



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA E FÍSICO-QUÍMICA
CURSO DE BACHARELADO EM QUÍMICA**

DAVI EMANUEL MARCELINO ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS OXIGÊNIO DISSOLVIDO E pH EM ESGOTOS
DOMÉSTICOS TRATADOS PROVENIENTES DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.**

**FORTALEZA
2016**

DAVI EMANUEL MARCELINO ARAÚJO

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS OXIGÊNIO DISSOLVIDO E pH EM ESGOTOS
DOMÉSTICOS TRATADOS PROVENIENTES DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Química Bacharelado, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Química Industrial.

Orientador didático-pedagógico: Prof.^a Dra. Maria de Fátima Lopes Fernandes

Orientador Profissional: Jackson de Queiroz Malveira

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- A687a Araújo, Davi Emanuel Marcelino.
Avaliação dos parâmetros oxigênio dissolvido e pH em esgotos domésticos
tratados provenientes de lagoas de estabilização. / Davi Emanuel Marcelino Araujo. –
2016.
54 f. : il. color.
- Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento
de Química Analítica e Físico Química, Curso de Bacharelado em Química, Fortaleza, 2016.
Orientação: Profa. Dra. Maria de Fátima Lopes Fernandes
Orientação técnica: Jackson de Queiroz Malveira
1. Água – Análise. 2. Esgotos. 3. Ecossistemas. I. Título.

CDD 540

DAVI EMANUEL MARCELINO ARAÚJO

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS OXIGÊNIO DISSOLVIDO E pH EM
ESGOTOS DOMÉSTICOS TRATADOS PROVENIENTES DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO

Monografia apresentada ao Curso
de Química Bacharelado, da
Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para a
obtenção do Título de Bacharel em
Química Industrial.

Aprovada em: 20/01/2016.

BANCA EXAMINADORA

(Orientadora didática)

Prof.^a Dra. Maria de Fátima Lopes Fernandes
Universidade Federal do Ceará - UFC

(Orientador profissional)

Tecnólogo Jackson de Queiroz Malveira
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC

(Examinador)

Dra. Érika de Almeida Sampaio Braga
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – NUTEC

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre comigo na caminhada, pela graça de persistir, permanecer e seguir com ele, pois sem ele nada seria possível. Por nos ter reservado a felicidade. A ele tudo o que tenho e sou.

Aos meus pais, Maria de Fatima Marcelino e Raimundo Coutinho Araújo pela dedicação, amor, doação e pelo exemplo que tanto me formou.

Aos meus irmãos que estiveram comigo me apoiando durante essa caminhada.

A Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC), especialmente a Dra. Erika de Almeida Sampaio Braga pela ajuda inestimável, Eirilândia (Laninha), Sr. Messias, aos estagiários pertencentes à escola de formação profissional a todos pela grande contribuição sem a qual não seria possível a elaboração dessa pesquisa.

A todos meus amigos, em especial Aurélio de Oliveira Monteiro, Ana Maria Amaral, John Herclésio, Paulo Cunha, Josué Jonathan, Cavalcante Filho, Kheslley Bonfim, Marcel Carvalho, Elton Dantas por estarem comigo em toda minha graduação.

Em especial a minha querida tia Fatima, que esteve sempre comigo acreditando em mim e sempre estará comigo em meu coração.

Por fim, a todos os professores que passaram por minha vida em especial aos da graduação. E a todos que contribuíram não apenas com este trabalho, mas com minha formação e que permanecem generosamente em minha vida e memória.

RESUMO

Qualquer atividade que envolva o uso da água tanto nas indústrias como no uso doméstico, gera efluentes que são lançados em corpos d'água. Quando são lançados sem tratamento, podem ocasionar sérios danos ao meio ambiente causando um grande impacto nos ecossistemas aquáticos. Podemos citar como exemplo os efluentes provenientes dos esgotos domésticos, que participam fortemente na poluição dos mananciais aquáticos existentes, consumindo oxigênio em seu processo de decomposição, causando danos ao ecossistema aquático. Dependendo da concentração de alguns parâmetros indicadores do nível de poluição dos corpos d'água, pode ser feita uma avaliação da qualidade da água para o consumo humano e outros usos. Dentre esses parâmetros, foram selecionados o oxigênio dissolvido (OD) e o potencial hidrogeniônico (pH), pois são parâmetros importantes para verificar o quanto os corpos receptores podem estar impactados e impróprio para os múltiplos usos dessas águas. No estado do Ceará, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), é o órgão fiscalizador e os efluentes gerados por indústrias e domésticos devem estar dentro dos padrões estabelecidos pela Portaria nº 154 de 22 de julho de 2002. Nesse estudo, foram avaliados o teor de OD ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$) e o valor do pH em amostras de esgotos tratados provenientes de lagoas de estabilização localizadas em municípios do estado do Ceará. De acordo com os resultados obtidos, foi verificado que em relação ao teor de OD, as amostras dos municípios avaliados, encontraram-se de acordo com o valor estabelecido pela citada portaria, enquanto, somente em um município, o valor de pH encontrou-se dentro da faixa estabelecida pela mesma portaria. Os procedimentos para análise dos parâmetros citados foram os descritos em Standard Methods for Examination the Water and Wasterwater (APHA, 2012) e realizados no laboratório de química ambiental da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

Palavras chave: potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido, ecossistemas aquáticos, efluentes.

ABSTRACT

Any activity involving the use of water in industries as in household consumption generates effluents, released into water bodies. When released untreated, they can cause serious damage to the environment, causing a major impact on aquatic ecosystems. One example are the effluents from wastewater, heavily contributing to the pollution of existing water springs, consuming oxygen in the process of decomposition, causing damage to the aquatic ecosystem. Depending on the concentration of some parameters indicating the pollution level of water bodies, an assessment of the water quality for human consumption and other uses can be performed. Among these parameters, the dissolved oxygen (DO) and potential of hydrogen (pH) were adopted as they are important standards to verify the extension of impacts of the receiving bodies of water, as well as how improper they are for multiple uses. In the state of Ceara, the State Superintendent of Environment (SEMACE) is the supervisory institution and the effluents generated by industries and household consumption must be within the standards established by Ordinance no. 154 of July 22, 2002. In this study, the DO concentration ($\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$) and the pH level were assessed within treated wastewater samples, from stabilization ponds in cities at the state of Ceara. According to the obtained results, it was found that, regarding the DO concentration, the samples of all cities met the established value by the Ordinance previously mentioned, while only in one city the pH level was within the established range by the same Ordinance. The procedures for analysis of the parameters mentioned above were the described ones in the Standard Methods for the Examination Water and Wastewater (APHA, 2012) and executed in the environmental chemistry laboratory of the Industrial Technology Center (NUTEC), a Foundation in Ceara.

Keywords: potential of hydrogen, dissolved oxygen, aquatic ecosystems, effluents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases da digestão anaeróbia	21
Figura 2 - Lagoa anaeróbia.....	24
Figura 3 - Lagoa facultativa	24
Figura 4 - Lagoa de maturação	25
Figura 5 - Frasco de coleta contendo a amostra.....	31
Figura 6 - Titulação da amostra	32
Figura 7 - Ponto final da titulação	32
Figura 8 - pHmetro marca LOGEN	35
Figura 9 - Resultados obtidos para OD	39
Figura 10 - Resultados obtidos para pH	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados médios obtidos para oxigênio dissolvido ($\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$).....	33
Tabela 2 - Resultados médios para pH	34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo geral.....	14
2.2 Objetivos específicos.....	14
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 Efluentes.....	15
3.1.1 Esgotos sanitários ou domésticos.....	15
3.1.2 Composição do esgoto doméstico.....	16
3.2 Saneamento.....	16
3.3 A importância do Tratamento do Esgoto.....	17
3.4 Tipos de tratamento de águas residuais.....	18
3.4.1 Processos físico-químicos.....	19
3.4.2 Processos biológicos.....	20
3.4.2.1 Lagoas de estabilização (LE).....	21
3.4.2.1.1 Lagoas Anaeróbias (LA).....	21
3.4.2.1.2 Lagoas Facultativas (LF).....	23
3.4.2.1.3 Lagoas de maturação ou aeróbias (LM).....	24
3.5 Parâmetros de controle de qualidade.....	26
3.5.1 Oxigênio dissolvido.....	27
3.5.2 pH (potencial hidrogeniônico).....	28
3.6 Legislação Ambiental do Estado do Ceará.....	29
3.7 Tratamento estatístico dos resultados.....	30
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1 Oxigênio dissolvido (4500-O C AZIDE MODIFICATION APHA, 2012).....	31
4.1.1 Coleta.....	31
4.1.2 Reações no frasco de coleta.....	31
4.1.3 Procedimento da análise.....	32
4.1.4 Reações químicas que ocorrem durante a coleta e a titulação.....	33
4.1.4.1 Eliminação de interferências causadas pelo íon nitrito (NO ₂ ⁻).....	34
4.1.4.2 Fixação do oxigênio pelo manganês.....	34
4.1.4.3 Adição de ácido sulfúrico.....	34
4.1.4.4 Liberação de iodo.....	35
4.1.4.5 Titulação de iodo com tiosulfato de sódio.....	35
4.1.5 Cálculo.....	35
4.2 Análise de pH (4500-H ⁺ B Eletrometric Method APHA, 2012).....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1 Tratamento estatístico dos resultados.....	39
6 CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Muito embora a coleta de esgotos seja uma prática realizada há bastante tempo, documentada desde os tempos de Roma Antiga, o tratamento de esgotos é relativamente novo (SANTOS, 2007).

A Norma Brasileira NBR 7.229 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 1993, define água residuária ou esgoto como “líquido que contém resíduo da atividade humana”, seja ela doméstica ou industrial. As águas residuárias de infiltração constituem o esgoto de uma cidade, que deve ser conduzido a um sistema de tratamento adequado antes de seu lançamento em corpo receptor. A característica do esgoto é uma função direta do uso que se dá a água (SANTOS, 2007).

Como consequência do lançamento de esgotos domésticos em corpos d’água sem um tratamento prévio para o enquadramento dos parâmetros que indicam a qualidade desses esgotos para lançamento em concentrações que não causem danos ao meio ambiente, os corpos d’água estão cada vez mais poluídos e tanto a comunidade aquática que habitam essas águas, como a sociedade, estão sendo prejudicadas, devido à qualidade dessas águas não está apropriada para o consumo humano ou outros usos múltiplos.

O tratamento de esgotos domésticos pode ser realizado por meios físicos, químicos e biológicos. No processo de tratamento biológico, a remoção de contaminantes ocorre por meio de atividade biológica.

Os sistemas de tratamento biológico podem ser classificados como aeróbios, anaeróbios e anóxidos. As lagoas de estabilização surgem como uma opção para o tratamento biológico do esgoto doméstico. As principais vantagens sistema de baixo custo de implantação e manutenção, boa eficiência de remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e patógenos e fácil de operar.

Sistemas de lagoas de estabilização têm sido amplamente utilizados na prática de tratamento de esgoto sanitário em todo Brasil, tendo-se observado resultados satisfatórios em termos da qualidade do efluente, sempre quando o projeto é tecnicamente adequado e existe um mínimo de operação e manutenção. (GODOY, 2007).

De acordo com a legislação federal, a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os esgotos domésticos devem obedecer os padrões de qualidade: Padrões de qualidade no corpo receptor e padrões de lançamento.

No estado do Ceará, a legislação estadual Portaria nº 154 de 22 de julho de 2002 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliação dos parâmetros oxigênio dissolvido (OD) e pH em esgotos domésticos tratados provenientes de lagoas de estabilização.

2.2 Objetivos específicos

a) Realizar análises químicas para determinação de oxigênio dissolvido (OD) e pH em amostras de esgotos domésticos tratados;

b) Comparar os resultados obtidos com os padrões estabelecidos pela legislação estadual vigente, a Portaria nº 154 de 22 de julho de 2002 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE), que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras das lagoas de estabilização dos municípios de Aracati, Bela Cruz, Caucaia, Juazeiro do Norte, Itaitinga e Pacoti.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Efluentes

Efluente é tudo aquilo que eflui, sai ou é expelido de algum lugar. Este pode ser classificado como: industrial, gasoso e líquido. Em se tratando dos efluentes líquidos, estes são substâncias líquidas, predominantemente água, que eflui a partir de canais, ductos, reservatórios, estações de tratamento ou sistemas de disposição final (SEMIONATO *et al.*, 2005).

3.1.1 Esgotos sanitários ou domésticos

O esgoto pode ser de origem doméstica ou industrial, sendo a composição do último extremamente variada ao longo do ano, meses, dias e horas. O esgoto doméstico é composto basicamente de água (99,9%), assim todas as propriedades físicas desta, como densidade, solubilidade, calor específico, são preservadas (SANTOS, 2007).

Os esgotos sanitários têm em sua composição cerca de 0,1% de material sólido, compondo-se esta essencialmente de água. Essa parcela, numericamente tão pequena, é, no entanto, causadora dos mais desagradáveis transtornos, pois a mesma possui em seu meio, microrganismos, na maioria unicelulares, consumidores de matéria orgânica e de oxigênio e, muito provavelmente, a ocorrência de patogênicos à vida animal em geral. (ANTÃO, 2004).

O esgoto doméstico chega à rede coletora com oxigênio dissolvido, resultante da parte da água que lhe deu origem e parte inserido através de turbulência normalmente ocorrida na sua formação, sólidos em suspensão bem caracterizados e apresentando odores próprios do material que foi misturado a água na origem. Com a movimentação turbulenta através dos condutos de transporte, a parte sólida sofre desintegração formando uma “vazão líquida” de coloração cinza-escura, com liberação de pequenas quantidades de gases mal cheirosos, oriundos da atividade metabólica dos microrganismos presentes em seu meio. Nestas condições o esgoto passa a ser denominado de esgoto velho. (PIVELI, 2005)

O aumento da lâmina líquida nos condutos originado do acréscimo das vazões para jusante e da redução das declividades, dificulta a entrada do oxigênio atmosférico, enquanto que o oxigênio livre no meio aquoso é consumido pelos microrganismos aeróbios. Se a capacidade de reaeração da massa líquida não for suficiente para abastecimento das necessidades das bactérias, a quantidade de oxigênio livre tende a zero, provocando o desaparecimento de toda a vida aquática aeróbia (PIVELI, 2005).

3.1.2 Composição do esgoto doméstico

Em média, a composição do esgoto doméstico é de 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos. Sendo que cerca de 75% desses sólidos, são constituídos de matéria orgânica em processo de decomposição. Nesses sólidos proliferam micro-organismos. (NUVOLARI, 2003).

Quando o esgoto sanitário é lançado in natura nos corpos d'água, dependendo da relação entre as vazões do esgoto lançado e do corpo receptor, pode-se esperar sérios prejuízos à qualidade dessa água. (NUVOLARI, 2003).

3.2 Saneamento

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é definido como: " Controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre o seu bem estar físico, mental e social" (WHO, 1989).

As ações do homem que mais podem influenciar a qualidade de água são: lançamento de cargas nos sistemas hídricos; alteração do uso do solo rural e urbano; modificações no sistema fluvial (TUCCI *et al.*, 2001).

O uso eficiente da água, abrangendo a componente de reuso, conduz ao alcance de outros objetivos intangíveis, tais como, a melhoria da imagem da indústria através da otimização dos recursos com a redução dos impactos ambientais negativos contribuindo, assim, para a sustentabilidade de uma atividade (LOBO, 2004).

No Brasil, mais de 90% dos esgotos domésticos e cerca de 70% dos efluentes industriais são lançados diretamente nos corpos de água, sem qualquer tipo de tratamento (BRASIL, 2006).

A Portaria nº 154/02 SEMACE, cita que a saúde e o bem estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático não devem ser afetados em consequência da deterioração da qualidade das águas e, no Art. 5º estabelece que não será permitido o despejo de efluentes de qualquer fonte poluidora diretamente em estruturas hídricas idênticas (lagos, lagoas ou reservatórios).

O efluente gerado em uma comunidade pode ser originado de três fontes distintas: a primeira seria a contribuição doméstica, ou seja, o esgoto gerado nas residências, devido às atividades normais tais como cozinhar, lavar, usar banheiro, etc.; a segunda é a parcela decorrente de infiltração e a terceira é proveniente de despejos industriais (ORSSATTO, 2010).

3.3 A importância do Tratamento do Esgoto

O lançamento de efluentes in natura nos recursos hídricos resulta além de vários problemas socioambientais, em impactos significativos sobre a vida aquática e o meio ambiente como um todo. Por exemplo, a matéria orgânica presente nos dejetos ao entrar em um sistema aquático, leva a uma grande proliferação de bactérias aeróbicas provocando o consumo de oxigênio dissolvido que pode reduzir a valores muito baixos, ou mesmo extinguir, gerando impactos a vida aquática aeróbica. (PIMENTA *et al*, 2002).

Têm-se como outros exemplos de impactos a eutrofização, a disseminação de doenças de veiculação hídrica, agravamento do problema de escassez de água de boa qualidade, desequilíbrio ecológico, entre outros. (PIMENTA *et al*, 2002).

A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas (se movem livremente com a água) quanto aderidas (enraizadas), em níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (THOMANN, 1987).

O investimento no tratamento de efluentes, pode significar um grande salto para o desenvolvimento em termos da dotação da infraestrutura requerida para

proteger o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida da população, assim como propiciar novas oportunidades de negócios. Assim, a coleta, o tratamento e a disposição ambientalmente adequada de efluentes são fundamentais para a melhoria do quadro de saúde da população e pré-requisito para busca da sustentabilidade. (PIMENTA *et al*, 2002).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), cada unidade monetária investida em obras de saneamento, faz com que se economize em até cinco unidades monetárias com tratamento de doenças que tenham origem na falta desse serviço. As principais doenças causadas pela falta de saneamento são:

- a) Diarreia infecciosa:** pode ser provocada por micróbios, que são adquiridos por meio da ingestão de comida ou água contaminada. Os grupos mais afetados pelas diarreias são as crianças e os idosos que, se não tratados a tempo, podem vir a falecer em virtude da desidratação; (CESAN 2013)
- b) Cólera:** originária da Ásia é uma doença infecciosa que ataca principalmente o intestino dos seres humanos. A bactéria que a provoca recebe o nome de *Vibrio cholerae* e é transmitida principalmente pela água. Seus sintomas são: diarreia abundante, câibras, cólicas abdominais, náuseas e vômitos, (CESAN 2013)
- c) Leptospirose:** doença bacteriana transmitida pela água e por alimentos contaminados pela urina de animais, principalmente o rato. Seus sintomas incluem febre alta, calafrio, dor muscular, vômito e dor de cabeça forte; (CESAN 2013)
- d) Hepatite:** inflamação no fígado causada por vários tipos de vírus. Seus sintomas são parecidos com os da gripe, além da icterícia; (CESAN 2013)
- e) Esquistossomose:** também conhecida como doença do caramujo, é provocada pelo verme esquistossomo. Sintomas: diarreia, dores e problemas em vários órgãos internos do corpo humano. (CESAN 2013)

3.4 Tipos de tratamento de águas residuais

Os processos de tratamento de águas residuais são divididos em dois grandes grupos, os biológicos e os físico-químicos. A utilização de um ou de outro, ou mesmo a combinação entre ambos depende das características do efluente a ser

tratado, da área disponível para montagem do sistema de tratamento e do nível de depuração que se deseja atingir. (GUIMARÃES, 2001).

A maioria dos processos de tratamento de efluentes aquosos, principalmente os biológicos, é baseada em processos de ocorrência natural. O objetivo principal de qualquer uma das muitas opções de sistemas de tratamento é o de simular os fenômenos naturais em condições controladas e otimizadas, de modo que resulte em um aumento da velocidade e da eficiência de estabilização da matéria orgânica, bem como de outras substâncias presentes no meio. (GUIMARÃES, 2001).

3.4.1 Processos físico-químicos

Em relação aos processos físico-químicos, os mais utilizados são a coagulação, a floculação, a decantação, a flotação, a separação por membranas, a adsorção e a oxidação química. (GUIMARÃES, 2001).

A coagulação é um processo onde partículas que originariamente se apresentam separadas são aglutinadas pela utilização de coagulantes, principalmente sais de ferro e alumínio, além de polieletrólitos. Esse processo resulta de dois fenômenos: o primeiro é químico e consiste de reações de hidrólise do agente coagulante, produzindo partículas de carga positiva; o segundo é puramente físico e consiste de choques das partículas com as impurezas, que apresentam carga negativa, ocorrendo uma neutralização das cargas e a formação de partículas de maior volume e densidade. A coagulação ocorre em um curto espaço de tempo, podendo variar de décimos de segundo a um período da ordem de 100 s. A floculação é um processo físico que ocorre logo em seguida à coagulação e se baseia na ocorrência de choques entre as partículas formadas anteriormente, de modo a produzir outras de muito maior volume e densidade, agora chamadas de flocos. (GUIMARÃES, 2001).

A adsorção consiste de um fenômeno de superfície e está relacionado com a área disponível do adsorvente, a relação entre massa do adsorvido e massa do adsorvente, pH, temperatura, força iônica e natureza química do adsorvente e do adsorvido. (GUIMARÃES, 2001).

A oxidação química é o processo pelo qual elétrons são removidos de uma substância ou elemento, aumentando o seu estado de oxidação. Em termos químicos, um oxidante é uma espécie que recebe elétrons de um agente redutor em uma reação química. Os agentes de oxidação mais comumente utilizados em tratamento de águas residuais são cloro (Cl_2), hipoclorito (OCl^-), dióxido de cloro (ClO_2), ozônio (O_3), permanganato (MnO_4^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e ferrato (FeO_4^{2-}). Na desinfecção de águas de abastecimento, que também é uma reação de oxido redução, os agentes comumente utilizados são Cl_2 , OCl^- , HOCl , ClO_2 e O_3 . (GUIMARÃES, 2001).

Os processos de separação por membranas, tais como osmose reversa, ultrafiltração, hiperfiltração, e eletrodialise, usam membranas seletivas para separar o contaminante da fase líquida. Essa separação é efetuada por pressão hidrostática ou potencial elétrico. Nesse processo o contaminante dissolvido (ou solvente) passa através de uma membrana seletiva ao tamanho molecular sob pressão. Ao final do processo obtém-se um solvente relativamente puro, geralmente água, e uma solução rica em impurezas. (GUIMARÃES, 2001).

3.4.2 Processos biológicos

Os processos biológicos são subdivididos em dois grandes grupos, os aeróbios e os anaeróbios. Normalmente, os efluentes compostos de substâncias biodegradáveis (esgotos domésticos e de indústrias de alimentos) são preferidos nessas duas classes de processos. Nos processos aeróbios de tratamento de efluentes são empregados micro-organismos que para bio-oxidar a matéria orgânica utilizam o oxigênio molecular, O_2 , como receptor de elétrons. Normalmente há um consórcio de micro-organismos atuando conjuntamente nos processos de estabilização da matéria orgânica. (GUIMARÃES, 2001).

Nos processos anaeróbios de tratamento de efluentes são empregados micro-organismos que degradam a matéria orgânica presente no efluente, na ausência de oxigênio molecular. Nesse tipo de processo, a grande maioria de micro-organismos que compõem a microfauna também é de bactérias, basicamente as acidogênicas e as metanogênicas. Como sistemas convencionais anaeróbios, os

mais utilizados são os digestores de lodo, tanques sépticos e lagoas anaeróbias. (GUIMARÃES, 2001).

O tanque séptico é um exemplo de tratamento em nível primário, no qual os sólidos mais densos são removidos do seio da solução por sedimentação, ou seja, ficam no fundo do reator, onde acontece uma série de reações bioquímicas. Esse material é retido por até alguns meses para que aconteça a sua estabilização, evidentemente em condição anaeróbia. Os filtros anaeróbios são reatores preenchidos com um material inerte, por exemplo: brita, anéis de plástico e o bambu, que servem de suporte para fixação da biomassa. O efluente sofre degradação biológica ao ser conduzido por um fluxo ascendente, e não por pura filtração, como sugere o nome do sistema. (GUIMARÃES, 2001).

3.4.2.1 Lagoas de estabilização (LE)

Lagoas de estabilização são sistemas de tratamento de águas residuárias amplamente utilizados em todo mundo, proporcionando diversos benefícios ao meio ambiente e à saúde pública. No tratamento de esgotos domésticos, esse tipo de sistema é utilizado com sucesso e com grandes vantagens, dada a associação entre simplicidade operacional e elevadas eficiências de remoção de poluentes que se observa no tratamento. Os principais mecanismos de remoção de poluentes em uma lagoa de estabilização são de natureza biológica, onde os próprios microrganismos presentes naturalmente no esgoto degradam a matéria orgânica e atuam no tratamento do efluente. (PASSOS, 2012).

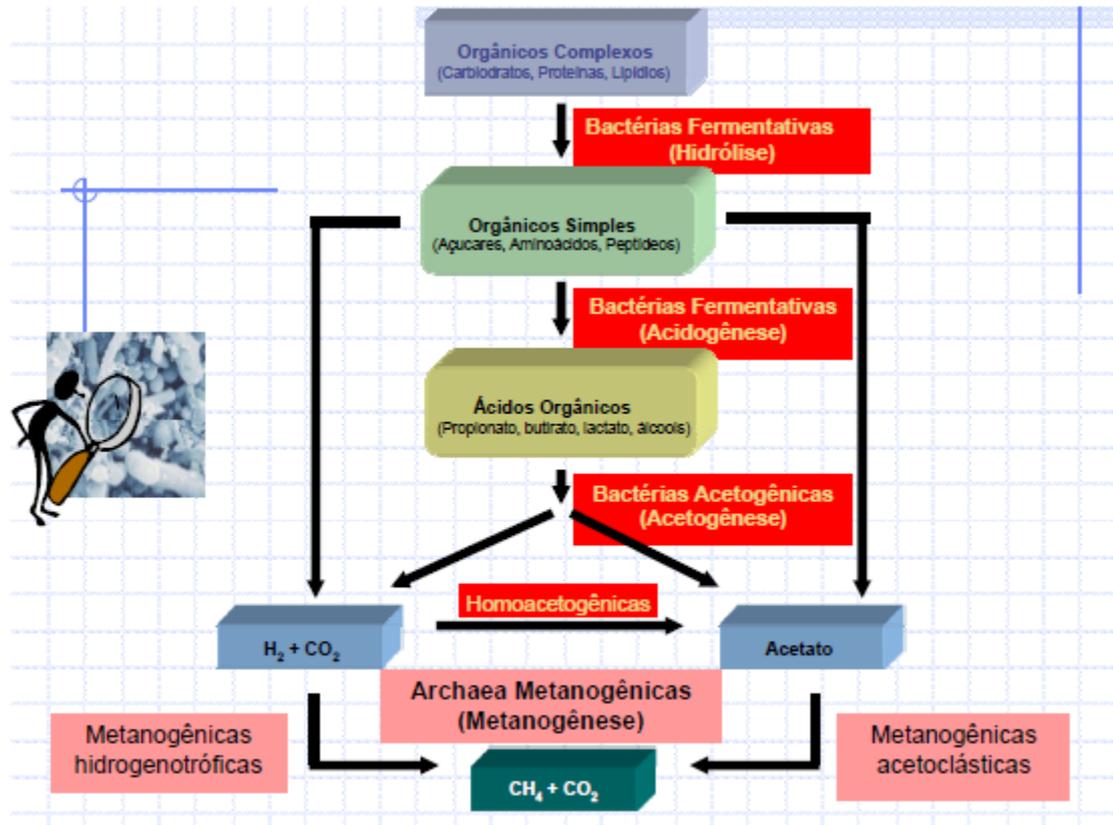
Sistemas de lagoas de estabilização têm sido amplamente utilizados na prática de tratamento de esgoto sanitário em todo Brasil, tendo-se observado resultados satisfatórios em termos da qualidade do efluente, sempre quando o projeto é tecnicamente adequado e existe um mínimo de operação e manutenção. (GODOY, 2007).

3.4.2.1.1 Lagoas Anaeróbias (LA)

Recebe o esgoto bruto proveniente do tratamento preliminar, suportando elevadas cargas de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sendo construída em

grandes profundidades (superiores a 3 metros). A digestão anaeróbia é o mecanismo de remoção predominante do material orgânico, através das suas diversas fases de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese/sulfetogênese (figura 1).

Figura 1 - Fases da digestão anaeróbia



Fonte: ABES, 2012

Devido aos baixos tempos de detenção hidráulica (TDH), não há praticamente a ocorrência de fotossíntese. As lagoas anaeróbias são normalmente seguidas de lagoas facultativas (SANTOS, 2007).

Segundo Merkel (1981), o tratamento anaeróbio é um processo sequencial que envolve três estágios:

- Na primeira fase, hidrólise de materiais complexos, o material orgânico complexo é transformado em matéria orgânica simples solúvel via hidrólise e enzimática.
- Na segunda etapa, produção de ácidos, que são formados pelas bactérias anaeróbias e facultativas, convertendo os compostos orgânicos solúveis em ácidos orgânicos pelas bactérias anaeróbias conhecidas como produtoras de ácidos e,
- No terceiro período, fermentação metanogênica, os ácidos orgânicos simples são convertidos em metano e dióxido de carbono através de bactérias anaeróbias produtoras do metano e sulfetogênese, onde sulfatos e outros compostos a base de enxofre são usados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos, produção de sulfetos por bactérias anaeróbias estritas denominadas de bactérias redutoras de sulfato ou sulforedutoras.

São usadas com grandes vantagens como tratamento primário de águas residuárias, industriais e/ou de dejetos suínos com grande concentração de compostos orgânicos e altos teores de sólidos (WALDIR, 1997).

3.4.2.1.2 Lagoas Facultativas (LF)

Representa a segunda lagoa da série (ou primeira lagoa, quando não se inclui a lagoa anaeróbia). Devido a sua menor profundidade (1,5 a 2,5 metros), há um ambiente aeróbio na camada superior, decorrente da produção fotossintetizante das algas, e anaeróbio na camada inferior. Na LF ocorrem os dois processos de

remoção do material orgânico: oxidação nas camadas mais próximas da superfície e digestão anaeróbia no fundo da lagoa (SANTOS, 2007).

As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. Basicamente, o processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que processos naturais de estabilização de matéria orgânica se desenvolvam. As principais vantagens e desvantagens das lagoas facultativas estão associadas, portanto, à predominância dos fenômenos naturais (VON SPERLING, 2002).

As lagoas facultativas geralmente apresentam boa eficiência de tratamento. A matéria orgânica dissolvida no efluente é bastante estável e a DBO geralmente encontra-se entre 30 e 50 mgO₂L⁻¹ (havendo separação de algas, a concentração pode ser reduzida para 20 a 30 mgL⁻¹). Em termos de eficiência de remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a faixa típica situa-se entre 75 e 85% (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

3.4.2.1.3 Lagoas de maturação ou aeróbias (LM)

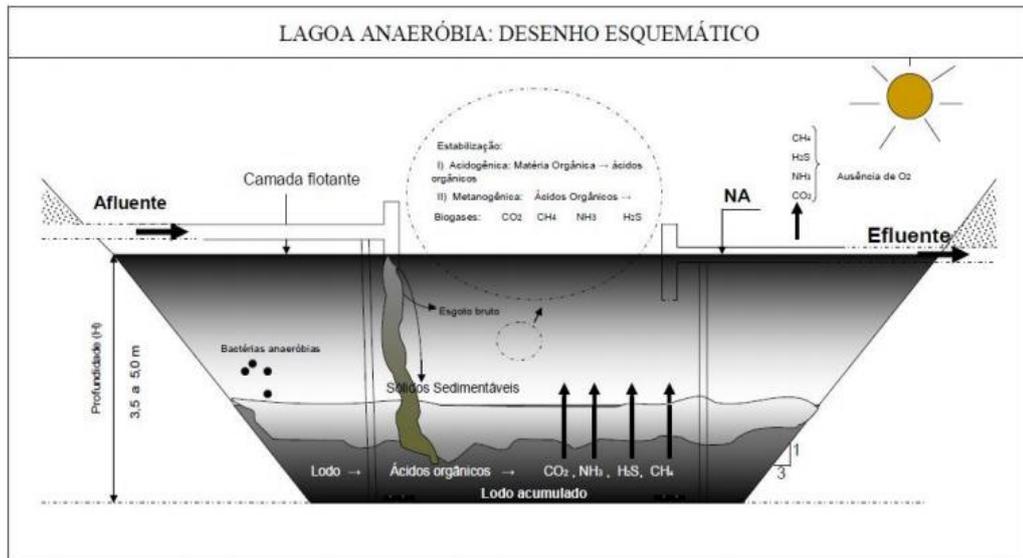
Construída após as lagoas anaeróbias e facultativas, em profundidades da ordem de 1,0 metro, para proporcionar um ambiente predominantemente aeróbio. Essas lagoas permitem elevados tempos de detenção dos esgotos e o decaimento dos coliformes devido à incidência da radiação ultravioleta da luz solar, associado às condições mantidas de pH e oxigênio (altos valores) (SANTOS, 2007).

As lagoas de maturação (figura 2) constituem unidades de pós-tratamento, em geral de lagoas facultativas ou de reatores anaeróbios (RICARDO, 2012). Geralmente projetadas com pequenas profundidades, as lagoas de maturação podem atingir elevadas eficiências na remoção de microrganismos. Bactérias e vírus são removidos ou inativados, principalmente, em razão da exposição prolongada à radiação solar (raios UV), pH alcalino e elevados valores de oxigênio dissolvido. Tais fatores estão associados à atividade fotossintética da biomassa algal (CURTIS *et al*, 1992).

Além disso, ovos de helmintos e cistos de protozoários tendem a sedimentar. Portanto, o objetivo principal das lagoas de maturação é a remoção de

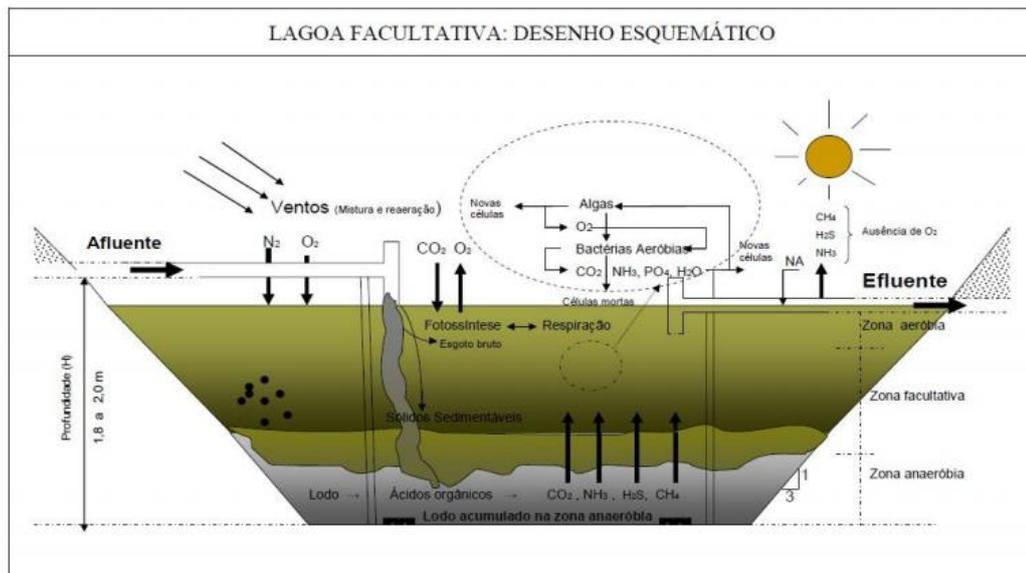
organismos patogênicos, constituindo opção bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração (VON SPERLING, 2002).

Figura 2 - Lagoa anaeróbia



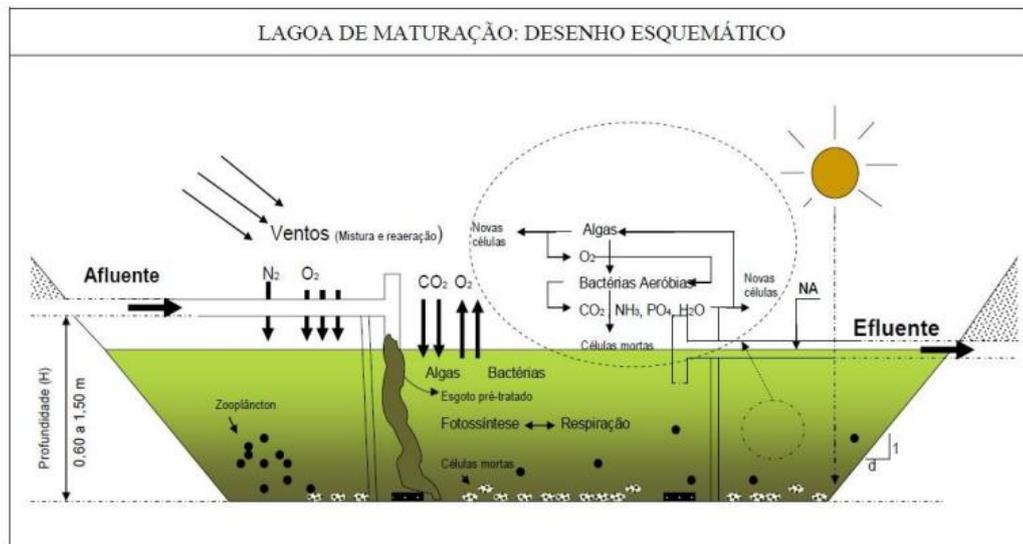
Fonte: SILVA FILHO, 2007

Figura 3 - Lagoa facultativa



Fonte: SILVA FILHO, 2007.

Figura 4 - Lagoa de maturação



Fonte: SILVA FILHO, 2007.

3.5 Parâmetros de controle de qualidade

A qualidade do esgoto pode ser representada através de diversos parâmetros que traduzem as suas características físicas, químicas e biológicas. Os principais parâmetros relativos de esgotos predominantemente domésticos, merecem destaque especial face à sua importância são (VON SPERLING, 2005):

- Sólidos;
- Indicadores de matéria orgânica;
- Nitrogênio;
- Fósforo;
- Indicadores de material fecal.

O parâmetro oxigênio dissolvido (OD) $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ é um dos indicadores de matéria orgânica e os sólidos e gases dissolvidos são formas de constituintes responsáveis pelo parâmetro pH.

3.5.1 Oxigênio dissolvido

Com relação ao tratamento de águas residuárias por processos biológicos, a importância do oxigênio dissolvido no tratamento de esgoto implica no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais ou nos reatores para tratamento biológico de esgotos.

Nas lagoas de estabilização, o oxigênio dissolvido sofre a influência das condições ambientais abaixo:

- Radiação solar (velocidade da fotossíntese);
- Temperatura (velocidade da fotossíntese, taxa de decomposição bacteriana, solubilidade);
- Transferência de gases, condições de mistura e vento (condições de mistura, reaeração atmosférica de pouca importância no balanço de OD).

Nas águas, é o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos e, com relação aos corpos d'água, a concentração de oxigênio dissolvido é importante para definir a classe que se enquadram, de acordo com Resolução nº 357 de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

A introdução de matéria orgânica em um corpo d'água resulta indiretamente no consumo de oxigênio dissolvido. Tal se deve aos processos de estabilização da matéria orgânica realizados pelas bactérias decompositoras, as quais utilizam o oxigênio disponível no meio líquido para a sua respiração. O decréscimo de oxigênio dissolvido tem diversas implicações do ponto de vista ambiental, constituindo-se em um dos principais problemas de poluição das águas em nosso meio (VON SPERLING, 2005).

Os níveis de oxigênio dissolvido indicam a capacidade de um corpo d'água natural manter a vida aquática. Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos. Como característica principal deste parâmetro destaca-se o fato de que o aumento da

poluição provoca sua diminuição, portanto pode ser usado como um indicador de poluição (DERISIO, 1992).

Os impactos provocados pela baixa concentração de OD refletem em uma maior turbidez e cores elevadas, dificultando a penetração dos raios solares e apenas poucas espécies resistentes a condições severas de poluição conseguem sobreviver. (CETESB, 2010).

Sob este aspecto, águas poluídas são aquelas que apresentam baixa concentração de oxigênio dissolvido (devido ao seu consumo na decomposição de compostos orgânicos), enquanto que as águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, chegando até um pouco abaixo da concentração de saturação. É, portanto, um parâmetro de extrema relevância na legislação de classificação das águas naturais. (PIVELI, 2005).

3.5.2 pH (*potencial hidrogeniônico*)

O termo pH expressa a intensidade da condição ácida ou básica de um determinado meio. É definido como o cologaritmo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio ($\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$). Os esgotos sanitários apresentam-se de um modo geral neutros ou ligeiramente alcalinos, pH de 6,7 a 7,5 (VON SPERLING, 2005).

A utilização mais frequente desse parâmetro é na caracterização de águas residuárias brutas, controle de operação de estação de tratamento de esgotos (digestão anaeróbia) (VON SPERLING, 2005).

Nas lagoas de estabilização, o pH deve ser mantido em faixas adequadas ao desenvolvimento das reações químicas ou bioquímicas do processo.

O pH sofre a influência das condições ambientais abaixo:

- Para valores elevados de pH: conversão de amônia ionizada (NH_4^+) a amônia livre (NH_3), mais tóxica, porém tende a se liberar mais rápido para a atmosfera;
- Precipitação dos fosfatos (remoção dos nutrientes);

- Conversão do sulfeto (H_2S) causador de mau cheiro a bissulfeto (HS^-) inodoro.

Com valores elevados de pH, há a formação de amônia livre, que é o principal mecanismo de remoção de nitrogênio (nutriente), que também é removido pela assimilação da amônia e nitratos pelas algas, nitrificação – desnitrificação e sedimentação do nitrogênio orgânico particulado.

Em termos de corpos d'água, conforme Von Sperling (2005), valores altos de pH (alcalino) de sistemas hídricos pode estar associado a proliferação de vegetais em geral, pois com o aumento da fotossíntese há consumo de gás carbônico e portanto, diminuição do ácido carbônico da água e consequente aumento do pH.

Valores de pH afastados da neutralidade: podem afetar a vida aquática, peixes e os microrganismos, responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos. (VON SPERLING, 2005).

3.6 Legislação Ambiental do Estado do Ceará

A Portaria N°154, de 22 de Julho de 2002 da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) estabelece que as indústrias ou qualquer fonte poluidora localizadas em áreas não dotadas de rede pública de esgoto provida de sistema de tratamento, deverão possuir estação de tratamento própria, de maneira a atender aos padrões de qualidade dos cursos de água estabelecidos em função de sua classe, segundo seus usos preponderantes, bem como a enquadrar seus despejos líquidos aos seguintes padrões, estabelecidos pelo artigo 4º, parágrafo 2º:

§ 2º Devido às características específicas, os efluentes provenientes de sistemas de lagoas de estabilização deverão obedecer aos mesmos padrões estabelecidos para o Art. 4º, com exceção dos seguintes:

I - pH: entre 7,5 à 10,0;

II - Oxigênio dissolvido > 3,0 mg/L.

3.7 Tratamento estatístico dos resultados

Para o tratamento estatístico dos resultados obtidos para os parâmetros OD e pH foram construídos gráficos tipo boxplot, que mostram a variabilidade dos resultados, utilizando o programa computacional Origin.

O boxplot (gráfico de caixa) é um gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica do dados. O boxplot é formado pelo primeiro e terceiro quartil e pela mediana. As hastes inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do quartil inferior até o menor valor não inferior ao limite inferior e do quartil superior até o maior valor não superior ao limite superior. Os limites são calculados da forma abaixo nas equações 1 e 2.

a) Limite inferior:

$$\text{Max} \{ \min(\text{dados}); Q_1 - 1,5(Q_3 - Q_1) \} \quad (1)$$

b) Limite superior:

$$\text{Min} \{ \max(\text{dados}); Q_3 + 1,5(Q_3 - Q_1) \} \quad (2)$$

Para este caso, os pontos fora destes limites são considerados valores discrepantes (*outliers*) e são denotados por asterisco (*).

O boxplot pode ainda ser utilizado para uma comparação visual entre dois ou mais grupos. Por exemplo, duas ou mais caixas são colocadas lado a lado e se compara a variabilidade entre elas, a mediana e assim por diante. Outro ponto importante é a diferença entre os quartis ($Q_3 - Q_1$) que é uma medida da variabilidade dos dados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de esgotos domésticos tratados foram coletadas durante os meses de julho a novembro de 2015, em lagoas de estabilização localizadas em seis municípios no interior do estado do Ceará: Aracati, Bela Cruz, Caucaia, Juazeiro do Norte, Itaitinga e Pacoti.

Os parâmetros selecionados para a avaliação da qualidade dos esgotos domésticos para fins de lançamento em corpos receptores, é através da comparação dos resultados obtidos com os padrões estabelecidos pela legislação estadual vigente, a Portaria nº 154/02 SEMACE, foram a determinação de oxigênio dissolvido (OD) e a determinação do pH à 25°C.

Para as determinações de OD e pH foram seguidos os procedimentos descritos em APHA, 2012 e, as análises físico-químicas das amostras dos esgotos tratados foram realizadas no laboratório de química ambiental (LQA) da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

4.1 Oxigênio dissolvido (4500-O C AZIDE MODIFICATION APHA, 2012)

4.1.1 Coleta

As coletas dos esgotos domésticos tratados provenientes de lagoas de estabilização foram realizadas em frascos de vidro de 300 ml com tampa esmerilhada, da seguinte forma: os frascos foram mergulhados a uma profundidade de 30 cm e, quando parado o borbulhamento e o frasco ter ficado cheio, foi tampado e retirado o excesso na tampa do frasco. Em seguida foram adicionados em cada frasco 1,0 ml de sulfato de manganês ($MnSO_4$) e 1,0 ml de azida sódica, agitado e deixado o precipitado decantar.

4.1.2 Reações no frasco de coleta

As reações químicas 3 e 4 e a figura 5 mostradas abaixo, ocorreram no frasco de coleta, após a adição dos reagentes acima citados, com a finalidade de fixar o oxigênio livre na amostra, formando o composto dióxido de manganês.

Figura 5 - Frasco de coleta contendo a amostra



Fonte: arquivo pessoal do autor



Os frascos contendo as amostras foram armazenados em isopor e enviados ao laboratório de química ambiental (LQA) para a realização das análises.

4.1.3 Procedimento da análise

O próximo passo foi a titulação das amostras com tiosulfato de sódio 0,025 N, etapa na qual o final da reação foi indicada pela mudança de cor.

- a) Adicionou-se 1,0 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4 , 0,02N) concentrado em cada frasco contendo as amostras de esgoto doméstico tratado;
- b) Agitaram-se os frascos até dissolver o precipitado;
- c) Transferiram-se 100,0 ml de cada amostra em duplicata para um erlenmeyer de 250 ml;
- d) Titulou-se com solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_2$ 0,025 N) até coloração amarelo-clara;

- e) Adicionou-se 1 ml do indicador solução de amido,
f) Continuou - se a titulação até o ponto de viragem (azul para incolor) (figuras 6 e 7):

Figura 6 - Titulação da amostra



Fonte: arquivo pessoal do autor

Figura 7 - Ponto final da titulação



Fonte: arquivo pessoal do autor

4.1.4 Reações químicas que ocorrem durante a coleta e a titulação

O método iodométrico de Winkler é o teste titulométrico mais exato e confiável para determinar o oxigênio dissolvido em amostras de água e esgoto.

As reações químicas que ocorrem durante a titulação são mostradas nas equações 5, 6, 7, 8 e 9 abaixo.

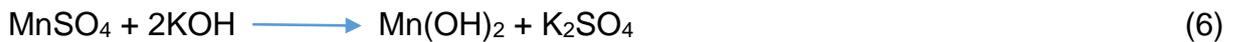
4.1.4.1 Eliminação de interferências causadas pelo íon nitrito (NO_2^-)

Para eliminar este interferente, adicionou azida sódica, para que ocorresse a dissociação deste composto e com isso o íon azida livre em solução provocasse a redução do íon nitrito que é reativo e a formação do óxido nitroso que é um composto estável e neutro.



4.1.4.2 Fixação do oxigênio pelo manganês

Adicionou uma solução de sulfato manganoso, na qual reagiu com a mistura iodeto de potássio-hidróxido de potássio para produzir um precipitado floculento branco de hidróxido manganoso:



Quando o precipitado branco é obtido, não existe oxigênio dissolvido na amostra. Um precipitado marrom indica que há oxigênio presente e que este reagiu com o hidróxido manganoso, formando um óxido mangânico básico:



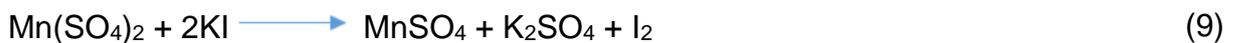
4.1.4.3 Adição de ácido sulfúrico

A partir da adição de ácido sulfúrico, este precipitado dissolve-se, formando sulfato mangânico.



4.1.4.4 Liberação de iodo

O sulfato mangânico formado anteriormente, possui o manganês que está inicialmente em estado de oxidação +4 e por ser um agente oxidante, reagiu com a solução de iodeto de potássio, onde formou sulfato manganoso com um estado de oxidação +2, provocou a liberação do iodo, formando iodo molecular, livre em solução e resultou em uma solução de cor marrom.



4.1.4.5 Titulação de iodo com tiosulfato de sódio

A fase final da análise continuou-se com a adição de 1,0 mL de uma solução de amido (1%), formando um complexo azul com o iodo livre (I_3^-), uma solução azul e titulou-se com uma solução padrão de tiosulfato de sódio (0,025 N). Como anteriormente a solução estava azul devido a adição de amido, com o decorrer da titulação a solução começou a descolorir e chegou ao ponto de viragem da titulação, com uma solução incolor. O iodo livre em solução reagiu com o tiosulfato de sódio provocando uma reação de oxirredução que ocasionou o descolorimento da solução, de acordo com a reação 6.



4.1.5 Cálculo

A quantidade da solução de tiosulfato de sódio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025 N necessária para titular 200,0 ml da amostra de esgoto tratado coletada, é mostrada pela relação abaixo, que equivale a 1mg de oxigênio dissolvido em 1 litro. Através da equação 1, podemos calcular a quantidade de oxigênio dissolvido na água.

$$\text{OD} = 1 \text{ ml } \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ 0,025 N} = 1 \text{ mg OD.L}^{-1}$$

$$OD = N_t \cdot V_t \cdot (V_f - 2) \cdot 8000 / V_a \cdot V_f \quad (1)$$

Onde:

V_t = volume da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025 N gasto na titulação da amostra (mL)

N_t = concentração da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025 N

V_f = volume do frasco de coleta de OD (mL)

V_a = volume de amostra retirado para titulação com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,025 N

8000 = fator de transformação de eq-g para mg de O_2

4.2 Análise de pH (4500-H⁺ B Eletrometric Method APHA, 2012)

Para análise de pH nas amostras coletadas foi utilizado o pHmetro da marca Logen. Inicialmente, o equipamento foi calibrado e ajustado, seguindo-se as instruções do próprio fabricante com os padrões pH = 4,00 e pH = 7,00, antes da leitura das amostras.

Figura 8 - pHmetro marca LOGEN



Fonte: arquivo pessoal do autor

As amostras de esgotos domésticos tratados foram transferidas para beckeres de 125 ml e o eletrodo do pHmetro foi imerso em cada amostra separadamente. O valor do pH era mostrado no visor do equipamento. O eletrodo era lavado com água destilada e seco com papel apropriado entre a leitura de amostras diferentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são mostrados os resultados médios obtidos para oxigênio dissolvido (OD) $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ nas seis amostras de esgotos domésticos tratados provenientes de lagoas de estabilização.

Tabela 1 - Resultados médios obtidos para oxigênio dissolvido ($\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$)

AMOSTRAS DE ESGOTOS	$\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$	DESVIO PADRÃO
ARACATI	3,9	0,029
BELA CRUZ	6,9	0,041
CAUCAIA	5,5	0,048
JUAZEIRO DO NORTE	4,0	0,050
ITAITINGA	3,9	0,048
PACOTI	6,4	0,235
PORTARIA SEMACE 154/02 Art. 4º	> 3,0	*

Fonte: Elaborada pelo autor

De acordo com a tabela 1, observou-se que o menor valor obtido para o parâmetro de OD $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ foram para as amostras de esgotos domésticos tratados provenientes de lagoas de estabilização localizadas nas cidades de Aracati (3,9) e Itaitinga (3,9), enquanto que o maior valor obtido foi para a amostra de esgoto doméstico tratado proveniente de lagoas de estabilização localizada na cidade de Bela Cruz (6,9).

Esses resultados podem ser justificados por alguns fatores intervenientes, como, radiação solar, velocidade de fotossíntese, temperatura, dentre outros decorrentes dos cálculos de dimensionamento das lagoas, que influenciam na concentração de OD.

Comparando os resultados obtidos nesse estudo com os resultados obtidos na pesquisa Impacto do lançamento de efluentes no corpo receptor (Córrego Tim), verificou-se que foram para lagoas facultativas, foram obtidos resultados médios na faixa de 5,0 a 6,0 $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ de OD, justificados pela produção de oxigênio puro pelas algas.

Em outra pesquisa a de Filho (2007), Diagnóstico operacional em lagoa de estabilização, os valores médios de pH variaram de 7,3 a 7,71 para lagoas facultativas e de maturação

Na tabela 2 são mostrados os resultados médios obtidos para potencial hidrogeniônico (pH) nas seis amostras de esgotos domésticos tratados provenientes de lagoa de estabilização.

Tabela 2 - Resultados médios para pH

AMOSTRAS DE ESGOTOS	pH	DESVIO PADRÃO	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO PADRÃO
ARACATI	7,29	0,019	0,003
BELA CRUZ	7,30	0,006	0,001
CAUCAIA	7,73	0,036	0,005
JUAZEIRO DO NORTE	7,18	0,029	0,004
ITAITINGA	7,48	0,029	0,004
PACOTI	6,53	0,013	0,002
PORTARIA SEMACE 154/02 Art. 4º	7,50 – 10,0	*	*

Fonte: Elaborada pelo autor

De acordo com a tabela 2, observou-se que o menor valor obtido para o parâmetro de pH foi para a amostra de esgoto doméstico tratado proveniente de lagoas de estabilização localizada na cidade de Pacoti (6,53). Enquanto que o maior valor obtido foi para a amostra de esgoto doméstico tratado proveniente de lagoas de estabilização localizada na cidade de Caucaia (7,73).

Os valores mais baixos de pH podem ser justificados por causa da produção de ácidos (fase acidogênica), que são formados pelas bactérias anaeróbias e facultativas, convertendo os compostos orgânicos solúveis em ácidos orgânicos pelas bactérias anaeróbias conhecidas como produtoras de ácidos e, pela etapa da fermentação metanogênica, onde os ácidos orgânicos simples são convertidos em metano e dióxido de carbono através de bactérias anaeróbias produtoras do metano.

Enquanto os valores mais altos de pH podem estar associados a proliferação de vegetais em geral, pois com o aumento da fotossíntese há consumo

de gás carbônico e portanto, diminuição do ácido carbônico da água e conseqüente aumento do valor do pH.

No estudo de Filho (2007) "Diagnóstico operacional em lagoa de estabilização", os valores médios de pH variaram de 7,3 a 7,71 para lagoas facultativas e de maturação, resultados que colaboraram com os resultados desse trabalho.

Porém, comparando-se os padrões estabelecidos para os parâmetros OD e pH, pela legislação ambiental estadual vigente, a Portaria nº 154, de 22 de julho de 2002 (SEMACE), com os resultados obtidos e apresentados nas tabelas 1 e 2, verifica-se que todos os resultados obtidos para o parâmetro OD encontram-se de acordo com os padrões estabelecidos pela Portaria citada, enquanto somente o resultado obtido para o valor de pH da amostra de esgoto doméstico tratado proveniente da lagoa de estabilização localizada na cidade de Caucaia, encontrou-se dentro da faixa de valor estabelecida pela portaria nº 154/02 (SEMACE, 2002).

5.1 Tratamento estatístico dos resultados

Para o tratamento estatístico dos resultados obtidos para os parâmetros OD e pH foram construídos gráficos tipo boxplot, que mostram a variabilidade desses resultados, utilizando o programa computacional Origin.

As figuras 9 e 10 abaixo mostram o tratamento estatístico para os resultados da concentração de OD e pH, para as seis amostras de esgotos domésticos tratados provenientes de lagoas de estabilização.

Por meio desse tipo de gráfico, pode-se comparar a variabilidade dos resultados nas amostras individualmente, assim como também comparar a variabilidade dos resultados entre as seis amostras localizadas em diferentes municípios.

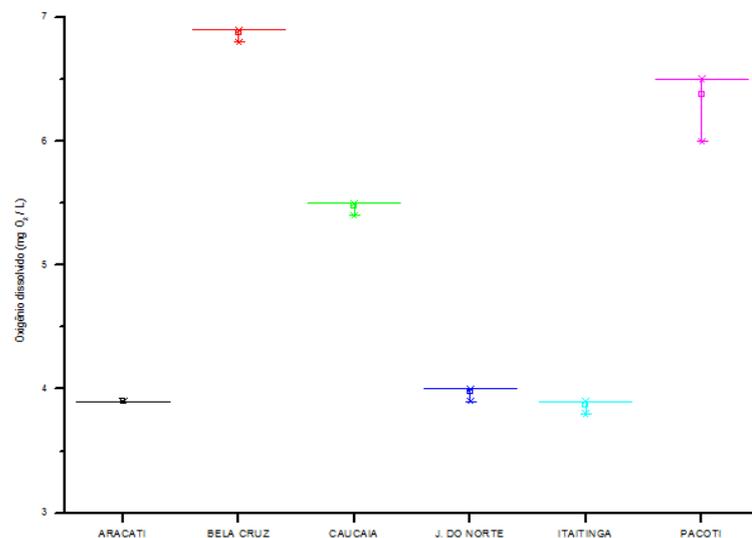
Cada uma das seis amostras para determinação de OD foram tituladas em duplicata quatro vezes e, de cada duplicata foi calculada a média dos volumes gastos na titulação. Esse volume médio da titulação foi utilizado para o cálculo da concentração de OD. Esse procedimento foi repetido mais três vezes, obtendo-se

assim quatro resultados para uma mesma amostra. Foi calculado o resultado médio, somando-se os quatro resultados e dividindo-se por quatro.

A leitura do parâmetro pH também foi feita quatro vezes, obtendo-se assim quatro resultados para a mesma amostra. Foi calculado o resultado médio, somando-se os quatro resultados obtidos.

Para construção dos gráficos tipo boxplot (figura 9 e 10), foram calculadas a mediana, os quartis um e três, através do programa Origin.

Figura 9 - Resultados obtidos para OD

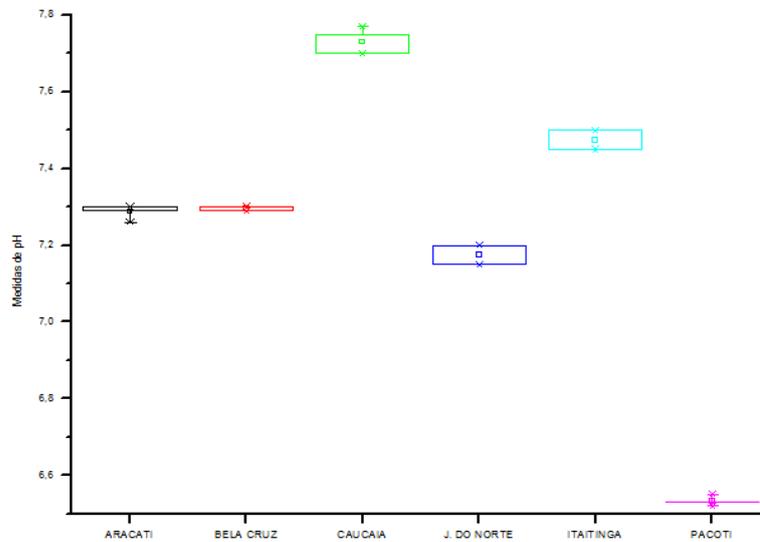


Fonte: Elaborada pelo autor

Observando-se os gráficos da figura 9, verificou-se que as linhas superiores e inferiores encontram-se para os boxplot correspondentes as amostras de esgotos domésticos tratados provenientes das lagoas de estabilização localizadas em todos os municípios muito próximas da linha central (mediana), indicando que os resultados obtidos para o parâmetro OD dessas amostras individualmente apresentaram pouca variabilidade entre eles, portanto os resultados são confiáveis, pois não estão dispersos.

Porém, comparando-se os resultados obtidos entre as amostras de esgotos domésticos tratados provenientes das lagoas de estabilização localizadas em todos os municípios, apresentaram resultados muito diferentes.

Figura 10 - Resultados obtidos para pH



Fonte: Elaborada pelo autor

Observando-se os gráficos tipo boxplot da figura 10, verificou-se que as linhas superiores e inferiores encontram-se para os bloxplot correspondentes as amostras de esgotos domésticos tratados provenientes das lagoas de estabilização localizadas nos municípios de Aracati, Bela Cruz e Pacoti muito próximas da linha central (mediana), indicando que os resultados obtidos para o parâmetro pH dessas amostras individualmente apresentaram pouca variabilidade entre eles, portanto os resultados são confiáveis, pois não estão dispersos.

Para os resultados obtidos para o parâmetro pH das amostras de esgotos domésticos tratados provenientes das lagoas de estabilização localizadas nos municípios de Caucaia, Juazeiro do Norte e Itaitinga, apresentaram maiores variabilidades, indicando que os resultados estão um pouco mais dispersos.

Comparando-se os resultados obtidos entre as amostras de esgotos domésticos tratados provenientes das lagoas de estabilização localizadas em todos os municípios, apenas em dois municípios estão semelhantes, enquanto para os outros quatro, apresentaram resultados muito diferentes entre elas.

6 CONCLUSÃO

Com base nos valores dos resultados obtidos para os parâmetros avaliados, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- Os valores de oxigênio dissolvido encontram-se de acordo com o valor estabelecido pela portaria nº 154/02 SEMACE para as amostras de esgotos tratados provenientes das lagoas de estabilização localizadas em todas os municípios;
- Somente para a amostra de esgoto tratado proveniente da lagoa de estabilização localizada no município de Caucaia, o resultado obtido para o valor do parâmetro pH encontra-se dentro da faixa de valor estabelecida pela portaria nº 154/02 SEMACE, portanto esse esgoto, mesmo tratado não pode ser lançado em corpos receptores, sem antes ser realizado uma correção no valor de pH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABES. Associação brasileira de engenharia sanitaria e ambiental. 2012

ANTÃO, K. Saneamento básico – melhoria na qualidade de vida na população. 73p. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia civil com ênfase ambiental. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2004.

APHA. Standard Methods for Examination the Water and Wasterwater. 2012.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente – Água: Manual de Uso. Brasília – DF, 2006.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de Qualidade das águas Interiores do Estado de São Paulo. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 540 p., 2008.

COMPANHIA ESPÍRITO SANTENSE DE SANEAMENTO. **Apostila, tratamento de esgoto:** revisada em julho de 2013. Espírito Santo, 2013.

DERÍSIO, J. C. Introdução ao controle de poluição ambiental. 1 ed. cap. 2, p. 23-106. São Paulo: CETESB -Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1992.

Fundamentos e projeto de estação de tratamento de esgoto. Saneamento e meio ambiente. Curso Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2012)

GIORDANO, D. **Tratamento e controle de efluentes industriais.** Rio de Janeiro: UERJ, 2004 Disponível em:
<[www.cepuerj.uerj.br/insc_online/itaguaui_2011/edital/superior/biologo/Apostila-Tratamento de efluentes industriais.pdf](http://www.cepuerj.uerj.br/insc_online/itaguaui_2011/edital/superior/biologo/Apostila-Tratamento%20de%20efluentes%20industriais.pdf)>. Acesso em: nov. 2015

GODOY, O. A. Avaliação da presença de cianobactérias em efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários por lagoas de estabilização associadas a tratamento físico – químico. 2007. 35, 36p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007.

GUIMARÃES, J. R., NOUR, E.A.A. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. 1ed. Maio 2001. 03, 08, 09, 10, 11, 19 24p.**

HANSON, N. W. Part 1: Standardized methods of Analysis. In: **Official, standardized and recommended methods of analysis**. 2.ed. London: Society for Analytical Chemistry, 1973. p. 323-327.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

LEO, L. F.R. **Investigação da toxicidade e formação de subprodutos tóxicos em efluentes clorados de lagoas de estabilização com e sem pós – tratamento**. 2008. 15 p. Tese. Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

LOBO, L.P. **Análise Comparativa dos Processos de Filtração em Membranas e Clarificação Físico-Química para Reuso de Água na Indústria**, 2004. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2004

MACÊDO, J. A. B.de. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico – Químicas e microbiológicas**. 2.ed. Belo Horizonte: MACÊDO, 2003.

Maier, M.H. Ecologia da bacia do rio Jacaré Pepira (47°55' – 48°55'W; 22°30' – 21°55'S – Brasil): qualidade da água do rio principal. **Ciência e Cultura**, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/CPTEC. v. 39, n.2, p.164-185.

MERKEL, J. A. **Managing livestock wastes**. Avic Publishing Company, Inc. International Gas Union Research Conference 2011.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suíno**. 1997. 21p. Tese. Doutorado em engenharia de produção - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

NUVOLARI, Ariovaldo et al. Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola. São Paulo: Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC, 2003.

ORSSATTO, F.; HERMES, E.; VILAS BOAS, M. A. Eficiência de remoção de óleos e graxas de uma estação de tratamento de esgoto sanitário, v. 7 Cascavel – Paraná. Curso de Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, 2010.

PASSOS, R. G. Avaliação de desempenho de lagoas de estabilização por meio de dados de monitoramento e modelagem em fluidodinâmica computacional. 2012. 16p. Dissertação. Mestrado em Saneamento, Meio ambiente e Recursos hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PIMENTA, H. C. D. et al. Esgoto: A Importância do Tratamento e as Opções Tecnológicas. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23 a 25 de Outubro. 2002, Curitiba. 2p.

PIVELI, R. P. Qualidade da água e poluição: aspectos físico – químicos. São Paulo: ABES, 2005, p.204

PIVELI, R. P. Apostila – Tratamento de esgotos sanitários. São Paulo: ABES, 2005,

Pohling, R. **Reações químicas na análise de água**. – Fortaleza: ed, arte visual, 2009.

SANTOS, André Bezerra. Avaliação Técnica de Sistemas de Tratamento de Esgotos. 59, 60, 61p. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil - BNB, 2007.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Portaria nº 154 de 22 de julho de 2002**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível em: <
http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95> Acesso em: 15 dez. 2015.

SILVA FILHO, P.A. **Diagnóstico Operacional de Lagoas de Estabilização**. 2007. 31, 32, 33p. Dissertação. Mestrado em engenharia sanitaria – Universidade federal do Rio Grande do Norte, 2007.

THOMANN, R. V., MUELLER, J. A., Principles of Surface Water Quality Modeling and control. Harper Collins Publishers Inc. New York 1987.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Gestão da Água no Brasil**. Brasília:UNESCO, 2001.

VON, S. M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. 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**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2002.

VIVIAN, M.; PERDOMO, J. C.; TECHIO, V. H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grance, v. 14, n.3 p. 320-325, 2010.