



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**  
**CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**AUGUSTO PONCIANO BARBOSA DA SILVA**

**SISTEMA DESCENTRALIZADO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PARA O**  
**TRATAMENTO DE ESGOTO DE UM COMPLEXO HABITACIONAL EM**  
**CAMPINA GRANDE, PB**

**CAMPINA GRANDE – PB**  
**2018**

**AUGUSTO PONCIANO BARBOSA DA SILVA**

**SISTEMA DESCENTRALIZADO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PARA O  
TRATAMENTO DE ESGOTO DE UM COMPLEXO HABITACIONAL EM  
CAMPINA GRANDE, PB**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

**Orientador: Prof. Dr. Rui de Oliveira**

**CAMPINA GRANDE – PB  
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586s Silva, Augusto Ponciano Barbosa da.  
Sistema descentralizado de lagoas de estabilização para o tratamento de esgoto de um complexo habitacional em Campina Grande, PB [manuscrito] / Augusto Ponciano Barbosa da Silva. - 2018.  
52 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.  
"Orientação : Prof. Dr. Rui de Oliveira, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."  
1. Resíduo sólido. 2. Tratamento de esgoto. 3. Educação ambiental. 4. Esgotamento sanitário. I. Título  
21. ed. CDD 628.3





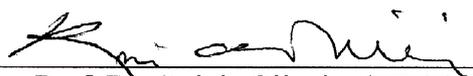
**AUGUSTO PONCIANO BARBOSA DA SILVA**

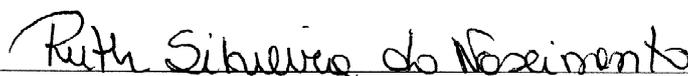
**SISTEMA DESCENTRALIZADO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO PARA O  
TRATAMENTO DE ESGOTO DE UM COMPLEXO HABITACIONAL EM  
CAMPINA GRANDE, PB**

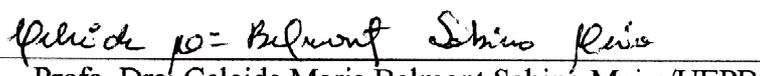
Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovada em: 06/12/2018.

Nota: 10,0 (dez)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rui de Oliveira /UEPB  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento /UEPB  
Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira/UEPB  
Examinadora

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter proporcionado cada momento em minha vida e mostrar que tudo na vida é um ensinamento.

Aos meus familiares, principalmente meu pai Manoel e minha mãe Fátima que colocaram sua fé e confiança em mim durante toda minha vida e nesses 5 anos de curso, e que nunca me deixaram faltar nada, principalmente amor.

Aos professores da Universidade Estadual da Paraíba que dedicaram seu tempo e conhecimento, para nos tornar profissionais qualificados e competentes.

À minha namorada Cinthia por sempre estar ao meu lado me fazendo feliz, mesmo nos momentos difíceis, sempre buscando me incentivar e me encorajar a dar passos cada vez mais largos.

Aos meus colegas de turma Adiel, Erika, Laís e Tarciana que mesmo em momentos de dificuldade e estresse sempre estiveram dispostos a ajudar um ao outro para que juntos pudéssemos crescer dentro do curso.

Ao professor Rui de Oliveira que teve contribuição grandiosa nesse trabalho, que sempre se preocupou com a minha compreensão sobre o assunto e sempre se mostrou disposto a contribuir.

As professoras Celeide Sabino e Ruth Silveira por sempre se mostrarem educadoras interessadas no crescimento profissional dos seus alunos e sempre permanecer acessível para qualquer tipo de necessidade e orientação.

A todos que passaram pela minha vida e de alguma forma deixaram um pouco de seus ensinamentos e experiências que me ajudaram a crescer como pessoa e como profissional.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIGLAS**

PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
OMS	Organização Mundial de Saúde
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
CRAS	Centro de Referência de Assistência Social
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSED	Sólidos Sedimentáveis
CT	Coliformes Termotolerantes
UFC	Unidade Formadora de Colônia

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases do tratamento preliminar.....	19
Figura 2 - Esquema das lagoas de estabilização.....	20
Figura 3 - Esquema de lagoa anaeróbia.....	21
Figura 4 - Esquema da lagoa facultativa. ....	22
Figura 5 - Esquema de lagoa de maturação.....	23
Figura 6 - Vista da aérea do complexo habitacional Aluízio Campos. ....	24
Figura 7 - Indicação georreferenciada da cidade Campina Grande - PB. ....	24
Figura 8 - Localização do Complexo Habitacional Aluízio Campos.....	25
Figura 9 - Fluxograma do projeto do sistema de tratamento de esgoto.....	26
Figura 10 - Linhas topográficas no complexo habitacional Aluízio Campos. ....	27
Figura 11 - Divisão das sub-bacias do complexo Aluízio Campos.....	27
Figura 12 - Indicação das estações elevatórias no complexo Aluízio Campos. ....	28
Figura 13 - Projeto original do emissário do complexo habitacional Aluízio Campos.....	28
Figura 14 - Indicação da distância do sistema de tratamento de esgoto do perímetro urbano. ....	29
Figura 15 - Indicação hipsométrica do sistema de tratamento de esgoto. ....	30
Figura 16 - Indicação da área disponível para implantação do sistema de tratamento. ....	30
Figura 17 - Ilustração da grade projetada. ....	37
Figura 18 - Indicação do rebaixo (Z).....	39
Figura 19 - Concepção do tratamento preliminar.....	40
Figura 20 - Concepção dos taludes.....	43
Figura 21 - Dispositivo de entrada na lagoa facultativa. ....	46
Figura 22 - Modo de dispersão do efluente nas lagoas de maturação. ....	46
Figura 23 - Dispositivo de saída na lagoa de maturação. ....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis e métodos utilizados para a caracterização do esgoto bruto. ....	31
Tabela 2 - Resultados médios encontrados ETE Glória. ....	32
Tabela 3 - Faixas de custos per capita estimados. ....	32
Tabela 4 - Faixas de eficiência de remoção de constituintes físico-químicos em lagoas de estabilização.....	33
Tabela 5 - Valores permitidos de lançamento pela resolução CONAMA nº 430 de 2011 e pela resolução CONAMA nº 357 de 2005. ....	34
Tabela 6 - Limites de aplicação para calha Parshall em regime de escoamento livre.....	38

## RESUMO

É impossível pensar em promoção da saúde sem incorporar as ações que busquem o bem-estar e a qualidade de vida e o acesso aos serviços que dão suporte à vida, tais como o abastecimento de água e o esgotamento sanitário. Hoje em dia os crescentes aumentos da população nos centros metropolitanos causam transtornos, como o que fazer com as redes de esgotamento sanitário antigas, precárias e já subdimensionadas. No presente trabalho, foi apresentada a alternativa da implantação de uma estação de tratamento de esgoto descentralizada composta por lagoas de estabilização para atender à população de um complexo habitacional no município de Campina Grande – Paraíba, sendo seu projeto baseado em georreferenciamento, análise populacional, análise da legislação e análise bibliográfica.

**Palavras-chave:** tratamento descentralizado, lagoas de estabilização, complexo habitacional.

## **ABSTRACT**

It is impossible to think about health promotion without incorporating actions that seek people well-being, a better quality of life and access to life-supporting services, such as water supply and sanitation. Nowadays, the increased population in metropolitan centers cause disruptions, such as what to do with old, precarious and already undersized sewage networks. In the this work, the alternative of the implantation of a decentralized sewage treatment plant composed of stabilization ponds to attend the population of a housing complex in the city of Campina Grande - Paraíba was presented, being its project based on georeferencing, population analysis, analysis of legislation and bibliographic analyses.

**Key words:** decentralized treatment, stabilization ponds, housing complex.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1. OBJETIVOS.....	13
<b>1.1.1. Objetivo Geral</b> .....	13
<b>1.1.2. Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	14
2.1. A PROBLEMÁTICA DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOS GRANDES CENTROS URBANOS .....	14
2.2. CONJUNTOS HABITACIONAIS .....	14
2.3. RESÍDUO LÍQUIDO GERADO EM CONJUNTOS HABITACIONAIS DE BAIXA RENDA .....	14
2.4. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS .....	15
2.5. ESGOTO .....	15
2.6. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESGOTOS .....	15
<b>2.6.1. Características da qualidade dos esgotos</b> .....	16
2.7. PRINCIPAIS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO .....	19
<b>2.7.1. Tratamento preliminar</b> .....	19
<b>2.7.2. Tratamento primário</b> .....	19
<b>2.7.3. Tratamento secundário</b> .....	20
<b>2.7.4. Lagoas de estabilização</b> .....	20
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	24
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
4.1. ANÁLISE DA TOPOGRAFIA DO COMPLEXO HABITACIONAL ALUÍZIO CAMPOS.....	27
4.2. LEVANTAMENTO DOS VALORES A SEREM ADOTADOS .....	31
4.3. TOMADA DE DECISÃO.....	32
4.4. APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS TÉCNICOS NORMATIVOS .....	34
4.5. DIMENSIONAMENTO .....	34
<b>4.5.1. Parâmetros a serem adotados</b> .....	34
<b>4.5.2. Dimensionamento do tratamento preliminar</b> .....	35
<b>4.5.3. Dimensionamento do tratamento secundário</b> .....	40
<b>5. DISCUSSÃO</b> .....	48
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

Problemas ambientais que levam à escassez de água e afetam a sua qualidade geram grande preocupação a ambientalistas e autoridades e torna a implementação de programas de monitoramento de recursos hídricos uma importante temática.

No Brasil, destacam-se a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e a Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes buscando o aperfeiçoamento da legislação e a prática do monitoramento de qualidade de águas.

Cerca de 55% da população brasileira contam com rede de esgotamento sanitário (IBGE, 2008), resultando em grandes volumes de esgotos despejados nos corpos receptores, sem nenhum tipo de tratamento.

Segundo Campos (1999), os esgotos sanitários apresentam cerca de 99,9% de sua composição constituída por água, no entanto, há contaminantes, entre os quais se destacam compostos orgânicos, nutrientes, metais, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos e, crescentemente, contaminantes tóxicos decorrentes de atividades industriais ou acidentais.

Considerando que as características dos esgotos sanitários variam de acordo com os hábitos e a situação socioeconômica da população de cada região, fazem-se necessários métodos específicos para o tratamento, o acompanhamento, por meio de medidas de indicadores físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 1996), bem como o estudo para a otimização da construção, operação e manutenção dos sistemas, a fim de se determinar a eficiência do tratamento alternativo proposto.

Para equilibrar as diferenças sociais no Brasil, os governantes vêm implementando medidas de integração social e uma das que mais se adotam hoje é a moradia digna através de programas que contemplam pessoas humildes com a casa própria. Os conhecidos “conjuntos habitacionais” são, normalmente, complexos habitacionais implantados em áreas que nem sempre possuem capacidade para o tratamento do efluente gerado.

Este trabalho é baseado em estudo que analisa a viabilidade técnica de solução alternativa para o tratamento dos esgotos, do complexo habitacional Aluízio Campos, localizado na cidade de Campina Grande – PB, através de sistema descentralizado de lagoas de estabilização.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a viabilidade e dimensionar um sistema descentralizado de lagoas de estabilização para o tratamento dos esgotos do complexo habitacional Aluízio Campos, em Campina Grande, estado da Paraíba.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Verificar a disponibilidade da área através do georreferenciamento e análise topográfica da área do estudo;
- Caracterizar, quanto aos parâmetros de qualidade física, química, e microbiológica o efluente gerado por população equivalente aos futuros moradores do complexo habitacional Aluízio Campos;
- Realizar o estudo da melhor configuração do sistema alternativo e descentralizado que atenda os parâmetros propostos pela Resolução nº 430 CONAMA nº 430 de maio de 2011;
- Realizar o dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto que atenda o complexo habitacional Aluízio Campos.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. A PROBLEMÁTICA DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOS GRANDES CENTROS URBANOS

Segundo a OMS, já está comprovado que é impossível pensar em promoção da saúde sem incorporar as ações que busquem o bem-estar e a qualidade de vida e o acesso aos serviços que dão suporte à vida, tais como o abastecimento de água, a produção de alimentos, a melhoria da qualidade do ar, a segurança, o esgotamento sanitário e o destino adequado dos resíduos (OLIVEIRA, 2009).

Com a crescente demanda por áreas urbanas em áreas metropolitanas, surge a problemática sobre o que fazer com as redes de esgotamento sanitário já subdimensionadas, ou seja, há uma necessidade por mais áreas para a aplicação e adaptação dessas instalações, com vistas ao atendimento da demanda de cobertura de esgotamento sanitário.

### 2.2. CONJUNTOS HABITACIONAIS

A necessidade de construir habitações em grandes quantidades está diretamente relacionada com o processo de urbanização e conseqüente crescimento populacional descontrolado. Em muitos países os processos de urbanização e industrialização se misturam. O planejamento e construção de conjuntos habitacionais foi uma das soluções encontradas pelo poder público para solucionar o problema da moradia, uma das necessidades mais básicas do ser humano.

Dispor de uma habitação digna satisfaz uma das necessidades mais básicas do ser humano, condição fundamental para a sua existência, por prover-lhe proteção, higiene e bem-estar. O direito à habitação constitui um direito humano fundamental reconhecido pela Declaração Universal do Direitos Humanos (UNESCO, 1948).

### 2.3. RESÍDUO LÍQUIDO GERADO EM CONJUNTOS HABITACIONAIS DE BAIXA RENDA

Segundo Lima, (2016) regiões de baixa renda, a exemplo do bairro do Glória e parte do bairro de Bodocongó, na cidade de Campina Grande, na Paraíba, apresentam, segundo o site Observa Campina (2018), níveis de DBO<sub>5</sub> mais elevados que bairros com rendas mais elevadas, tornando compreensível que conjuntos habitacionais de baixa renda produzam águas residuária com elevada concentração de matéria orgânica biodegradável.

## 2.4. POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A poluição das águas é consequência da adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água receptor de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos. Existem dois tipos de poluição das águas:

a) **Pontual:** Aquela em que os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço. A exemplo da descarga em um rio de um emissário transportando esgoto de uma cidade/comunidade, descarregando em um único ponto (SAMAE, 2012).

b) **Difusa:** Aquela em que os poluentes penetram no corpo hídrico, distribuídos ao longo de sua extensão, sendo a descarga feita de forma distribuída e divergente, ou seja, não convergindo para um único ponto (SAMAE, 2012).

## 2.5. ESGOTO

O termo esgoto é usado para designar despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração e pluviais. Os esgotos costumam ser classificados em dois grupos, que são:

a) **Esgotos sanitários:** Segundo NBR 7229 (ABNT, 1993) esgoto sanitário pode ser compreendido como a soma de águas residuária composta de esgoto doméstico, despejo industriais admissíveis a tratamento conjunto com esgoto doméstico e água de infiltração que são normalmente águas de drenagem que por fissuras na tubulação acabam entrando na rede de esgoto.

b) **Esgotos industriais:** Essa categoria abrange os rejeitos produzidos durante o processo industrial e que não são mais aproveitados pela empresa. Como as categorias de indústrias são muitas, os rejeitos industriais também variam bastante. (VIBROPAC, 2015).

## 2.6. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DOS ESGOTOS

A maioria dos efluentes líquidos é constituída de misturas relativamente complexas, cuja caracterização por análises químicas convencionais, ou seja, pela análise química (qualitativa e quantitativa), de constituinte a constituinte da composição dessa mistura demandaria muito tempo e teria um custo muito elevado (SOUSA, 2014).

Para Dezotti (2008), a utilização de indicadores globais pressupõe a definição de um equivalente de poluição que possa servir como grandeza básica para a medida do grau de poluição comum a todos os componentes da mistura.

Dentre os principais indicadores globais para a medida do teor poluente de um efluente estão: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), ambas relacionadas às concentrações de matéria orgânica.

### **2.6.1. Características da qualidade dos esgotos**

A característica dos esgotos está diretamente atrelada aos usos em que a água foi submetida, usos esses que variam com as condições sociais, econômicas e culturais dos usuários.

Os padrões de lançamento determinam que, para todos os despejos, a concentração de substâncias classificadas como poluentes estejam abaixo de uma dada concentração, em geral expressa em mg.L<sup>-1</sup>, ou em termos de remoção em percentuais (SOUSA, 2014).

Os principais indicadores de qualidade dos despejos são: turbidez, cor, concentração de oxigênio dissolvido, pH, dureza, alcalinidade, concentração de material tóxico, temperatura, nitrogênio, fósforo e microrganismos patogênicos (DEZOTTI, 2008). Esses indicadores por sua vez podem ser agrupados em características físicas, químicas e biológicas:

#### **a. Características físicas**

Segundo a FUNASA (2015) as principais características físicas ligadas aos esgotos domésticos são:

- **Teor de matéria sólida**

Todos os contaminantes da água, exceto os gases dissolvidos, formam a carga de sólidos, definida como a matéria que permanece como resíduo após evaporação a (103-105°C). É devido a essa carga, cerca de 0,1% de sólidos nos esgotos, que ocorrem os problemas de poluição das águas, impondo a necessidade de tratar os esgotos.

- **Temperatura**

A temperatura do esgoto é, em geral, pouco superior à das águas de abastecimento e também acima da temperatura do ar, exceto nos meses mais quentes de verão. A velocidade de decomposição do esgoto é proporcional ao aumento da temperatura.

- **Odor**

Os odores característicos do esgoto são causados pelos gases formados no processo de decomposição. Assim o odor de mofo, típico do esgoto fresco é razoavelmente suportável e o

odor de ovo podre, insuportável, é típico do esgoto velho ou séptico, devido à presença de gás sulfídrico.

- **Cor e turbidez**

Cor e turbidez indicam, de imediato, o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada acompanhada de alguma turbidez é típica do esgoto fresco e a cor cinza escura ou preta é típica do esgoto velho.

### **b. Características químicas**

As principais características químicas dos esgotos domésticos, de acordo com a FUNASA (2015), são:

- **Matéria orgânica**

Cerca de 70% dos sólidos no esgoto classificado como médio são de natureza orgânica. Estes compostos são constituídos, principalmente, por proteínas, carboidratos, gordura e óleos, e, em menor parte, por uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas (típicos de despejos industriais, em quantidade), etc. (JORDÃO, PESSÔA, 1995). Von Sperling (1996) ainda divide o material orgânico seguindo o critério de biodegradabilidade, classificando-o em inerte ou biodegradável.

- **Matéria inorgânica**

A matéria inorgânica dos esgotos é constituída, em geral, de areia e outras substâncias minerais dissolvidas, provenientes de águas de lavagens. Não é usual a remoção deste tipo de material, que pouco influenciará em um sistema de tratamento de esgotos pelo fato de ser um material inerte. Entretanto, deve-se dar atenção às possibilidades de obstruções e saturação de filtros e tanques (SILVA, 2004).

### **c. Características biológicas dos esgotos domésticos**

Os principais microrganismos presentes em despejos são protozoários, fungos, algas e as bactérias, sendo que os mais importantes para este trabalho serão discutidos nos itens que seguem:

- **Algas**

Apresentam grande variedade de formas e dimensões. No caso de lagos e lagoas, a reprodução de algas é estimulada pelo lançamento de efluentes de estações de tratamento ricos

em nutrientes (N e P). Este lançamento é indesejável quando o seu crescimento é demasiado e deve ser restringido. O excessivo enriquecimento de nutrientes do corpo receptor, seja ele um lago ou lagoa é denominado de eutrofização, que tem relação com a floração de algas e cianobactérias.

#### · **Bactérias**

Constituem o grupo de maior importância em sistemas de tratamento biológico, que podem funcionar como indicador de poluição de origem humana com a presença de bactérias que são normalmente encontrados no intestino de seres humanos e animais, bem como aquelas heterotróficas que atuam na remoção da DBO utilizando a matéria orgânica presente no esgoto. De modo geral, segundo Von Sperling (1996), o grupo das bactérias pode ser subdividido da seguinte maneira:

- **Organismos quimioautótrofos:** Utilizam a matéria inorgânica como fonte de energia e o  $\text{CO}_2$  como fonte de carbono. Estão ligados à nitrificação.
- **Organismos quimioheterótrofos:** Utilizam a matéria orgânica como fonte de energia e fonte de carbono. São responsáveis pela maior parte das reações ocorridas no tratamento biológico.

Nos efluentes domésticos, podem ser encontradas bactérias que se classificam em bactérias aeróbias, anaeróbias e facultativas:

- **Bactérias aeróbias:** São as que retiram o oxigênio contido no ar, oriundo diretamente da atmosfera ou do ar dissolvido na água para seu metabolismo. Essa ação bacteriana é denominada de respiração aeróbia, fundamental na decomposição aeróbia da matéria orgânica.
- **Bactérias anaeróbias:** São bactérias que se reproduzem em locais de baixa ou nenhuma concentração de gás oxigênio podendo ser anaeróbias obrigatórias ou facultativas. No seu metabolismo em vez de gás oxigênio utilizam os ácidos orgânicos que são metabolizados em substâncias como metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CH}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ );
- **Bactérias facultativas:** As bactérias facultativas podem atuar tanto na presença como na ausência de oxigênio, transformando compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples como amônia ( $\text{NH}_3$ ), dióxido de carbono ( $\text{CH}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), entre outros.

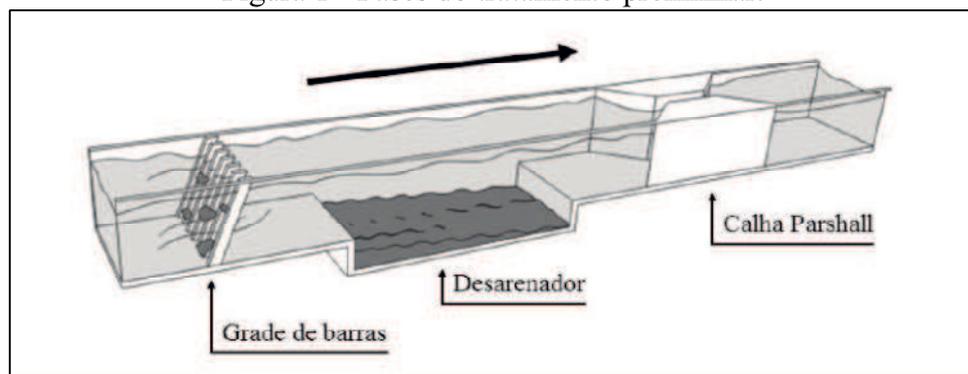
## 2.7. PRINCIPAIS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Para Rosa, Fraceto e Moschini-Carlos (2012), antes de se iniciar a concepção do sistema de tratamento e o tratamento propriamente dito, deve-se ter claro qual o objetivo a ser alcançado, ou seja, qual o nível de qualidade do efluente tratado que se deseja, uma vez que existem fatores limitantes, como o custo envolvido para o tratamento e a própria origem do esgoto. Salienta-se que os requisitos a serem atingidos para o efluente são função da legislação específica de cada região, a qual pode, em alguns casos, ser mais restritiva que a legislação nacional Resolução CONAMA 357/2005 complementada pela Resolução CONAMA 430/2011.

### 2.7.1. Tratamento preliminar

As principais finalidades da remoção de sólidos grosseiros pelo tratamento preliminar, ilustrado na Figura 1, são proteger os dispositivos de transporte, como bombas e tubulações, e evitar danos nas unidades de tratamento subsequentes (ROSA; FRACETO; MOSCHINI-CARLOS, 2012). As unidades mais ordinárias de pré-tratamento são as grades e as caixas de areia, que trabalham em conjunto na remoção de matérias grosseiros do esgoto, como pedras, folhas, galhos, papéis, plásticos e matérias de fácil deposição, como areia, silte e metais, e também como ferramenta de observação pode ser encontrado um medidor de vazão como por exemplo a Calha Parshall.

Figura 1 - Fases do tratamento preliminar.



Fonte: JORDÃO e VOLSCHA (2009).

### 2.7.2. Tratamento primário

O objetivo do tratamento primário de efluentes é reduzir, de modo significativo, o tamanho e os custos de operação de uma planta de tratamento biológico. O tratamento primário

pode remover significativamente os óleos e graxas e os sólidos suspensos que, normalmente, contribuem de 30 a 40 % da DBO da água residuária.

### 2.7.3. Tratamento secundário

Os efluentes orgânicos biodegradáveis presentes em efluentes podem ser removidos na etapa do tratamento secundário, por processo biológico, nos quais são empregados bactérias e outros microrganismos que se alimentam da matéria orgânica presente no efluente. Esses processos podem ocorrer na presença de oxigênio (processo aeróbio) ou na ausência de oxigênio (processo anaeróbio) (ROSA; FRACETO; MOSCHINI-CARLOS, 2012).

### 2.7.4. Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização, ilustradas esquematicamente na Figura 2, são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriana (JORDÃO; PESSÔA, 2014). Esse tipo de tratamento de esgoto é considerado o mais simples, segundo Von Sperling (2002), sendo as seguintes configurações abordadas neste trabalho: lagoa anaeróbia, lagoa facultativa e lagoa de maturação.

Figura 2 - Esquema das lagoas de estabilização.



Fonte: ANDRADE (2016).

#### a. Lagoas em série

Lagoas em série podem compreender lagoas anaeróbias, seguidas por lagoas facultativas secundárias e lagoas de maturação ou lagoas facultativas primárias seguidas de lagoas de maturação. O projeto de lagoas em série tem o objetivo de otimizar o desempenho do tratamento do esgoto, pois essa configuração aproxima-se na prática, ao modelo de fluxo pistão, menos sujeitos a curtos-circuitos hidráulicos, portanto, hidraulicamente mais eficiente.

#### b. Lagoas anaeróbias

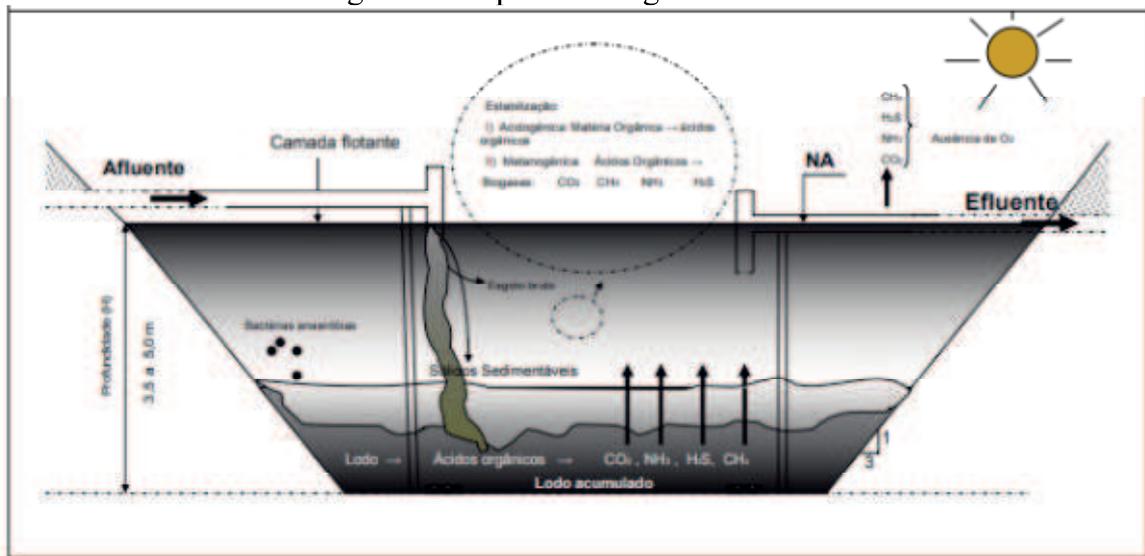
As lagoas anaeróbias, esquematizadas da Figura 3, constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial

(VON SPERLING, 2002). Esse tipo de lagoa é um digestor anaeróbio cujo funcionamento é baseado na digestão anaeróbia a qual combina mecanismos de fermentação e respiração anaeróbia.

A digestão anaeróbia é um processo sequencial que se divide em fermentação ácida e a fermentação metânica. Na primeira etapa, microrganismos facultativos, bactérias acidogênicas, na ausência de oxigênio dissolvido, transformam compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples, principalmente ácidos orgânicos. Nessa fase ocorre a produção de material celular e compostos intermediários que exalam mau cheiro (gás sulfídrico). Em seguida, na fase de fermentação metânica, as bactérias formadoras de metano (metanogênicas), que são estritamente anaeróbias, transformam os ácidos orgânicos em metano e dióxido de carbono, nessa fase o mau cheiro desaparece e há formação de espuma, de cor acinzentada. É nessa fase metânica que a DBO é reduzida. (JORDÃO; PESSÔA, 2014).

Segundo Jordão e Pessôa (2014), a eficiência na remoção da DBO é de 50% a 60% enquanto para Von Sperling (2002) a eficiência é na ordem de 50% a 70%. Apesar da sua eficiência ainda é necessária a adoção de unidade (s) posterior (es) de tratamento.

Figura 3 - Esquema de lagoa anaeróbia.



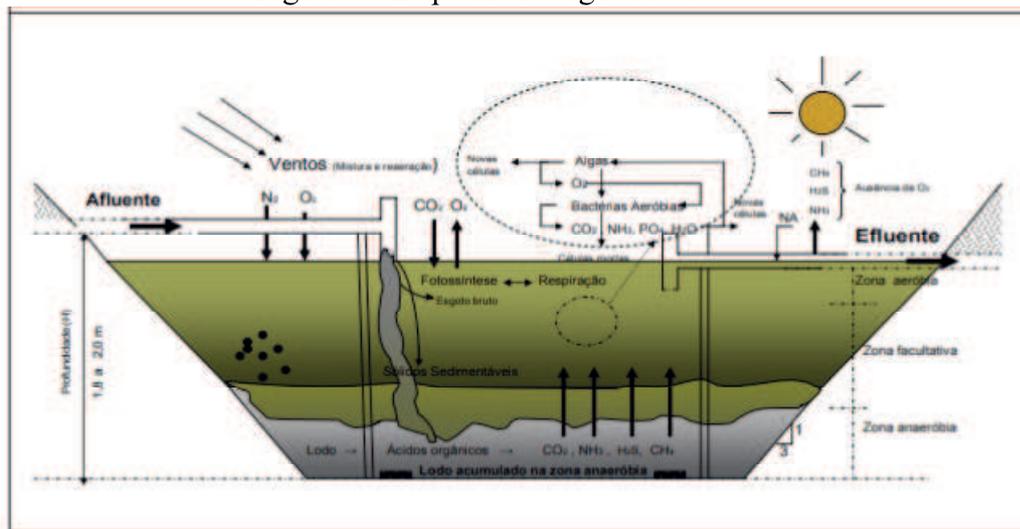
Fonte: SILVA (2007).

### c. Lagoas facultativas

A lagoa facultativa, conforme ilustrado na Figura 4, se caracteriza por possuir uma zona aeróbia superior, em que os mecanismos de estabilização da matéria orgânica são a oxidação aeróbia e a redução fotossintética, e uma zona anaeróbia na camada de fundo, onde ocorrem os fenômenos típicos da digestão anaeróbia. As lagoas facultativas podem ser divididas em:

- I. **Lagoas facultativas primárias:** Aquelas em que o afluente não passa por nenhum tratamento anterior, mas apenas tratamento preliminar.
- II. **Lagoas facultativas secundárias:** São lagoas em que o afluente da lagoa já passou por um tratamento anterior, a exemplo de lagoa anaeróbia, reator UASB, dentre outros.

Figura 4 - Esquema da lagoa facultativa.



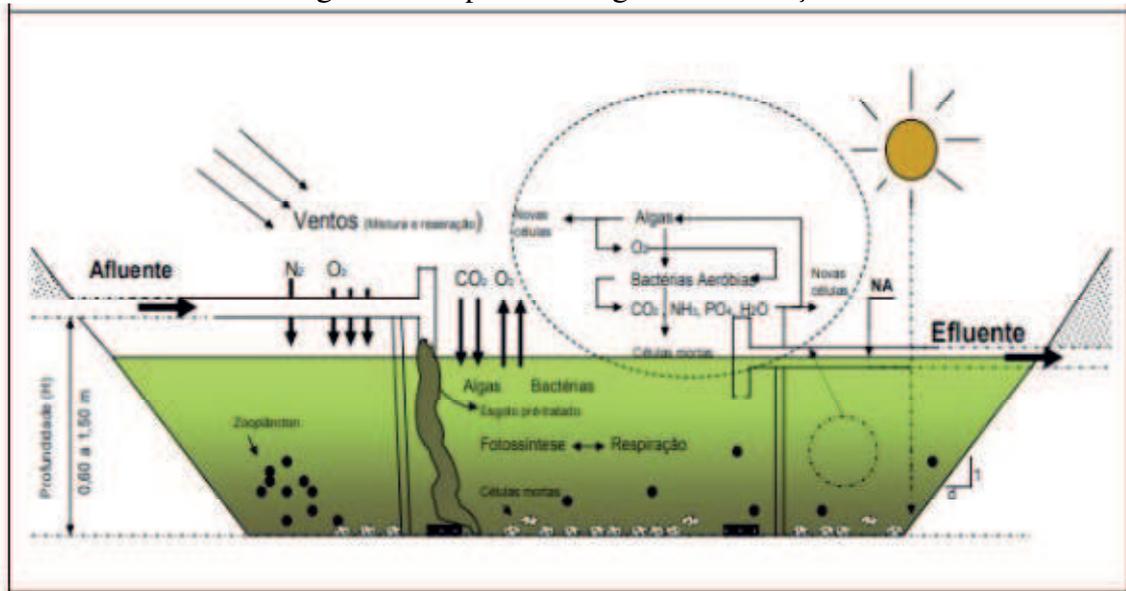
Fonte: SILVA (2007).

#### d. Lagoas de maturação

- e. As lagoas de maturação são usadas ao final de um sistema de lagoas de estabilização e, através delas, visa-se a melhoria da qualidade do efluente anteriormente tratado, pela redução de organismos patogênicos e dos nutrientes presentes do efluente (JORDÃO; PESSÔA, 2014).
- f. O ambiente favorável à eliminação de patógenos proporcionado nessas lagoas se dá pela elevada intensidade de fotossíntese, acarretando em um ambiente com altos teores de oxigênio dissolvido e pH. Nas lagoas de maturação pode-se ainda observar índices relativamente elevados de remoção de nitrogênio, como esquematizado na Figura 5 (RECESA, 2008).
- g. As lagoas de maturação possuem um ambiente com elevado valor de pH e assim podem atingir altíssimas eficiências na remoção de coliformes termotolerantes (99,9% a 99,99%) e, usualmente, têm atingido eficiência de 100% para cistos de protozoários e ovos de helmintos (VON SPERLING, 2002).
- h. Segundo Jordão e Pessôa (2014), leva-se em consideração os aspectos de proteção à saúde pública, visando a diminuição da concentração de bactérias, vírus, cistos de

protozoários, ovos de helmintos nos corpos hídricos, o que, conseqüentemente, reduz as doenças de veiculação hídrica.

Figura 5 - Esquema de lagoa de maturação.



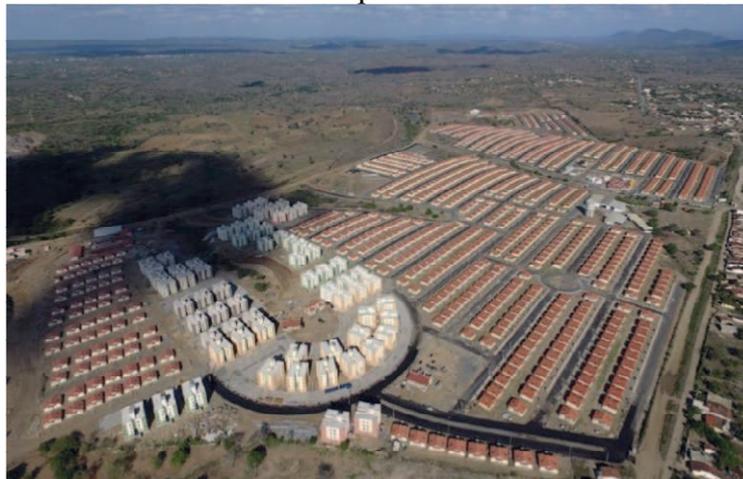
Fonte: SILVA (2007).

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho tem como finalidade o desenvolvimento de projeto alternativo para o tratamento descentralizado dos esgotos do Complexo Habitacional Aluizio Campos, na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba. O complexo habitacional já conta com projeto de esgotamento sanitário a ser integrado ao sistema de esgotamento sanitário da cidade, mas o mesmo enfrenta dificuldades diversas de implantação, entre as quais a do emissário projetado ter que atravessar uma rodovia federal.

O complexo habitacional Aluizio Campos, ilustrado na Figura 6, com posicionamento georreferenciado conforme as Figuras 7 e 8, está localizado na cidade de Campina Grande-PB e conta com 4.100 moradias, previstas para entrega em 2019, cada uma constituída por dois quartos, uma sala e uma cozinha. Além disso o complexo contará com três creches, duas escolas, dois postos de saúde e um Centro de Referência de Assistência Social (CRAS).

Figura 6 - Vista da aérea do complexo habitacional Aluizio Campos.



Fonte: SEPLAN (2018).

Figura 7 - Indicação georreferenciada da cidade Campina Grande - PB.

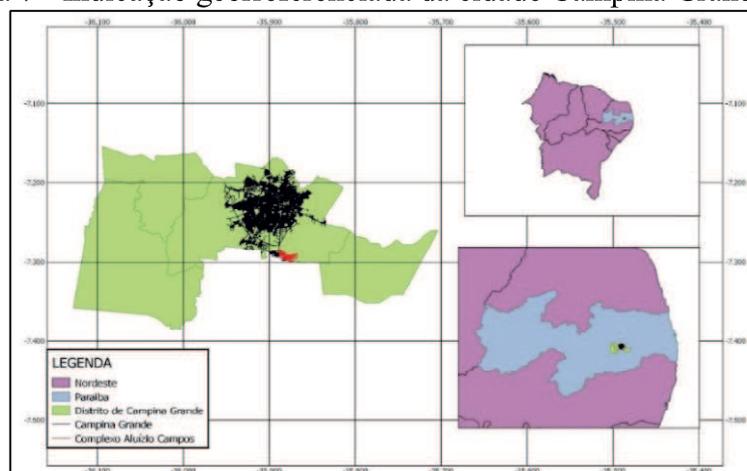


Figura 8 - Localização do Complexo Habitacional Aluizio Campos.

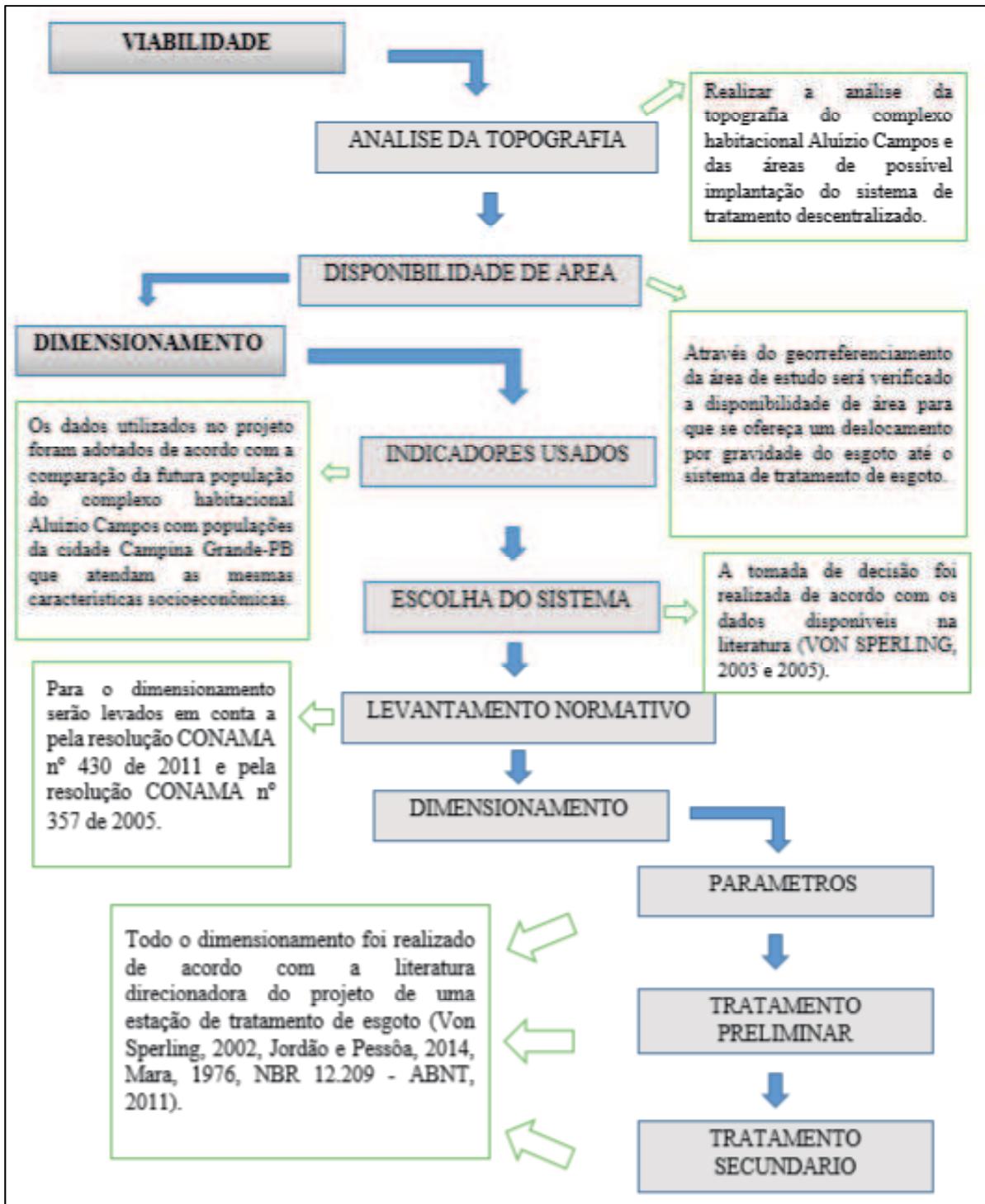


O trabalho foi desenvolvido em etapas, conforme Figura 9, a partir da análise do projeto já existente. Em seguida foram analisadas as características topográficas do *sítio* no qual foi implantado o complexo habitacional e pesquisados locais para a implantação da estação de tratamento de esgotos.

Para o dimensionamento, em si, da unidade de tratamento foram levados em consideração os indicadores de contribuição e de qualidade dos esgotos, os critérios normativos a serem atendidos, a exemplo da Resolução CONAMA 430/2011. Além disso, foi procedida discussão, com base na literatura especializada (Von Sperling, 2002, Jordão e Pessôa, 2014, Mara, 1976, NBR 12.209 - ABNT, 2011), com vistas à tomada de decisão sobre a alternativa de projeto a ser proposta. A escolha recaiu sobre um sistema de lagoas de estabilização em série, o qual, conforme a literatura, apresenta excelente desempenho em regiões de climas quentes, podendo alcançar elevadas eficiências de remoção de patógenos e requerendo operação e manutenção simples e pouco especializadas. Além disso, sistemas de lagoas não envolvem uso de energia elétrica no seu processo e seus efluentes podem ser reusados localmente.

Deve também ser registrado que tais sistemas já têm sido amplamente disseminados na Região Nordeste do Brasil com projetos baseados em critérios regionais resultantes de pesquisas desenvolvidas na EXTRABES/UFPB/UFCG, nesta cidade de Campina Grande.

Figura 9 - Fluxograma do projeto do sistema de tratamento de esgoto.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. ANÁLISE DA TOPOGRAFIA DO COMPLEXO HABITACIONAL ALUÍZIO CAMPOS

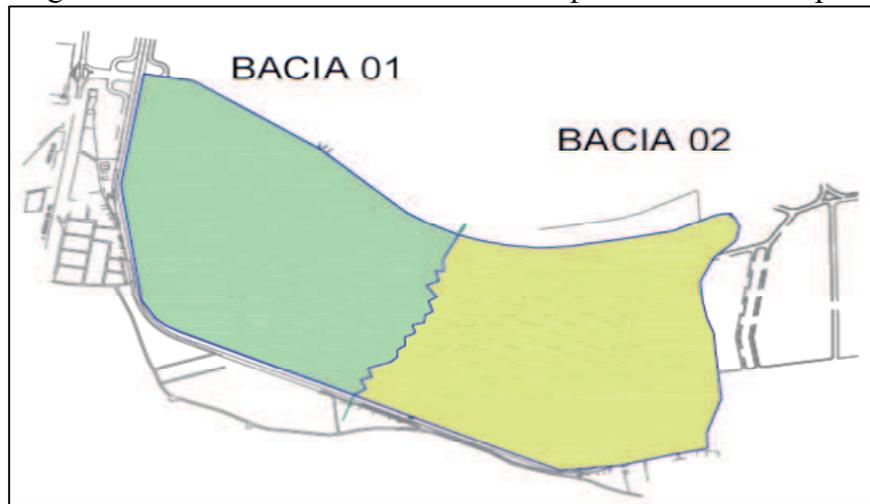
Com a análise da topografia do complexo habitacional Aluízio Campos, ilustrada na Figura 10, pôde-se observar sua divisão em duas sub-bacias, representadas na Figura 11, indicando serem necessários dois pontos de coleta do efluente gerado.

Figura 10 - Linhas topográficas no complexo habitacional Aluízio Campos.



Fonte: ROCHA (2018).

Figura 11 - Divisão das sub-bacias do complexo Aluízio Campos.



Analisando o projeto da rede coletora de esgotos, já feito pela empresa responsável pelo empreendimento, podemos ver duas estações elevatórias projetadas, nos dois pontos mais baixos da topografia da região, ilustradas na Figura 12, uma para a bacia 1 e outra para a bacia 2, sendo o efluente da bacia 2 elevado até a estação elevatória da bacia 1, que, no projeto original, será ponto de partida do emissário que será responsável por levar o esgoto até a ETE da cidade de Campina Grande, conforme representado na Figura 13.

Figura 12 - Indicação das estações elevatórias no complexo Aluízio Campos.

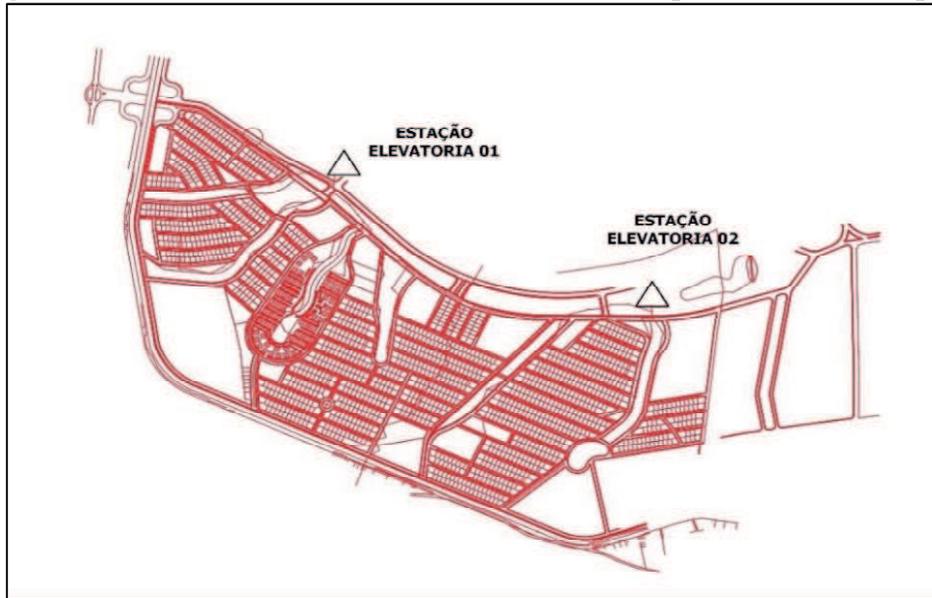


Figura 13 - Projeto original do emissário do complexo habitacional Aluízio Campos.



Fonte: ROCHA (2018).

Para o projeto de tratamento descentralizado, proposto neste trabalho, não serão mais utilizadas estações elevatórias, sendo o sistema de transporte do esgoto todo operado por gravidade, já que a estação elevatória 01 está posicionado na cota topográfica de 462 metros e a estação elevatória 02 na cota topográfica de 459 metros. O sistema proposto neste trabalho terá localização, mostrada na Figura 14, privilegiada topograficamente já que a área escolhida para sua implantação possui cota topográfica máxima em torno de 435 metros, como pode ser verificado na Figura 15. Portanto o sistema de transporte do esgoto pode operar todo por gravidade.

O sistema de tratamento ficará a uma distância aproximada de um quilômetro do perímetro urbano mais próximo, como representado na Figura 14, e próximo a um corpo hídrico que pode ser usado como destino final do efluente tratado.

Figura 14 - Indicação da distância do sistema de tratamento de esgoto do perímetro urbano.

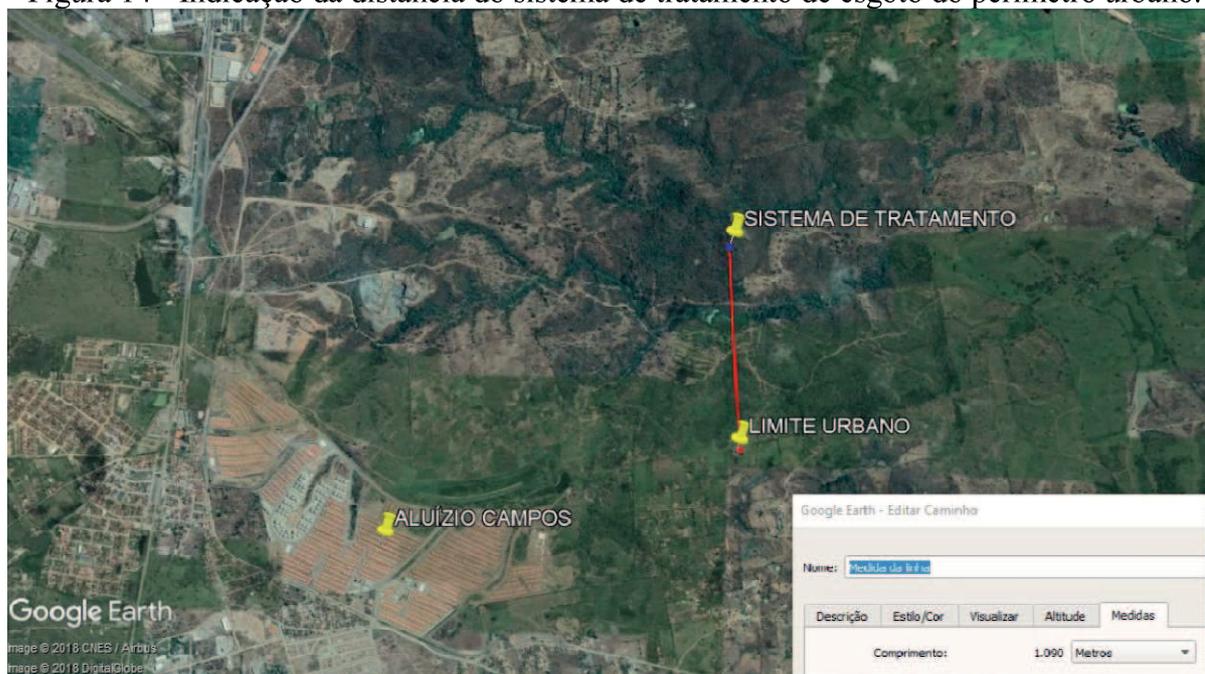
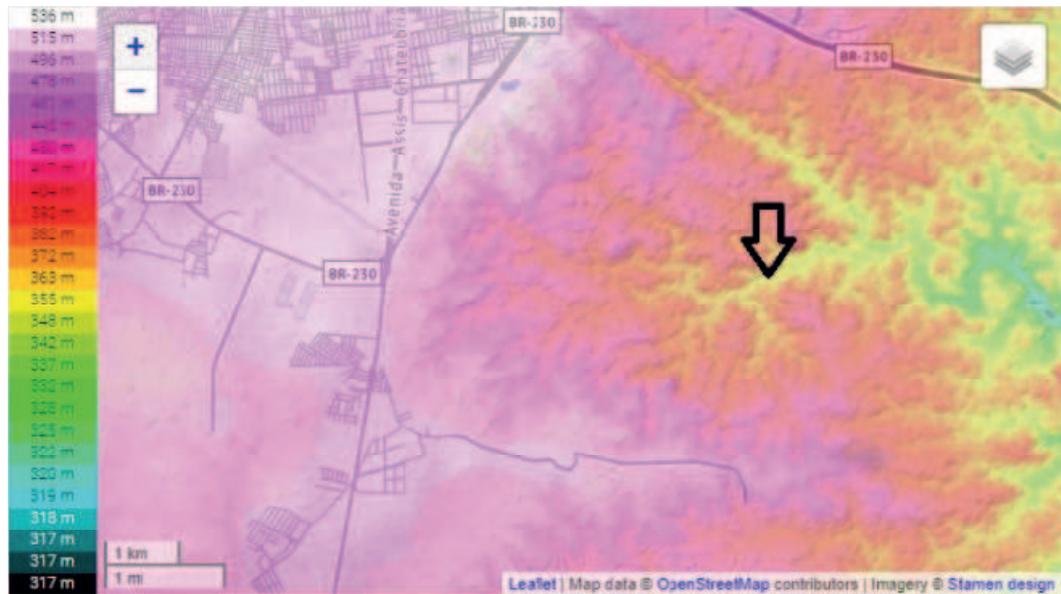


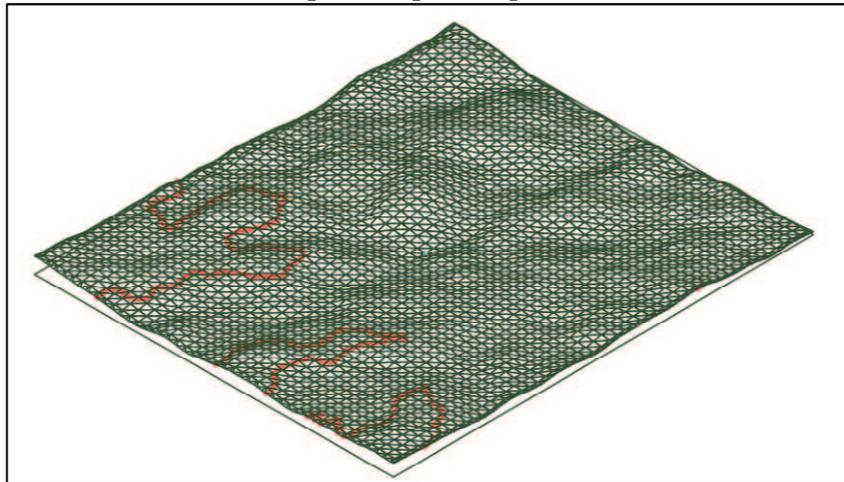
Figura 15 - Indicação hipsométrica do sistema de tratamento de esgoto.



Fonte: TOPOGRAPHIC MAP (2018).

Foram analisadas as cotas topográficas de uma área de aproximadamente 410 hectares e cota máxima de aproximadamente 435 metros, ilustrada na Figura 16, para verificar sua adequação para implantar o sistema de tratamento descentralizado, tendo em vista que o sistema será alimentado com esgoto, transportado totalmente por gravidade. Usando ferramentas como AutoCAD MAP, GoogleEarth e SketchUp, chegamos à conclusão que dentro dessa área, há 364,04 hectares, representados na Figura 15, com cotas inferiores a 435 metros e que não apresentam variação considerável do relevo, ou seja, há área disponível para a implantação do sistema.

Figura 16 - Indicação da área disponível para implantação do sistema de tratamento.



#### 4.2. LEVANTAMENTO DOS VALORES A SEREM ADOTADOS

Para poder dimensionar o sistema de tratamento é necessária a adoção de valores de indicadores como DBO<sub>5</sub>, sólidos sedimentáveis e coliformes termotolerantes, os quais serão retirados do trabalho de Lima (2016). Tal trabalho consistiu na análise de efluentes em diversos pontos pela cidade de Campina Grande – PB. Cruzando essas informações com os dados a respeito da renda per capita de cada bairro fornecidos pelo site Observa Campina (2018) chegou-se à conclusão que os valores de DBO<sub>5</sub> se encontram mais elevados em bairros com a população de renda mais baixa, como o bairro do Gloria. Portanto, utilizaremos os dados coletados na estação de tratamento de esgoto do bairro da Glória.

No trabalho de Lima (2016) as análises laboratoriais (físicas, químicas e microbiológicas) foram realizadas para a caracterização do sistema e envolveram as seguintes variáveis: sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (SSED), demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxigênio (DQO) e coliformes termotolerantes (CT). As variáveis foram quantificadas por métodos padronizados no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005). A Tabela 1 apresenta as variáveis determinadas e os respectivos métodos utilizados para a caracterização do esgoto bruto dos sistemas estudados.

Tabela 1 - Variáveis e métodos utilizados para a caracterização do esgoto bruto.

<b>VARIÁVEL</b>	<b>MÉTODO</b>
Sólidos suspensões totais – SST (mg/L)	Gravimétrico
Sólidos sedimentáveis – SSED (ml/L)	Decantação (cone Imhoff)
Demanda bioquímica de oxigênio – DBO <sub>5</sub> (mg/L)	Diluição em frascos padrões de DBO com incubação a 20°C durante (cinco) dias
Demanda química de oxigênio-DQO (mg/L)	Refluxação fechada do dicromato de potássio
Coliformes termotolerantes – CT (UFC/100mL)	Membrana filtrante

Fonte: LIMA (2016).

Os valores dos indicadores citados acima determinados para o efluente do Bairro da Glória, apresentados na Tabela 2, serão utilizados como base para o dimensionamento do sistema de

tratamento de esgoto, já que o complexo habitacional Aluízio Campos se caracteriza por ser um empreendimento social que fornecerá casa para pessoas de baixa renda.

Tabela 2 - Resultados médios encontrados ETE Glória.

VARIÁVEL	VALOR MÉDIO
SSED(mg/L)	0,2
SST (mg/L)	103
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	330
DQO (mg/L)	616
CT (UFC/100mL)	3,27E+07

Fonte: LIMA (2016).

#### 4.3. TOMADA DE DECISÃO

Por se tratar de sistemas de lagoas estabilização, podemos concluir pela Tabela 3 que Von Sperling (2005) já nos mostra que se trata do sistema de tratamento de esgoto mais barato em termos de manutenção e até mesmo implantação, proporcionando também, uma boa eficiência de tratamento como mostrado na Tabela 4.

Tabela 3 - Faixas de custos per capita estimados.

Sistema	Implantação (R\$/hab)	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)
Lagoa facultativa	40-80	2,0-4,0
Lagoa facultativa + maturação	-	-
Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação	50-100	2,5-5,0
Reator UASB + lagoa de polimento	50-80	4,5-7,0
Reator UASB + filtro anaeróbio	45-70	3,5-5,5
Reator UASB + FBP	60-90	5,0-7,5
Fossa Séptica + Filtro Anaeróbio	80-130	6,0-10

Fonte: VON SPERLING (2005).

Tabela 4 - Faixas de eficiência de remoção de constituintes físico-químicos em lagoas de estabilização.

Sistema	Eficiência média de remoção (%)					
	DBO	DQO	SS	Amônia-N	N total	P total
Lagoa facultativa	75-85	65-80	70-80	< 50	< 60	< 35
Lagoa facultativa + maturação	80-85	70-83	70-80	40-80	40-80	> 40
Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação	80-85	70-83	73-83	50-65	50-65	> 50
Reator UASB + lagoa de polimento	77-87	70-83	73-83	50-65	50-65	> 50
Reator UASB + filtro anaeróbio	75-87	70-80	80-90	< 50	< 60	< 35
Reator UASB + FBP	80-93	73-88	87-93	< 50	< 60	< 35
Fossa Séptica + Filtro Anaeróbio	80-85	70-80	80-90	< 45	< 60	< 35

Fonte: VON SPERLING (2005) e (2003).

Conforme os dados da Tabela 4, as melhores combinações de lagoas de estabilização, as quais podem ser escolhidas para utilizar neste projeto, são a lagoa facultativa seguida de lagoas de maturação e lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa secundária e de lagoas de maturação.

Os sistemas de lagoas de estabilização mais difundidos podem ser classificados em sistemas tipo 1 (lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoas de maturação) e o sistema tipo 2 (lagoa facultativa + lagoas de maturação). A principal vantagem do sistema 1 é a menor área a ser utilizada para a implantação, já que a lagoa anaeróbia irá reduzir boa parte da DBO e DQO e seu efluente requererá uma lagoa facultativa secundária com área bem menor do que uma facultativa primária para produzir a mesma eficiência. Portanto o sistema 1 é aconselhável para quando se tem uma pequena área disponível e com centros urbanos distantes, já que o mau cheiro produzido pela lagoa anaeróbia, o que pode incomodar e, até mesmo, desvalorizar áreas urbanas nas proximidades.

A lagoa anaeróbia tem seu tempo de vida útil reduzido em comparação com a lagoa facultativa, funcionando com a eficiência de projeto em média durante 5 anos, ao fim dos quais será necessário remover o lodo do fundo da lagoa, já as lagoas facultativas trabalham com a eficiência de projeto durante em média 20 anos, além de não apresentarem mau cheiro, como as anaeróbias. Nas facultativas, segundo Jordão e Pessoa (2014), há floração de algas que realizam fotossíntese e durante esse processo há aumento de pH, conversão da amônia ionizada  $\text{NH}_4^+$  a amônia livre  $\text{NH}_3$ , e conversão do gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) a bissulfeto ( $\text{HS}^-$ ) que é inodoro.

Com vistas a minimizar os inconvenientes das lagoas anaeróbias, o sistema a ser adotado será o de lagoa facultativa seguida de lagoas de maturação.

#### 4.4. APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS TÉCNICOS NORMATIVOS

Para a tomada de decisões sobre qual eficiência o sistema de tratamento deverá alcançar, foi consultada a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 complementada pela Resolução CONAMA nº 430 de 2011 que dispõem, respectivamente, sobre a classificação dos corpos hídricos e os padrões de lançamento de efluente. Os valores permitidos encontrados dos indicadores para esgotos sanitários, são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores permitidos de lançamento pela resolução CONAMA nº 430 de 2011 e pela resolução CONAMA nº 357 de 2005.

<b>Das condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários</b>	
pH	5 a 9
Temperatura	< 40°C *
Materiais sedimentáveis	Até 1 mL/L
DBO <sub>5</sub>	120 mg/L **
Coliformes termotolerantes (dessedentação de animais)	Até 1000/100 mL

\* o corpo receptor não pode ter uma variação superior a 3°C

\*\* pode sofrer variação caso o tratamento ofereça uma remoção mínima de 60% ou estudo que comprove que o corpo hídrico tenha autodepuração que atenda a qualidade de sua qualificação

Fonte: CONAMA (2011).

#### 4.5. DIMENSIONAMENTO

##### 4.5.1. Parâmetros a serem adotados

- População: Nº de pessoas por casa x nº de casas x fator de segurança = 4 x 4.100 x (1,1) = 18.040 habitantes
- Per capita: 120 L.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, de acordo com Von Sperling (1996)
- DBO afluente (S<sub>0</sub>): 330 mg.L<sup>-1</sup> = 330 g.m<sup>-3</sup> (adotado segundo Lima, 2016)
- Coeficiente de retorno: 0,8 (adotado segundo a NTS 025 SABESP, 2006)

### Vazão do afluente

A vazão do afluente pode ser encontrada através da Equação 01, que também é a vazão média que será usada para dimensionar as lagoas de estabilização.

$$Q_{méd} = \text{População} * \text{Per Capita} * \text{Coeficiente de Retorno} \quad (\text{Eq. 01})$$

$$Q_{méd} = 1.731.840 \text{ L.dia}^{-1} \quad \text{ou} \quad Q_{méd} = 1.731,84 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$$

Para dimensionar o tratamento preliminar serão necessárias as vazões mínima e máxima, de esgoto que são obtidas através da multiplicação da vazão média pelos coeficientes de variação de consumo K1, K2 e K3, onde K1 é o coeficiente de variação anual, que caracteriza a variação máxima diária de vazão, igual a 1,2. K2 caracteriza a variação máxima horária, igual a 1,5. K3 caracteriza a variação mínima horária, adotado igual a 0,5, conforme recomenda a NBR 9649/1986. Seguindo as Equações 02 e 03, podemos chegar aos valores da vazão mínima e da vazão máxima (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

$$Q_{min} = Q_{méd} * K3 \quad (\text{Eq. 02})$$

$$Q_{máx} = Q_{méd} * K1 * K2 \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde:

- $Q_{min}$  = vazão mínima de esgoto ( $\text{L.s}^{-1}$ );
- $Q_{máx}$  = vazão máxima de esgoto ( $\text{L.s}^{-1}$ ).

### Vazão máxima:

$$Q_{máx} = Q_{méd} * K1 * K2$$

$$Q_{máx} = 3.117,3 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1} \quad \text{ou} \quad Q_{máx} = 0,036 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$$

### Vazão mínima:

$$Q_{min} = Q_{méd} * K3$$

$$Q_{min} = 865,92 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1} \quad \text{ou} \quad Q_{min} = 0,010 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$$

## 4.5.2. Dimensionamento do tratamento preliminar

### Dimensionamento da grade

Neste projeto será adotada grade fina com espaçamento de 20 mm, de acordo a NBR 12.209 (ABNT, 2011). Como a vazão máxima de projeto é de 36 l/s, não será necessário adotar

a limpeza mecanizada, conforme recomendação da NBR 12.209 (ABNT, 2011), sendo o processo de limpeza será manual.

### Dados da grade adotada

- Grade fina com espaçamento entre as barras de 20 mm
- Barras retangulares: 6,4 x 38,1 mm (conforme Jordão e Pessoa, 2014).
- Velocidade através da grade: 1 m.s<sup>-1</sup> (conforme a NBR 12.209, ABNT, 2011).
- Limpeza manual, adotada de acordo com a vazão máxima de projeto e segundo a NBR 12.209, ABNT, 2011.

### Cálculo da eficiência da grade

$$E = \frac{a}{a + t} * 100 \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde:

a = espaçamento entre as barras

t = espessura da grade

$$E = 75,76 \%$$

### Área da seção transversal do canal até o nível da água

$$S = \frac{Au}{E} \quad (\text{Eq. 05})$$

Onde:

Au = Área útil da seção transversal

E = Eficiência da grade

$$Au = \frac{Q.máx}{v} \quad (\text{Eq. 06})$$

$$Au = 0,036 \text{ m}^2$$

Substituindo na Eq. 05, temos:

$$S = 0,0475 \text{ m}^2$$

Será adotada uma grade com largura mínima de 30 cm, para que o operador possa introduzir uma pá dentro do canal para realizar a limpeza. Portanto, para encontrar a altura da lâmina de água será usada a Eq. 07:

$$S = b * h \quad (\text{Eq. 07})$$

Onde:

$b$  = largura da grade

$h$  = altura da lâmina de água

$$0,0475 \text{ m}^2 = 0,30 \text{ m} * h$$

$$h = 0,15 \text{ m}$$

**Determinando o número de barras:**

$$Nb = \frac{b - a}{a - t} \quad (\text{Eq. 08})$$

$$Nb = 20,59$$

Portanto, serão usadas 21 barras.

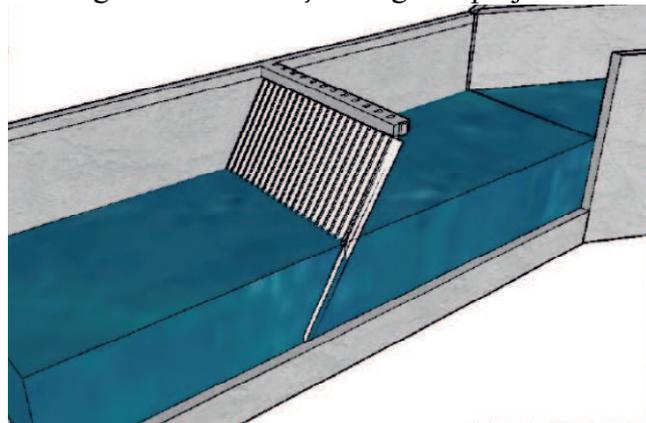
**Determinando o número de espaçamentos**

$$Ne = Nb + 1 \quad (\text{Eq. 09})$$

$$Ne = 22$$

Portanto, a grade terá: 30 cm de largura, 15 cm de altura do nível de água, com 21 barras e 22 espaçamentos, com espaçamento entre as barras de 20 mm, e uma inclinação de 60° segundo a NBR 12.208 (ABNT, 1992).

Figura 17 - Ilustração da grade projetada.



**Dimensionamento da caixa de areia e escolha da calha Parshall**

Sabendo-se que:

- $Q_{\text{mín}} = 10 \text{ L.s}^{-1} = 0,010 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$
- $Q_{\text{méd}} = 20 \text{ L.s}^{-1} = 0,020 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$
- $Q_{\text{máx}} = 36 \text{ L.s}^{-1} = 0,036 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$

Analisando a Tabela 6 pode ser escolhida a garganta da calha Parshall.

Tabela 6 - Limites de aplicação para calha Parshall em regime de escoamento livre.

Garganta W	W (m)	Vazão de escoamento (L/s)	
		Mínima	Máxima
3"	0,076	0,85	53,8
6"	0,152	1,42	110,4
9"	0,229	2,55	251,9
1'	0,305	3,11	455,6
1 1/2'	0,457	4,25	696,2
2'	0,61	11,89	936,7
3'	0,915	17,26	1426,3
4'	1,22	36,79	1921,5
5'	1,525	45,3	2422
6'	1,83	73,6	2929
7'	2,135	84,95	3440
8'	2,44	99,1	3950
10'	3,05	200	5660

Fonte: AZEVEDO NETTO (2007).

Portanto, a calha Parshall escolhida para atender as vazões de projeto será a de Garganta de 3" com W de 0,076 metros.

#### Determinação da altura do nível de água.

$$h = \left( \frac{Q}{2,2 * W} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (Eq. 10)$$

Para altura mínima:

$$h_{mín} = 0,153 \text{ m}$$

Para altura média:

$$h_{méd} = 0,243 \text{ m}$$

Para altura máxima:

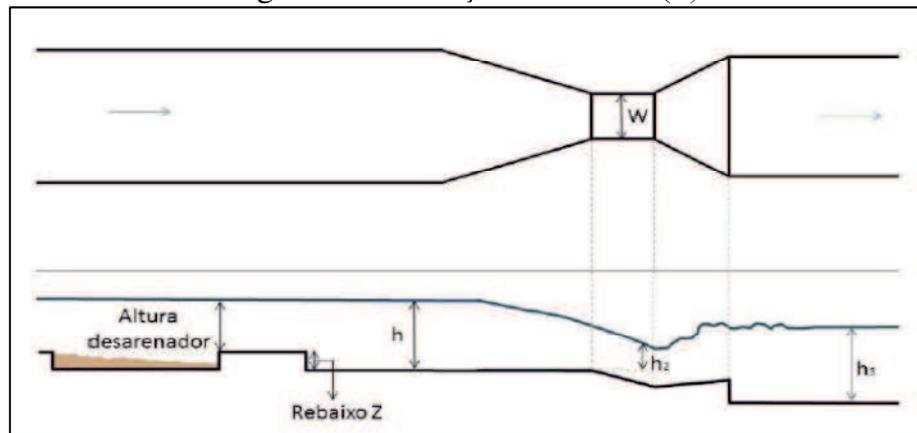
$$h_{máx} = 0,36 \text{ m}$$

Cálculo do rebaixo (Z), indicado na Figura 18:

$$Z = \frac{(Q. máx * h. mín) - (Q. mín * h. máx)}{(Q. máx - Q. mín)} \quad (Eq. 11)$$

$$Z = 0,073 \text{ m}$$

Figura 18 - Indicação do rebaixo (Z).



Fonte: ANDRADE (2016).

### Determinando o comprimento da caixa de areia:

$$L = 22,5 * hmáx \quad (Eq. 12)$$

$$L = 8,1 m$$

### Determinação da largura da caixa de areia

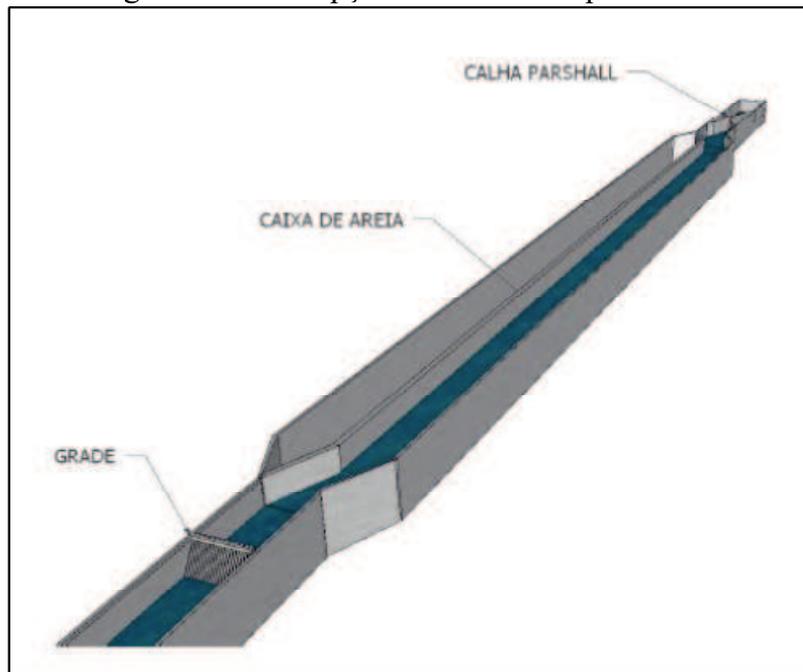
Segundo a NBR 12.209 (ABNT, 2011), a seção transversal do desarenador deve permitir uma velocidade de escoamento entre 0,25 e 0,4 m/s. Portanto será adotada a velocidade de escoamento de 0,3 m/s.

$$b = \frac{Qmáx}{v * hmáx} \quad (Eq. 13)$$

$$b = 0,33 m$$

A Figura 19 ilustra os dispositivos de pré-tratamento, sendo observado que a caixa de areia é provida de dois canais longitudinais para permitir ações de manutenção e limpeza sem a necessidade de parada do sistema.

Figura 19 - Concepção do tratamento preliminar.



#### 4.5.3. Dimensionamento do tratamento secundário

O sistema de tratamento escolhido é constituído por uma série de lagoas sendo a primeira uma lagoa facultativa primária, a qual promove grau secundário de tratamento. O dimensionamento das unidades da série seguirá o roteiro definido por Von Sperling (2002), conforme os seguintes passos:

##### Cálculo da carga afluyente de DBO<sub>5</sub>

$$L = \text{Concentração} * Q_{\text{méd}} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$L = 571,5 \text{ kg. dia}^{-1}$$

##### Dimensionamento da lagoa facultativa

##### Taxa de aplicação superficial (carga orgânica superficial)

A taxa de aplicação superficial será estabelecida de acordo com Mara (1976) através da formula:  $L_s = 20 * T - 120$ , onde T(°C) é a temperatura média do mês mais frio do ano, da cidade ou região onde o empreendimento será implantado.

Segundo o site Weatherspark (2018), em um intervalo de análise entre 1980 a 2016, a temperatura média do mês mais frio para a cidade de Campina Grande é 20° C, logo:

$$L_s = 20 * T - 120 \quad \text{Eq. 15}$$

$$L_s = 280 \frac{\text{kg} * \text{DBO}_5}{\text{ha} * \text{dia}}$$

### Área requerida

$$A = \frac{L}{L_s} \quad (\text{Eq. 16})$$

$$A = 2,04 \text{ ha}$$

Ou

$$A = 20.400 \text{ m}^2$$

Com a relação  $\frac{L}{B} = 2,5$ , prováveis dimensões serão:  $L = 225,7 \text{ m}$  e  $B = 90,4 \text{ m}$

### Volume resultante

Adotando a profundidade da lagoa de 1,5 m, segundo Jordão e Pessoa (2014).

$$V = A * H \quad (\text{Eq. 17})$$

$$V = 30.600 \text{ m}^3$$

### Cálculo do tempo de detenção hidráulica

$$t = \frac{V}{Q} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$t = 17,7 \text{ dias}$$

### Adoção do valor do coeficiente de remoção de DBO

Segundo Von Sperling, (2002), em regime de mistura completa a 20°C é  $k_1 = 0,27 \text{ d}^{-1}$

### Estimativa da DBO solúvel do efluente

$$S = \frac{\text{DBO afluyente}}{1 + k_1 * t} \quad (\text{Eq. 19})$$

$$S = 57,1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

### Estimativa da DBO particulada do efluente

De acordo com Von Sperling (2002), 1 mg de SS/L implica numa  $\text{DBO}_5$  entre 0,3 e 0,4 mg/L e que na lagoa facultativa a remoção de sólidos suspensos é em torno de 70% a 80% e

como os sólidos suspensos do afluente é  $103 \text{ mg.L}^{-1}$  e adotando 70% como eficiência de remoção chegaremos a  $30,9 \text{ mg.L}^{-1}$ , logo:

$$DBO5 \text{ particulada} = 0,3 \frac{\text{mg de DBO}}{\text{mg de SS}} * 30,9 \frac{\text{mg de SS}}{L} \quad (\text{Eq. 20})$$

$$DBO5 \text{ particulada} = 9,27 \text{ mg.L}^{-1}$$

#### DBO<sub>5</sub> total do efluente

$$DBO5 \text{ total} = DBO5 \text{ solúvel} + DBO5 \text{ particulada} \quad (\text{Eq. 21})$$

$$DBO \text{ total} = 66,37 \text{ mg.L}^{-1}$$

#### Calculo da eficiência da lagoa facultativa

$$E = \frac{330 - 66,37}{330} * 100 \quad (\text{Eq. 22})$$

$$E = 79,9 \%$$

#### Remoção de coliformes nas lagoas facultativas

Com base na Equação 23, admitindo fluxo de mistura completa e redução de coliformes, de acordo com uma cinética de primeira ordem estima-se a concentração efluente de coliformes, na lagoa facultativa.

$$N_e = \frac{N_i}{1 + Kb * t} \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde:

$$Kb = 2,6 * (1,19)^{T-20} \quad (\text{Eq. 24})$$

Portanto a concentração de coliformes na lagoa facultativa será:

$$N_e = 6,96 * 10^5 \text{ CF}/100\text{mL}$$

Esta concentração no efluente da lagoa facultativa é a concentração afluenta na etapa de lagoas de maturação.

### Cálculo da eficiência de remoção de coliformes na lagoa facultativa:

$$E = \frac{N_0 - N}{N_0} * 100 \quad (\text{Eq. 25})$$

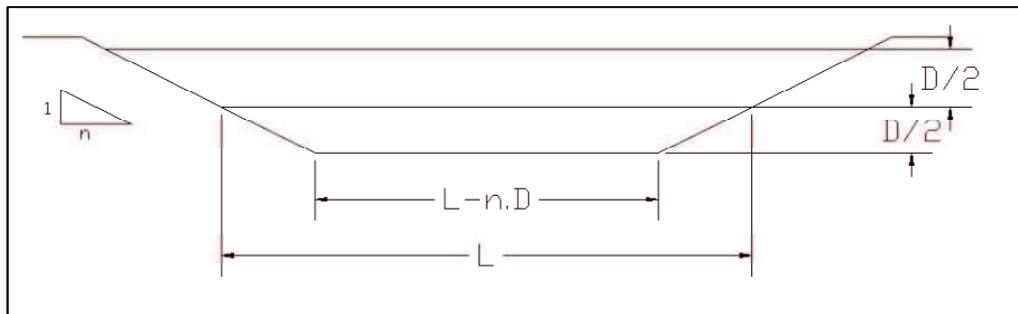
$$E = \frac{3,27 * 10^7 - 6,96 * 10^5}{3,27 * 10^7} * 100$$

$$E = 97,87\%$$

### Cálculo dos taludes:

Segundo Mara (1976) os taludes mais usuais são os de proporção 1 para 2 e 1 para 3, que podem ser dimensionados de acordo com a Figura 20. Neste trabalho adotaremos a proporção 1 para 3.

Figura 20 - Concepção dos taludes.



Fonte: MARA (1976).

Onde,

L = largura da lagoa

D = profundidade útil da lagoa

### Dimensões da lagoa facultativa com os taludes:

#### Dimensão inferior:

$$i = L - n * D \quad (\text{Eq. 26})$$

$$i = 221,2 \text{ m}$$

#### Dimensão média:

$$m = L \quad (\text{Eq. 27})$$

$$m = 225,7 \text{ m}$$

**Dimensão superior:**

$$s = L + n * D \quad (\text{Eq. 28})$$

$$s = 230,2 \text{ m}$$

**Concepção da lagoa facultativa:**

Portanto, a lagoa facultativa terá área média de 20.400 m<sup>2</sup>, com a relação comprimento por largura, L/B = 2,5, sendo os taludes de proporção 1 para 3 por serem mais estáveis, para a maioria dos tipos de solo, e com vegetação controlada como revestimento de proteção.

**Dimensionando as lagoas de maturação**

Foram adotadas três lagoas com tempo de detenção total de 15 dias, sendo 5 dias para cada lagoa, sendo admitido que o modelo de fluxo é completamente disperso.

**Dimensionando o volume de cada lagoa**

$$V = t * Q \quad (\text{Eq. 29})$$

$$V = 8.659,2 \text{ m}^3$$

**Dimensionamento de cada lagoa**

Foi adotada uma profundidade de um metro, conforme relatado por Von Sperling (2002).

**Área superficial de cada lagoa:**

$$A = \frac{V}{H} \quad (\text{Eq. 30})$$

$$A = 8.659,2 \text{ m}^2$$

**Área superficial total:**

$$At = 3 \times 8.659,2 \text{ m}^2 (\text{Eq. 31})$$

$$At = 25.997,6 \text{ m}^2$$

For adotada a relação comprimento por largura  $\frac{L}{B} = 3$ , conforme Mara (1976), por induzir melhores características hidráulicas. Logo, as dimensões **161,18 m de comprimento e 53,73 m de largura**, para cada uma das três lagoas.

Estimando a concentração de coliformes no efluente final do sistema de lagoas de maturação, segundo Mara (1976), sabendo-se que o  $K_b$  é  $2,6 \text{ d}^{-1}$ , teremos:

$$N_e = \frac{6,96 * 10^5}{(1 + 2,6 * 5)^3} \quad (\text{Eq. 32})$$

$$N_e = 254 \text{ UFC}/100\text{mL}$$

Portanto, podemos observar que a qualidade do efluente final, em termos de coliformes termotolerantes atende até a dessedentação de animais, segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, bem como pode servir para irrigar, mesmo alimentos comidos crus, conforme os padrões da OMS (MARA, 1976).

**Cálculo da eficiência de remoção de coliformes no sistema de lagoas de maturação:**

$$E = \frac{N_o - N}{N_o} * 100 \quad (\text{Eq. 33})$$

$$E = \frac{6,96 * 10^5 - 254}{6,96 * 10^5} * 100$$

$$E = 99,96\%$$

**Dimensões das lagoas de maturação com os taludes:**

**Dimensão inferior:**

$$i = L - n * D \quad (\text{Eq. 34})$$

$$i = 158,18 \text{ m}$$

**Dimensão média:**

$$m = L \quad (\text{Eq. 35})$$

$$m = 161,18 \text{ m}$$

**Dimensão superior:**

$$s = L + n * D \quad (\text{Eq. 36})$$

$$s = 164,18 \text{ m}$$

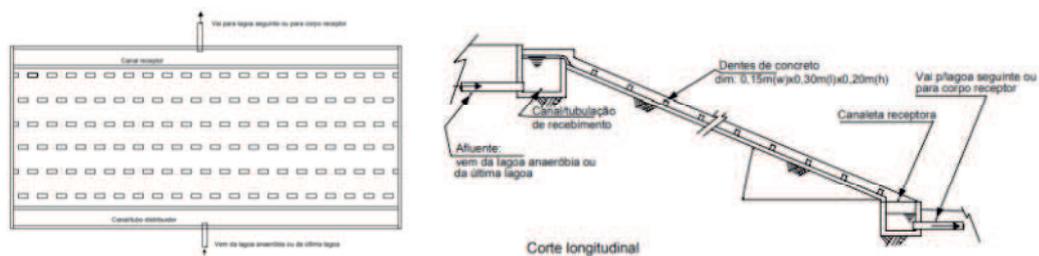
### Concepção do sistema de lagoas de maturação:

Portanto cada lagoa de maturação terá área média de 8.659,2m<sup>2</sup> com a relação comprimento por largura,  $L/B = 3$ , os taludes adotados foram de proporção 1 para 3 por serem mais estáveis para a maioria dos tipos de solo, e com vegetação controlada como revestimento, para uma melhor fixação do solo e auxílio na absorção dos nutrientes

### Dispositivos de entrada e saída das lagoas:

Neste trabalho, o modelo de dispersão admitido, tanto na lagoa facultativa quanto nas de maturação, foi o de mistura completa, considerado o menos eficiente. Para o dispositivo de entrada na lagoa facultativa, ilustrado na Figura 21, foi adotada uma rampa com efeito cascata que tem por finalidade a mistura e homogeneização do efluente, além de sua aeração.

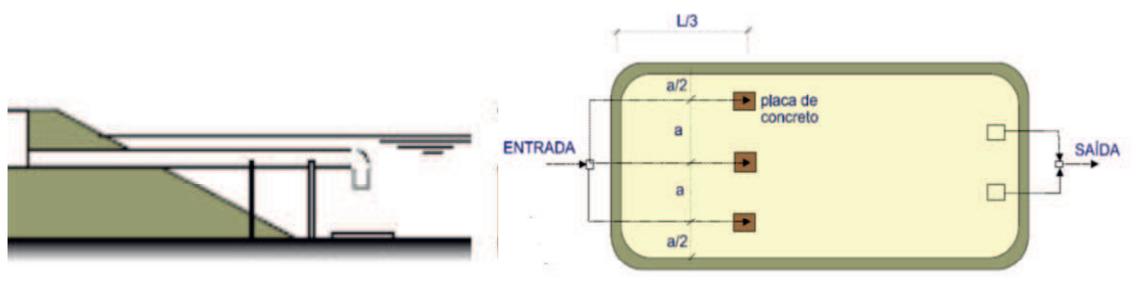
Figura 21 - Dispositivo de entrada na lagoa facultativa.



Fonte: LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO (2018).

Para o dispositivo de entrada nas lagoas de maturação, ilustrado na Figura 22, foram adotados três dispersores de efluente com os tubos submersos e virados para baixo, onde a entrada do afluente fica, em média, a 1/3 do comprimento da lagoa.

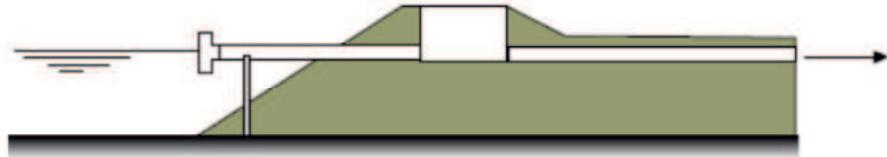
Figura 22 - Modo de dispersão do efluente nas lagoas de maturação.



Fonte: LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO (2018).

Para o dispositivo de saída tanto da lagoa facultativa quanto nas lagoas de maturação, Figura 23, será usada canalização com tê que é de fácil manutenção e evita obstrução por escumas que possam vir a ser formadas na superfície.

Figura 23 - Dispositivo de saída na lagoa de maturação.



Fonte: LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO (2018).

## 5. DISCUSSÃO

O estudo realizado neste trabalho tem relação com o desafio do enfrentamento das mudanças devidas ao aumento da população urbana, característica de regiões em desenvolvimento distribuídas em todo o mundo. Tal desafio consiste no atendimento de crescentes demandas por infraestruturas que garantam a prestação de serviços públicos com qualidade e, para isso, a escala dessas estruturas deve ser compatível com o espaço geográfico ocupado pela população, mas deve permitir eficiente processo de gestão. Uma questão recorrente diz respeito à adoção de soluções descentralizadas ou a integração de novas áreas aos sistemas centralizados. A propósito, o surgimento de um novo núcleo urbano deve requerer solução local para o esgotamento sanitário ou seus esgotos devem ser integrados ao sistema de esgotamento sanitário urbano centralizado e frequentemente muito complexo o qual também implica em processo complexo de gestão?

O projeto do sistema descentralizado de tratamento de esgotos, desenvolvido neste trabalho representa uma alternativa à integração dos esgotos de um complexo habitacional ao sistema de esgotamento sanitário centralizado da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba. O projeto de integração conta com duas estações elevatórias e isso implica que, ao longo de todo o seu período de vida o sistema demandará uso de energia elétrica, o que representa aumento de custo de operação e manutenção, além de exigir nível de especialização maior por parte dos operadores. Tal perspectiva não parece compatível com o perfil socioeconômico da população do complexo habitacional.

O sistema descentralizado, apresentado como alternativa, baseado numa série de lagoas de estabilização, além de representar barreira sanitária contra a disseminação de doenças de veiculação hídrica pode contribuir para a adoção de práticas seguras de reuso de águas residuárias, o que, localmente, pode também contribuir para combater a desnutrição e aumentar a renda de grupos humanos na comunidade, o que estaria bem compatível com os princípios do saneamento ecológico.

O projeto, baseado na adoção de parâmetros técnicos já testados regionalmente, e, por isso, com elevado potencial de viabilidade técnica de instalação, operação e manutenção constitui base razoável para fundamentar a avaliação de cenários através de análises multicriteriais, contribuindo, assim, para a tomada de decisões por parte de gestores ambientais.

## 6. CONCLUSÃO

A partir da realização do estudo sobre o dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto descentralizada para atender o complexo habitacional Aluizio Campos, na cidade de Campina Grande – PB, pode-se concluir que há disponibilidade tanto de área para a construção do empreendimento, como configuração topográfica favorável para que o efluente gerado pelo complexo habitacional Aluizio Campos chegue, por gravidade, até a ETE proposta.

A ETE foi dimensionada com êxito para atender uma vazão média de 1.732 m<sup>3</sup>/dia atendendo os valores dos indicadores de DBO<sub>5</sub> e coliformes termotolerantes estabelecidos pela legislação pertinente.

A configuração de tratamento escolhido visa o maior tempo de vida útil, com o menor custo de implantação, operação e manutenção, tornando-se assim um empreendimento com grande potencial de atendimento às necessidades da população local, além da possibilidade de permitir a adoção de novas práticas seguras e sustentáveis sob distintos pontos de vista.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. S. Sistema computacional para pré-dimensionamento de estações de tratamento de esgoto domésticos para municípios de pequeno e médio porte, Trabalho Final de Curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora – 2016.

APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th ed.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12208: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: Moderna, 5 p., 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648: Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro: Moderna, 5 p., 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário. 2ª ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 53 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 357 de 17 de março de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 430 de 11 de maio de 2011.

CAMPOS, J. R. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo, Rio de Janeiro: ABES, 464p., 1999.

DEZOTTI, M. Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos. Série Escolar Piloto de Engenharia Química COPPE/UFRJ, E-papers Serviços Editoriais Ltda., v. 5, 360 p., 2008

JORDÃO, E. P.; PESSOA, A. C. Tratamento de Esgotos Domésticos, Concepções Clássicas de Tratamento de Esgoto 2ª edição. CETESB, São Paulo, 1995, 544p.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A., 2014, Tratamento de Esgotos Domésticos. 7 ed. Rio de Janeiro. Editora ABES.

JORDÃO, E. P e PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgoto Doméstico. 7ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

Lagoas de estabilização. Disponível em: <[http://www.deha.ufc.br/login/usuarios/td945a/Tratamento\\_secundario\\_de\\_esgotos\\_Lagoas\\_de\\_Estabilizacao.pdf](http://www.deha.ufc.br/login/usuarios/td945a/Tratamento_secundario_de_esgotos_Lagoas_de_Estabilizacao.pdf)>. Acesso em 22 de novembro de 2018.

LICENCIAMENTO AMBIENTAL. Disponível em: <<http://www.licenciamentoambiental.eng.br/fontes-de-poluentes-pontuais-e-difusas/>> Acesso em 10 de outubro de 2018.

LIMA, M, F.; et al. Estudo das características das águas residuárias urbanas na cidade de Campina Grande, Paraíba, dentro do contexto atual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7. 2016, Campina Grande. Anais, 2016. p. 19

MANUAL DE SANEAMENTO – FUNASA: Esgotamento Sanitário. – 4. ed. – Brasília: Funasa, 2015. 642 p.

MARA, D. D. Sewage Treatment in Hot Climates. London – New York – Sydney – Toronto: ISBN, 1976.

NORMA TÉCNICA SABESP. NTS025: Projeto de Redes Coletoras de Esgotos. São Paulo: SABESP, 2006. 26 p.

OBSERVA CAMPINA. Disponível em: <<http://www.observacampina.com/sigcg/mapa.html>>. Acesso em 04 de outubro de 2018.

OLIVEIRA, Maria Lúcia Carneiro. A importância do esgotamento sanitário para a saúde pública e para o ambiente. Revista Sanear, Brasília, n. 6, junho/2009.

ROCHA. Construtora Rocha. Planta topográfica e do emissário do complexo habitacional Aluízio Campos. 2018.

ROSA, A.H, FRACETO, L.F, MOSCHINI-CARLOS.V. Meio ambiente e sustentabilidade. Porto Alegre: BOOKMAN, 2012.

SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. Apostila: Operador de Estação de Tratamento de Água e Esgoto, 2012. Disponível em: <[www.samaecaxias.com.br/concurso](http://www.samaecaxias.com.br/concurso)> Acesso em: 10 de outubro de 2018.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento de Campina Grande. Vista aérea do complexo habitacional Aluízio Campos.

SILVA, G. H. Sistemas de alta eficiência para tratamento de esgoto residencial – Estudo de caso nas lagoas da Conceição. Monografia. Programa de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2004.

SILVA, P. A. Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização. Tese. Programa Regional de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2007.

SOUSA, M. U. Caracterização físico-química e microbiológica do esgoto da UEPB com proposta de tratamento para fins de reuso. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande - PB, 2014.

UNESCO-United Nations Educational Scientific and Cultural Education. Declaração universal dos direitos humanos (1948). Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001394/139423por.pdf>> Acesso em 14 de outubro de 2018.

VIBROPAC – ÁGUAS E EFLUENTES. O que são efluentes, 2015. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/efluentes-domesticos-e-industriais-voce-conhece-as-diferencas/>> Acesso em 08 de outubro de 2018.

VON SPERLING, M. Lagoas de Estabilização: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 2a Ed. Belo Horizonte: UFMG, 196 p., 2002.

VON SPERLING, Marcos. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: [s.n.], 1996.211p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.2).