



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**SÉRVIO TÚLIO LINHARES RODRIGUES SEGUNDO**

**PROPOSTA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NO  
MUNICÍPIO DE LAGOA - PB**

Pombal – PB  
Outubro 2016

**SÉRVIO TÚLIO LINHARES RODRIGUES SEGUNDO**

**PROPOSTA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NO  
MUNICÍPIO DE LAGOA - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

**ORIENTADORA: Profa. Dra. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro**

Pombal – PB

Outubro 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

R696p Rodrigues Segundo, Sérgio Túlio Linhares.  
Proposta de sistema de tratamento de fluentes no município de Lagoa - PB / Sérgio Túlio Linhares Rodrigues Segundo. – Pombal, 2016.  
62 f. il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2016.  
"Orientação: Profa. Dra. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro".  
Referências.

1. Impacto Ambiental. 2. Esgotamento Sanitário. 3. Lagoas de Estabilização. I. Ribeiro, Rosinete Batista dos Santos. II. Título.

CDU 628.4(043)

**SÉRVIO TÚLIO LINHARES RODRIGUES SEGUNDO**

**PROPOSTA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES NO  
MUNICÍPIO DE LAGOA - PB**

Aprovado em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Rosinete Batista dos Santos Ribeiro  
Orientadora – UFCG/*Campus* de Pombal – PB

---

Profa. Dra. Aline Costa Ferreira  
Examinador Interno – UFCG/*Campus* de Pombal - PB

---

Prof. Dr. Marçal Rosas Florentino Lima Filho  
Examinador Externo – UFPB/*Campus* de João Pessoa - PB

Pombal – PB

Outubro 2016

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais por me incentivarem a estudar desde o início e nunca deixar faltar nada para que esse objetivo seja realizado com sucesso.

Aos meus Avós maternos por todo trabalho e dedicação, me ajudando sempre que precisei.

A todos os professores dos quais passaram na minha vida durante todos esses anos, pois foram fundamentais para minha formação acadêmica e pessoal.

A todos os amigos e amigas que me ajudaram em momentos difíceis e estiveram comigo nos momentos felizes.

A professora Rosinete por me orientar e fazer com que este trabalho possa ser concluído da melhor forma.

Ao professor Marçal por me incentivar orientando alguns trabalhos e estando presente mesmo estando longe.

Ao técnico Luiz Fernando e a professora Andrea Brandão por todo o aprendizado acadêmico/pessoal e por me ceder oportunidades na universidade.

Muito obrigado!

SEGUNDO, S. T. L. R. **Proposta de Sistema de Tratamento de Efluentes no Município de Lagoa – PB**. 2016. 62 fls. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB.

### RESUMO

Com o aumento populacional nas cidades brasileiras e no mundo crescem os despejos de efluentes nos corpos receptores, fazendo-se necessário um tratamento eficaz, a fim de remover a carga orgânica poluidora antes do lançamento. Nesse trabalho, buscou-se apresentar uma proposta de sistema de tratamento de efluentes para o município de Lagoa – PB. No desenvolvimento do estudo foram realizadas as seguintes etapas: caracterização do serviço de esgotamento do município, situação atual do esgotamento sanitário na cidade, identificação dos principais impactos ambientais decorrentes da falta de tratamento de esgoto e por fim, uma proposta de sistema de tratamento que melhor se adeque às condições locais. Na metodologia, fizeram-se necessárias visitas *in loco*, entrevista informal com o secretário de infraestrutura da Prefeitura, relatório fotográfico de alguns pontos da área de estudo e pesquisas bibliográficas. A partir dos resultados, observou-se que o sistema utilizado na cidade apresenta falhas, sendo necessária a substituição de tal sistema. Como alternativa de sistema tratamento de esgoto sugere-se uma Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa, cuja escolha se deu devido ao fato de ser um sistema que demanda menor área quando comparado a outros sistemas, a temperatura da região, além do baixo custo de implantação e operação.

**Palavras-chaves:** Impacto ambiental, esgotamento sanitário, lagoas de estabilização.

SEGUNDO, S. T. L. R. **Proposta de Sistema de Tratamento de Efluentes no Município de Lagoa – PB**. 2016. 62 fls. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB.

### **ABSTRACT**

With the population increase in Brazilian cities and the word grows the waste dumps in receiving bodies, making it necessary an effective treatment, to remove the polluting organic load prior to launch. In this work, we sought to present a proposal for a wastewater treatment system for the municipality of Lagoa - PB. In the study development the following steps were realized: characterization of the municipal sewage service, current situation of sanitation in the city, identification of the main environmental impacts of the lack of sewage treatment and finally, a proposal for a treatment system that best suit the local conditions. In the methodology, were necessary *on-site* visits, informal interview with the infrastructure of county clerk, photo documentation of some parts of the study area and library research. From the results, it was observed that the system used in the city has flaws, necessitating the replacement of the system. As an alternative of sewage treatment system we suggest an Anaerobic Lagoon followed by Facultative Lagoon, the choice was due to the fact that it is a system that requires a smaller area when compared to other systems, the temperature of the region, and the low cost of deployment and operation.

**Key words:** Environmental impact, Sanitary sewage, Stabilization lagoons.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de caixa de areia.....	24
Figura 2 - Fluxograma típico de um tanque séptico e filtro anaeróbio.....	27
Figura 3 - Sistema de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa.....	27
Figura 4 - Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada facultativa. ....	28
Figura 5 - Fluxograma típico de um sistema de escoamento superficial.....	29
Figura 6 - Fluxogramas típicos de sistema de terras úmidas. ....	30
Figura 7 - Município de Lagoa no Estado da Paraíba. ....	32
Figura 8 – Vista aérea do Município de Lagoa-PB. ....	33
Figura 9 – Configuração do sistema adotado. ....	34
Figura 10 – Funcionamento geral de uma Lagoa Facultativa. ....	36
Figura 11 – Local de destinação final do esgoto da cidade. ....	52
Figura 12 – Ponto de desagüe dos efluentes e seu curso. ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Percentual de Tratamento de Esgoto. ....	17
Tabela 2 - Inconvenientes causados pelo lançamento de esgotos não tratados nos corpos d'água. ....	20
Tabela 3 - Níveis de tratamento de esgoto. ....	21
Tabela 4 – Estimativa esperada nos diversos níveis de tratamento. ....	22
Tabela 5 - Eficiências médias dos variados tipos de tratamento de esgoto em relação aos principais poluentes presentes nos esgotos domésticos. ....	30
Tabela 6 - Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos. ....	31
Tabela 7 – Impactos Ambientais causados pelos despejos inadequados dos efluentes..	53
Tabela 8 – Parâmetros iniciais de projeto. ....	54
Tabela 9 – Dimensões do gradeamento. ....	55
Tabela 10 - Valores estabelecidos para a caixa de areia. ....	55
Tabela 11 – Parâmetros calculados para a Lagoa Anaeróbia. ....	56
Tabela 12 – Parâmetros calculados para as Lagoas Facultativas. ....	57

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1: Consumo médio per capita, em 2009 e 2010, segundo os estados e média do país. 16
- Gráfico 2: Divisão da população no Município. .... 37
- Gráfico 3: Índice de pessoas usuárias da rede coletora de esgotos. .... 37

## SÚMARIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>13</b>
2.1.	GERAL .....	13
2.2.	ESPECIFICOS .....	13
<b>3.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
3.1.	ESGOTOS SANITÁRIOS .....	14
3.2.	ESTATÍSTICAS DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL.....	15
3.3.	DOENÇAS RELACIONADAS AOS ESGOTOS .....	17
3.4.	LEGISLAÇÃO .....	18
3.5.	IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO GERENCIAMENTO INADEQUADO DO ESGOTO.....	19
3.6.	FASES DO TRATAMENTO DO ESGOTO.....	21
3.6.1.	TRATAMENTO PRELIMINAR .....	22
3.6.2.	TRATAMENTO PRIMÁRIO .....	24
3.6.3.	TRATAMENTO SECUNDÁRIO.....	25
3.6.4.	TRATAMENTO TERCIÁRIO .....	25
3.7.	ALGUNS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS .....	26
3.7.1.	SISTEMAS ANAERÓBIOS .....	26
3.7.2.	SISTEMA DE LAGOA ANAERÓBIA COM LAGOA FACULTATIVA 27	
3.7.3.	LAGOA AERADA FACULTATIVA.....	28
3.7.4.	DISPOSIÇÃO DE EFLUENTES NO SOLO.....	28
3.8.	EFICIÊNCIA MÉDIA DOS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO .....	30
3.9.	CUSTOS MÉDIOS DOS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	31

<b>4.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	32
4.2.	SITUAÇÃO ATUAL DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE LAGOA.....	33
4.3.	POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO .....	34
4.4.	ALTERNATIVA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA O MUNICÍPIO DE LAGOA .....	34
4.5.	LAGOA ANAERÓBIA – LAGOA FACULTATIVA.....	35
4.5.1.	FUNCIONAMENTO .....	35
<b>5.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PROPOSTO .....</b>	<b>36</b>
5.1.	POPULAÇÃO TOTAL .....	37
5.2.	UNIDADE DE TRATAMENTO PRELIMINAR .....	38
5.3.	DIMENSIONAMENTO DA LAGOA ANAERÓBIA .....	45
5.4.	DIMENSIONAMENTO DA LAGOA FACULTATIVA.....	47
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
6.1.	CARACTERIZAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO .....	51
6.2.	ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DO MUNICÍPIO DE LAGOA-PB.....	51
6.3.	LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO .....	52
6.4.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO	54
<b>7.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>58</b>
<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – área

Aa – área adotada

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ate – Área transversal de escoamento

AU – Área Útil

B – Largura

Cca – Comprimento da caixa de areia

CCTA – Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CR – Coeficiente de Reação

CRC – Coeficiente de Rendimento Celular

Dp – Diâmetro da partícula

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

E – Eficiência

Eb - Espaçamento entre barras

EELAC – Eficiência. Esperada do Lodo Ativado

Egf – Eficiência da grade fina

Egg – Eficiência da grade grossa

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

E<sub>speb</sub> – Espessura da barra

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

H – Altura

Ib – Inclinação da barra

ID – Idade do Lodo

L – Comprimento

Lgg – Largura do gradeamento grosso

Lgf – Largura do gradeamento fino

L<sub>água</sub> – Lâmina D'água mínima na caixa de areia

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

Pc – Perda de carga

Qm – Vazão média

Qi – Vazão instantânea

SSV – Sólidos em Suspensão

Stc – Seção transversal do canal

TDH – Tempo de Detenção Hidráulico

UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

V – Volume

$V_s$  – Velocidade de sedimentação

$V_{\max\text{Real}}$  – Velocidade máxima real do escoamento

$V_{\max}$  – Velocidade máxima

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade o homem aprendeu, pela própria experiência, que a água servida, o lixo e outros resíduos podiam transmitir doenças, e foi a partir dessas vivências que ele buscou, junto com a ciência, meios de combater tais problemas. Criado para preservar as condições do meio ambiente, prevenindo doenças e promovendo à saúde, o saneamento foi uma medida que possibilitou uma melhor qualidade de vida para a população e trouxe uma nova perspectiva para o termo ambiental.

O aumento populacional reflete no incremento da demanda de água de abastecimento e tem como consequência a maior geração de esgoto, que se lançado sem tratamento contribui com o aumento dos níveis de poluição nos corpos receptores e a gradual e constante deterioração dos recursos hídricos dificulta e encarece o tratamento da água para posterior uso.

No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição Federal e definido pela Lei nº. 11.445/2007 como o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais.

Contudo, segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010), 6,3 milhões de brasileiros não têm acesso à rede coletora de esgoto. Partindo dessa realidade a conseqüente preocupação com os fatores sociais e ambientais deixa-se a desejar, pois isso mostra que as políticas públicas deveriam ser mais rigorosas no aspecto preventivo de doenças vinculadas aos efluentes domésticos, no qual se torna nítido que a falta de saneamento básico nas cidades é um forte indicador da não sustentabilidade. O Poder Público costuma agir de forma paliativa, investindo em grandes hospitais e melhorias no atendimento médico, mas um investimento eficiente, pelo caráter preventivo, deveria também investir em obras de saneamento, combatendo os agentes causadores das doenças. Paralelo a este problema, o tratamento de esgoto concorre com o abastecimento de água, o qual recebe maior parte dos recursos do Estado. Dos municípios brasileiros, 90,6% estão realizando melhorias no seu sistema de tratamento de água, enquanto 44% estão aprimorando o sistema de esgotamento sanitário (IBGE, 2011).

Os esgotos são todos os resíduos líquidos originários de indústrias e residências nos quais necessitam de tratamento adequado para que sejam retiradas as impurezas e

assim possam ser retornar à natureza sem acarretar danos ambientais e à saúde humana. A natureza através do processo de autodepuração possui a capacidade de decompor a matéria orgânica presente nos mares, rios e lagos. Porém, deve-se respeitar os limites da natureza. No caso dos esgotos sanitários, cuja matéria orgânica se apresenta em grande quantidade, a sua remoção requer um tratamento mais eficaz em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que, fundamentalmente, reproduz a ação da natureza de maneira mais rápida (VON SPERLING, 1995).

Vale ressaltar que o tratamento dos efluentes pode diferenciar-se muito dependendo do tipo de efluente tratado e da classificação do corpo hídrico receptor, de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005. Quanto ao tipo, o esgoto industrial costuma ser mais árduo e caro de tratar devido à grande quantidade de produtos químicos presentes. O efluente deve ser tratado antes de ser lançado nos corpos hídricos tendo em vista não alterar suas características físicas, químicas e biológicas. Em alguns casos, como por exemplo, quando o rio apresenta a classe especial, nenhum tipo de efluente pode ser lançado ali, mesmo que tratado. Uma vez que esse tipo de classe se refere aos corpos de água usados para abastecimento. O grau de tratamento a ser atingido em uma estação de tratamento de esgotos sanitários difere de um lugar para o outro e depende do uso preponderante da água do corpo receptor, da competência de assimilação deste e das imposições legais determinadas pelos órgãos de controle de poluição.

Devido à deterioração decorrente do lançamento de efluentes sem tratamento nos corpos hídricos, medidas preventivas ou até mesmo corretivas já estão sendo postas em prática e são indispensáveis em algumas regiões para manter a qualidade da água dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação. Esse quadro impõe a necessidade do monitoramento dos corpos hídricos para obtenção de dados referentes aos aspectos quantitativos e qualitativos da água.

Diante do exposto, faz-se necessário o reconhecimento quanto à geração, tratamento e disposição final dos efluentes concebidos no município de Lagoa – PB, com o propósito de adequá-los aos padrões determinados pela legislação ambiental, visando um benefício socioeconômico e ambiental na referida cidade.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. GERAL

Apresentar alternativa de sistema de tratamento de esgoto do município de Lagoa – PB, visando diminuir os impactos ambientais resultantes do lançamento de efluentes não tratados no solo, que posteriormente chega aos corpos hídricos da cidade, e o desenvolvimento da qualidade de vida da população.

### 2.2. ESPECÍFICOS

- Fazer uma caracterização do serviço de esgotamento sanitário do município de Lagoa – PB;
- Analisar a atual situação do sistema de esgotamento sanitário no município;
- Identificar os impactos ambientais gerados pela disposição inadequada dos efluentes;
- Propor alternativa de sistema de tratamento de efluentes diante da capacidade geradora do município.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. ESGOTOS SANITÁRIOS

De acordo com a definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986), o esgoto sanitário é o “despejo líquido constituído de esgotos domésticos e industriais, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Tal norma ainda define:

- Esgoto doméstico é o “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”;
- Esgoto industrial é o “despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos”;
- Água de infiltração é “toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações”;
- Contribuição pluvial parasitária é “a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário”.

Os esgotos sanitários, como sendo um sistema de descartes das comunidades civilizadas, podem ser divididos em urbanos e rurais, tal quais são gerados a partir dos rejeitos das águas de abastecimento. A utilização da água, seja pela rede pública ou por outras fontes, nas atividades domésticas, comercial, pública, industrial e agrícola associa a ela matéria de diferentes composições física, química, e biológica, e assim é gerado o esgoto sanitário (JORDÃO;VOLSCHAN JÚNIOR, 2009).

Segundo Von Sperling (2005) existe essencialmente duas variantes dos sistemas de esgotamento sanitário, o sistema individual e o sistema coletivo. Os sistemas individuais implicam que a solução no local, sendo, portanto, usualmente adotados para atendimento unifamiliar, embora possam também atender a certo número de residências próximas a si. Os sistemas coletivos são indicados para locais com elevada densidade populacional e consiste em canalizações que recebem o lançamento dos esgotos, transportando-os ao seu destino final, de forma sanitariamente adequada.

A água, como sendo um meio de transporte para dejetos e partículas grosseiras constitui em torno de 99,9% do esgoto sanitário, sendo que 0,1% restante constituem os sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, assim também como os microrganismos (VON SPERLING, 1996). A grande importância do tratamento de efluente torna-se interessante devido aos sólidos que estão presentes no esgoto, responsáveis pela degeneração da qualidade do corpo hídrico. Os contaminantes, como os compostos orgânicos, os sólidos suspensos, nutrientes, metais, sólidos inertes e grosseiros, sólidos dissolvidos inorgânicos, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos, e eventualmente tóxicos (decorrentes de atividades industriais ou acidentais) destacam-se como parte dessas substâncias sólidas.

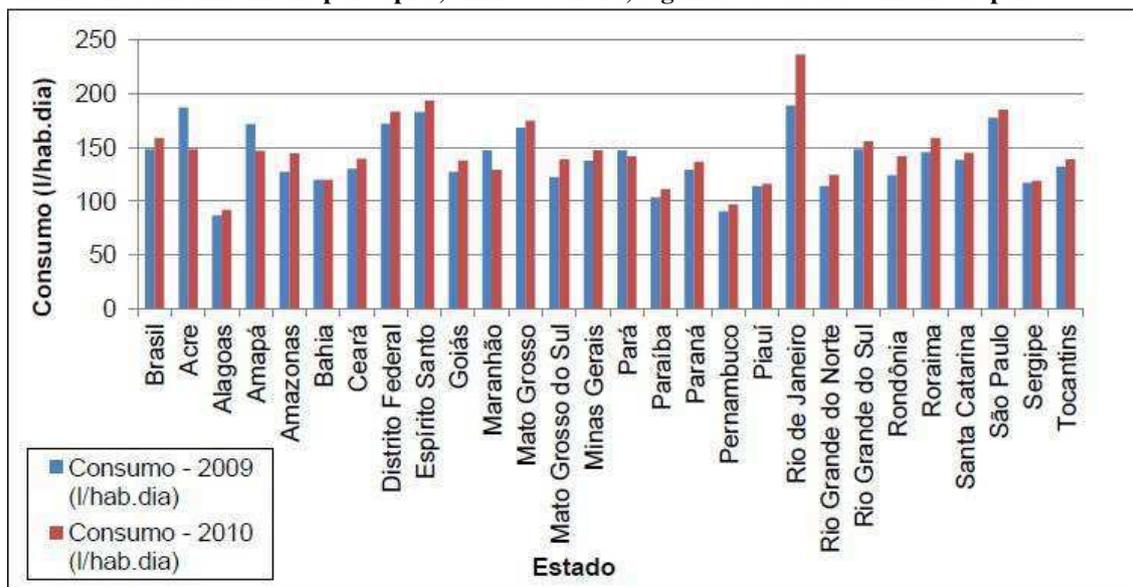
Segundo Nuvolari (2003) é necessário que exista uma disposição final adequada para o esgoto sanitário, no qual ele não venha a intervir na saúde pública gerando inúmeras doenças transmissíveis pela má disposição destes efluentes, como assim também protegendo o meio ambiente.

A FUNASA (Fundação Nacional de Saúde, 2006) visa dois pontos de vista importantes no que diz respeito à destinação adequada do esgoto, isto é, a importância sanitária e econômica. Sob o ponto de vista sanitário o destino adequado do esgoto visa fundamentalmente, o controle e a prevenção de doenças a ele relacionadas, evitando a poluição do solo e dos mananciais de abastecimento de água, o contato de vetores com as fezes, propiciando a promoção de novos hábitos higiênicos na população e promovendo o conforto e atender ao senso estético. Sob o ponto de vista econômico, a ocorrência de doenças, principalmente as doenças infecciosas e parasitárias ocasionadas pela falta de condições adequadas de destino dos dejetos, podem levar o homem a inatividade ou reduzir sua potencialidade para o trabalho.

### 3.2. ESTATÍSTICAS DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SNIS, 2012), de 2009 a 2010, 81,1% das cidades brasileiras recebem água tratada, 46,2% têm seus efluentes coletados, e 37,9% destes são tratados. A utilização de água aumentou de 148,5 para 159,0 litros por habitante por dia, simulando um aumento de 7,1%. A Paraíba por sua vez teve um aumento de 100,5 para 109,4 litros por habitante por dia.

Gráfico 1: Consumo médio per capita, em 2009 e 2010, segundo os estados e média do país.



Fonte: SNIS (2012).

Com o crescente consumo de água nos centros urbanos, conseqüentemente será esperado um aumento na oferta de esgotos, ocasionando saturações no corpo receptor desses efluentes.

Estudos revelam que a população na qual possui coleta de esgoto no Brasil é cerca de 48,6% sendo que mais de 100 milhões de brasileiros não tem acesso a tal serviço. Dentre as 100 maiores cidades do país, cerca de 3,5 milhões de brasileiros lançam seus efluentes irregularmente em corpos hídricos e no solo, sendo que tais cidades possuem redes coletoras disponíveis. No caso da Paraíba, a situação do saneamento básico encontra-se de maneira que a rede de abastecimento de água chega a 80,66% da população, em contra partida apenas 32,96% possuem coleta de esgoto de forma que 43,17% desse esgoto são tratados (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2015). Tomando esses números como referência, o tratamento de esgotos no Brasil ainda é muito deficiente, merecendo destaque por ser uma atividade que gera impactos negativos, tanto no meio ambiente como do ponto de vista social e até econômico.

Para que os serviços de água e esgoto fossem universalizados em 2025, no Brasil, seriam necessários investimentos médios de R\$ 11 bilhões na área, todos os anos, de 2006 até 2024 (AESBE, 2006), valor este que está muito distante dos R\$ 8.962,3 milhões investidos no ano de 2010.

No que diz respeito ao tratamento de esgoto, no país apenas 40% deste é tratado. Na TAB. 1 pode-se observar o percentual das regiões brasileiras a qual o esgoto é devidamente tratado.

**Tabela 1 – Percentual de Tratamento de Esgoto.**

<b>Regiões do Brasil</b>	<b>Esgoto tratado (%)</b>
Norte	14,36
Nordeste	28,8
Sudeste	43,9
Sul	43,9
Centro-Oeste	46,37

**Fonte: Estudo Trata Brasil “Ranking do Saneamento – 2015”.**

De acordo com a TAB 1 a região Norte encontra-se com a pior situação em relação ao esgoto tratado, já as regiões Sul e Sudeste se encontram com superioridade em relação ao desempenho quando comparadas com as demais regiões, entretanto a média de esgoto tratado não atinge nem metade da população. Em termos de volume, as capitais brasileiras acabam lançando 1,2 bilhões de m<sup>3</sup> de esgoto no meio ambiente. (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2015).

### 3.3. DOENÇAS RELACIONADAS AOS ESGOTOS

O lançamento de efluentes domésticos sem o devido tratamento, ou tratados sem desinfecção adequada, nos corpos receptores, colabora com o aumento significativo de organismos do chamado “grupo coliforme”, dos quais podem estar presentes agentes específicos de doenças de veiculação hídrica (JORDÃO e PESSÔA, 2009).

As principais doenças causadas pela veiculação hídrica geralmente é de forma oral que tem como via de contágio, tais como: Febre Tifoide, Febre Paratifoide, Cólera, Desintéria Bacilar, Desintéria Amebiana, Hepatite Infecciosa, Poliomielite. Além das doenças de veiculação hídrica, características de países pobres, a água pode ser um veículo indireto na transmissão de outras enfermidades, caracterizando o habitat para os vetores transmissores, como a malária, febre amarela, dengue, encefalite, entre outras (JORDÃO e PESSÔA, 2009).

Em se tratando das doenças tendo em vista o lado econômico, devido à falta de destinação apropriada dos dejetos, o contágio de doenças infecciosas e parasitárias pelo homem pode reduzir a potencialidade do mesmo para o trabalho, ou até levar à

inatividade de parte da população. Entretanto, uma vez controlado o contágio de tais doenças, poderia tornar possível à redução da mortalidade, e conseqüentemente um aumento de vida média do homem, a minimização das despesas com o tratamento de doenças, o gerenciamento da poluição dos locais de recreação, e a preservação da fauna (BRASIL, 2006).

### 3.4. LEGISLAÇÃO

O órgão competente por atuar na implementação da Política Nacional do Meio Ambiente no Brasil é o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), no qual institui a Resolução N.º. 357, de 17 de março de 2005, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes. Vale destacar ainda que a Constituição Federal de 1988 e a Lei n.º. 6938, de 31 de agosto de 1981, tem em vista o controle de lançamento de poluentes no meio ambiente, desaprovando aqueles que são considerados nocivos ou até mesmo perigosos para os seres humanos e outras formas de vida.

A Resolução CONAMA 357, em seu Capítulo IV, Artigos 24, e 34 e respectivos incisos, determina que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água (rios, lagos, etc.) depois do adequado tratamento e desde que respeitem às condições, aos padrões e às exigências dispostos na referida Resolução. Já no Artigo 35, é estipulado que o órgão ambiental competente poderá, quando a vazão do corpo de água estiver abaixo da vazão de referência, estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, aos lançamentos de efluentes que possam, dentre outras conseqüências, acarretar efeitos tóxicos agudos em organismos aquáticos, e/ou inviabilizar o abastecimento das populações. Vale considerar, também, as peculiaridades que variam em cada região do país, sendo que os estados podem possuir normas diferentes desde que sejam mais restritivas que a Resolução que possui caráter federal.

Na Resolução CONAMA N.º 430, de 13 de Maio de 2011 na qual complementa a Resolução 357, ressalta em seu Art. 7º que o órgão ambiental competente deverá, por meio de norma específica ou no licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas nos processos produtivos, listadas ou não no Art. 16 desta Resolução, de modo a não comprometer as metas progressivas obrigatórias, intermediárias e final, estabelecidas para enquadramento do corpo receptor.

Essa Resolução ainda menciona em seu Art. 2º que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

### 3.5. IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELO GERENCIAMENTO INADEQUADO DO ESGOTO

Impacto Ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, 1986). Dessa forma, os impactos ambientais ainda podem ser positivos quando são de origem benéfica, e negativos quando são de origem adversa, e podem ainda proporcionar ônus ou benefícios sociais.

Altas concentrações dos diversos organismos patogênicos podem estar contidas nos esgotos sanitários, e não há sombra de dúvidas sobre o risco de transmissão desses patógenos, colocando os mais diferentes grupos populacionais em risco (BASTOS e BEVILAQUA, 2006).

Independentemente do afastamento dos esgotos da proximidade das residências oferecerem grandes benefícios à saúde pública, a implantação dos meios de transporte dos esgotos gera também impactos negativos. Possíveis vazamentos e a concentração de poluição nas redes coletoras oferecem grandes riscos. O sistema de esgotamento sanitário, se não gerenciado corretamente, através de seu tratamento, induz a uma possível deterioração do corpo receptor (lagos, lagoas, solos, rios, represas, baías, enseadas e mares), prejudica a vida aquática, além de outras espécies de animais e vegetais (TCHOBANOGLIOUS e SCHROEDER, 1985).

O crescimento populacional tende a agravar a quantidade de material lançado nos corpos d'água gerando um maior impacto, pois há uma relação direta entre o aumento da população e o aumento do volume de esgoto coletado. Desta forma,

agravam-se os inconvenientes impactos do lançamento dos efluentes nos corpos receptores (TAB. 2) (NUVOLARI, 2011).

**Tabela 2 - Inconvenientes causados pelo lançamento de esgotos não tratados nos corpos d'água.**

<b>Matérias orgânicas solúveis</b>	Causam a depleção (diminuição ou até a extinção) do oxigênio contido nos rios. O despejo deve estar na proporção da capacidade de assimilação do curso d'água. Algumas destas substâncias (ex.: fenóis) podem produzir gosto e odores às fontes de abastecimento de água.
<b>Matérias tóxicas e íons de metais pesados</b>	Apresentam problemas de toxidez e transferência através da cadeia alimentar. O seu despejo normalmente está sujeito a uma regulamentação estadual e federal. Ex.: cianetos, Cu, Zn, Hg.
<b>Cor e turbidez</b>	Interferem na fotossíntese das algas nos lagos, impedindo a entrada de luz em profundidade. Exigem maiores quantidades de produtos químicos para o tratamento desta água, além de serem indesejáveis do ponto de vista estético.
<b>Elementos nutritivos</b>	Aumentam (principalmente nitrogênio e fósforo) a eutrofização dos lagos e pântanos. Inaceitáveis em áreas de lazer e recreação.
<b>Materiais refratários</b>	Formam espumas nos rios, e não são removidos nos tratamentos convencionais. Ex.: ABS (alquil-benzeno-sulfurado).
<b>Óleos e matérias flutuantes</b>	Além de esteticamente indesejáveis, interferem com a decomposição biológica (os microrganismos, responsáveis pelo tratamento, geralmente morrem se a concentração de óleos e graxas for maior do que 20mg/L). Os regulamentos exigem sua completa remoção.
<b>Ácidos e álcalis</b>	Sua neutralização é exigida pela maioria dos regulamentos, pois interferem com a decomposição biológica.
<b>Materiais em suspensão</b>	Formam bancos de lama nos rios e nas canalizações de esgoto. Podem provocar a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, liberando gás sulfídrico (odor de ovo podre) e outros gases mal cheirosos.
<b>Temperatura elevada</b>	Poluição térmica conduzindo ao esgotamento do oxigênio dissolvido (abaixamento do valor de saturação)

Fonte: Adaptado de JORDÃO; PESSÔA (2009) e NUVOLARI (2011).

O local de destinação final do esgotamento, uma vez comprometido, caracteriza problemas ambientais e sanitários. As tecnologias aplicadas no tratamento de esgoto no Brasil são eficientes quanto à remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos em Suspensão (SS), porém não são produzidos efluentes que atendam os padrões de qualidade exigidos pela legislação,

relacionados à amônia, nitrogênio, fósforo e coliformes fecais (VON SPERLING e CHERNICHARO, 2000).

### 3.6. FASES DO TRATAMENTO DO ESGOTO

Uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) trata-se de uma unidade ou estrutura que é projetada com o objetivo de tratar esgotos no qual o ser humano, através de processos físicos, químicos e/ou biológicos, simula ou intensifica as condições de autodepuração que ocorrem no meio ambiente, mas dentro de uma área delimitada, onde supervisiona e exerce algum controle sobre o processo de depuração, antes de devolver o esgoto tratado à natureza (LA ROVERE et al, 2002). Essas estações podem tratar esgotos sanitários ou industriais, as que são responsáveis pelo esgoto sanitário geralmente são mantidas pelo governo, ou por empresas privadas através de concessão.

Os estágios de tratamento do esgoto apresentam objetivos e métodos específicos, relatados na TAB. 3.

**Tabela 3 - Níveis de tratamento de esgoto.**

<b>NÍVEIS DE TRATAMENTO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Preliminar</b>	Remoção dos sólidos grosseiros presentes no esgoto que possam causar problemas operacionais nas unidades de operação e sistemas auxiliares.
<b>Primário</b>	Remoção de parte dos sólidos suspensos e matéria orgânica presentes no esgoto.
<b>Primário Avançado</b>	Remoção aprimorada dos sólidos suspensos e da matéria orgânica, conseguida através da adição de agentes coagulantes.
<b>Secundário</b>	Remoção da matéria orgânica biodegradável (solúveis ou suspensas) e sólidos suspensos.
<b>Secundário com remoção de nutrientes</b>	Remoção da matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio e fósforo).
<b>Terciário</b>	Remoção dos sólidos suspensos residuais do tratamento secundário, desinfecção e remoção de nutrientes.
<b>Avançado</b>	Remoção de materiais solúveis e suspensos remanescentes após o tratamento convencional quando o reuso da água se fizer necessário.

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (2003).

De todo processo de tratamento de esgoto, com exceção da desinfecção, é incomum no Brasil que o tratamento de esgoto sanitário passe por técnicas terciárias. É também característica das concessionárias que administram o esgoto que o nível secundário desse processo seja dimensionado apenas para remoção de matéria orgânica, e não de nutrientes.

As estimativas de eficiência do tipo de tratamento estão expostas na (TAB. 4).

**Tabela 4 – Estimativa esperada nos diversos níveis de tratamento.**

<b>Tipo de tratamento</b>	<b>Matéria Orgânica (% remoção de DBO)</b>	<b>Sólido em Suspensão (% remoção de SS)</b>	<b>Nutrientes (% remoção de nutrientes)</b>	<b>Bactérias (% remoção)</b>
<b>Preliminar</b>	5-10	5-20	Não remove	10-20
<b>Primária</b>	25-50	40-70	Não remove	25-75
<b>Secundário</b>	80-95	65-95	Pode remover	70-99
<b>Terciário</b>	40-99	80-99	Até 99	Até 99,999

Fonte – São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente – CETESB. 1988.

### 3.6.1. TRATAMENTO PRELIMINAR

Essa primeira etapa é feita através de mecanismos físicos, como gradeamento, sedimentação e outros, sendo assim, o tratamento preliminar tem como objetivo a remoção de areias e sólidos grosseiros. Estes sólidos oferecem grandes riscos aos dispositivos encarregados do transporte de esgotos (tubulações e bombas), das estações de tratamento e dos corpos receptores, e por este motivo é feita a sua remoção. A remoção da areia visa evitar a abrasão das tubulações e equipamentos, reduzir ou eliminar a possibilidade de obstrução em tanques, sifões e tubulações, e facilitar a locomoção do líquido. Normalmente, anexo a esta unidade de tratamento preliminar está a Calha Parshall, responsável pela medição da vazão na Estação de Tratamento de Esgoto (VON SPERLING, 2005).

## **Gradeamento**

A primeira unidade no processo de tratamento de esgotos é constituída pelo gradeamento, que tem por objetivo remover os sólidos grosseiros. Não há a necessidade de utilização do mesmo quando o efluente a ser tratado não apresenta quaisquer tipos de sólidos grosseiros. Este sistema pode ser formado por várias grades, indo de um maior espaçamento entre as barras para um menor espaçamento.

Nas grades de grande espaçamento são retidos objetos de tamanho elevado, como madeiras, pedras, brinquedos, animais mortos, papéis, absorventes, preservativos, fraldas, dentre outros. As grades subseqüentes, médias e finas, são responsáveis por reter o material que ultrapassou o gradeamento grosseiro.

## **Peneiramento**

O objetivo principal deste processo é a separação de partículas presentes no esgoto com granulometria maior que 0,25 mm, retidos através de peneiras estáticas e rotativas. O seu uso ocorre principalmente no tratamento de resíduos industriais, pois na maioria dos casos é possível o reaproveitamento do material retido.

## **Desarenador**

A areia presente no esgoto sanitário pode ser removida pela simples utilização de caixas de areia ou desarenadores. O mecanismo para sua remoção é a sedimentação, na qual os grãos de areia se depositam no fundo do tanque, devido a sua maior densidade e dimensões, e a matéria orgânica permanece em suspensão, sendo removida nas unidades de tratamento a jusante (VON SPERLING, 2005). A FIG. 1 expõe um modelo simplificado de caixa de areia.

**Figura 1 – Modelo de caixa de areia**



Fonte: Jordão e Pessôa (2009).

### 3.6.2. TRATAMENTO PRIMARIO

Após o esgoto passar pelas unidades de tratamento preliminar, ele ainda apresenta sólidos em suspensão de forma não grosseira, no qual pode ser parcialmente removido em unidades de sedimentação. Uma parte significativa desses sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão. Dessa forma, sua remoção por processos, como a sedimentação, implica na redução da carga de DBO dirigida ao tratamento secundário, onde sua remoção é de certa forma mais onerosa. A eficiência da remoção de sólidos em suspensão situa-se em torno de 60 a 70%, e a de DBO é em torno de 25 a 35% (VON SPERLING, 2005).

A principal função do decantador primário é a clarificação do esgoto, removendo sólidos de forma isolada ou floculados sedimentados devido ao seu peso próprio. A acumulação destes no fundo do decantador dá origem ao lodo primário. Neste ponto também é realizada a remoção de sólidos flutuantes, como óleos, graxas e espumas (NUVOLARI, 2011).

No início os decantadores eram projetados com a função de remoção de sólidos que estavam suspensos, diante disso foram ao longo do tempo adaptados para a remoção de óleos, gorduras, e materiais similares, uma vez que essa remoção, no Brasil, era bastante ineficiente em nível residencial. O exemplo deste fato é que no município de Pato Branco, no estado do Paraná, 45% dos imóveis vistoriados pela concessionária responsável pela coleta de esgoto local não possuíam caixa de gordura instalada, fazendo com que a gordura fosse encaminhada pelas tubulações, oferecendo riscos de entupimentos, retorno de esgoto para os imóveis e dificuldade no tratamento dos efluentes (SANEPAR, 2011).

Em função dos grandes volumes dos tanques, e também da possibilidade da sedimentação dos sólidos poder ocorrer satisfatoriamente em outras unidades (reatores UASB, lagoas de estabilização, dentre outros) a necessidade da utilização de decantadores primários está cada vez mais questionada, restringindo-se atualmente aos sistemas de lodos ativados convencional (neste caso, os decantadores primários localizam-se à montante deste sistema) (VON SPERLING, 2005).

### 3.6.3. TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Nesta etapa de tratamento estão presentes os mecanismos físicos e biológicos, mas existe uma predominância dos mecanismos biológicos, no qual o objetivo principal é a remoção de materiais orgânicos e ocasionalmente nutrientes (fósforo e nitrogênio), na qual a sedimentabilidade mais lenta destes faz com que permaneçam no esgoto. (VON SPERLING, 2005).

Segundo Nuvolari (2011), os índices de remoção dos coliformes e da DBO fica em torno de 60 a 99%, (com eventual remoção de alguns nutrientes, como nitrogênio e fósforo). Uma grande quantidade de microrganismos toma parte nesta etapa, como protozoários, fungos e bactérias, entre outros. Este processo ocorre com o contato efetivo entre o material orgânico presente e os microrganismos, de forma que a matéria seja utilizada como alimento pelos organismos, e convertida em gás carbônico, água e material celular.

Em geral essa etapa de tratamento constitui-se de lagoas de estabilização, lodo ativado, filtro biológico ou variante. Estes tratamentos são normalmente constituídos por tanques (de formas variadas) com grande quantidade de microrganismos aeróbios ou anaeróbios. O efluente do reator contém ainda matéria orgânica remanescente e grande quantidade de microrganismos, sendo muitas vezes necessário um tratamento terciário (JUNIOR, M. A.F.C, 2014).

### 3.6.4. TRATAMENTO TERCIÁRIO

O objetivo desta etapa é a remoção de poluentes específicos, como compostos não biodegradáveis ou tóxicos, e ainda a remoção complementar de poluentes residuais

do tratamento secundário (nitrogênio, fósforo, metais pesados, microrganismos patogênicos, entre outros) (NUVOLARI, 2011).

A cloração para desinfecção, ozonização para desinfecção e remoção de substâncias orgânicas complexas, e filtração rápida, para remoção dos sólidos em suspensão, são os processos mais utilizados, porém todos estes são bem raros no país (VON SPERLING, 2005).

Os processos de tratamento terciários mais utilizados são: desinfecção, adsorção por carvão ativado, processo de separação por membranas e processo por oxidativo avançado (POA).

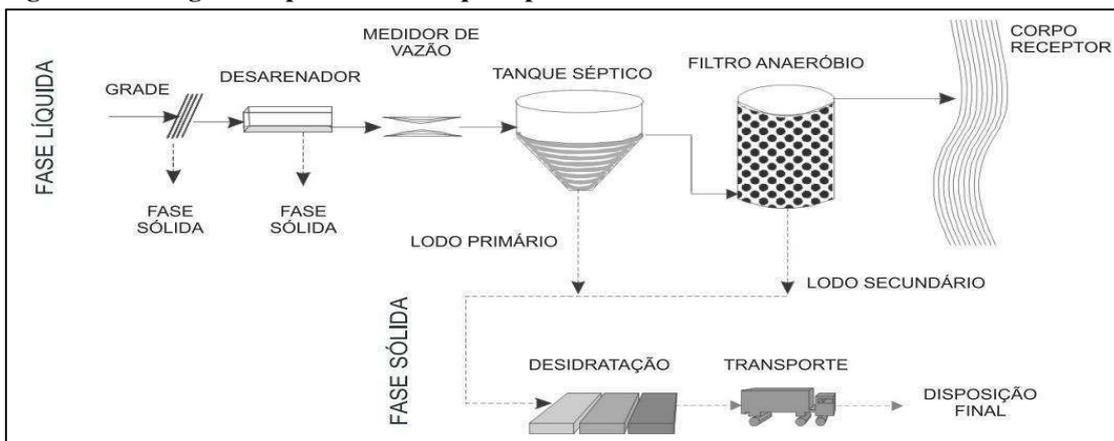
### 3.7. ALGUNS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

#### 3.7.1. SISTEMAS ANAERÓBIOS

A grande vantagem da aplicação destes tipos de sistemas é a economia de área que eles proporcionam, fato que consolida esta técnica no país, pois a maioria dos estudos para alternativas de tratamento de esgoto inclui reatores anaeróbios como principal opção. A desvantagem de sua utilização fica por conta de sua capacidade limitada de remoção de matéria orgânica, e baixa eficiência na remoção de patógenos e nutrientes, fazendo-se necessário pós-tratamento, seja para o reuso ou para o seu lançamento em corpos receptores (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

Em comunidades de pequeno porte, no meio rural e até em grandes centros urbanos sem sistema de coleta e tratamento de esgoto utiliza-se bastante a combinação de tanque séptico, encarregado de remover a maior parte dos sólidos suspensos, e o filtro anaeróbio, o qual remove os resíduos de DBO ainda presentes, especialmente a sua fração solúvel (FIG. 2).

**Figura 2 - Fluxograma típico de um tanque séptico e filtro anaeróbio.**



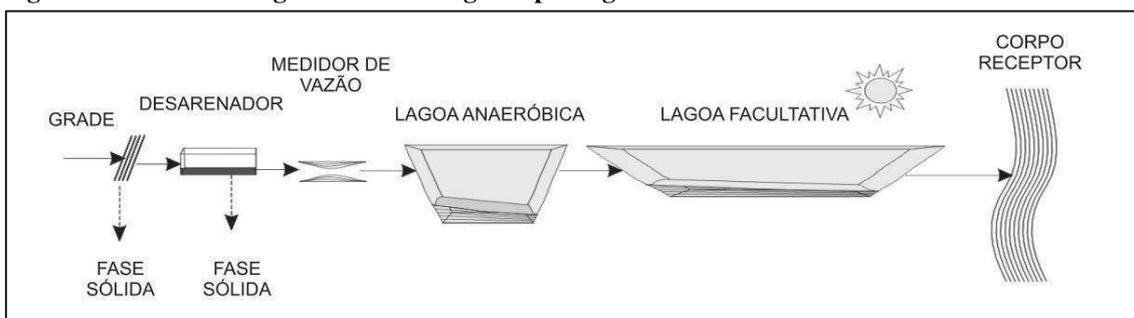
Fonte: Von Sperling (2005).

### 3.7.2. SISTEMA DE LAGOA ANAERÓBIA COM LAGOA FACULTATIVA

O processo de tratamento por lagoa facultativa, apesar de dispor de uma eficiência satisfatória, requer uma grande área para sua implantação, sendo que muitas vezes não é disponível na localidade do estudo. No entanto, existe uma necessidade de se buscar soluções que possam implicar na redução da área total requerida. Uma destas soluções é a do sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. Neste caso, a lagoa facultativa é também denominada de lagoa secundária, já que recebe o afluente de uma unidade de tratamento a montante, e não o esgoto bruto (VON SPERLING, 2005). No caso da utilização de lagoa anaeróbia e lagoa facultativa em conjunto, a lagoa anaeróbia (de menor volume e maior profundidade) converte de 50 a 65% da DBO em líquidos e gases, e a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa (CAMPOS, 1999).

Este sistema, se comparado a uma única lagoa facultativa, ocupa área inferior, como demonstrado na (FIG. 3).

**Figura 3 - Sistema de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa.**

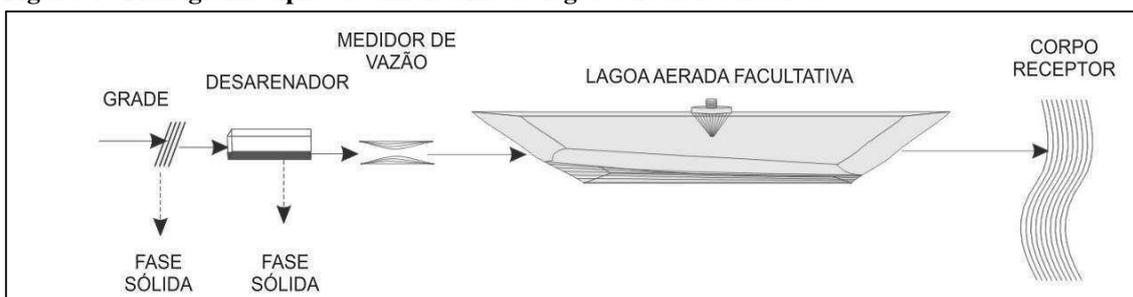


Fonte: Von Sperling (2005).

### 3.7.3. LAGOA AERADA FACULTATIVA

Nos locais onde a área para a implantação das técnicas de lagoas anaeróbias seguidas de facultativas não é suficiente, existe a opção da utilização de lagoas facultativas aeradas, onde os mecanismos de remoção da DBO são similares às lagoas facultativas, porém grande parte do oxigênio é fornecida por aeradores mecânicos, ao contrário das alternativas anteriores em que o oxigênio era proveniente exclusivamente da fotossíntese das algas. Os sólidos do esgoto e a biomassa bacteriana (proveniente da aeração) sedimentam, em sua maioria, e são decompostos anaerobiamente no fundo do sistema (CHERNICHARO *et al.*, 2006). O sistema típico de lagoa aerada facultativa está representado abaixo pela (FIG. 4).

**Figura 4 - Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada facultativa.**



**Fonte: Von Sperling (2005).**

### 3.7.4. DISPOSIÇÃO DE EFLUENTES NO SOLO

As formas mais comuns para a disposição final de efluentes líquidos tratados são os cursos d'água e o mar. Entretanto, Von Sperling (2005) afirma que a disposição final no solo é também um processo viável e aplicado em diversos locais no mundo.

A aplicação de esgotos no solo pode ser considerada uma forma de disposição final de tratamento (nível primário, secundário, ou terciário), ou ambos. Os esgotos aplicados no solo conduzem à recarga do lençol subterrâneo, dessa forma o esgoto acaba suprindo as necessidades das plantas, tanto em termos de água, quanto de nutrientes.

Os tipos mais comuns de aplicação no solo são:

Sistemas com base no solo:

- Infiltração (infiltração lenta ou fertirrigação);

- Infiltração rápida (alta taxa ou infiltração - percolação);
- Infiltração superficial;
- Escoamento superficial;

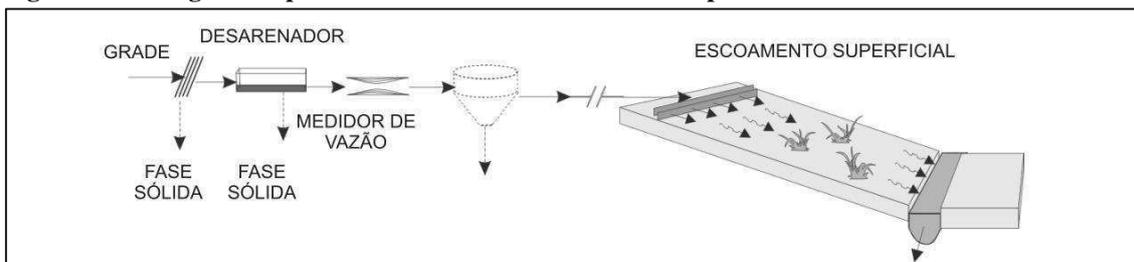
Sistemas com base na água:

- Terras úmidas construídas (banhados artificiais).

As alternativas de escoamento superficial e de *wetlands* (terras úmidas) formam atualmente os processos com maior aplicabilidade no país. Ambas as técnicas apresentam grande capacidade de remoção de DBO, nutrientes, principalmente o nitrogênio, devido a interações químicas no solo e absorção pela biomassa vegetal, e parasitas (mecanismos físicos de retenção). Se considerada a compatibilização dos sistemas de tratamento de esgoto e de irrigação, estas duas alternativas podem constituir alternativas de reuso, considerando a possibilidade de produção de biomassa para a ingestão animal (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

Nos sistemas de escoamento superficial, os esgotos são distribuídos na parte superior de terrenos inclinados, por onde escoam até encontrarem valas e serem coletados na parte inferior do terreno. Sua aplicação é intermitente, e seus tipos de aplicação são aspersores de alta pressão, aspersores de baixa pressão e tubulações ou canais de distribuição com aberturas devidamente espaçadas (CAMPOS, 1999).

**Figura 5 - Fluxograma típico de um sistema de escoamento superficial.**

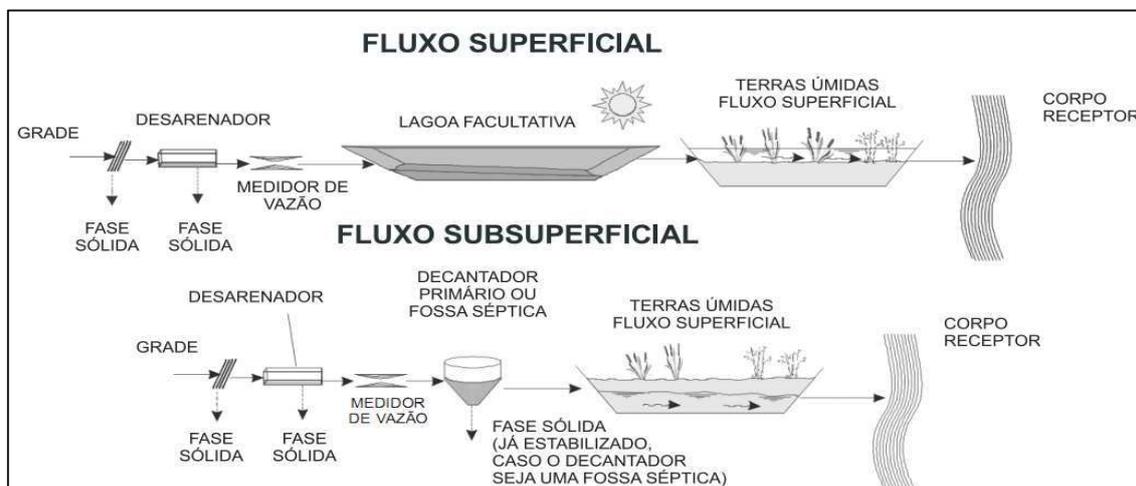


Fonte: Von Sperling (2005).

As *wetlands* ou terras úmidas construídas são sistemas formados por canais rasos com plantas aquáticas, podendo ocorrer de forma superficial (com o nível d'água acima do nível do solo) ou subsuperficial (nível d'água abaixo do nível do solo), ambos demonstrados na (FIG 6). O tratamento dos esgotos ocorre por meios de mecanismos biológicos, químicos e físicos presentes no sistema solo-água- planta, aonde os níveis de

remoção de DBO, patógenos e nutrientes são similares aos sistemas de disposição no solo (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

**Figura 6 - Fluxogramas típicos de sistema de terras úmidas.**



Fonte: Von Sperling (2005).

### 3.8. EFICIÊNCIA MÉDIA DOS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A TAB. 5 denota, resumidamente, uma comparação da remoção de poluentes dos sistemas de tratamento abordados anteriormente, levando em consideração a remoção de matéria orgânica (BDO), nitrogênio e fósforo.

**Tabela 5 - Eficiências médias dos variados tipos de tratamento de esgoto em relação aos principais poluentes presentes nos esgotos domésticos.**

TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	EFICIÊNCIA MÉDIA DA REMOÇÃO		
	DBO (%)	Nitrogênio (%)	Fósforo (%)
Lagoa facultativa	75-85	< 60	< 35
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	75-85	< 60	< 35
Lagoa aerada facultativa	75-85	< 30	< 35
Infiltração lenta	90-99	> 75	> 85
Infiltração rápida	85-98	> 65	> 50
Escoamento superficial	80-90	< 65	< 35
Terras úmidas construídas ( <i>wetlands</i> )	80-90	< 60	< 35

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

### 3.9. CUSTOS MÉDIOS DOS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A tabela 6 apresenta uma média *per capita* da demanda de área e dos custos de implantação dos diferentes sistemas de tratamento de esgotos domésticos.

**Tabela 6 - Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos.**

<b>SISTEMA</b>	<b>DEMANDA DE ÁREA (m<sup>2</sup>/hab)</b>	<b>CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (R\$/hab)</b>	<b>CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (R\$/hab.ano)</b>
<b>Lagoa facultativa</b>	2,0-4,0	40-80	2,0-4,0
<b>Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa</b>	1,5-3,0	30-75	2,0-4,0
<b>Lagoa aerada facultativa</b>	0,25-0,5	50-90	5,0-9,0
<b>Escoamento superficial</b>	2,0-3,5	40-80	2,0-4,0
<b>Terras úmidas construídas (<i>wetlands</i>)</b>	3,0-5,0	50-80	2,5-4,0

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

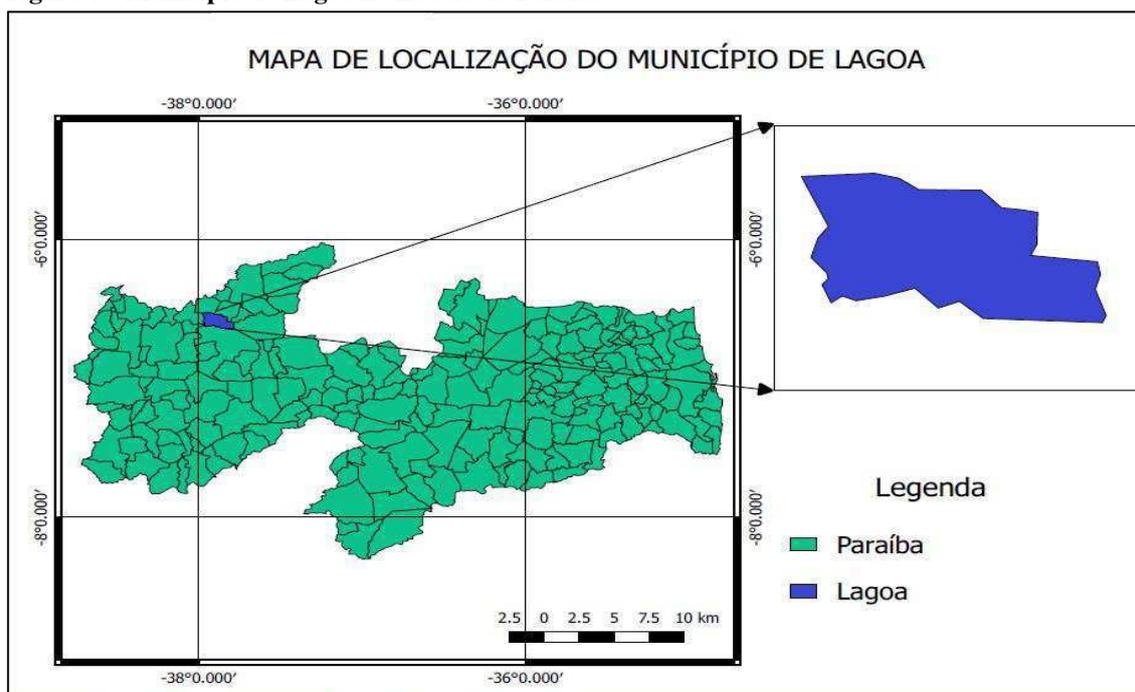
#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aqui apresentada teve como embasamento pesquisas bibliográficas a periódicos, livros e diversas fontes do meio acadêmico relacionadas à temática. Para complementação de dados, foram necessárias entrevistas com funcionário responsável pelo setor de infraestrutura da Prefeitura Municipal de Lagoa, com o propósito de fazer um levantamento prévio das condições do esgotamento sanitário do município.

##### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi desenvolvido na cidade de Lagoa - PB (FIG 7), que compõe um dos 223 municípios pertencentes ao estado da Paraíba, este, que se encontra no Nordeste brasileiro. A referida cidade esta localizada a 398 km da capital João Pessoa, limitando-se ao Norte com o município de Bom sucesso, Jericó e Mato Grosso; a Leste com Paulista; ao Sul com Pombal; e a Oeste, com Santa Cruz. A sede municipal situa-se a uma altitude de 281 metros, e as coordenadas geográficas da sede são de:  $-6.571^{\circ}$  de latitude, e de:  $-37.916^{\circ}$  de longitude.

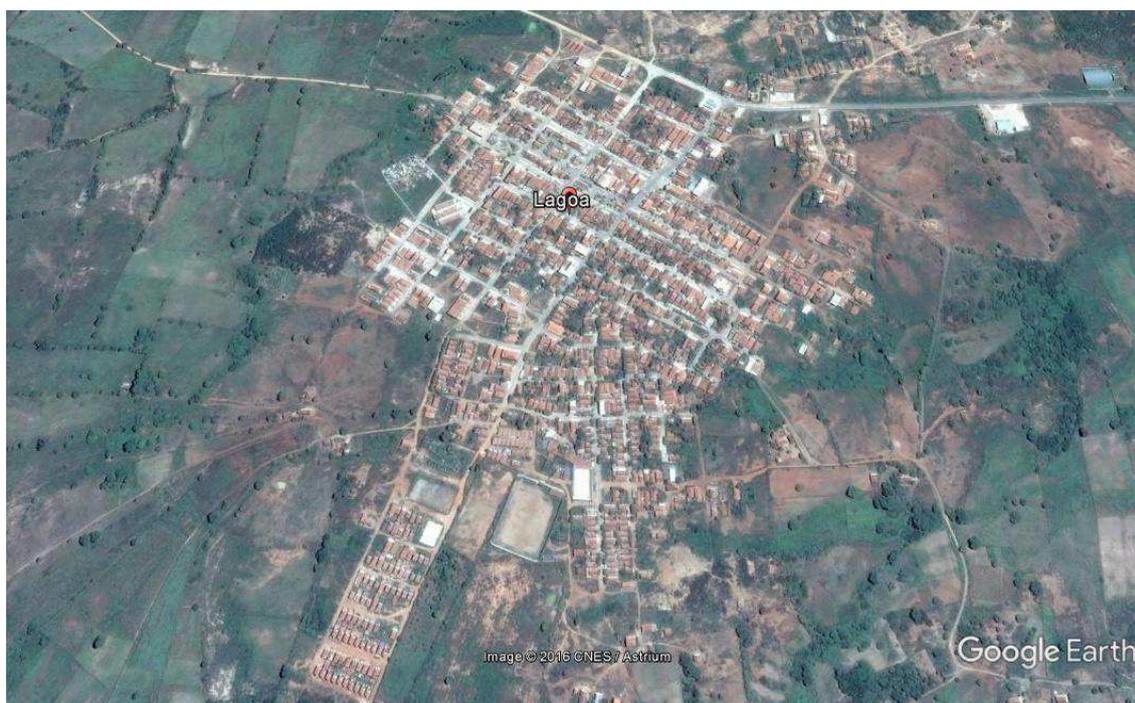
**Figura 7 - Município de Lagoa no Estado da Paraíba.**



Fonte: Autoria Própria (2016).

Segundo CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2005) o município de Lagoa está inserido no Polígono das Secas. Possui clima quente úmido com chuvas de verão e outono. De acordo com a divisão do Estado da Paraíba em regiões bioclimáticas o município possui clima tropical quente de seca acentuada com 7 a 8 meses secos, pluviometria média anual é de 886 mm, com 76% de seu total concentrando-se em 04 meses. A vegetação é do tipo Caatinga-Sertão, e a temperatura média anual é de 26C.

**Figura 8 – Vista aérea do Município de Lagoa-PB.**



**Fonte: Google Earth (2016).**

#### 4.2. SITUAÇÃO ATUAL DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO MUNICÍPIO DE LAGOA

A pesquisa sobre a situação atual do esgotamento sanitário do Município de Lagoa foi realizada por meio de visitas *in loco*, fotografias, documentação e questionários informais a alguns moradores da cidade, também se buscou informações junto ao responsável pelo setor de infraestrutura da prefeitura do referido município.

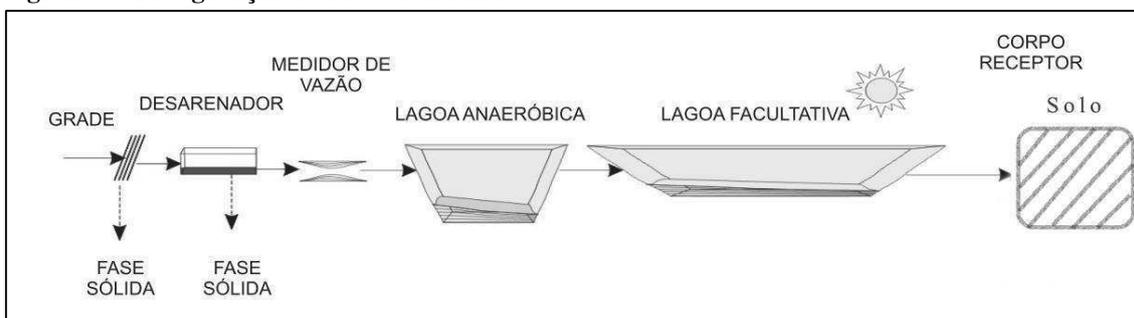
#### 4.3. POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Feito o levantamento da atual situação do esgotamento sanitário do Município, foram diagnosticados os possíveis impactos ambientais decorrentes deste. O diagnóstico foi realizado por meio de visitas a alguns pontos da cidade, sobretudo aqueles que servem como corpo receptor do esgoto gerado e ainda, por meio de fotografias.

#### 4.4. ALTERNATIVA DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA O MUNICÍPIO DE LAGOA

O sistema aqui proposto segue o estabelecido na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 12.209/2011 que versa sobre a ELABORAÇÃO DE PROJETOS HIDRÁULICOS – SANITÁRIOS de estações de tratamento de esgotos sanitários, composto das seguintes unidades de tratamento: grades e desarenador como tratamento preliminar, seguido de Lagoa Anaeróbica e Lagoa Facultativa classificada como sistema Australiano, e posterior lançamento no corpo receptor (FIG 8).

**Figura 9 – Configuração do sistema adotado.**



Fonte – Adaptado de Von Sperling (2005).

Sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de esgotos tem grande aceitação na região do Nordeste brasileiro, pois de acordo com Mota (1997) para o bom funcionamento de lagoas facultativas, faz-se necessário a presença de uma fonte de energia luminosa (radiação solar). Por isso foi adotado o sistema Australiano (lagoa anaeróbica + lagoa facultativa) como sistema de tratamento da cidade de Lagoa – PB.

#### 4.5. LAGOA ANAERÓBIA – LAGOA FACULTATIVA

O processo de tratamento em lagoas facultativas, apesar de possuir uma eficiência satisfatória, requer uma grande área, muitas vezes não disponível na localidade em questão. Há, portanto, a necessidade de se buscar soluções que possam implicar na redução da área total requerida. Uma destas soluções é a do sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. Neste caso, a lagoa facultativa é também denominada uma lagoa secundária, já que recebe o afluente de uma unidade de tratamento a montante, e não o esgoto bruto.

##### 4.5.1. FUNCIONAMENTO

O esgoto bruto entra numa lagoa de menores dimensões e mais profunda (em torno de 4,0 a 5,0 m). Devido às menores dimensões dessa lagoa a fotossíntese praticamente não ocorre. No balanço entre o consumo e a produção de oxigênio, o consumo é amplamente superior. Predominam, portanto, condições anaeróbias nessa primeira lagoa, denominada, em decorrência, lagoa anaeróbia.

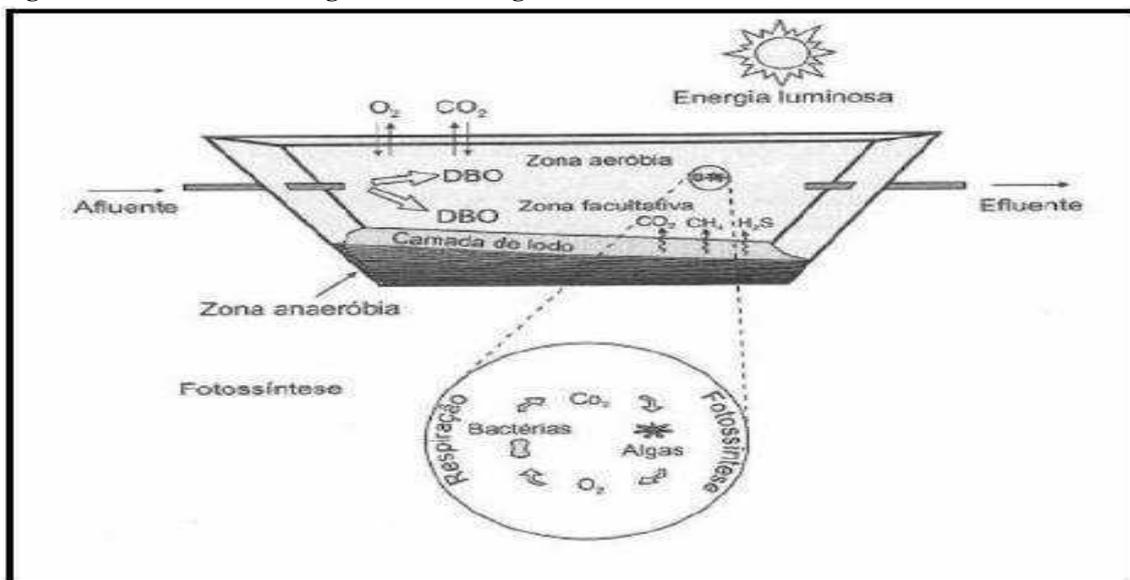
As bactérias anaeróbias tem uma taxa metabólica e de reprodução mais lenta do que as bactérias aeróbias. Assim sendo, para um período de permanência de apenas 2 a 5 dias na lagoa anaeróbia, a decomposição da matéria orgânica é apenas parcial. Mesmo assim, essa remoção da DBO, da ordem de 50 a 70%, apesar de insuficiente, representa uma grande contribuição, aliviando sobremaneira a carga para a lagoa facultativa, situada à jusante.

A lagoa facultativa recebe uma carga de apenas 30 a 50% da carga do esgoto bruto, podendo ter, portanto, dimensões bem menores. O requisito de área total (lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa) é tal, que se obtém uma economia de área da ordem de 1/3, comparado a uma lagoa facultativa única.

Na lagoa facultativa a matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo. Este lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, metano e outros compostos. A fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo.

A matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada), não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. A sua decomposição se dá através de bactérias facultativas, que tem a capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio livre. Essas bactérias utilizam-se da matéria orgânica como fonte de energia, alcançada através da respiração. Na respiração aeróbia, há a necessidade da presença de oxigênio, o qual é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. Há, assim, um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico (FIG 9).

**Figura 10 – Funcionamento geral de uma Lagoa Facultativa.**



Fonte: Von Sperling (2005).

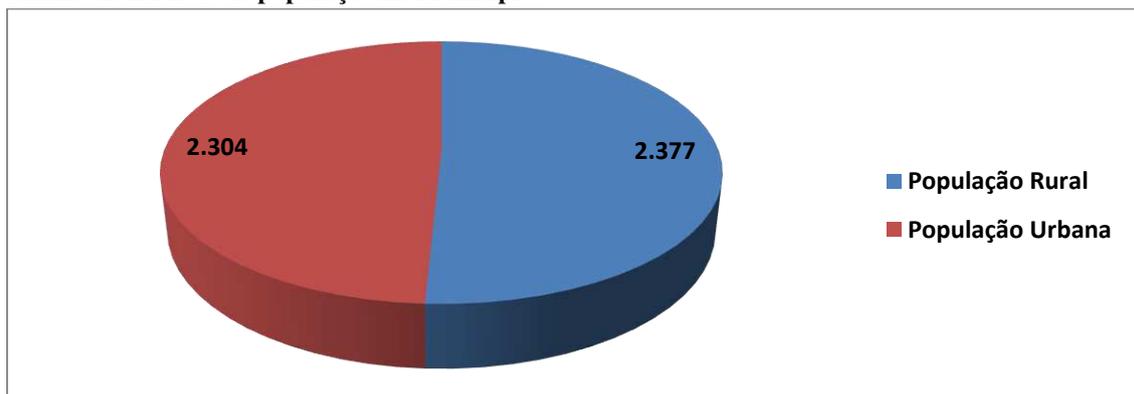
## 5. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PROPOSTO

Para o dimensionamento do sistema de tratamento de esgoto aqui, inicialmente foram obtidos dados relativos ao sistema de tratamento de esgoto do município na Prefeitura Municipal e outros dados complementares adquiridos no IBGE. Buscou-se ainda, informações por meio de pesquisas bibliográficas referentes ao assunto, bem como técnicas propostas pela ABNT para o dimensionamento de estação de tratamento de esgoto.

## 5.1. POPULAÇÃO TOTAL

Se tratando da população do município, segundo os dados do censo 2010 do IBGE, Lagoa encontra-se bem dividida entre a população urbana e rural, tal fato pode ser explicado através da economia local na qual se baseia muito na produção de grãos e criação de animais.

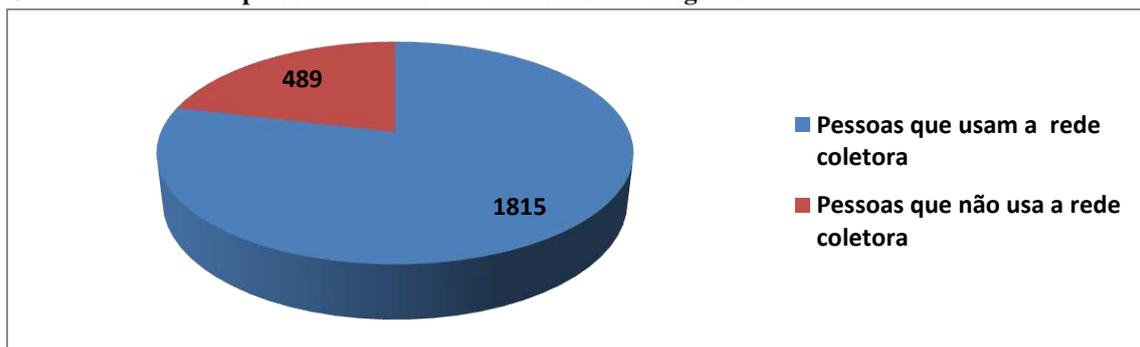
**Gráfico 2: Divisão da população no Município.**



Fonte: Adaptado de IBGE(2010).

Entretanto, de toda a população residente na zona urbana, apenas uma parte possui seu esgoto ligado ao sistema de coleta da cidade, conforme o GRAF. 3 representado a seguir:

**Gráfico 3: Índice de pessoas usuárias da rede coletora de esgotos.**



Fonte: Prefeitura Municipal de Lagoa (2016).

Tendo em vista a garantia do sistema em longo prazo, foi considerada para efeito de projeto uma quantidade um pouco acima da população residente na zona urbana sendo considerado que um sistema futuro de coleta beneficie toda a população urbana, sendo esta de 2304 habitantes, nos quais foi considerado como sendo uma população

permanente. Para o dimensionamento das partes constituintes do sistema de tratamento de esgoto, faz-se necessário determinar os valores de vazões média e instantânea descritos a seguir:

- *Vazão média (Q<sub>m</sub>):*

$$Q_m = P \cdot q \cdot C$$

Onde:

**P** - População (2304 habitantes);

**q** - Contribuição de esgoto per capita,

130 l/hab.dia para habitantes da cidade (NBR 7229);

**C** - Coeficiente de retorno da água, adotou-se o coeficiente de 1 (NBR 9648).

- *Vazão instantânea (Q<sub>i</sub>):*

$$Q_i = Q_m \cdot K_1 \cdot K_2$$

Onde:

**Q<sub>m</sub>** - vazão média;

**K<sub>1</sub>** - coeficiente do dia de maior consumo (1,2);

**K<sub>2</sub>** - coeficiente da hora de maior consumo (1,5).

## 5.2. UNIDADE DE TRATAMENTO PRELIMINAR

Foram adotadas como unidades de tratamento preliminar de esgoto grades seguidas de caixa de areia, para a remoção dos sólidos grosseiros e da areia presente no esgoto bruto, dessa forma tais constituintes serão descritos a seguir:

### a. Gradeamento

Alguns fatores devem ser previamente obedecidos para evitar danos nos equipamentos devido à passagem de material grosseiro, assim como também ter um aumento da eficiência do sistema de tratamento.

- Retirar periodicamente o material retido nas barras;

- Depositar o material retirado em local devidamente adequado – caçambas, recipientes tampados, onde tais locais devem ser fora do acesso de insetos, especialmente moscas;
- Executar regularmente a manutenção dos equipamentos, tais como lubrificação de engrenagens e substituição de peças desgastadas;
- Utilizar dispositivos para minimizar os impactos pela emissão de odores, tais como aspersão de produtos biológicos que são comercializados ou pelo fechamento do canal de chegada;
- Encaminhar o material retido para disposição final adequada.

A seguir são apresentados os parâmetros considerados no dimensionamento das grades grossas.

**Vazão máxima ( $Q_i$ ):** corresponde a vazão final do esgoto sanitário encaminhado a ETE. De acordo com a NRB 12.209/2011 a vazão de dimensionamento das grades deve ser a vazão máxima afluyente a ETE, que no caso seria de  $6,24 \text{ L/s} = 6,24 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Velocidade máxima ( $V_{\max}$ ):** segundo a NBR 12.209/2011 a velocidade máxima deverá ser de  $1,20 \text{ m/s}$ . Nesse caso será adotada a velocidade de  $1 \text{ m/s}$ .

A velocidade em que o afluyente passará pelas grades não pode ser muito alta para não arrastar o material previamente retido, e não pode ser tão baixa, a fim de não permitir o acúmulo de material de sedimentação.

**Inclinação da barra ( $I_b$ ):** de acordo com a NBR 12.209/2011 a inclinação deve variar entre  $60^\circ$  e  $90^\circ$ , neste trabalho será adotada a inclinação de  $60^\circ$ .

**Espaçamento entre barras ( $E_b$ ):** o espaçamento entre barras é adequadamente projetado para reter o material que se pretende remover, com baixa perda de carga. De acordo com a NBR 12.209/11, o espaçamento entre barras grossas deverá ser de  $40 \text{ mm}$  a  $100 \text{ mm}$ , será adotado um valor de  $50 \text{ mm}$ .

**Espessura da barra ( $E_{speb}$ ):** segundo JORDÃO E CONSTANTINO (2011) as barras devem ser robustas para suportar o impacto devido a procedimentos operacionais e possíveis acúmulos de materiais retidos. Será adotado um valor de 9,5 mm de espessura, tal valor é típico para barras grossas.

**Altura da grade ( $h$ ):** De acordo com a inclinação e o comprimento da grade é calculada a altura da grade. A altura da grade será de 0,50 m.

**Perda de carga ( $P_c$ ):** de acordo com a NBR 12.209/11, a perda de carga mínima para permitir o fluxo normal dos esgotos a ser considerada no cálculo para grades de limpeza manual é de 0,15 m.

**Eficiência da grade grossa ( $E_{gg}$ ):** a eficiência das grades é função da espessura das barras e do espaçamento entre elas.

$$E = \frac{a}{a + t}$$

Onde:

$a$  = espaçamento entre barras (50 mm);

$t$  = espessura de barras (9,5 mm).

**Área útil ( $AU$ ):** é a superfície de contato por onde o esgoto passa.

$$Au = \frac{Qi}{vel. max.}$$

Onde:

$Qi$  = vazão instantânea (6,24 L/s);

Vel. Max. = velocidade máxima (1m/s).

**Seção transversal do canal ( $Stc$ ):** corresponde a área de passagem transversal do efluente no canal. Será considerada altura de borda livre de 0,30 m (NBR 12.209/2011) acima da altura da grade, logo a seção transversal é dada pelo quociente entre a área útil e a eficiência da grade.

**Largura do gradeamento grosso (L<sub>gg</sub>):** calculada para atender à área transversal necessária, juntamente com a altura do canal. (Seção adotada = 0,10 m<sup>2</sup>).

$$L_{gg} = \frac{Stc}{h}$$

Onde:

Stc = seção transversal do canal;

h = altura da grade.

Em seguida, para o dimensionamento das grades finas foram considerados:

**Espaçamento entre barras (Eb):** o espaçamento entre barras é devidamente projetado para se remover partículas sólidas de menor diâmetro. O espaçamento para a grade fina deve ser de 10 mm a 20 mm (NBR 12.209/2011). Será adotado nesse trabalho um espaçamento de 20 mm.

**Espessura da barra (E<sub>speb</sub>):** serão adotadas barras de 8 mm de espessura, sendo este valor típico para barras finas (JORDÃO E CONSTANTINO, 2011).

**Altura da grade (h):** a altura da grade fina será a mesma altura da grade grossa para facilitar a construção. Sendo assim a altura da grade fina será de 0,50 m.

**Perda de carga (Pc):** a perda de carga mínima a ser considerada no cálculo será de 0,15 m para limpeza manual (NBR 12.209/2011).

**Eficiência da grade fina (E<sub>gf</sub>):** determinada através da qualidade do esgoto a jusante, observando-se a não obstrução das barras, o fluxo normal do esgoto, assim também como a perda de carga mínima. A eficiência da grade fina é de 71,42%.

$$E = \frac{\text{Espaçamento entre barras}}{\text{Espessura da barra} + \text{Espaçamento entre barras}}$$

**Área útil (AU):** superfície de contato por onde o esgoto passa, sendo esta de 0,006 m<sup>2</sup>.

**Seção transversal do canal (Stc):** área de passagem transversal do afluyente no canal. Seção transversal é: 0,10 m<sup>2</sup>.

**Largura do gradeamento fino (Lgf):** calculada para atender a área transversal necessária. A largura será de 0,2 m

As grades de barras, peneiras e respectivos dispositivos de limpeza e remoção dos sólidos retidos devem ser constituídas de materiais resistentes à corrosão e abrasão, tais como ligas de aço inox 304 ou superior e resinas de plástico (NBR 12.209/2011).

#### **b. Caixa de areia**

A caixa de areia visa remover as partículas de areia presentes no esgoto para evitar abrasão nos equipamentos e tubulações, eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução nas instalações do sistema e facilitar o transporte do líquido.

**Velocidade de sedimentação (Vs):** a velocidade de sedimentação adotada será de acordo com a velocidade crítica, ocorrendo o arraste das partículas que se deseja reter, ou até mesmo, daquelas partículas já sedimentadas, onde tais partículas estão sujeitas a essa velocidade (JORDÃO E CONSTANTINO, 2011). Será adotada a velocidade de sedimentação de 0,25 m/s.

**Diâmetro da partícula (Dp):** o diâmetro da partícula, assim como sua densidade serão adotados de acordo com a NBR 12.209/2011, os valores adotados são 0,2 mm e 2,6 mm, respectivamente.

**Comprimento da caixa de areia (Cca):** adotando o valor de 0,5 m para a largura da caixa de areia, encontra-se o comprimento mínimo de 0,075 m. Será adotado o valor de 1,5 m para atender os parâmetros da taxa de aplicação superficial. Para o comprimento mínimo foi utilizada a seguinte formula:

$$Cca = 1,5 \times \frac{Qi}{L \times Vs}$$

Onde:

$Q_i$  = Vazão instantânea;

$V_s$  = velocidade de sedimentação;

$L$  = largura adotada.

**Área transversal de escoamento ( $A_{te}$ ):** a seção transversal deve ser tal que a velocidade de escoamento esteja na faixa de 0,20 m/s a 0,40m/s (NBR 12.209/2011). Adotou-se para a velocidade de escoamento o valor de 0,30 m/s. A área transversal é de 0,02 m<sup>2</sup>.

$$A_{te} = \frac{Q_i}{V_e}$$

Onde:

$Q_i$  = velocidade instantânea;

$V_e$  = velocidade de escoamento.

**Lamina D'água mínima na caixa de areia ( $L_{água}$ ):** no fundo e ao longo do canal deve-se ter um espaço para a acumulação do material sedimentado com seção transversal mínima de 0,20 m de profundidade e 0,20 m de largura (NBR 12.209/2011). Para o cálculo da lamina D'água foi-se utilizada a equação abaixo, obtendo o valor de 0,1 m.

$$H_m = \frac{A_{te}}{L}$$

Onde:

$A_{te}$  = área transversal de escoamento;

$L$  = largura do canal.

**Velocidade máxima real do escoamento ( $V_{\max Real}$ ):** segundo a NBR 12.209/2011 a velocidade de escoamento deve variar entre 0,25 e 0,40 m/s. Tendo em vista que com esses valores pode-se garantir que a velocidade se mantenha constante. A velocidade máxima real de escoamento encontrada foi de 0,29 m/s.

$$V = \frac{Q_i}{L \times L_{água}}$$

Onde:

$Q_i$  = vazão instantânea;

$L$  = largura do canal;

Láguia = Lamina D'água mínima na caixa de areia.

**Volume diário de sólidos sedimentados ( $V_{dss}$ ):** adotando-se um valor para a taxa de sedimentação de  $0,00007 \text{ m}^3/\text{m}^3$  e tempo de sedimentação de  $86.400 \text{ s}$  (JORDÃO E CONSTANTINO, 2011), pode-se calcular o volume diário de sólidos sedimentados, sendo este igual a  $0,04 \text{ m}^3$ .

$$V_{dss} = T_{sed} \times Q_i \times T_{sedimentação}$$

Onde:

$T_{sed}$  - taxa de sedimentação;

$Q_i$  - vazão instantânea;

$T_{sedimentação}$  - tempo de sedimentação.

**Profundidade da câmara de sedimentação ( $P_s$ ):** no fundo e ao longo do canal deve ser projetado um espaço para acumulação das partículas sedimentadas e esse espaçamento deve ter profundidade mínima de  $0,20 \text{ m}$  (NBR 12.209/2011). A profundidade da câmara de sedimentação foi de  $0,4 \text{ m}$ .

$$P_s = \frac{V_{dss}}{L \times L_{adotado}}$$

Onde:

$L$  = largura do canal;

$L_{adotado}$  = Largura adotada.

#### DIMENSÕES DO CANAL

Largura do canal =  $0,50 \text{ m}$

Altura do canal =  $1,0 \text{ m}$

Comprimento do canal =  $1,5 \text{ m}$

**c. Dimensionamento da calha Parshall**

Segundo Jordão E Constantino (2011), a calha Parshall deve ter 9'' de tamanho, levando em consideração que esse valor é um valor padrão que atendera a vazão, não sendo necessário um cálculo específico para o mesmo.

Vazão Mínima:  $0,5 \times Q_m = 1,73 \text{ L/s}$

Vazão Média:  $3,46 \text{ L/s}$

Vazão Máxima:  $6,24 \text{ L/s}$

**5.3. DIMENSIONAMENTO DA LAGOA ANAERÓBIA**

Para o dimensionamento da Lagoa Anaeróbia foram considerados alguns dados que se fazem necessários para os cálculos, sendo estes:

- Número de pessoas: 2304 hab.;
- Vazão afluyente:  $299,52 \text{ m}^3/\text{d}$ ;
- $\text{DBO}_{\text{afluyente}}$ :  $350 \text{ mg/L}$ ;
- Temperatura:  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- $L_v$ :  $0,15 \text{ kg DBO}_5/\text{d}$ ;
- Eficiência de remoção de DBO desejada: 60%.

**a. Cálculo da carga na alimentação (entrada da lagoa anaeróbia):**

$$\text{Carga (L)} = 350 \text{ mg/L} * 299,52 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$L = 104,83 \text{ kg DBO}/\text{d}$$

**b. Cálculo do volume requerido:**

$$V = \text{Carga} / \text{taxa aplicação volumétrica}$$

$$V = L / L_v$$

$$V = 104,83 / 0,15$$

$$V = 698,88 \text{ m}^3$$

**c. Verificação do tempo de detenção hidráulico (Tdh):**

Recomenda-se  $2,5 \text{ dias} < T_{dh} < 3 \text{ dias}$

$$T_{dh} = V/Q$$

$$T_{dh} = 698,88/299,52$$

$$T_{dh} = 2,5 \text{ d}$$

**d. Determinação da área requerida e dimensões:**

A profundidade da lagoa anaeróbia varia de 3,5 a 5,0 metros, adotou-se aqui uma lagoa de 4,5 m de profundidade. Assim sendo, a área requerida é de:

$$\text{Área} = \text{Volume}/\text{profundidade}$$

$$\text{Área} = 698,88/4,5$$

$$A = 155,3 \text{ m}^2$$

As lagoas anaeróbias variam entre quadradas ou levemente retangulares, com relação comprimento/largura na ordem de 1 a 3. Adotou-se nesse estudo o valor de 2,5.

$$A = B * L = (2,5 * B) * B = 2,5 * B^2$$

Assim temos:

$$\text{Largura (B)} = 7,9 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento (L)} = 19,66 \text{ m}$$

**e. Concentração de DBO efluente da lagoa anaeróbia (saída da anaeróbia):**

Adotar Eficiência de remoção de 60%

$$DBO_{efl} = S_0 * (1 - E/100)$$

$$DBO_{efl} = 140 \text{ mg/L}$$

O Efluente da lagoa anaeróbia será agora o afluente de uma nova lagoa facultativa

$$DBO \text{ entrada da facultativa} = 140 \text{ mg/L}$$

**f. Acumulo de lodo na lagoa anaeróbia:**

Adotar taxa de acumulo de  $0,04 \text{ m}^3/\text{hab.ano}$

$$0,04 * 2304 \text{ hab} = 92,16 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Espessura da camada de lodo em 1 ano

Espessura = acumulação anual \* tempo / área da lagoa

Espessura =  $92,16 * 1 \text{ ano} / 155,3$

Espessura = 0,59 m/ano

Tempo de limpeza será previsto quando a altura de lodo 1/3 da altura útil das lagoas

Tempo para limpeza =  $(H/3) / \text{Espessura}$

$T = 4,5/3 / 0,59 = 2,5 \text{ anos}$

Remoção de lodo aproximadamente a cada 2,5 anos.

#### 5.4. DIMENSIONAMENTO DA LAGOA FACULTATIVA

Para o dimensionamento da Lagoa Facultativa foram considerados alguns dados que se fazem necessários para os cálculos, sendo estes:

- Número de pessoas: 2304 hab.;
- Cota per Capita (CPC): 130 L/hab.d;
- Coeficiente de retorno: 80%;
- DBO afluente: 140 mg/L;
- $L_0$ : 104,83 kg/d;
- Concentração de sólidos suspensos totais (SST): 50 mg/L;
- Temperatura média do efluente no mês mais frio:  $T=24 \text{ }^\circ\text{C}$ .

##### a. Cálculo da vazão média Total ( $Q_t$ ):

$Q_t = \text{CPC} * n^\circ \text{ habitantes}$

$Q_T = 130 * 2304 = 299520 \text{ L/d} = 299,52 \text{ m}^3/\text{d}$

##### b. Carga de efluente à lagoa facultativa (L):

$L = (100 - E) * L_0 / 100$

$L = 41,93 \text{ kg DBO/d}$

**c. Adoção da taxa de aplicação superficial (L<sub>s</sub>):**

Segundo Marcos Von Sperling (1986), para:

Regiões com inverno quente e elevada insolação: L<sub>s</sub> = 240 a 350 kg DBO/ha.d

Regiões com inverno e insolação moderada: L<sub>s</sub> = 120 a 240 kg DBO/ha.d

Regiões com inverno frio e baixa insolação: L<sub>s</sub> = 100 a 180 kg DBO/ha.d

Adotar: 350 kg DBO/ha.d

**d. Cálculo da área para líquido requerida (A):**

A área requerida para a lagoa facultativa é obtida em função da taxa de aplicação superficial (L<sub>s</sub>). A taxa é expressa em termos da carga de DBO. Assim:

$$A = L/L_s$$

$$A = 41,93/350 = 0,12 \text{ ha (1 ha = 10000 m}^2\text{)} \quad \text{Logo: } A = 1200 \text{ m}^2$$

**e. Adotar um valor para profundidade (H) entre 1,5 a 2,0m:**

A profundidade de uma lagoa facultativa é da ordem de 1,5 a 2,0 metros, adotou-se neste estudo um valor de 2,0 metros para a profundidade.

**f. Cálculo do volume líquido resultante (V):**

$$V = A * H$$

$$V = 1200 * 2$$

$$V = 2400 \text{ m}^3$$

**g. Cálculo do tempo de detenção hidráulico (T<sub>dh</sub>):**

$$T_{dh} = V/Q_t$$

$$T_{dh} = 2400/299,52$$

$$T_{dh} = 8 \text{ dias}$$

**h. Adotar valor para coeficiente de remoção de DBO (k) Cinética:**

Lagoa Primária (recebendo efluente bruto)  $K_{20^{\circ}\text{C}} = 0,30$  a  $0,40 \text{ d}^{-1}$

Lagoa secundária (recebendo efluente de lagoa ou reator)  $K_{20^{\circ}\text{C}} = 0,25$  a  $0,32 \text{ d}^{-1}$

$$K_{24^{\circ}\text{C}} = 0,28 \text{ d}^{-1}$$

$K_T$  Real com correção da temperatura –  $\theta = 1,05$  (Arrhenius Termodinâmica)

$$K_T = K_{20^{\circ}\text{C}} * \theta^{(T-20)}$$

$$K_T = 0,34 \text{ d}^{-1}$$

**i. Estimativa da DBO solúvel:**

Regime hidráulico: mistura completa

$$S_f = S_0 / (1 + K_T \cdot T_{dh}) \quad S_f = 140 / (1 + 0,34 \cdot 8)$$

$S_0$  DBO afluente

$S_f$  DBO final  $S_f = 37,6 \text{ mg/L}$  (DBO solúvel efluente ou saída da lagoa)

**j. Estimativa de DBO Particulada:**

Utilizar a Concentração de sólidos Suspensos-SS =  $50 \text{ mg/L}$

Literatura  $1 \text{ mg/L}$  de SS =  $0,30 \text{ mg/L}$  DBO particulada

Logo:  $0,30 * 50 = 15 \text{ mg/L}$  DBO particulada

**k. DBO total efluente (na saída da lagoa)  $S_f$ :**

DBO total = DBO solúvel + DBO particulada

$$\text{DBO total} = 37,6 + 15 = 52,6 \text{ mg/L}$$

**l. Calculo da eficiência na remoção da DBO (E %):**

$$E = (S_0 - S_f) * 100 / S_0$$

$$E = (140 - 52,6) * 100 / 140$$

$$E = 62,4\%$$

**m. Dimensões das Lagoas:**

A relação comprimento/largura de uma lagoa facultativa varia de 2 a 4, adotou-se para esta relação o valor de 2,5.

(L/B) de 2,5 em cada lagoa.

$$\text{Área lagoa} = 1200 \text{ m}^2$$

$$A = L * B = (2,5 * B) * B = 2,5 B^2$$

$$\text{Largura } B = 21,9 \text{ m e comprimento } L = 54,8 \text{ m}$$

**n. Área total requerida para todo sistema:**

A Área total requerida para as lagoas, incluindo os taludes, urbanização, vias internas, laboratório, estacionamento e outras áreas de influência, é cerca de 25% a 35% maior que a área líquida calculada a meia altura, assim adotamos 30%:

$$\text{Área líquida total} = A_{\text{Anaeróbia}} + A_{\text{Facultativa}}$$

$$\text{Área líquida total} = 0,015 + 0,12 = 0,135 \text{ ha ou } 1350 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{total}} = 1,3 * A_{\text{liq}}$$

$$A_{\text{total}} = 1,3 * 1350 = 1755 \text{ m}^2 \text{ ou } 0,175 \text{ ha (hectares)}$$

$$\text{Área per capita} = 1755 / 2304 \text{ habitantes} = 0,76 \text{ m}^2/\text{há}$$

**o. Acumulação de lodo:**

Acumulo anual de 0,05 m<sup>3</sup>/ habitante (de acordo com a literatura)

$$\text{Acumulo anual} = 0,05 * 2304 = 115,2 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Espessura em 1 ano:

$$\text{Espessura} = \text{acumulo} * 1 \text{ ano} / \text{área de líquido}$$

$$\text{Espessura} = 115,2 * 1 / 1200$$

$$\text{Espessura} = 9,6 \text{ cm} / \text{ano}$$

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. CARACTERIZAÇÕES DA ÁREA DE ESTUDO

Dentre os principais prédios de serviços que se encontram localizados na zona urbana da cidade, pode-se citar: quatro escolas (sendo duas Estaduais e duas Municipais), uma maternidade, um posto de vacinação, um mercado público, dois postos de combustíveis, uma creche, duas praças públicas, dentre outros.

Se tratando dos sistemas de coleta de esgoto, segundo informações obtidas na Prefeitura Municipal a cidade possui uma rede coletora de efluentes domésticos, mas a rede não beneficia toda a população, fazendo com que parte da população lance seus esgotos a céu aberto.

### 6.2. ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DO MUNICÍPIO DE LAGOA-PB

A proposta da estação de tratamento de esgoto apresentada neste estudo visa minimizar alguns problemas socioambientais decorrentes do atual sistema de tratamento do Município de Lagoa- PB. Tal sistema é formado por rede coletora instalada em algumas casas do município, não atendendo a toda a demanda.

O sistema coletor de esgoto lança, a céu aberto, os efluentes sem tratamento em ponto mais baixo da cidade através de tubulações de concreto (FIG 11). O ponto de despejo dos efluentes é um terreno particular que é usado para o cultivo de grãos e também para a criação de bovinos. Segundo informações obtidas pelo proprietário do terreno, o esgoto causa odores indesejáveis, contudo afirmou que apesar do inconveniente ele utiliza a vazão de lançamento inadequado para a manutenção da plantação de capim braquiária, que é usado para alimentação de seu rebanho.

**Figura 11 – Local de destinação final do esgoto da cidade.**



Fonte: Google Earth (2016).

Na FIG. 12 é mostrada a tubulação de lançamento de esgotos no solo e o percurso após ser lançado.

**Figura 12 – Ponto de desague dos efluentes e seu curso.**



Fonte: Autoria própria (2016).

Vale ressaltar que esse tipo de despejo quando lançado sem tratamento, causa impactos diretos e indiretos para a população que ali reside, pois o sistema adotado na cidade apresenta inúmeras falhas que pode trazer consequências adversas ao meio ambiente e à saúde pública.

### 6.3. LEVANTAMENTO DOS PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DO ATUAL SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A partir de observações feitas no local em estudo, foram relacionadas as ações de despejos de esgotos em locais inadequados, com ênfase para os que apresentam um

potencial de causar danos ambientais, como, por exemplo, contaminação do solo, proliferação de vetores e conseqüentemente o comprometimento da saúde da população do município, poluição das águas onde tais esgotos são lançados, etc.

Na FIG. 13 tem-se o despejo de esgoto a céu aberto dentro da cidade que gera um grande impacto para a população, principalmente em tempos chuvosos.

**Figura 13 – Esgoto a céu aberto dentro da cidade.**



Fonte: Autoria própria (2016).

O principal aspecto ambiental identificado foi o acúmulo de esgoto parado e sem o devido tratamento, causando impactos ambientais negativos, conseqüentemente comprometendo a fauna e a flora local, além de causar danos à saúde da população que ali vive, e ainda odores desagradáveis, e uma subsequente proliferação de mosquitos nas proximidades dos despejos de efluentes. Tais lançamentos são responsáveis por danos ao meio biótico, abiótico e antrópico que muitas vezes tornam-se irreparáveis. Dentre os impactos ambientais causados pelo atual serviço de esgotamento sanitário do município de Lagoa, podem ser citados os que estão apresentados na TAB. 7.

**Tabela 7 – Impactos Ambientais causados pelos despejos inadequados dos efluentes.**

<b>Impacto Ambiental</b>	
<b>Meio Físico</b>	Degradações da paisagem.
	Poluição do solo.
	Contaminação do lençol freático.
<b>Meio Biótico</b>	Perturbação da fauna e da flora.
	Reduções do <i>habitat</i> disponível.
<b>Meio Antrópico</b>	Intrusão visual.
	Aumento de doenças relacionadas ao mau saneamento básico.

Fonte: Autoria própria (2016).

Vale salientar que tais impactos decorrentes deste fenômeno são geralmente negativos, assim como todos que foram listados na TAB. 7.

#### 6.4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Para um bom funcionamento da futura estação de tratamento de esgoto do Município de Lagoa-PB, é importante saber o tipo de efluente gerado. Segundo informações da Prefeitura Municipal a maioria dos efluentes gerados em toda a cidade é de origem doméstica.

Deve-se ressaltar que neste trabalho não foi dimensionado uma estação elevatória em virtude de não ter sido definido o local de implantação da estação de tratamento de esgotos, isto é, o sistema pode ser implantado em um local que o efluente siga sua trajetória por gravidade, não sendo necessária a adução por recalque.

Para facilitar a discussão, optou-se pela análise individual de cada componente do sistema de tratamento. Com base nos dados populacionais do censo 2010 do IBGE podem-se calcular as vazões do efluente encaminhado a ETE, como mostrado na TAB. 8.

**Tabela 8 – Parâmetros iniciais de projeto.**

<b>Dados de Projeto</b>	<b>Resultados</b>
População total	2304
Vazão média total	299.520 l/hab. dia
Vazão instantânea	539.136 l/hab. dia

**Fonte: Autoria própria (2016).**

Conforme mencionado, o sistema de tratamento proposto neste estudo é composto pela etapa preliminar (gradeamento, caixa de areia e calha parshal), seguida de uma lagoa anaeróbia + lagoa facultativa que compõe o sistema Australiano de tratamento de efluentes. A etapa preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros, tendo em vista evitar danos aos equipamentos do sistema. A seguir são mostrados os valores para o dimensionamento do tratamento preliminar, sendo o gradeamento o composto por grades grossas e finas (TAB. 9).

**Tabela 9 – Dimensões do gradeamento.**

<b>Gradeamento grosso</b>	<b>Dimensões</b>
Largura do canal	0,20 m
Altura do canal	0,80 m
Comprimento do canal	2,50 m
Eficiência	84%
<b>Gradeamento fino</b>	<b>Dimensões</b>
Largura do canal	0,20 m
Altura do canal	0,80 m
Comprimento do canal	2,50 m
Eficiência	71,42%

Fonte: Autoria própria (2016).

A caixa de areia foi dimensionada de acordo com os valores de vazões calculados anteriormente, tal unidade visa eliminar por decantação, a areia presente no efluente. Os valores obtidos para a caixa de areia estão dentro dos padrões estabelecidos pela NBR 12.209/2011 que rege as diretrizes para projetos de tratamento de esgoto sanitário. Também foi observado que a caixa de areia não ocupará espaços muito extensos TAB. 10.

**Tabela 10 - Valores estabelecidos para a caixa de areia.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
Altura	1,0 m
Largura	0,5 m
Comprimento mínimo	1,5 m
Velocidade máxima real	0,29 m/s
Profundidade da câmara de sedimentação	0,40 m

Fonte: Autoria própria (2016).

Por fim, nas TABS. 11 e 12 são apresentados os dimensionamentos das lagoas anaeróbia e facultativa, respectivamente. Os resultados da eficiência de remoção de

matéria orgânica foram satisfatórios. Um dos principais fatores que influenciam na redução de DBO é o tempo de detenção hidráulico (TDH) em que o mesmo opera, atuando de acordo com as condições climáticas de cada região e o tipo de efluente a ser tratado. O sistema de tratamento de esgoto proposto nesse estudo é bastante utilizado em regiões de clima quente, o que justifica a sua implantação para o município de Lagoa que está localizado no alto sertão Paraibano, cuja taxa de temperatura é bastante elevada, tornando-se um fator favorável para o tratamento, pois a temperatura propicia um ambiente adequado para que ocorra a fotossíntese e os microrganismos se desenvolvam.

**Tabela 11 – Parâmetros calculados para a Lagoa Anaeróbia.**

<b>Parâmetros da Lagoa Anaeróbia</b>	<b>Resultados</b>
Largura	7,9 m
Comprimento	19,66 m
Profundidade	4,5 m
Tempo de detenção hidráulico (TDH)	2,5 dias
Volume	698,88 m <sup>3</sup>
Área	155,3 m <sup>2</sup>
DBO <sub>efluente</sub>	140 mg/L
Acumulo do Lodo	0,59 m/ano
Tempo de Limpeza	2,5 anos

**Fonte: Autoria própria (2016)**

**Tabela 12 – Parâmetros calculados para as Lagoas Facultativas.**

<b>Parâmetros da Lagoa Facultativa</b>	<b>Resultados</b>
Largura	21,9 m
Comprimento	54,8 m
Profundidade	2 m
Eficiência na remoção de DBO	62,4 %
DBO total efluente	52,6 mg/L
Volume	2400 m <sup>3</sup>
Área	1200 m <sup>2</sup>
Acumulo anual do lodo	115,2 m <sup>3</sup> /ano
Área requerida para todo o sistema	0,175 ha
Tempo de detenção hidráulico (TDH)	8 dias

**Fonte: Autoria própria (2016).**

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Lagoa localizado no alto sertão paraibano é mais um dentre as várias cidades do Brasil que não dispõe de sistema de tratamento de efluentes, e que também não possui um adequado sistema de coleta de esgotos, fazendo com que os efluentes sejam lançados à céu aberto, trazendo consequências adversas para a população e para o meio ambiente, pois este tipo de ambiente é bastante favorável para disseminação de doenças e para a degradação ambiental.

Esse sistema se adequa às condições do município, pois o mesmo foi projetado com dados reais do município, sendo assim irá minimizar os impactos causados pelos lançamentos atuais e prevenindo o surgimento de problemas futuros na região.

Diante do exposto pode-se destacar que o processo de tratamento formado por Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa apresenta-se como alternativa viável de acordo com as características do local a ser implantado, apresentando uma significativa remoção de DBO, apresentando baixos requisitos de área se comparado com o sistema composto apenas de lagoa facultativa, e ainda apresenta um baixo tempo de detenção hidráulico. Seu desempenho justifica-se pelo fato de que a lagoa anaeróbia é mais profunda e por isso requer menos área, com isso a carga de DBO que sai para a lagoa facultativa é menor, melhorando assim seu desempenho.

Todavia, vale salientar que o sistema escolhido possui um baixo custo de implantação e operação, e, além disso, dispensa o uso de energia elétrica, fazendo com que seja um sistema mais econômico e assim mais acessível para o gestor da cidade.

A estação de tratamento poderá ser uma alternativa futura de geração de fonte de renda através da produção agrícola bem como para subsistência da população existente.

Por fim, é importante ressaltar as limitações deste estudo, tais como o tempo de realização da pesquisa e o levantamento de dados, e nesta ótica sugerir que sejam feitas coletas e análises de esgotos antes da elaboração da proposta e a atualização dos dados populacionais na área de estudo, para pesquisas futuras.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.209/2011: NBR 12.209/2011, **Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários**, 2º edição, ABNT.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229/1993: NBR 7.229:1997, **Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos**, 2º edição, ABNT.

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE SANEAMENTO BÁSICO ESTADUAIS. **Financiamento de investimentos em saneamento básico: medidas sugeridas para expansão sustentável e modernizadora**. Brasília, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

BRASIL. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CETESB. SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. CIÊNCIA E TECNOLOGIA À SERVIÇO DO MEIO AMBIENTE. **Tecnologias para tratamento de esgotos sanitários**, 1988.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M.; MONTEGGIA, L. O. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução 001/1986. Brasília, 1986.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Lagoa, Estado da Paraíba. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE: **Manual de saneamento**. 3. ed. Brasília, DF: FUNASA, 2006. 408 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento 2010**. Rio de Janeiro, 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo Trata Brasil “Ranking do Saneamento”**. Rio de Janeiro: 2015.

JORDÃO, EDUARDO PACHECO E CONSTANTINO, ARRUDA PESSÔA (2011), **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6 edição – Rio de Janeiro.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN JUNIOR, I. **Tratamento de Esgotos Sanitários em Empreendimentos Habitacionais**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2009.

JUNIOR, M. A.F.C. **Tratamento de esgotos**. Rio Grande do Norte, 2014.

LA ROVERE, E. L; D’AVIGOGNON, A; PIERRE, C.V; KLIGERMAN, D.C; SILVA, H.V.O; BARATA, M.M.L; E MALHEIROS, T.M.M; **Manual de Auditoria Ambiental para Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro. Qualitymark. 145p. 2002.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 292 p.

NBR 9648 – **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

NUVOLARI, A. (Coord.). et al. **Esgoto Sanitário – Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2. ed. São Paulo, 2011.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo *wetlands* no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis, 2004.

SANEPAR. **Diretrizes para Elaboração de Estudos de Disponibilidade Hídrica e Qualidade da Água para Projetos de SES**. Curitiba, 2011.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2010**. Brasília, 2012.

TCHOBANOGLOUS, G.; SCHROEDER, E. D. ***Water Quality: Characteristics, Modeling and Modification***. Nova Iorque, 1985.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. ***A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality standarts***. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental. Porto Alegre, 2000.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª. edição. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.