vazão média de 22,84 L/min. A maior vazão verificou-se aproximadamente às 10 horas, e esse horário foi escolhido para realizar a coleta semanal de amostras. Os filtros aeróbios foram preenchidos com brita e areia na seguinte proporção: 15 cm de brita nº 3 na base; acima 30 cm de areia (porção mediana), logo acima na camada de britas da base; altura 15 cm de brita (porção superior), de cada camada de areia (Figura 8).

Figura 8: Preenchimento das caixas com brita na base (A), areia na porção mediana (B) e brita na porção superficial (C). Visualização do tubo de aeração.



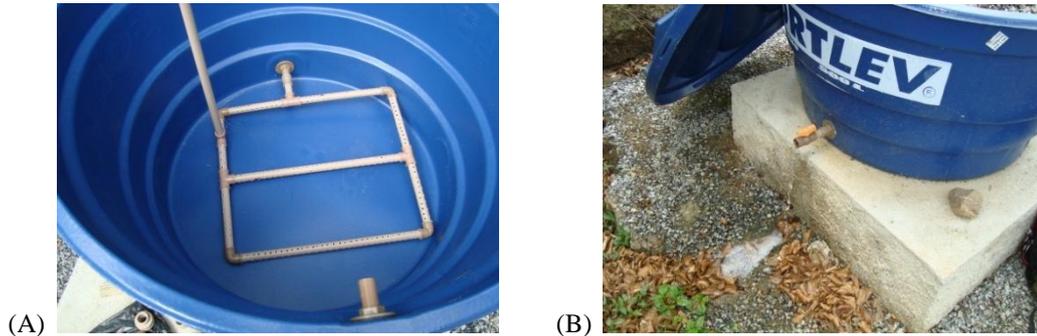
No fundo, sobreposta pela camada de brita N° 03 se instalou uma estrutura de canos, similar a da parte superior, que drena o efluente para fora do filtro aeróbio por meio de uma extremidade, esse dreno se constitui em uma “torneira” em cada filtro, situada na base das caixas (dos filtros) (Figura 9).

Figura 9: Tubulação de eliminação de efluente com cano de aeração (porção superior).



Essa tubulação inferior está conectada ao cano que atravessa verticalmente todas as camadas internas do filtro chegando até 10 cm acima da superfície, com a finalidade de aerar a porção inferior do filtro (Figura 10).

Figura 10: Sistema de captação inferior com tubulação de aeração (A); eliminação do efluente de um dos filtros aeróbios por uma “torneira” colocada na porção inferior (B).



Quando os filtros aeróbios não estão em funcionamento, permanecem tampados, mas com uma pequena abertura lateral para aeração do filtro, dessa forma se evita o acúmulo de água e partículas exógenas que podem depositar-se na superfície da camada de britas, dificultando a filtração.

A alimentação dos filtros aeróbios era feita por duas motores-bomba manuais com funcionamento independentes, que transportam seus efluentes do tanque de equalização para os dois filtros aeróbios por meio de uma tubulação independente, para cada filtro. Neste experimento foram utilizadas duas motor-bomba calibradas que funcionam ao mesmo tempo.

As motos bombas possuem as especificações: motor: 0.5 hp – 2 polos – monofásico, voltagem: bivolt – 110v/220v – 60 Hz, vazão máxima: $2,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, altura máxima: 32 M.C.A., sucção máxima: 8 metros e temp. max. liq.: 60°C .

Os filtros foram identificados como FA1 e FA2. O filtro aeróbio 1 (FA1) recebeu efluente do tanque de equalização durante 2 minutos e 45 segundos, controlado por cronômetro, o que corresponde a 100 L de efluente do tanque de equalização. Já o filtro aeróbio 2 (FA2) recebeu efluente do tanque de equalização por 5 minutos e 30 segundos, o que corresponde a 200 L de efluente para este filtro. A diferença das vazões da quantidade de efluente para cada filtro está relacionada a um dos objetivos do estudo experimental no sentido de observar se havia diferença na nitrificação entre os filtros, já que os mesmos possuem a mesma composição de areia e britas. A análise da granulometria foi feita por peneiramento no Laboratório de Solos, do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Campina Grande. A areia utilizada apresentou as seguintes medidas: densidade máxima do grão de areia = 2,4; módulo de finura = 2,38.

4.4 FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A alimentação do sistema foi feita diariamente por duas motor-bomba, acionadas manualmente, sempre nos mesmos horários (diariamente às 18hs), para facilitar a produção do biofilme. A alimentação dos filtros aeróbios para a coleta dos efluentes foi realizada semanalmente, sempre às terças-feiras, às 10hs. Tais horários foram definidos, pois constitui o intervalo das aulas e, portanto o horário que os banheiros têm maior uso por alunos e funcionários nos prédios ligados a rede sanitária que abastece o tanque séptico ligado aos filtros biológicos. Quando as coletas correspondiam a dias de feriados, as mesmas foram transferidas ao próximo dia útil, evitando-se resultados que não condizem com a realidade nos dias de atividade acadêmica.

As amostras foram coletadas em garrafas PET na entrada do esgoto bruto no sistema, nas saídas dos reatores anaeróbios e dos filtros aeróbios. Para as análises microbiológicas os pontos de coleta foram os mesmos e as amostras foram condicionadas em recipientes estéreis e preservadas em caixa isotérmica com gelo a temperatura em torno de 8°C segundo recomendações do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). O período de amostragem foi desde 1 de julho de 2011 até 23 agosto de 2012. A frequência de amostragens foi semanal e os pontos de coleta foram denominados de: P1= esgoto bruto; P2= tanque de equalização; P3 ou FA1= efluente do filtro aeróbio 1; P4 ou FA2= efluente do filtro aeróbio 2. Imediatamente após as coletas foi realizado aferição da temperatura com termômetro digital em todas as amostras.

4.5 PARÂMETROS ANALÍTICOS

As análises físicas, químicas e bacteriológicas foram realizadas no laboratório da Estação de Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos da UEPB (EXTRABES), de acordo com as recomendações do *Standard Methods the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005) (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros analisados e métodos.

PARÂMETROS	MÉTODO
Temperatura (°C)*	Termômetro digital (0,01 de resolução)
Potencial Hidrogeniônico – pH*	Potenciométrico
Nitrogênio amoniacal - N - NH ₄ (mg/L)*	Titulométrico
Nitrito – N-NO ₂ (µg/L)*	Colorimétrico
Nitrato – N-NO ₃ (µg/L)*	Titulométrico
Nitrogênio Kjeldahl - NTK (µg/L)*	Colorimétrico
Coliformes termotolerantes (UFC/mL)*	Membrana filtrante (UFC/100 mL)

*As análises foram realizadas semanalmente (APHA, 2005).

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

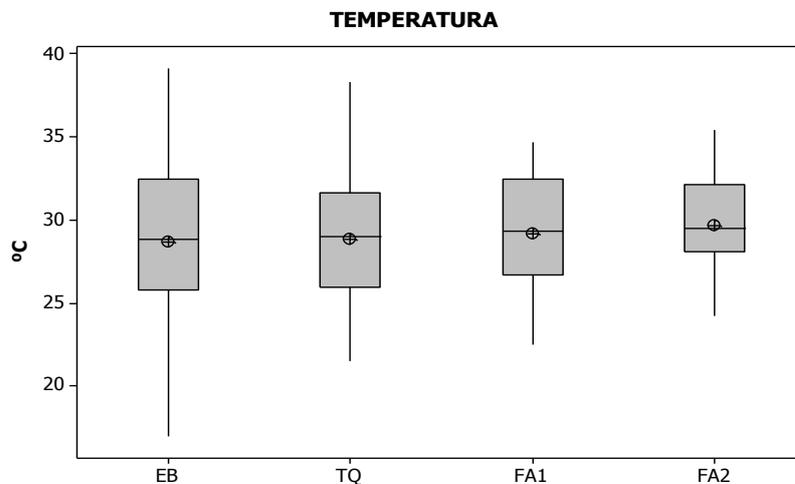
As análises estatísticas foram a estatística descritiva (média aritmética), desvio padrão, mínimo, máximo, moda, mediana e coeficiente de variação de Pearson para todos os parâmetros analisados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 TEMPERATURA

A temperatura do esgoto bruto manteve-se com média de 28,7°C. No efluente do tanque séptico/filtro anaeróbico a temperatura média foi praticamente a mesma do esgoto bruto. Os efluentes dos dois filtros intermitentes de areia tiveram um pequeno aumento de temperatura com média de 29,1°C (FA 1) e 29,6°C (FA 2) (Figura 11). Apesar de apresentar ligeiro aumento de temperatura após passagem pelos filtros de areia, os valores estão dentro dos padrões exigidos visto que são menores do valor máximo permitido pela Resolução 430/2011 para lançamentos de efluentes, que limita até 40°C, por tanto não é um fator que limite o lançamento deste efluente.

Figura 11: BOX PLOT de distribuição dos valores de temperatura do monitoramento do esgoto bruto e efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbico, dos filtros aeróbios FA1 e FA2, Campina Grande, 2012.



5.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)

A Tabela 11 mostra os valores de pH do esgoto bruto e dos efluentes. Verifica-se que no Esgoto Bruto variou de 7,2 a 9,1 com média de 8,2. No efluente dos reatores anaeróbios

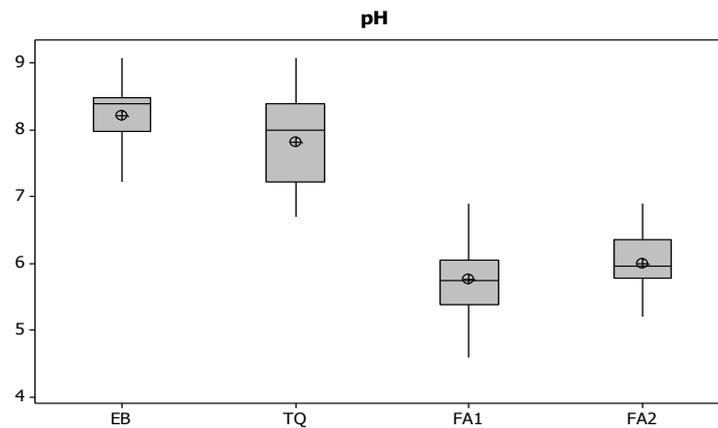
teve um mínimo de 6,8 e um máximo de 9,0 com média de 7,8. Para Santos (2007) grandes variações de pH podem comprometer os processos de tratamento, entre eles a metanogênese que ocorre nos reatores anaeróbios. O crescimento ótimo das bactérias metanogênicas, de acordo com Van Haandel e Lettinga (1994) e Metcalf & Eddy (2003), situa-se na faixa de pH 6,6 e 7,4 que é praticamente a mesma faixa das bactérias desnitrificantes (6,5 a 7,5) segundo Barnes e Bliss (1983). Para Florencio *et al.*, (2009) e Van Haandel & Lettinga, (1994) a faixa de pH considerada ótima para a digestão anaeróbia é de 6,8 a 7,5.

Nos efluentes dos filtros aeróbios intermitentes de areia, o pH teve variações entre 4,6 a 6,9 (FA 1) e 4,5 a 6,9 (FA2), com e médias de 5,8 e 6,0 respectivamente (Tabela 2), ou seja praticamente iguais.

Verifica-se que ao longo do período experimental, o pH dos efluentes dos filtros de areia se manteve na faixa entre ácida e levemente ácida (de 4,5 para 6,5), com diminuição devidas ao processo de nitrificação ocorrido nos filtros aeróbios. Segundo Metcalf & Eddy (2003) nesse processo ocorre a produção de 2 moles de H⁺ por mol de nitrito formado. A correlação negativa entre o pH e nitratos ($p = -0,598$, FA1), indica que a transformação do nitrogênio orgânico e amoniacal em nitrato, durante a infiltração no leito de areia, leva à uma redução do pH. Em geral esta reação bioquímica consome alcalinidade causando aumento da acidez do meio (TONETTI *et al.*, 2008).

Tonetti *et al.* (2003) destacam que os microrganismos responsáveis pelo tratamento biológicos dos esgotos necessitam de pH entre 4 e 8, caso contrário, existe impedimento para a formação do biofilme, principal responsável pela depuração do efluente. Ao comparar os valores de pH do efluente do sistema aqui estudado com aqueles exigidos pela legislação (Resolução CONAMA n° 430/2011), que permite o lançamentos de efluentes com pH entre 5 e 9, nota-se que os efluentes dos filtros apresentaram valores satisfatórios (BRASIL, 2011).

Figura 12: Gráficos BOX PLOT de distribuição dos valores de pH obtidos na monitoração do esgoto bruto e efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio, dos filtros aeróbios 1 e 2, Campina Grande, 2012.



5.3 NUTRIENTES - FORMAS NITROGENADA

A variação das concentrações de nutrientes é apresentada na Tabela 3 e nas Figuras 13 e 14.

No esgoto bruto, a concentração média de N-NH_4^+ foi de $62,10 \text{ mg.L}^{-1}$ a de nitrito foi de $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$, de nitrato $0,52 \text{ mg.L}^{-1}$ e o NTK a concentração foi de $124,62 \text{ mg.L}^{-1}$. No efluente do tratamento anaeróbico (tanque séptico/filtro anaeróbico) o N-NH_4^+ subiu para $68,47 \text{ mg.L}^{-1}$ indicando que houve redução das formas oxidadas. Efetivamente, o nitrito diminuiu para a concentração média de $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$ em consequência do processo anaeróbico que causou sua redução para N-NH_4^+ . Sob as condições anaeróbicas do tanque séptico/filtro anaeróbico os nitratos também decresceram em relação ao esgoto bruto, por serem reduzidos até N-NH_4^+ , atingindo a concentração efluente de $0,32 \text{ mg.L}^{-1}$. Consequentemente, o NTK também teve redução, sendo sua concentração final no efluente do sistema anaeróbico de $115,37 \text{ mg.L}^{-1}$. As eficiências de remoção no sistema tanque séptico/filtro anaeróbico foram de: 42,9% (N-NO_2), 38,5% (N-NO_3), 7,4% (NTK) (Tabela 3).

O efluente do tanque séptico/filtro anaeróbico alimentou os filtros aeróbios. Após o pós tratamento nos filtros aeróbios a concentração média de amônia (N-NH_4^+) foi de $34,01 \text{ mg.L}^{-1}$ em FA1 e de $36,77 \text{ mg/L}$ em FA2, ou seja houve um decréscimo devido a sua oxidação nos filtros aeróbios onde foi disponibilizado oxigênio molecular que foi utilizado pelas bactéria autotróficas nitrificantes que transformaram o amônia em nitrito e este em nitrato. Dentre essas bactérias que realizam a oxidação de amônia a nitrito se destacam os gêneros *Nitrosomonas* e de nitrito a nitrato, s gênero predominante é *Nitrobacter*.

No efluente do filtro aeróbico intermitentes FA1 a concentração de $N-NH_4$ foi de $34,01 \text{ mg.L}^{-1}$, de nitrito de $0,10 \text{ mg.L}^{-1}$, nitrato de $28,31 \text{ mg.L}^{-1}$, e NTK de $38,21 \text{ mg.L}^{-1}$ e no FA2 a média de média $N-NH_4$ de $36,77 \text{ mg.L}^{-1}$, de nitrito de $0,13 \text{ mg.L}^{-1}$, de nitrato de $19,41 \text{ mg.L}^{-1}$ e de NTK de $45,25 \text{ mg.L}^{-1}$ e apresentando diferenças significativas nas concentrações de nitratos entre os dois filtros ($F=9.4292$, $p=0.0005$). Não houve remoção de nitritos e nitratos, pelo contrario, houve acréscimo como era esperado. Houve eficiência de remoção de $N-NH_4$ ($45,2\%$ - FA1 e $40,8\%$ - FA2) e de NTK ($69,3\%$ - FA1 e $63,7\%$ - FA2) no sistema de pós- tratamento nos filtros intermitentes de areia FA1 e FA2 (Tabela 3). Pode-se concluir que a nitrificação ocorrida nos filtros aeróbios é adequada satisfaz as metas que as metas que se desejavam atingir para o reuso dos efluentes.

Tabela 3 Valores médios e eficiência de remoção de $N-NO_2$, $N-NO_3$, NTK, no esgoto bruto e nos efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbico e dos filtros de areia 1 e 2.

Parâmetro		EB	Efluente Tanque Séptico/Filtro Anaeróbico	Efluente FA 1	Efluente FA 2
N- NH_4 (mg/L)	Média (mg.L^{-1})	62,1	68,47	34,01	36,77
	Remoção		-10,3%	45,2%	40,8%
N- NO_2 (mg/L)	Média (mg.L^{-1})	0,07	0,04	0,1	0,13
	Remoção		42,9%	-42,9%	-85,7%
N- NO_3 (mg/L)	Média (mg.L^{-1})	0,52	0,32	28,31	19,41
	Remoção		38,5%	-5344,2%	-3632,7%
NTK (mg/L)	Média (mg.L^{-1})	124,62	115,37	38,21	45,25
	Remoção		7,4%	69,3%	63,7%

OBS: Os valores das % de remoção com sinal negativo (-) demonstram que não houve remoção, porém nitrificação, como era desejado.

Na Tabela 3 se observa diminuição das formas reduzidas do nitrogênio e aumento das formas oxidadas nos efluentes dos filtros aeróbios, devido à oxidação por causa da aeração e pela influência da taxa de aplicação entre os dois filtros. O fracionamento da carga hidráulica diária (vazão afluente menor em FA1 e maior em FA2) para alimentar os dois filtros

favoreceu os mecanismos de convecção e ou de difusão para o aporte de oxigênio ao meio filtrante, tendência observada neste experimento. A ausência de medições dos teores dos gases na atmosfera do leito filtrante não permite concluir qual dos dois mecanismos apontados como responsáveis pelo fornecimento de oxigênio foi mais relevante nos processos biológicos ocorridos em FA1 e em FA2 (convecção ou difusão).

Os TDH de 2 minutos e 45 segundos para FA1 e de 5 minutos e 30 segundos para FA2, não apresentaram diferenças nas transformações e remoções das formas de nitrogênio entre os dois tratamentos. A nitrificação se evidenciou nos valores finais elevados de nitratos e baixos de amônia. Os dois filtros aeróbios intermitentes de areia apresentaram boa capacidade de nitrificação, conforme a figura 12.

Os efluentes produzidos nos filtros FA1 e FA2 apresentaram concentrações média de nitrato de 28,31 e 19,41 mg.L⁻¹, respectivamente, bem maior do que no esgoto bruto; as remoção de N-NTK foram de 69 e 63,7% conforme a tabela 3. A diferença significativa ($p < 0,05$) na concentração menor de nitratos entre FA1 e FA2 indica a influência do elevado valor da taxa de aplicação superficial no FA2. A maior concentração de nitrito no efluente do FA2 (Figura 13) que deveria ter sido oxidado para nitrato confirma a insuficiência de oxigênio livre neste filtro devido à alta taxa de aplicação em relação ao filtro 1 (F1 = 100 L/dia; F2 = 200 L/dia).

Figura 13: BOX PLOT de distribuição dos valores de N-NO₂ do monitoramento de esgoto bruto e efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio, dos filtros aeróbios 1 e 2, Campina Grande, 2012.

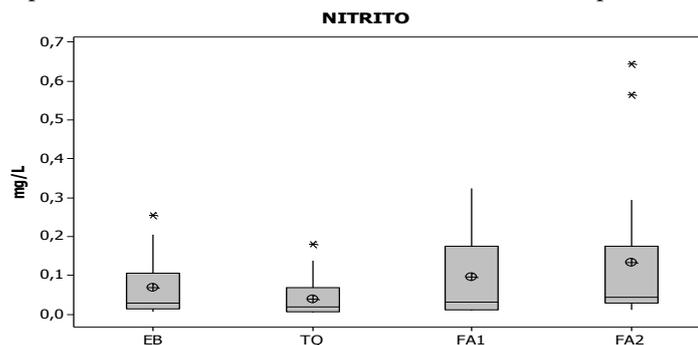
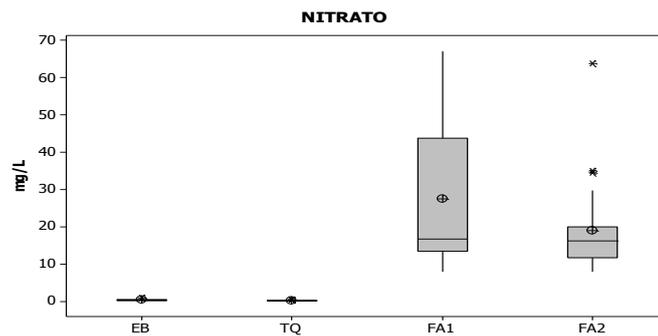


Figura 14: Gráficos BOX PLOT de distribuição dos valores de N-NO₃ obtidos na monitoração esgoto bruto e efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio, dos filtros aeróbios 1 e 2, Campina Grande, 2012.



5.4 COLIFORMES TERMOTOLERANTES

O número de coliformes termotolerantes por unidade de volume (ou seja, sua concentração) evidencia o nível de contaminação fecal dos esgotos com bactérias entéricas, entre as quais pode haver bactérias patogênicas, agentes etiológicos de doenças gastrointestinais, em geral causadoras de diarreias. Essas bactérias são de veiculação hídrica e o contágio pode ocorrer também pela via feco-oral direta, tais como *Salmonella*, *Vibrio cholerae*, *Shigella*, entre outras.

A concentração média de coliformes termotolerantes do esgoto bruto produzido nas unidades do CCT/UEPB esteve de acordo com os valores médios para o esgoto bruto na região, em torno de 6×10^7 UFC/ 100ml, como apresentado na tabela 4, a seguir. Destaca-se que se apresentam valores médios de apenas quatro dados para cada ponto de coleta devido a problemas técnicos que dificultaram a quantificação destas bactérias (alterações da temperatura de incubação por instabilidade na rede elétrica).

Tabela 4: Apresenta valores médios de coliformes termotolerantes e a eficiência de remoção no esgoto bruto e nos efluentes do tanque séptico/filtro anaeróbio e dos filtros de areia 1 e 2.

Coliformes termotolerantes	EB	Efluente Tanque Séptico/Filtro Anaeróbio	Efluente FA1	Efluente F 2
Média	6×10^7	8×10^5	$4,3 \times 10^4$	$4,1 \times 10^4$
	UFC/100 ml	UFC/100 ml	UFC/100 ml	UFC/100 ml
Remoção		98,6%	94,6%	94,8%

Observa-se uma boa remoção entre os reatores em série e ao longo do sistema: o tanque séptico seguido de filtro anaeróbio causou uma remoção de 98,6% de coliformes termotolerantes; entre o tanque séptico/filtro anaeróbio para o FA1 a eficiência foi de 94,6% de remoção e para FA2 foi de 94,8%.

A remoção total ao longo do sistema foi excelente: correspondeu a 99,92% dos coliformes presentes no esgoto bruto, entretanto a densidade bacteriana remanescente de $4,3 \times 10^4$ UFC/100 ml em FA1 e de $4,1 \times 10^4$ UFC/100 ml em FA2 impede o uso desse efluente em irrigação irrestrita, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, que estabelece o limite de 1000 UFC/100 ml. De acordo com as Guias da Organização Mundial da Saúde para reuso citadas por Hespagnol (2003) essas águas somente podem ser utilizadas para reuso restrito em irrigação de plantas não alimentícias em ambientes sem contato com o público e empregando-se irrigação localizada.

Portanto, os efluentes produzidos no sistema são úteis para irrigação restrita, tais como parques e jardins com grama ou plantas ornamentais e flores onde não haverá contato com o público.

O tipo de irrigação a ser praticado com esses efluentes: também deve ser controlado: devido ao elevado teor de bactérias indicadoras de contaminação fecal (4×10^4 UFC. 100 ml^{-1}) não se recomenda irrigação por aspersão ou por sulcos, sendo a mais indicada a irrigação localizada, no pé da planta.

6. CONCLUSÃO

- Os filtros aeróbios de areia mostraram-se eficientes na transformação dos nutrientes nitrogenados com boa capacidade de nitrificação, revelada nas concentrações de nitratos (28 e 19 mg.L⁻¹,) em FA1 e FA2 respectivamente.
- As diferentes taxas de aplicação nos filtros aeróbios intermitentes de areia influenciaram no processo de nitrificação, sendo menor quando se duplicou a carga afluente (FA2).
- O reuso restrito é recomendado visto que para reuso irrestrito são necessárias avaliações sistemáticas da carga fecal e esta deve ser menor que 1.000 coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*/100 ml, ou seja, é fundamental a quantificação de bactérias indicadoras de contaminação fecal – *E.coli* ou coliformes termotolerantes sistematicamente nos efluentes.
- Portanto se recomenda o reuso restrito visto que para reuso irrestrito são necessárias avaliações sistemáticas da carga fecal e esta deve ser menor que 1.000 coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*/100 ml.
- O efluente produzido pode ser utilizado para irrigação de alguns setores dos jardins da UEPB que não estão em contato com o público.

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Estudo de Concepção de Sistemas de Esgotos Sanitários** – Projeto, construção e operação - NBR 9648, 5 p. Brasil, 1986.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Projeto construção e operação de Sistemas tanque sépticos** – NBR 7229, 15p. Rio de Janeiro 1993.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – **Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, projeto, construção e operação** NBR 13969, 60p. Rio de Janeiro 1197.

ANDRADE NETO, C. O; VAN HAANDEL, A.; MELO, H. N. S. **O Uso do Filtro Anaeróbio para Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios no Brasil**. In: X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002, Braga, Portugal. **Anais do X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Braga: APESB/APRH/ABES, 2002.

AMERICAN PUBLIC HEATH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th Edition. APHA, 2005.

BRASIL, 2005 - CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução N° 357** de 2005, Brasília 2005.

BRASIL, 2011 - CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução N° 430** de 2011, Brasília 2011.

CALLADO, N. H. **Reatores Sequencias em batelada em sistemas anaeróbio e aeróbio tratando esgoto sanitário sintético e com remoção de nutrientes**. Tese doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001.

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Saúde Pública). FIOCRUZ/ENSP, Fundação Oswaldo Cruz, ENSP. 1999.

CHERNICHIARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, volume 4, 245p. 1997.

CHERNICHIARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 379 p 2007.

FORESTI, E; ZAIAT, M; VALLERO, M. **Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges.** *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 5, p. 3–19, 2006.

FLORENCIO, L; BASTOS, R.K.B.; AISSE, M.M. **Tratamento e utilização de esgotos Sanitários.** ABES, Rio de Janeiro, 2006.

FLORENCIO, L; ALMEIDA, P. G. S; MENDONÇA, N. M.; VOLSHAM, I.; ANDRADE NETO, C. O.; PIVELLI, R. P; CHERNICHARO, C. A. L. **Nitrificação em reatores com biomassa aderida.** In: MOTA, F. S. B; VOS SPERLING, M. *Nutrientes de esgotos sanitários: utilização e remoção.* PROSAB 5. p. 262-292, Rio de Janeiro, 2009.

FORESTI, E ; FLORÊNCIO, L ; HAANDEL, A. V; ZAIAT, M; CAVALCANTI, P. F. F. **Fundamentos do Tratamento Anaeróbio.** In: José Roberto Campos. (Org.). *Sistemas Anaeróbios para Tratamento de Esgoto Doméstico.* 1ed. v, p. 29-52. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento, Ministério da Saúde.** 3 ed. p. 409, BRASIL, 2007.

GONÇALVES, R. F. CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; ALÉM SOBRINHO, P.; KATO, M. T.; COSTA, R. H. R.; AISSE, M. M.; ZAIAT, M. **Pós-tratamento de efluentes reatores anaeróbios por reatores com biofilme.** PROSAB 5. Cap. 4, Rio de Janeiro, 2009.

HAANDEL, A. C. V.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment.** 1. ed. Chichester: John Wiley and Sons, v. 1. 226p. 1994.

HAANDEL, A. C. V.; KATO, M. T. ; SPERLING, M. V. **Remoção Biológica de Nitrogênio: Aplicações para o Sistema de Lodo Ativado.** In: Mota F.S.B; Von Sperling M. (Org.). *Nutrientes de esgoto sanitários: utilização e remoção.* 1ed. v. 1, p. 174-226. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

HARTMANN, C. M. et al. Definições, histórico e estimativas de geração de lodo séptico no Brasil. In: ANDREOLI, C. V. (coord.). **Lodo de fossa séptica, lodo de fossa e de tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: ABES, 2009.p. 24-40, Cap. 2.

HESPANHOL, I. Saúde Pública e reuso agrícola e biossólidos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (Eds.) **Reuso da água.** São Paulo: Ed. Malone, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia. Estática 2011. Disponível em: <http://www.ibge.com.br>. Acesso em 15 de julho de 2012.

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

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos - 5ª Ed.**– ABES, Rio de Janeiro. 2009. 360 p.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Microbiologia de Brock**. 10º ed. 624 p. Prentice - Hall. 2010.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (Eds.) **Reuso da água**. São Paulo: Ed. Malone, 2003

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 4th ed. New Delhi, McGraw-Hill Inc. p.1500, 2003.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. <http://www.onu.org.br/770-milhoes-de-pessoas-nao-tem-acesso-a-agua-ate-2015-tres-bilhoes-podem-sofrer-com-a-escassez-de-recursos-hidricos/> Acesso 23/08/2013.

PHILIPPI, A.JR. Reuso de água: uma tendencia que firma. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (Eds.) **Reuso da água**. São Paulo: Ed. Malone, 2003.

RODRIGUES, J. A. D. ; RATUSZNEI, S.M ; FORESTI, E. ; ZAIAT, M. **New Configurations and Operation Strategies of Anaerobic Biofilm Bioreactors Applied to Wastewater Treatment**. In: Edwin C. Herns. (Org.). Focus on Biotechnology Research. 1ed. v, p. 1-58. New York: NOVA Science Publishers Inc., 2006.

SCLIAR, M. **História do Conceito de Saúde**. Physis – Revista de Saúde Coletiva. vol 17, p 29-41. Rio de Janeiro, jan/abr, 2007.

SNIS – **Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento – Diagnóstico dos Serviços de Água e esgotos – 2010**. Ministério das Cidades/ SNSA/PMSS, 2013.

SNOW, J. **Sobre a maneira de transmissão da cólera**. 2^o Edição, Hucitec 1999. 249 páginas

SOUSA, J.T **Pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de fluxo ascendente em um reator aeróbio seqüencial em batelada e coluna de lodo anaeróbio para desnitrificação**. São Carlos: USP, 1996, 256p. Tese Doutorado.

TONNETI, A.; CORAUCCI, B. F.; STEFANUTTI, R.; FIGUEIREDO, R. F. de; SÃO PEDRO, C. C. O. **Remoção de matéria orgânica, coliformes totais e nitrificação no tratamento de esgotos domésticos por filtro de areia.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 10 n. 3, p. 209-218, jul./ set. 2005.

VOLSCHAN, I.; PIVELI, R.; HAANDEL, A. C. V. ; MONTEGGIA, L. . **Remoção de Nutrientes por Processos Físico-Químicos.** In: Mota F.S.B, Von Sperling M. (Org.). Lodo Ativado Nutrientes de esgoto sanitarios: utilização e remoção. v. 1, p. 340-377. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG – Belo Horizonte, Vol 1,3 ed. p. 452, 2005.

VON SPERLING, M.; ANDRADE NETO, C.O.; VOLSCHAN, I, Jr.; FLORENCIO, L. **Impacto dos nutrientes do esgoto lançado em corpo de água.** In: MOTA F.S.M.; VON SPERLING, M. Nutrientes de esgotos domésticos: utilização e remoção. PROSAB. RIO DE JANEIRO, ABES, 2009. 26-51.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) Health statistics and health information systems/ The global burden of disease: 2004 update <http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/2004_report_update/en/> Acesso em 12/01/2012

ANEXOS

Na tabela são apresentados valores médios, mínimos, máximos, desvio padrão, mediana e moda e coeficiente de variação de Pearson de nitrito, nitrato e nitrogênio Kjeldahl, pH e temperatura do efluente tanque séptico/filtro anaeróbico, do filtro de areia 1 (FA1) e filtro de areia 2 (FA2).

ESGOTO BRUTO	pH	TEMP. (°C)	N-NH₄ (mg/L)	N-NO₂ (mg/L)	N-NO₃ (mg/L)	NTK (mg/L)
MÉDIA	8,2	28,7	62,10	0,07	0,52	124,62
MINIMO	7,2	20,3	22,40	0,01	0,16	22,40
MÁXIMO	9,1	39,1	103,60	0,26	1,01	411,60
DP	0,4	5,1	26,40	0,07	0,18	92,53
MEDIANA	8,4	28,8	56,00	0,03	0,50	93,80
MODA	8,4	30,1	56,00	0,01	0,46	28,00
CV	5,0	17,7	42,5	106,3	35,7	74,3
TANQUE SÉPTICO/FILTRO ANAERÓBIO	pH	TEMP. (°C)	N-NH₄ (mg/L)	NNO₂ (mg/L)	N-NO₃ (mg/L)	NTK (mg/L)
MÉDIA	7,8	28,8	68,47	0,04	0,32	115,37
MINIMO	6,7	16,1	22,90	0,01	0,09	19,60
MÁXIMO	9,1	38,3	126,00	0,18	0,65	302,40
DP	0,7	5,0	31,51	0,04	0,13	76,09
MEDIANA	8,0	29,0	71,40	0,02	0,29	109,75
MODA	7,3	28,8	56,00	0,01	0,30	28,00
CV	8,5	17,3	46,0	118,4	40,7	65,9
FILTRO AERÓBIO 1	pH	TEMP. (°C)	N-NH₄ (mg/L)	NNO₂ (mg/L)	N-NO₃ (mg/L)	NTK (mg/L)
MÉDIA	5,8	29,1	34,01	0,10	28,31	38,21
MINIMO	4,6	22,5	8,40	0,01	8,20	8,90
MÁXIMO	6,9	34,7	53,20	0,32	67,00	120,40
DP	0,6	6,8	12,23	0,10	17,86	23,09
MEDIANA	5,8	29,2	35,00	0,05	19,35	35,80
MODA	5,8	30,1	36,40	0,32	-	36,40
CV	10,7	23,3	36,0	103,9	63,1	60,4
FILTRO AERÓBIO 2	pH	TEMP. (°C)	N-NH₄ (mg/L)	N-NO₂ (mg/L)	N-NO₃ (mg/L)	NTK (mg/L)
MÉDIA	6,0	29,6	36,77	0,13	19,41	45,25
MINIMO	4,5	21,5	14,00	0,01	8,20	11,20
MÁXIMO	6,9	35,4	70,00	0,64	63,72	109,20
DP	0,5	3,5	14,18	0,16	11,69	22,78
MEDIANA	6,0	29,5	23,60	0,05	16,58	37,30
MODA	5,8	28,1	33,60	0,03	11,94	33,60
CV	8,8	11,7	33,60	125,9	60,2	50,4

