

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

ANDRÉ PEDRO RODRIGUES VELOSO

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA A
CIDADE DE TAGUATINGA - TO**

**PALMAS
2020**

ANDRÉ PEDRO RODRIGUES VELOSO

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA A
CIDADE DE TAGUATINGA - TO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenheiro Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

**PALMAS
2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

V432d Veloso, André Pedro Rodrigues
 Dimensionamento de Sistema de Tratamento de Esgoto para a
 cidade de Taguatinga - TO / André Pedro Rodrigues Veloso. –
 Palmas, TO, 2021.
 65 f. : il. color.

 Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
 Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
 Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

 Orientador: Dr. Marcelo Mendes Pedroza

 1. ETE. 2. Efluente. 3. Esgoto. I. Pedroza, Marcelo Mendes. II.
 Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ANDRÉ PEDRO RODRIGUES VELOSO

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA A
CIDADE DE TAGUATINGA - TO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como exigência
à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Trabalho aprovado, Palmas – TO, 25 de junho de 2021;

BANCA AVALIADORA



Dr. Marcelo Mendes Pedroza
Orientador



Ranyere do Nascimento Lôbo
Eng. Civil



Profa. Me. Elaine da Cunha Silva Paz
Me. Tecnologia Ambiental

RESUMO

O saneamento básico impacta diretamente na saúde e qualidade de vida da população, por esse motivo é necessário o investimento satisfatório em sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário. O objetivo deste trabalho foi dimensionar um sistema de tratamento de esgoto eficiente e viável para a cidade de Taguatinga - TO. Cada tipo de tratamento possui vantagens e desvantagens, implantação e operação diferentes. Apresentando os principais sistemas de tratamento de esgotamento sanitário, foi proposto e dimensionado duas opções de tratamentos de águas residuárias: lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação e lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação, comparados e definido qual o sistema mais viável para a região de Taguatinga - TO.

Palavras-chave: Esgoto. Efluente. ETE's. Lagoa Facultativa. Lagoa de Maturação. Lagoa Anaeróbia.

ABSTRACT

Basic sanitation has a direct impact on the population's health and quality of life, which is why a satisfactory investment in sewage collection and treatment systems is necessary. The objective of this work was to design an efficient and viable sewage treatment system for the city of Taguatinga - TO. Each type of treatment has different advantages and disadvantages, implementation and operation. Introducing the main sewage treatment systems, two options for wastewater treatment were proposed and dimensioned: facultative pond followed by maturation pond and anaerobic pond followed by facultative pond and ripening pond, compared and defined which is the most viable system for the region of Taguatinga - TO.

Keywords: Sewer. Effluent. ETE's. Facultative Lagoon. Maturation Ponds. Anaerobic Lagoon.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características físicas dos esgotos domésticos:	18
Quadro 2 - Características químicas dos esgotos domésticos:	18
Quadro 3 - Características biológicas dos esgotos domésticos:	20
Quadro 4 - Principais sistemas secundários de tratamento de esgoto.....	23
Quadro 5 - Métodos analíticos aplicados na caracterização físico-química de água cinza bruta e após tratamento por coagulação química	33
Quadro 6 - Dimensionamento de Lagoa facultativa primária	46
Quadro 7 - Resultados do dimensionamento das Lagoas Facultativas Primárias.....	48
Quadro 8 - Dimensionamento de Lagoas de maturação em série	49
Quadro 9 - Resultados do dimensionamento de Lagoas de Maturação.....	50
Quadro 10 - Resultados do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação	51
Quadro 11 - Dimensionamento de Lagoas Anaeróbias para o Sistema 2.....	53
Quadro 12 - Resultado do dimensionamento de Lagoas Anaeróbias Primárias para o Sistema 2	54
Quadro 13 - Dimensionamento de Lagos Facultativas para o Sistema 2.....	55
Quadro 14 - Resultado do dimensionamento de Lagoas Facultativas Secundárias para o Sistema 2	57
Quadro 15 - Dimensionamento de Lagoas de maturação em série para o Sistema 2	58
Quadro 16 - Resultados do dimensionamento de Lagoas de maturação em série para o Sistema 2	59
Quadro 17 - Resultados do dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação	60

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Norte	16
Figura 2 - Eutrofização de corpo hídrico.....	21
Figura 3 - Decantador Primário - Planta	22
Figura 4 - Esquema do Reator - UASB	25
Figura 5 - Funcionamento da Lagoa Facultativa	27
Figura 6 - Fluxograma de lagoas de estabilização e lagoas de maturação.....	28
Figura 7 - Limites da Bacia Hidrográfica do rio Palma.....	30
Figura 8 - Hidrologia da Bacia Hidrográfica do Rio Palma	31
Figura 9 - Imagem Aérea do Município de Taguatinga - TO	32
Figura 10 - Sistema Viário do Município de Taguatinga - TO	32
Figura 11 - Modelo esquemático do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação	52
Figura 12 - Modelo esquemático do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Total de municípios e percentual de municípios com coleta e tratamento de esgoto, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação - 2008	14
Tabela 2 - Taxas de aplicação volumétricas admissíveis para projetos de lagoas anaeróbias em função da temperatura local	36
Tabela 3 - Comparativo da projeção populacional de Taguatinga - TO	40
Tabela 4 - Caracterização de amostra de esgoto bruto do município de Taguatinga - Tocantins	42
Tabela 5 - Características encontradas nos esgotos domésticos brutos no Brasil ...	44
Tabela 6 - Condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários	45
Tabela 7 - Condições de qualidade da água para corpos hídricos de Classe 2	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Números do saneamento básico no Brasil	13
2.2 Números do saneamento básico no Estado do Tocantins	16
2.3 Caracterização das Águas Residuárias.....	17
2.4 Tipos de sistemas empregados no tratamento das águas residuárias	21
2.4.1 Tratamento Primário	22
2.4.2 Tratamento Secundário	23
2.4.3 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB).....	25
2.4.4 Lagoa Facultativa.....	26
2.4.5 Tratamento Terciário	27
2.4.6 Lagoa de Maturação	28
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	29
3.1 Caracterização da pesquisa	29
3.2 Caracterização das bacias hidrográficas do estado do Tocantins	29
3.3 Caracterização da bacia hidrográfica do Rio Palma.....	30
3.4 Caracterização do município Taguatinga – TO	31
3.5 Caracterização das águas residuárias brutas	33

3.6 Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias	33
3.6.1 Cálculo da População de Projeto.....	34
3.6.2 Cálculo da vazão doméstica média (Qd méd)	34
3.6.3 Parâmetros para dimensionamento do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação	35
3.6.3.1 Determinação da taxa de aplicação superficial da Lagoa Facultativa (LS)	35
3.6.3.2 Outros Parâmetros de Projeto para a Lagoa Facultativa.....	35
3.6.3.3 Parâmetros de Projeto para a de Maturação.....	36
3.6.4 Parâmetros para dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação.....	36
3.6.4.1 Determinação da taxa de aplicação volumétrica da Lagoa Anaeróbia (Lv).....	36
4 DIMENSIONAMENTO DE PROJETO	37
4.1 Parâmetros técnicos	37
4.1.1 Período de projeto	37
4.1.2 Projeção populacional para o município de Taguatinga – TO	37
4.1.3 População de projeto	41
4.2 Caracterização das águas residuárias	42
5 Dimensionamento do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação	46
5.1 Resultados do Sistema 1:	51
6 Dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação.....	53
6.1 Resultados do sistema 2	60
7 CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

É indiscutível a importância do tratamento de águas residuárias, em uma escala global, o saneamento básico está associado a qualidade de vida e desenvolvimento de uma região. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017) para cada dólar investido em água e saneamento, são economizados 4,3 dólares em custos de saúde pública.

O inapropriado lançamento de efluentes no ambiente sem o devido tratamento pode causar contaminação de corpos aquáticos e do solo, disseminando doenças tanto para seres humanos quanto para fauna e flora da região, causando impactos ambientais de reparação incalculável (FUNASA, 2015).

Para assegurar a disponibilidade de água potável para futuras gerações, existem diversas leis para gerir o uso dos recursos hídricos da forma adequada, como a Lei Nacional de Saneamento Básico (LNSB), nº. 11.445/2007 da Constituição Federal que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico.

A OMS (2017) calcula que 2,2 bilhões de pessoas não tem acesso à água tratada em todo o mundo, e 4,2 bilhões de pessoas não têm serviço de saneamento básico. No ano de 2015, por ocasião da Cúpula das Nações Unidas a ONU propôs dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), entre eles, o sexto objetivo propõe: Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos até o ano de 2030.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O tratamento de águas residuárias é um dos principais problemas no saneamento básico de diversos municípios brasileiros, e seu lançamento inadequado em corpos hídricos causam poluição, proliferação de doenças e até morte de vários seres vivos.

Desta forma, qual sistema de Tratamento de Esgoto, com baixo custo de implementação e operação, tem maior eficiência para atender a demanda da população de Taguatinga – TO?

1.2 JUSTIFICATIVA

A Bacia Hidrográfica do Rio Palma, em que o município de Taguatinga – TO pertence, atende a população de doze municípios do sudeste do estado do Tocantins, e desagua no rio Paranã, afluente do rio Tocantins, segundo maior rio totalmente brasileiro (BRASIL, 2019).

Aproximadamente 100% da população da região da Bacia do Rio Palma possui abastecimento com água tratada, porém não há sistema de tratamento de águas residuárias ou utilizam sistemas primitivos, como “fossas negras”, trazendo risco de contaminação aos lençóis freáticos (BRASIL, 2019).

Algumas regiões brasileiras já apresentam problemas com a escassez de água, devido ao uso inadequado, desperdício, contaminação e assoreamento de rios, etc. Por isso é indispensável a elaboração de mecanismos para utilizar e preservar os corpos hídricos de forma adequada (ANA, 2013).

Devido à notória necessidade do tratamento de águas residuárias, é de grande importância o dimensionamento de um sistema de tratamento de esgoto eficiente, de fácil implementação, operação e manutenção, economicamente viável para o município de Taguatinga – TO (OMS, 2017).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Propor uma solução viável e eficiente para o tratamento de esgoto a ser implementado em Taguatinga – TO, contribuindo no desenvolvimento socioambiental da região, trazendo melhoria na qualidade de vida e saúde da população do município e regiões próximas que compartilham recursos hídricos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar um sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação;
- Dimensionar um sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação;
- Caracterização do esgoto bruto do município de Taguatinga - TO;
- Viabilidade dos sistemas de tratamento de esgoto dimensionados;

2 REVISÃO DE LITERATURA

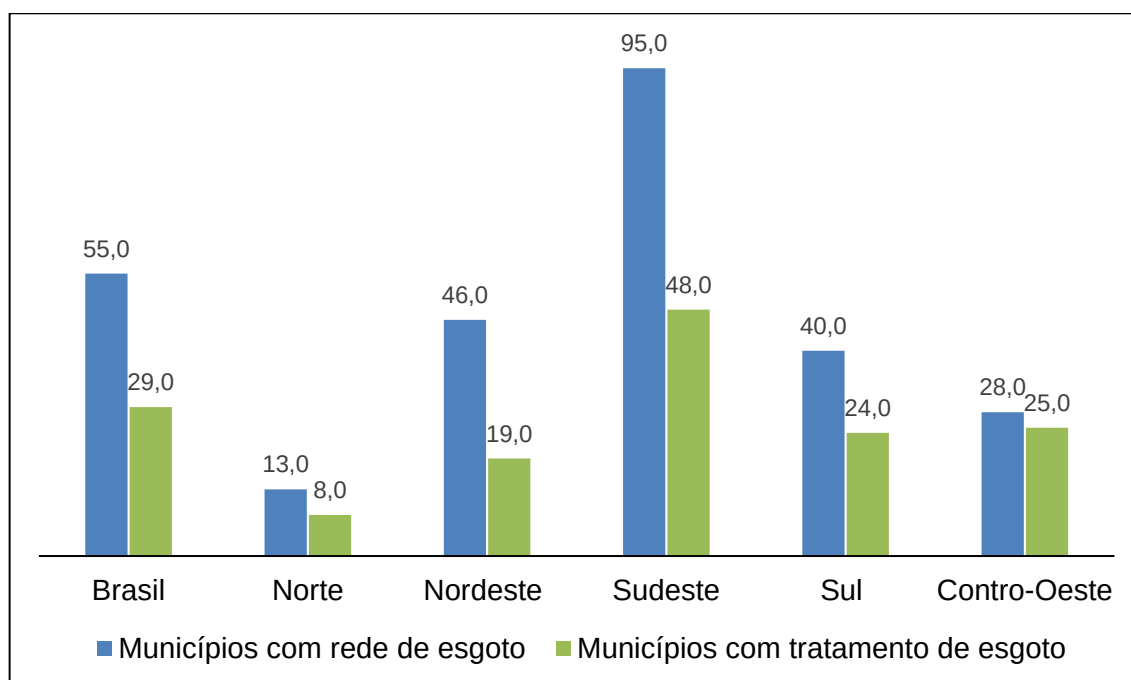
2.1 Números do saneamento básico no Brasil

As análises estatísticas sobre a rede coletora de esgoto no Brasil apontam uma desigualdade existente na distribuição deste serviço no território brasileiro. Há no Brasil, 5570 municípios, mas, para efeitos de amostragem de dados, foi adotado o total de 5564, quando foi publicada uma pesquisa do IBGE acerca da coleta e tratamento de esgoto no país. (IBGE, 2011)

Em 2008, apenas 3069 municípios possuíam rede coletora de esgoto, do total de 5564, enquanto o tratamento – que é feito em apenas 1 587 municípios – era ainda mais raro. Em números relativos, 55% dos municípios brasileiros possuíam acesso à rede de esgoto, ao passo que, 29% tratavam o esgoto coletado. (IBGE, 2011)

No gráfico 1 é possível observar o percentual de municípios que ofertam estes serviços essenciais à população.

Gráfico 1 - Percentual de municípios que coletam e tratam esgoto, por Grandes Regiões - 2008



Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Desde o ano de 2008, todas as regiões do Brasil obtiveram aumento no percentual de municípios atendidos pela coleta de esgoto, entretanto, é explícito que o avanço segue a passos lentos. A região Norte é a região mais afetada pela ausência do serviço de coleta de esgoto, contrastando com a região Sudeste, que por sua vez, possui a maior cobertura, mas ainda assim, possuindo números ruins comparado os países de "primeiro mundo".

Tabela 1 - Total de municípios e percentual de municípios com coleta e tratamento de esgoto, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação - 2008

Grandes Regiões e Unidades da Federação	Municípios		
	Total	Percentual (%)	
		Com coleta de esgoto	Com tratamento de esgoto
Brasil	5564	55	29
Norte	449	13	8
Rondônia	52	10	4
Acre	22	27	18
Amazonas	62	18	5
Roraima	15	40	13
Pará	143	6	4
Amapá	16	31	13
Tocantins	139	13	11
Nordeste	1793	46	19
Maranhão	217	6	1
Piauí	223	4	2
Ceará	184	70	49
Rio Grande do Norte	167	35	23
Paraíba	223	73	20
Pernambuco	185	88	28
Alagoas	102	41	17
Sergipe	75	35	9
Bahia	417	51	20
Sudeste	1 668	95	48
Minas Gerais	853	92	23

Espírito Santo	78	97	69
Rio de Janeiro	92	92	59
São Paulo	645	100	78
Sul	1 188	40	24
Paraná	399	42	41
Santa Catarina	293	35	16
Rio Grande do Sul	496	41	15
Centro-Oeste	466	28	25
Mato Grosso do Sul	78	45	44
Mato Grosso	141	19	16
Goiás	246	28	24
Distrito Federal	1	100	100

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Além das diferenças inter-regionais, é importante observar as variações intrarregionais, conforme observado na Tabela 1. Na Região Nordeste, por exemplo, a baixa média regional de municípios que tratam o esgoto é bastante influenciada pelo pequeno percentual apresentado pelo Estado do Piauí, onde apenas 2% dos municípios que coletam também fazem o tratamento do esgoto. A melhor situação nesta região aparece no Ceará onde em um total de 184 municípios, em 2008, 70% destes municípios possuíam rede coletora e, destes, 49% tratavam os dejetos.

Na região Sul, os três estados que compõem a região apresentaram taxas de municípios com rede coletar bastante próximas: Paraná (42%), Rio Grande do Sul (41%) e Santa Catarina (35%). Entretanto, apenas no estado do Paraná uma maior importância é dada ao tratamento de esgoto, visto que dentre os seus 168 municípios coletores, 164 tratam o esgoto.

Os dados obtidos pela pesquisa do IBGE nos mostram que, há muito caminho a ser percorrido no saneamento básico, área fundamental para a melhoria da qualidade de vida da população além da sustentabilidade ambiental.

2.2 Números do saneamento básico no Estado do Tocantins

O Tocantins é o estado mais novo do Brasil. Foi criado a partir do desmembramento do estado de Goiás na data de 05/10/1988 através do artigo 13 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias da Constituição. Apesar da recente criação do estado, o Tocantins possui um dos piores índices nacionais no que se refere à cobertura da rede de esgoto.

O órgão responsável pela fiscalização e regulação das atividades relacionadas ao saneamento básico no Estado do Tocantins, é a Agência Tocantinense de Saneamento (ATS). Já a empresa responsável pelo abastecimento de água e tratamento de esgoto no estado é a BRK Ambiental, empresa criada no ano de 2017 que detém os ativos de saneamento após comprar junto à empresa Odebrecht.

Um estudo levantado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), apontou que 70% dos tocaninenses vivem sem os serviços de saneamento básico. Dos 139 municípios tocaninenses, apenas 13% possuem coleta de esgoto e 11% possuem tratamento de esgoto, conforme observado na Tabela 1.

É notória a deficiência de cobertura de coleta e tratamento de esgoto que há no estado do Tocantins, evidenciando assim, a necessidade de uma política pública que visa ampliar a infraestrutura relativa ao saneamento no estado tocaninense.

Figura 1 - Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Norte



Disponível em: < <https://i1.wp.com/surgiu.com.br/wp-content/uploads/2020/01/brk.jpg> > acesso em set. 2020.

2.3 Caracterização das Águas Residuárias

De acordo com o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2015), o aumento do consumo de água, devido ao ciclo das atividades humanas, provenientes da expansão demográfica e desenvolvimento tecnológico, a água incorpora diversas substâncias que alteram suas características, mesmo permanecendo em estado líquido, passam a se chamar águas servidas ou esgoto.

A NBR 7229/1993 - Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, define o esgoto sanitário como a água residuária composta de esgoto doméstico, despejo industrial admissível a tratamento conjunto com esgoto doméstico e água de infiltração. Segundo a NBR 9648/1986 o esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas.

Os esgotos são classificados em dois grupos, de acordo com a origem, são os esgotos domésticos e esgotos industriais.

Segundo o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2015), os esgotos domésticos são divididos da seguinte forma, águas negras, proveniente de instalações sanitárias, contendo fezes e urina e águas cinzas, proveniente de banhos, lavagens e demais usos domésticos.

Os esgotos domésticos possuem 99,9% de água aproximadamente, e 0,1% é composto de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, e a presença de micro-organismos. Devido a esta fração de 0,1%, existe a necessidade de tratar os esgotos (VON SPERLING, 1996).

Segundo SPERLING (1996), devem ser determinados parâmetros para definir a qualidade do esgoto, traduzindo o potencial poluidor das águas residuárias, dividindo os parâmetros em três categorias: físicos, químicos e biológicos.

Quadro 1 - Características físicas dos esgotos domésticos:

Parâmetro	Descrição
Temperatura	· Influência na atividade microbiana · Influência na solubilidade dos gases · Influência na viscosidade do líquido
Cor	· Esgoto fresco: ligeiramente cinza · Esgoto séptico: cinza escuro ou preto
Odor	· Esgoto fresco: odor oleoso · Esgoto séptico: odor fétido · Despejos industriais: odores característicos
Turbidez	· Grande variedade de sólidos em suspensão · Esgotos frescos ou concentrados: maior turbidez

Fonte: VON SPERLING, 1996

Quadro 2 - Características químicas dos esgotos domésticos:

Parâmetro	Descrição
SÓLIDOS TOTAIS	Orgânicos e inorgânicos: suspenso e dissolvidos; sedimentáveis
Em suspensão	· Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que não são filtráveis · Fixos · Componentes minerais inertes dos sólidos em suspensão · Voláteis · Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão
Dissolvidos	· Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que são filtráveis · Fixos · Componentes minerais dos sólidos dissolvidos · Voláteis · Componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos
Sedimentáveis	· Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimentam em 1 hora no cone Imhoff.
MATÉRIA ORGÂNICA	Mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos: proteínas, carboidratos e lipídios.
Determinação Indireta	
· DBO₅	· Demanda Bioquímica de Oxigênio. Medida a 5 dias, 20°C. Está associada a fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos. Medida do oxigênio consumido após cinco dias pelos microrganismos na estabilização bioquímica da matéria orgânica.

· DQO · DQOu	· Demanda Química de Oxigênio. Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea. Utiliza fortes agentes oxidantes em condições ácidas. · Demanda Última de Oxigênio. Representa o consumo total de oxigênio, ao final de vários dias, requeridos pelos microrganismos para a estabilização bioquímica.
Determinação Direta	
· COT	· Carbono Orgânico Total. É uma medida direta da matéria orgânica carbonácea. É determinado através da conversão do carbono orgânico a gás carbônico.
NITROGÊNIO TOTAL	O nitrogênio total inclui o nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. É um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico. O nitrogênio orgânico e a amônia compreendem o denominado Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)
· Nitrogênio orgânico · Amônia · Nitrito · Nitrato	· Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e ureia. · Produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico · Estágio intermediário da oxidação da amônia. Praticamente ausente no esgoto bruto. · Produto final da oxidação da amônia. Praticamente ausente no esgoto bruto.
FÓSFORO	O fósforo total existe na forma orgânica e inorgânica. É um nutriente indispensável no tratamento biológico
· Fósforo orgânico · Fósforo inorgânico	· Combinado a matéria orgânica · Ortofosfato e polifosfatos.
pH	Indicador das características ácidas ou básicas do esgoto. Uma solução é neutra em pH 7. Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH.
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão do meio (resistência às variações do pH). Devido a presença de bicarbonatos, carbonatos e íon hidroxila (OH⁻).
Cloretos	Proveniente da água de abastecimento e dos dejetos humanos.
Óleos e graxas	Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos. Nos esgotos domésticos, as fontes de óleos e gorduras utilizados nas comidas.

Fonte: VON SPERLING, 1996

Quadro 3 - Características biológicas dos esgotos domésticos:

Parâmetro	Descrição
Bactérias	· Organismos protistas unicelulares · Apresentam-se em várias formas e tamanhos · São os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica · Algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
Fungos	· Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos · Também de grande importância na decomposição da matéria orgânica · Podem crescer em condição de baixo pH.
Protozoários	· Organismos unicelulares sem parede celular · A maioria é aeróbia ou facultativa · Alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos · São essenciais no tratamento biológico para a manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos · Alguns são patogênicos
Vírus	· Organismos parasitas, formados pela associação de material genético (DNA ou RNA) e uma carapaça proteica · Causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento da água ou do esgoto.
Helmintos	· Animais superiores · Ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças

Fonte: VON SPERLING, 1996

Um dos principais fatores que contribuem para a poluição dos corpos hídricos é o consumo de oxigênio dissolvido (OD) pelos microrganismos, que em seus processos metabólicos, degradam a matéria orgânica, consumindo oxigênio disponível, tornando o ambiente inabitável para várias espécies aquáticas (RECESA, 2008).

A principal forma utilizada para medir, indiretamente, a quantidade de matéria orgânica no esgoto (FUNASA, 2015) é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que de forma simplificada, é utilizado para medir a quantidade de oxigênio para

estabilizar bioquimicamente a matéria orgânica. Analisando a amostra no quinto dia sob uma temperatura constante de 20°C, expressando a análise por DBO₅. Então, quanto maior a DBO, maior a poluição orgânica do efluente.

A redução do oxigênio dissolvido (OD) traz como uma das principais consequências a eutrofização do corpo hídrico, principalmente onde há águas paradas, como lagos e represas. Esse fenômeno ocorre quando há um crescimento acentuado de algas pelo excesso de nutrientes, como nitrogênio e fosforo presentes em esgotos domésticos, causando a morte de peixes e outros organismos aeróbios, inutilizando o corpo hídrico para recreação e abastecimento de água (RECESA, 2008).

Figura 2 - Eutrofização de corpo hídrico



Disponível em: <<https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2020/02/10/mancha-verde-no-lago-de-palmas-e-poluicao-causada-por-despejo-de-esgoto-diz-policia-civil.ghtml>> acesso em set. 2020.

2.4 Tipos de sistemas empregados no tratamento das águas residuárias

Conforme o crescimento das cidades, há uma ampliação na demanda por coleta e tratamento das águas residuárias. Existem diversos tipos de sistemas de tratamento, com particularidades e diferentes custos de implementação. Estes sistemas devem ser adaptados para as condições econômicas e físicas da região atendida, garantindo a eficiência, o custo e equilíbrio ecológico do mesmo.

A Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) através da NBR 12209 (1992, p.2), define Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) como:

Conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento.

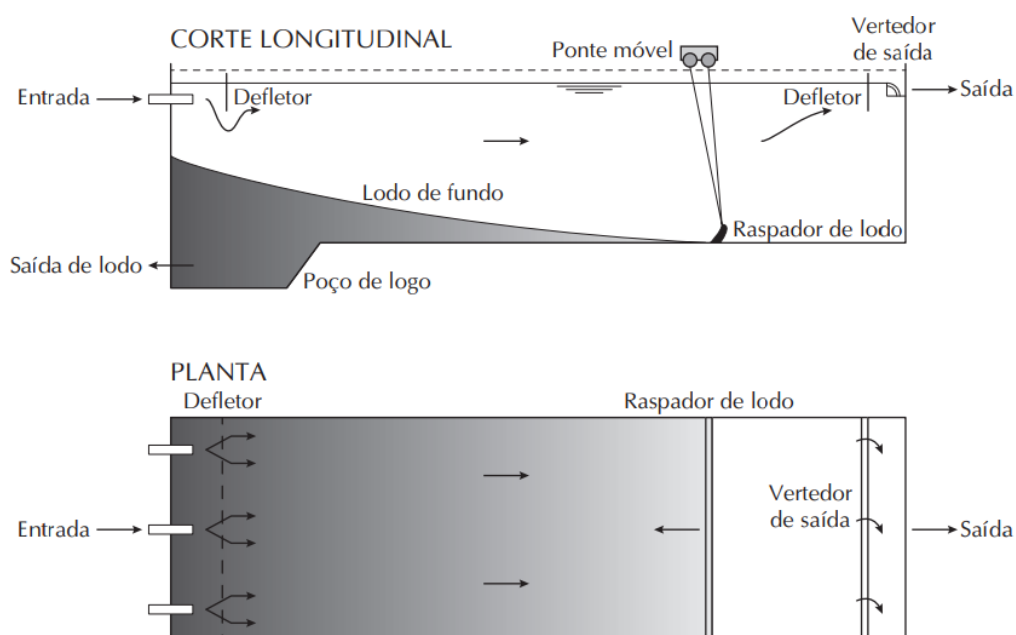
Caracteriza-se uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) como um conjunto de instalações destinadas à depuração das águas residuárias, previamente do seu reuso ou lançamento em corpos hídricos (FUNASA, 2015).

2.4.1 Tratamento Primário

Com a finalidade de remover os sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes, o tratamento primário utiliza de recursos físicos de sedimentação da matéria orgânica. Nesta etapa, é removido cerca de 40 a 70% dos sólidos em suspensão, e entre 25 a 40% na DBO e coliformes. (FUNASA, 2015).

Os principais sistemas de tratamento primário são: Decantador Simples (primário); Flotador Simples; Precipitador Químico; Tanque Séptico; Tanque Imhoff.

Figura 3 - Decantador Primário - Planta



Fonte: FUNASA (2015)

2.4.2 Tratamento Secundário

Com o objetivo de remoção de sólidos, matéria orgânica, microrganismos e nutrientes, o tratamento secundário é mais eficiente, a eliminação de DBO e coliformes alcança percentuais entre 60 a 99% e nos nutrientes entre 10 a 50% dependendo da tecnologia empregada (FUNASA, 2015).

Os principais sistemas de tratamento secundários são: Lodo Ativado, Lagoas de Estabilização, Reatores Anaeróbicos com alta eficiência, Filtros Biológicos, etc.

Quadro 4 - Principais sistemas secundários de tratamento de esgoto

Sistema	Descrição
Lagoas de Estabilização	
Lagoa Facultativa	Os esgotos fluem continuamente em lagoas especialmente construídas para o tratamento de águas residuárias. O líquido permanece na lagoa por vários dias. A DBO solúvel e a DBO finamente particulada são estabilizadas aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo convertida anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.
Lagoa Anaeróbia – Lagoa Facultativa	A DBO é em torno de 50 a 65% removida (convertida a líquidos e gases) na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única.
Lagoa Aerada Facultativa	Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés de através da fotossíntese. Como a lagoa é também facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, sendo decomposta anaerobiamente no fundo.
Lagoa Aerada de Mistura Completa – Lagoa Decantação	A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção de DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo receptor. A lagoa de decantação a jusante proporciona condições para esta remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.

Lagoa de Maturação	O objetivo principal da lagoa de maturação é a remoção de patogênicos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para os patogênicos, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que objetivem a remoção da DBO, sendo usualmente projetadas como uma série de lagoas, ou como uma lagoa única com divisões por chicanas. A eficiência na remoção de coliformes é bastante elevada
SISTEMAS ANAERÓBIOS	
Filtro Anaeróbio	A DBO é convertida anaerobiamente por bactérias aderidas a um meio suporte (usualmente pedras) no reator. O tanque trabalha submerso, e o fluxo é ascendente. O sistema requer decantação primária (frequentemente fossas sépticas). A produção de lodo é baixa, e o lodo já sai estabilizado.
Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)	A sigla UASB advém de <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>. A DBO é convertida anaerobiamente por bactérias dispersas no reator. O fluxo do líquido é ascendente. A parte superior do reator é dividida nas zonas de sedimentação e de coleta de gás. A zona de sedimentação permite a saída do efluente clarificado e o retomo dos sólidos (biomassa) ao sistema, aumentando a sua concentração no reator. Entre os gases formados inclui-se o metano. O sistema dispensa decantação primária. A produção de lodo é baixa, e o lodo já sai adensado e estabilizado.
Reator anaeróbio – pós tratamento	Os reatores UASB usualmente não produzem um efluente que se adeque à maior parte dos padrões de lançamento. Por este motivo, frequentemente é necessária a incorporação de um pós-tratamento, que pode ser biológico (aeróbio ou anaeróbio) ou físico-químico (com adição de coagulantes). Praticamente todos os processos de tratamento de esgotos podem ser usados como pós-tratamento dos efluentes do reator UASB. A eficiência global do sistema é usualmente similar à que seria alcançada se o processo de pós-tratamento fosse aplicado ao esgoto bruto. No entanto, os requisitos de área, volume e energia, bem como a produção de lodo, são bem menores.
LODOS ATIVADOS	A etapa biológica compreende duas unidades: o reator biológico (tanque de aeração) e o decantador secundário. A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido à recirculação dos sólidos (bactérias) sedimentadas no fundo do decantador secundário. A biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção da DBO. Há a necessidade da remoção de uma quantidade de lodo (bactérias) equivalente à que é produzida. Este lodo removido necessita uma estabilização na etapa de tratamento do lodo. O fornecimento de oxigênio é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso. A montante do reator há uma unidade de decantação primária, de forma a remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto.

Fonte: VON SPERLING, 1996 - adaptado.

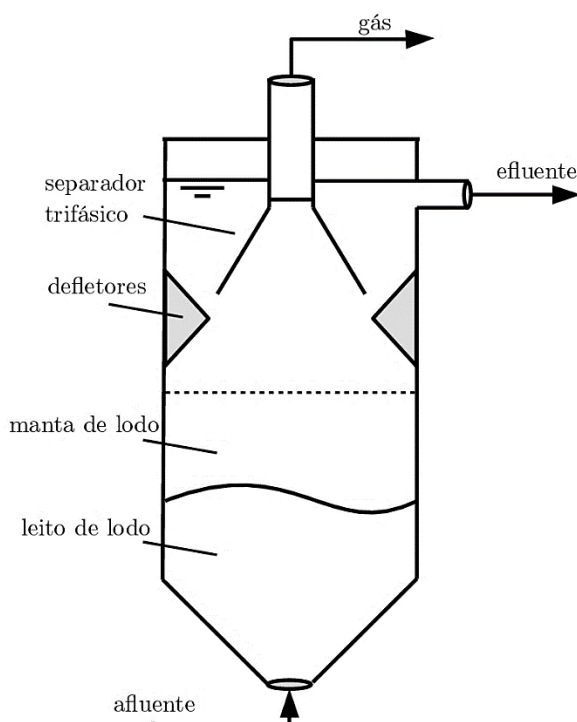
2.4.3 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB)

O esgoto entra pela parte inferior do reator, através de um sistema de distribuição, ascende pela manta de lodo onde ocorre a digestão anaeróbia, alcançando por fim o decantador. Abaixo do decantador o esgoto e gás são separados através de um separador trifásico, garantindo a sedimentação de partículas, permitindo que o lodo retorne para a parte inferior do reator, e a captação do biogás (CHERNICHARO, 2010).

Segundo VON SPERLING (1996), existem diversas vantagens neste sistema, entre elas a baixa produção de lodo, alta eficiência na remoção de DBO, pequena área para implementação, baixos custos de implementação e operação, consumo de energia reduzido, além da produção de gás combustível (metano).

As desvantagens desse sistema são, a insatisfatória remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos, possibilidade de maus odores, usualmente necessita pós-tratamento.

Figura 4 - Esquema do Reator - UASB



Fonte: Rafael Nakashima, 2018

Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-13-Esquema-do-reator-UASB_fig3_327021216> acesso em set. 2020.

2.4.4 Lagoa Facultativa

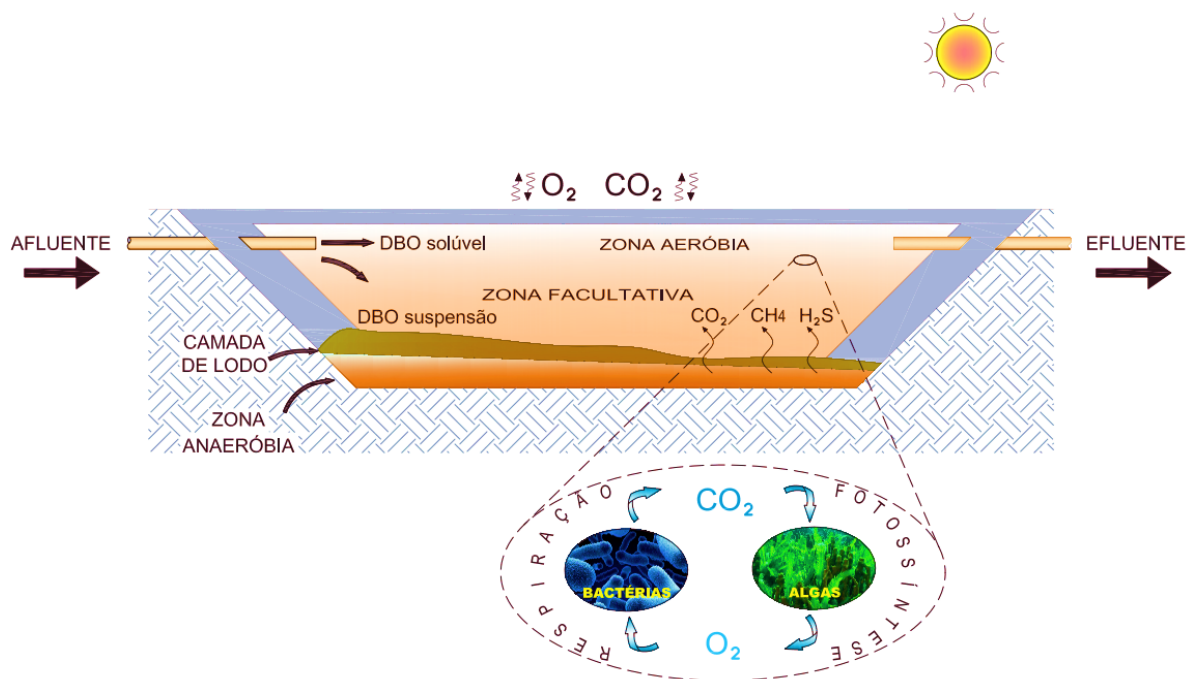
Pode constituir um sistema secundário como também poderá ser implantada como pós-tratamento, especialmente para lagoas anaeróbias e reatores UASB. O funcionamento ocorre de forma simples e dependendo apenas de fenômenos naturais, em que o esgoto, por vários dias faz o percurso de entrada e saída da Lagoa Facultativa, que é construído por meio de escavação e aterro, diretamente no solo, com eficiência e economia (FUNASA, 2015).

Os sólidos inorgânicos e a matéria orgânica em suspensão se sedimentam, constituindo o lodo de fundo que sofre decomposição, sendo convertido em gás carbônico, água, metano, minerais sólidos e solúveis, permanecendo apenas a fração inerte na camada de fundo. A matéria orgânica dissolvida e aquela finamente particulada, permanecem dispersas na massa líquida e sua decomposição ocorre por ação de bactérias facultativas (aeróbias e anaeróbias) que sobrevivem tanto na presença como na ausência de oxigênio. Os minerais solúveis são sintetizados transformando-se em algas (FUNASA, 2015).

Recomenda-se uma profundidade entre 1,0 a 2,0 m, com geometria em formato retangular com uma relação largura/comprimento mínima de 1:3, preferencialmente acima de 1:5 nas lagoas facultativas secundárias. A eficiência esperada na lagoa facultativa situa-se entre 70 a 85 % (FUNASA, 2015).

As principais vantagens do sistema de lagoa facultativa são a alta eficiência de remoção de DBO, implementação e operação simples e de baixo custo, sem a necessidade de equipamentos mecânicos. Porém existem algumas desvantagens, entre elas, o elevado requisito de área para implementação, a necessidade da remoção de algas, além da possibilidade do crescimento de insetos (FUNASA, 2015).

Figura 5 - Funcionamento da Lagoa Facultativa



Fonte: FUNASA, 2015 – Adaptado

2.4.5 Tratamento Terciário

É utilizado para remoção de poluentes não reduzidos de forma eficiente no nível secundário, além da redução de compostos não biodegradáveis, nutrientes, poluentes tóxicos, metais pesados, microrganismos patogênicos e outras condições específicas que necessite do uso de sistemas de tratamento terciário para remoção (FUNASA, 2015).

Segundo o Manual de Saneamento da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2015), o nível de tratamento terciário pode ser obtido por meio da combinação de processos secundários, para otimizar a redução complementar de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos.

2.4.6 Lagoa de Maturação

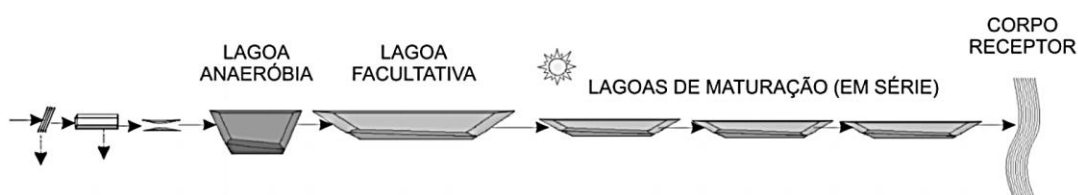
Com finalidade principal a redução dos organismos patogênicos das águas residuárias, as lagoas de maturação podem ser utilizadas como um tratamento terciário, sendo construída após um sistema de tratamento completo de lagoa facultativa aliado a um outro tipo de tratamento secundário (FUNASA, 2015).

Segundo Marcus Von Sperling, 1996:

São lagoas de menores profundidades, onde a penetração da radiação solar ultravioleta e as condições ambientais desfavoráveis causam uma elevada mortalidade dos patogênicos. As lagoas de maturação não necessitam de produtos químicos ou energia, mas requerem grandes áreas. Devido à sua grande simplicidade e baixos custos, são os sistemas mais recomendáveis (desde que haja área disponível) VON SPERLING (1996).

Suas vantagens são semelhantes as lagoas facultativas, porém com elevada eficiência na remoção de patogênicos e boa eficiência na remoção de nutrientes, além de baixa profundidade do sistema. As desvantagens, também semelhantes as lagoas facultativas, demandam uma grande área de implementação (FUNASA, 2015).

Figura 6 - Fluxograma de lagoas de estabilização e lagoas de maturação



Fonte: Von Sperling (2005).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa é do tipo aplicada, explicativa e experimental, sendo definidos dois tópicos a serem contemplados no desenvolver das atividades práticas: (a) cálculo da estimativa de população de projeto, (b) caracterização das águas residuárias brutas e (c) dimensionamento de sistema de tratamento de águas residuárias para o local da pesquisa. Serão apresentadas a seguir todas as metodologias usadas na concretização dos objetivos dessa pesquisa.

3.2 Caracterização das bacias hidrográficas do estado do Tocantins

A Região Hidrográfica Tocantins – Araguaia é considerada a maior bacia hidrográfica inteiramente brasileira, corresponde a 10,8% do território brasileiro e abrange seis estados: Goiás, Pará, Maranhão, Mato Grosso, Tocantins e o Distrito Federal.

O Rio Tocantins é o segundo maior curso d'água brasileiro, com 2.400km, ficando atrás somente do Rio São Francisco com aproximadamente 2.800km de extensão (ANA).

O Tocantins possui atualmente cinco Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH), sendo eles: Comitê de Bacia Hidrográfica do Lago de Palmas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso; Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Lontra e Corda, Comitê da Bacia Hidrográfica Manuel Alves da Natividade, Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Santo Antônio e Santa Tereza e Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Palma.

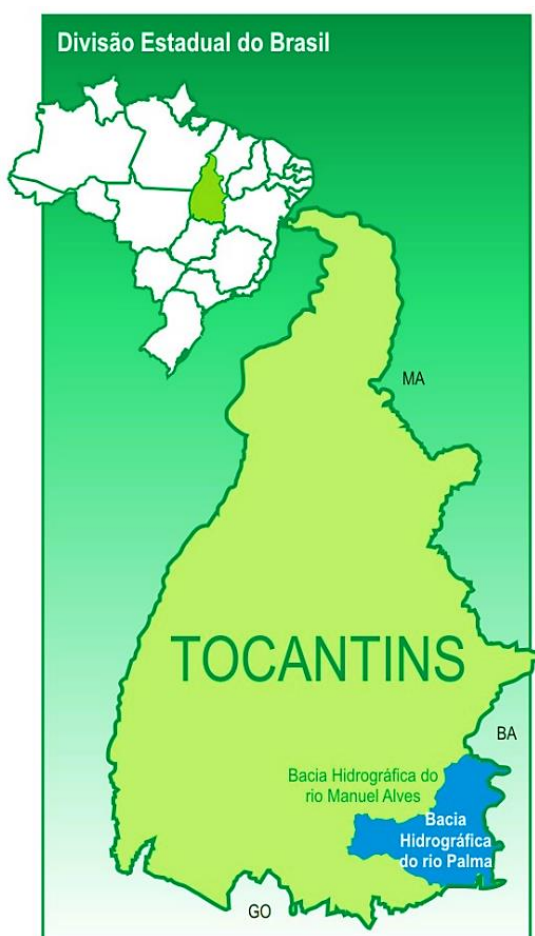
3.3 Caracterização da bacia hidrográfica do Rio Palma

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Palma foi criado em 2019, é composto por doze municípios: Paranã, Arraias, Novo Alegre, Lavandeira, Combinado, Aurora do Tocantins, Taguatinga, Conceição do Tocantins, Taipas, Ponte Alta do Bom Jesus, Novo Jardim e Dianópolis. (SEMARH-TO).

Os doze municípios da bacia do Rio Palma possuem na totalidade 73.920 habitantes, entre áreas urbanas e rurais. A bacia possui uma área equivalente a 6,2% da área do estado e uma área de drenagem de 17.322,6 km².

A densidade populacional da região é de 2,5 hab/km² em média, abaixo da média estadual de 4,5 hab/km². O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da região está abaixo da média do Tocantins (0,710) variando entre 0,616 a 0,693.

Figura 7 - Limites da Bacia Hidrográfica do rio Palma



Fonte: Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Palma (BRASIL, 2019).

Segundo o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Palma, a demanda de fornecimento de água tratada é 100% atendida na zona urbana da maioria dos municípios da bacia. Na zona rural a demanda é atendida através de poços amazonas (cisternas) ou por nascentes.

Figura 8 - Hidrologia da Bacia Hidrográfica do Rio Palma



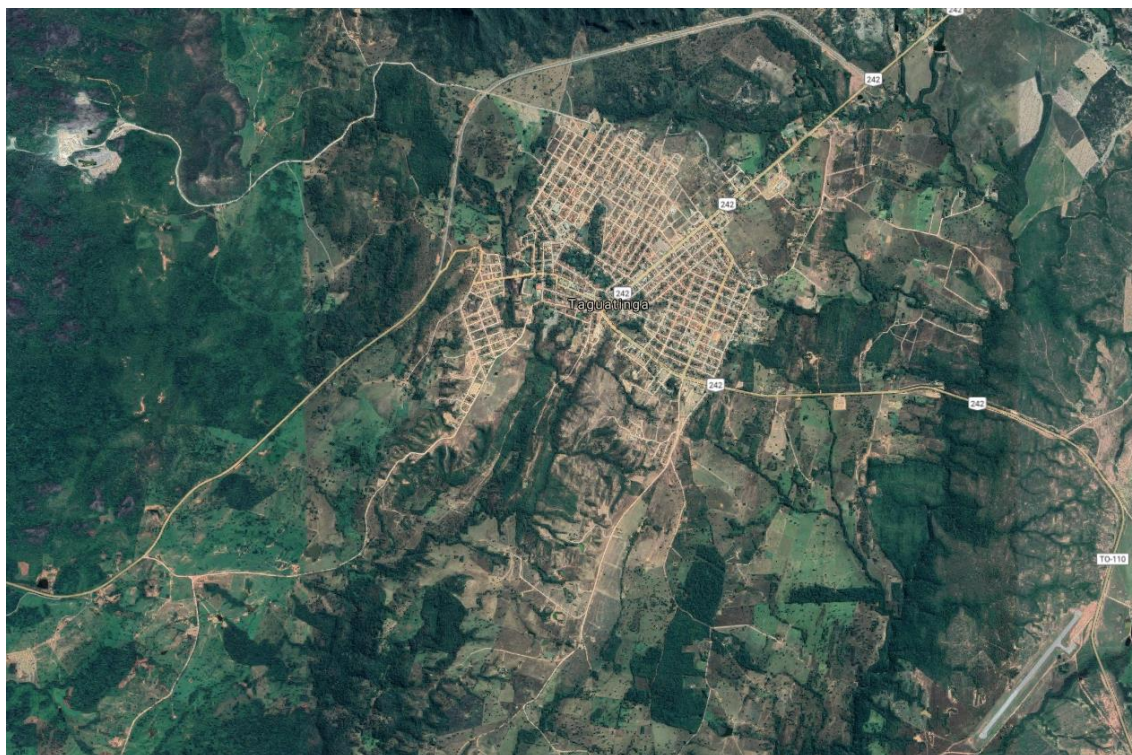
Fonte: Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Palma (BRASIL, 2019).

3.4 Caracterização do município Taguatinga – TO

Com uma população estimada em 16.825 habitantes (IBGE, 2020) a cidade de Taguatinga – TO possui uma densidade demográfica de 6,2 hab./km², é a 14ª cidade mais populosa do Estado do Tocantins. Seu Produto Interno Bruto (PIB) é de R\$ 101.572,831, e seu Índice de Desenvolvimento Humano 0,667.

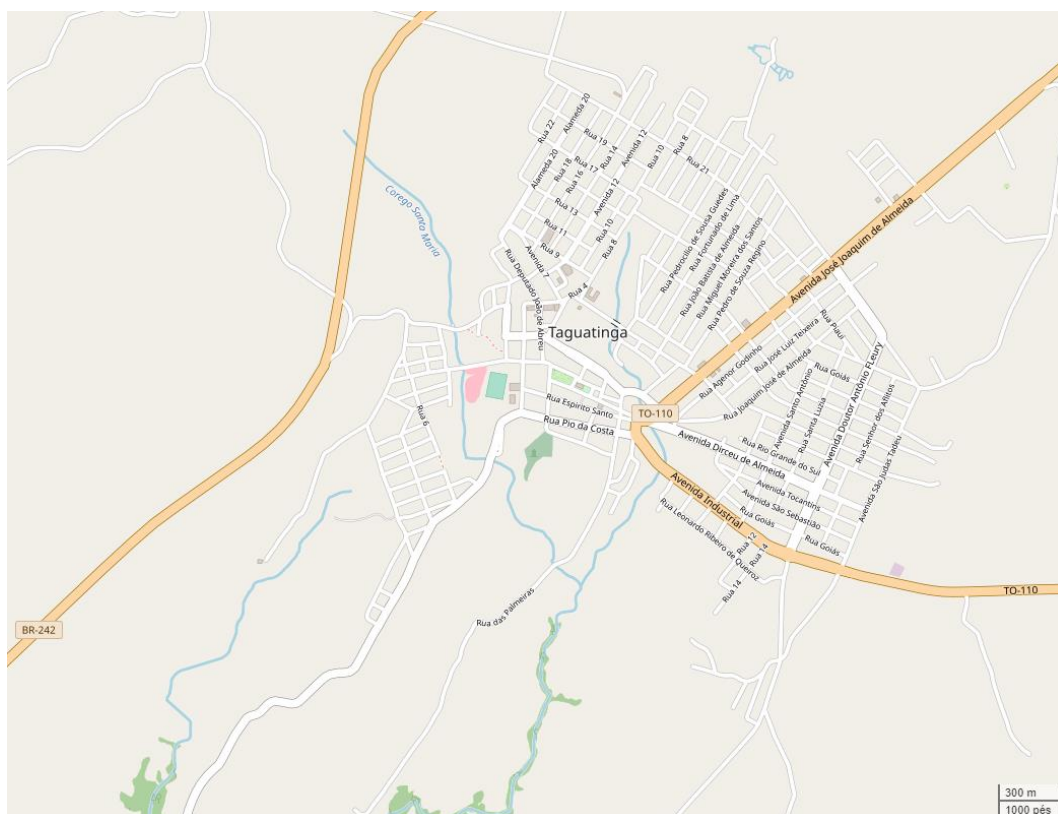
O município é localizado na região oriental do Estado do Tocantins, nas coordenadas 12°24'14" S 46°26'09" O. Possui uma área territorial de 2.341,909 km² e pertence ao bioma Cerrado.

Figura 9 - Imagem Aérea do Município de Taguatinga - TO



Fonte: Google Earth, 2020

Figura 10 - Sistema Viário do Município de Taguatinga - TO



Fonte: OpenStreetMap, 2020

3.5 Caracterização das águas residuárias brutas

Amostras de águas residuárias brutas foram coletadas, armazenadas e analisadas. Todas as amostras foram coletadas em garrafas plásticas. As determinações seguirão as recomendações de APHA/AWWA/WEF (1998), conforme Quadro 5.

Quadro 5 - Métodos analíticos aplicados na caracterização físico-química de água cinza bruta e após tratamento por coagulação química

PARÂMETRO ANALÍTICO	METODOLOGIA
Temperatura	Termômetro de mercúrio
pH	Eletrométrico
DBO	Espectrofotométrico
Condutividade	Eletrométrico
Sólidos Totais	Gravimétrico
Sólidos Fixos	Gravimétrico
Sólidos Voláteis	Gravimétrico
Alcalinidade	Volumétrico
Cloretos	Mohr
Nitrogênio amoniacal	Espectrofotométrico
Ortofosfato solúvel	Espectrofotométrico

Fonte: Autor (2021)

3.6 Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Águas Residuárias

Nessa etapa do projeto foram realizados 02 dimensionamentos como propostas para o tratamento das águas residuárias da cidade de Taguatinga (TO), a saber: (a) lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação e (b) lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação.

3.6.1 Cálculo da População de Projeto

Segundo Von Sperling (2005), o período de projeto de uma ETE deve ser relativamente curto, em torno de 20 anos. Nesse trabalho foi adotado um período de projeto igual a vinte anos, cuja data final de operação será em 2041. Foram observados valores de crescimento populacional do Município de Taguatinga em 04 diferentes censos populacionais realizados pelo IBGE. De posse desses dados, foi realizado, com o auxílio do software Excel, o gráfico de crescimento populacional, com a geração da linha de tendência, que por média dos dados fornecidos, foi possível obter a população futura de projeto.

3.6.2 Cálculo da vazão doméstica média (Qd méd)

De acordo com Von Sperling (2005), usualmente a vazão doméstica é composta por esgotos oriundos de domicílios, bem como atividades comerciais e industriais, sendo estas duas últimas com valores não significativos.

O cálculo da vazão doméstica média é dado pela Equação 1, apresentada por Von Sperling (2005).

$$Qd \text{ méd} = \frac{Pop \times QPC \times R}{86400} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Pop = população (hab)

Qd méd = vazão doméstica média de esgotos, em L/s;

QPC = quota per capta de água, em L/hab.d;

R = Coeficiente de retorno – 80%.

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), considera-se o consumo per capta como sendo QPC: 150 L/hab.dia (valor utilizado no cálculo de vazões de abastecimento de água em localidades de pequeno porte). O coeficiente de retorno (R) adotado foi: R = 0,8, Von Sperling (2005).

3.6.3 Parâmetros para dimensionamento do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

O sistema 1 é composto de uma série de Lagoa Facultativa e de Maturação. Nessa seção são descritos os procedimentos adotados no dimensionamento desse sistema.

3.6.3.1 Determinação da taxa de aplicação superficial da Lagoa Facultativa (LS)

Segundo Von Sperling (2002), existem diversas equações empíricas disponíveis internacionalmente, que correlacionam a taxa de aplicação superficial (LS) e a temperatura local da construção da lagoa facultativa. Nessa pesquisa foi empregada a correlação proposta por Mara (1997) (Equação 2).

$$L_s = 350 [1,107 - (0,002 \times T_{min})]^{(T_{min}-25)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Ls = taxa de aplicação superficial (kgDBO5/ha.d)

T min = temperatura média do ar no mês mais frio do ano (°C)

3.6.3.2 Outros Parâmetros de Projeto para a Lagoa Facultativa

Foram adotados, seguindo as recomendações de Mara (1997), os seguintes parâmetros de projeto para a lagoa facultativa: (a) profundidade = 1,8 m, (b) tempo de detenção hidráulica = 40 dias e (c) relação comprimento/largura = 3.

3.6.3.3 Parâmetros de Projeto para a de Maturação

Foram adotados, seguindo as recomendações de Von Sperling (2005), os seguintes parâmetros de projeto para a lagoa de maturação: (a) profundidade = 1,0 m, (b) tempo de detenção hidráulica = 12 dias, (c) relação comprimento/largura = 3,0.

O coeficiente de decaimento bacteriano nessa lagoa foi calculado através da Equação 3, seguindo recomendações de Von Sperling (2005).

$$Kb = 0,542H^{-1,259} \quad \text{Equação 3}$$

3.6.4 Parâmetros para dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação

O sistema 2 é composto de uma série de Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa e de Maturação. Nessa seção são descritos os procedimentos adotados no dimensionamento desse sistema. Os procedimentos adotados nos dimensionamentos das Lagoas Facultativa e de Maturação são os mesmos empregados no dimensionamento do Sistema 1.

3.6.4.1 Determinação da taxa de aplicação volumétrica da Lagoa Anaeróbia (Lv)

A taxa de aplicação volumétrica (Lv), principal parâmetro de projeto das lagoas, é função propõe a relação entre as taxas de aplicação volumétricas e a temperatura, conforme apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Taxas de aplicação volumétricas admissíveis para projetos de lagoas anaeróbias em função da temperatura local

Temperatura média do ar no mês mais frio (°C)	Taxa de aplicação volumétrica admissível (Lv) (kgDBO/m ³ .dia)
10 a 20	0,02T – 0,10
20 a 25	0,01T + 0,10
> 25	0,35

Fonte: Von Sperling (2005)

4 DIMENSIONAMENTO DE PROJETO

4.1 Parâmetros técnicos

4.1.1 Período de projeto

Considerando as diretrizes nacionais para o saneamento básico, definidas na Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007) e Decreto nº 7.217 de 21 de junho de 2010 (Brasil, 2010), os planos nacionais e regionais para o saneamento básico devem ser projetados e revisados sempre com horizonte de vinte anos.

Considerando o período de projeto para o município de Taguatinga - TO de vinte anos e sendo 2021 como o ano inicial, define-se o término do horizonte de projeto no ano de 2041.

Período de Projeto	Ano Inicial	Ano Final
20 anos	2021	2041

4.1.2 Projeção populacional para o município de Taguatinga – TO

Dois métodos foram utilizados para determinar a estimativa populacional do município para os próximos vinte anos, levando em consideração o perfil populacional do município de Taguatinga – TO, dados do censo do IBGE 2010 e projeção do IBGE para a população do município em 2020.

Hipótese 01: Método Aritmético

$$P_t = P_0 + K_a \times (t - t_0)$$

$$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_1}$$

Onde:

P_t = população estimada no ano t (adotado: 2041);

P_0 = população de referência inicial, (adotado: 2010);

K_a = coeficiente da curva;

T_2 = população de referência 2, (adotado: 2020);

t = ano final, determinado em período de projeto: 2041;

t_0 = ano de referência: 2010;

Dados utilizados:

$P_t (2041) = 20.550$ habitantes;

$P_0 (2010) = 15.051$ hab. (IBGE, 2010);

$K_a = 177,4$;

$T_2 (2020) = 16.825$ hab. (IBGE, 2020);

t = 2041;

$t_0 = 2010$;

Hipótese 02: Método Geométrico

$$P_t = P_0 \times (1 + i)^{(t-t_0)}$$

Onde:

P_t = população estimada no ano t (adotado: 2041);

P_0 = população de referência inicial, (adotado: 2010);

i = taxa de crescimento geométrico;

t = ano final, determinado em período de projeto: 2041;

t_0 = ano de referência: 2010;

$$i = e^{Kg} - 1$$

$$Kg = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{t_2 - t_1}$$

Dados utilizados:

$P_{t(2041)} = 21.261$ habitantes;

$P_{0(2010)} = 15.051$ hab. (IBGE, 2010);

$i = 0,011142144$;

$t = 2041$;

$t_0 = 2010$;

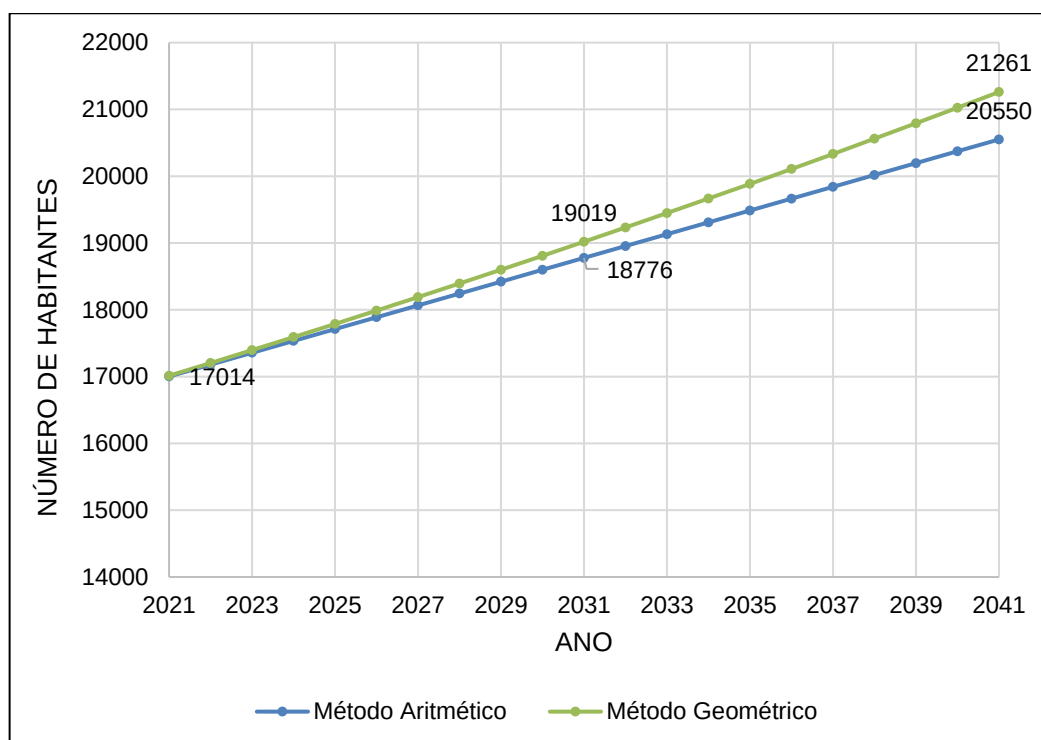
Resultados:

Com o auxílio de planilha eletrônica a partir do software *Microsoft Excel*, foi possível obter os seguintes resultados:

Tabela 3 - Comparativo da projeção populacional de Taguatinga - TO

ANO	População de Projeto (n° de habitantes)	
	Método Aritmético (hab)	Método Geométrico (hab)
	17002	17014
2022	17180	17204
2023	17357	17397
2024	17535	17592
2025	17712	17789
2026	17889	17988
2027	18067	18190
2028	18244	18394
2029	18422	18600
2030	18599	18808
2031	18776	19019
2032	18954	19232
2033	19131	19447
2034	19309	19665
2035	19486	19886
2036	19663	20108
2037	19841	20334
2038	20018	20562
2039	20196	20792
2040	20373	21025
2041	20550	21261

Fonte: Autor (2021)

Gráfico 2 - Comparativo da projeção populacional de Taguatinga – TO

Fonte: Autor (2021)

4.1.3 População de projeto

Para determinação da população de projeto, foi empregado a média aritmética simples entre os dois métodos de estimativa populacional do município para os próximos vinte anos:

$$Média = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

$$Pp = \frac{Pt1 + Pt2}{2}$$

$$Pp = \frac{21.261 + 20.550}{2}$$

$$Pp = 20.905,5 \text{ hab.}$$

Onde:

Pp = população de projeto;

P_{t1} = projeção populacional para o ano de 2041 a partir do método aritmético;

P_{t2} = projeção populacional para o ano de 2041 a partir do método geométrico;

População de projeto: 20.905,5 habitantes

4.2 Caracterização das águas residuárias

Durante a etapa de dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) é necessária a determinação das características físico-químicas e microbiológicas da água residuária a ser tratada de forma preliminar. A Tabela 4 apresenta os dados experimentais obtidos durante a caracterização do esgoto bruto da cidade de Taguatinga (Tocantins).

Tabela 4 - Caracterização de amostra de esgoto bruto do município de Taguatinga - Tocantins

PARÂMETRO ANALÍTICO	RESULTADOS
Temperatura (°C)	25
pH (-)	7,1
DBO (mg/L)	310
Condutividade (µS/cm)	153
Sólidos Totais (mg/L)	710
Sólidos Fixos (mg/L)	235
Sólidos Voláteis (mg/L)	475
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	241
Cloretos (mg/L)	74
Nitrogênio amoniacal (mgN/L)	31
Ortofosfato solúvel (mgP/L)	3,4
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	1,0 x 10 ⁶

Fonte: Autor (2021)

A temperatura encontrada no efluente bruto foi de 25 °C, dentro da faixa de temperatura ideal, entre 25 a 35 °C para sistemas anaeróbios, o que favorece as reações químicas e biológicas dos sistemas de tratamento de esgoto.

O valor do pH (7,1) obtido na análise do efluente bruto está próximo da neutralidade, se mantendo entre a faixa ideal de 6,0 a 9,0, assim favorável ao tratamento biológico. Segundo Von Sperling (2005), a faixa de pH encontrado em esgotos domésticos brutos no Brasil é de 6,7 a 7,5.

O parâmetro de DBO preconizado pela Resolução CONAMA n° 430/2011 permite um valor máximo de 120 mg/L, ou eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, mediante a estudo de autodepuração do corpo hídrico. Alguns estados brasileiros adotam valores menos flexíveis, o estado da Bahia, por meio da Resolução Cepam n° 2.288/2000, adota eficiências mínimas de remoção de DBO na faixa de 80% a 95%. Segundo Alves (2016), no ano de 2015 em Palmas – TO, a média anual da remoção de DBO na ETE Aurenay, foi de 96,76% e na ETE Prata, a média anual de remoção de DBO foi de 87,78%.

Não existe na legislação nacional vigente um padrão de condutividade. De acordo com Von Sperling (2007), as águas doces naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a 100 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, e em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais os valores podem chegar até 1000 $\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$.

O índice de Sólidos Totais na amostragem de esgoto bruto do município de Taguatinga foi de 710 mg . L⁻¹, está dentro da média encontrada nos efluentes de esgoto bruto no Brasil. A Resolução CONAMA 430/2011 estabelece como eficiência mínima de 20% para remoção de sólidos em suspensão totais, após desarenação. Em águas Classe 2 a concentração de sólidos dissolvidos totais deve ser menor que 500 mg/L, segundo CONAMA (BRASIL, 2009).

A Alcalinidade na maioria das águas naturais apresenta valores na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO₃. O valor obtido na amostragem do efluente de Taguatinga – TO foi de 241 mgCaCO₃/L, dentro da faixa regular. Na água de consumo humano, em concentrações moderadas, a alcalinidade não possui nenhum significado sanitário. Contudo, em níveis elevados, pode ocasionar sabor desagradável.

Não existe na legislação um padrão para lançamento de Cloretos, porém foi fixado o limite de 250 mg/l de cloreto para o fornecimento de água potável, pois este é o nível a partir do qual a água passa a ter sabor salgado detectável na água. O cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano.

O nível de Nitrogênio amoniacal obtido foi de 31 mgN/L, abaixo da média encontrada em efluentes brutos no Brasil, porém o limite para o lançamento em corpos hídricos estabelecido na Resolução CONAMA n° 430/2011 é de 20 mg/L.

A concentração de Ortofosfato solúvel obtida nas amostras foi de 3,4 mgP/L, valor dentro da média encontrado em algumas literaturas, porém não há na legislação um padrão de concentração de Ortofosfato para efluentes. Segundo Chagas (1995) o valor médio de Ortofosfato solúvel encontrado no esgoto bruto de Salvador - BA foi de 5,73 mgP/L.

O valor obtido de Coliformes Totais na mostra foi de $1,0 \times 10^6$ NMP/100 mL, não há padrões nacionais para lançamento, e alguns estados possuem diretrizes próprias. A Resolução CONAMA n° 20/1986 firma que as águas destinadas à balneabilidade (recreação de contato primário) devem conter no máximo 5.000 coliformes totais por 100 mililitros;

Tabela 5 - Características encontradas nos esgotos domésticos brutos no Brasil

PARÂMETROS	FAIXA
pH (-)	6,7 – 7,5
DBO (mg/L)	200 - 500
Sólidos Totais (mg/L)	700 - 1350
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	20 - 50
Cloretos (mg/L)	20 - 50
Nitrogênio amoniacal (mgN/L)	35 - 70

Fonte: Von Sperling (2005)

Tabela 6 - Condições e padrões para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários

PARÂMETROS	FAIXA
pH (-)	5,0 - 9,0
Temperatura (°C)	< 40
DBO ₅ dias a 20°C (mg/L)	120 mg/L, com remoção mínima de 60%
Oxigênio Dissolvido	Não Inferior a 5
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)	20
Sólidos grosseiros e materiais flutuantes	Virtualmente ausentes
Sólidos em suspensão totais	Eficiência mínima de remoção de 20%

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA nº 430/2011

Tabela 7 - Condições de qualidade da água para corpos hídricos de Classe 2

PARÂMETROS	LIMITE
pH (-)	6,0 a 9,0
DBO ₅ dias a 20°C (mg/L)	Até 5
Oxigênio Dissolvido	Não Inferior a 5
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)	3,7 para pH ≤ 7,5
	2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0
	1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5
	0,5 para pH > 8,5
Clorofila "a" (µg/L)	Até 30
Fósforo Total (mg/L)	Até 0,030 em ambientes lênticos
	Até 0,050 em ambientes intermediários

Fonte: Adaptado de BRASIL (2017c)

5 Dimensionamento do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

Sistema 1 foi dimensionado com o auxílio de planilha eletrônica no software Microsoft Excel. Os parâmetros inseridos e os dados obtidos foram sintetizados nos quadros a seguir:

Quadro 6 - Dimensionamento de Lagoa facultativa primária

Lagoa Facultativa Primária			
Descrição	Valores	Observações/unidades	Fonte
Calculo da carga afluente de DBO (KgDBO/d)	777,79	KgDBO/d	Calculado
Taxa de aplicação superficial (Ls)	330,5	De acordo com a literatura - entre 240 e 350 KgDBO/hab.d para regiões com inverno quente e sol intenso	Equação 1 (Sperling, 2005)
Calculo da área requerida (A)	2,35	ha	Calculado
	23.533,74	m ² (1 lagoa)	Calculado
	11.766,87	m ² (2 lagoas)	Calculado
Nº de Lagoas	2	Lagoa(as)	Calculado
L/B	3,00	De acordo com a literatura - entre 2 e 4	Seção 2.5 d do livro WASTE STABILISATION PONDS
L	62,63	m	Calculado
B	187,88	m	Calculado
Área Total Requerida	30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	Adotado
	30.593,86	m ²	Calculado
	3,06	ha	Calculado
Profundidade (H) - (m)	1,80	De acordo com a literatura - entre 1 e 2 metros	Seção 2.5 b do livro WASTE STABILISATION PONDS
Volume da Lagoa Facultativa (V)	42.360,73	m ³	Calculado
Tempo de Detenção Hidráulica (t)	16,88	(dias) De acordo com a literatura entre 15 e 45 dias	Seção 2.5 c do livro WASTE STABILISATION PONDS

Coeficiente de remoção de DBO (Kt)				
Coeficiente de remoção de DBO a 20°C (K20)		0,35	De acordo com a literatura - entre 0,30 e 0,40 d ⁻¹	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,05	Se k=0,35 adota-se 1,085, entretanto, se k=0,30 adota-se 1,05. Para este projeto foi considerado um valor mais conservador de 1,05	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coeficiente de remoção de DBO (Kt)		0,45	d ⁻¹	Calculado
Concentração de efluente de DBO Solúvel (S)				
Fluxo de mistura completa		36,29	mg/L	Calculado
Fluxo em pistão		0,16	mg/L	Calculado
Fluxo disperso	Kt	0,45	d ⁻¹	Calculado
	d	0,333333333	-	Calculado
	a	3,33	-	Calculado
	Fluxo disperso	6,74	mg/L	Calculado
Concentração de efluente de DBO Particulada				
Concentração de Sólidos Suspensos (SS)		80	De acordo com a literatura - entre 60 a 100 mg/L	Seção 2.6.2 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Capacidade de sólidos suspenso na geração de DBO		0,35	De acordo com a literatura - entre 0,30 a 0,40 mgDBO/L	Seção 2.6.2 do livro WASTE STABILISATION PONDS
DBO Particulada		28	mgDBO/L	Calculado
DBO efluente/Eficiência/Lodo				
DBO Efluente		64,29	mg/L	Calculado
Eficiência		79,26	% de remoção	Calculado
Acumulo de Lodo		0,05	De acordo com a literatura adota-se 0,03 a 0,08 m³/hab.ano	Seção 2.8do livro WASTE STABILISATION PONDS
		1.045,25	m³/ano	Calculado
		0,0444	m/ano	Calculado
		4,44	cm/ano	Calculado
		88,83	Espessura em cm em 20 anos	Calculado
Remoção de Coliformes em Lagoa Facultativa				
Coeficiente de remoção de coliformes (Kb) - 20°C		0,26	d ⁻¹	Calculado
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	Θ = 1,07	Seção 6.3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Correção de temperatura (Kbt)		0,36	d ⁻¹	Calculado
Concentração de Coliforme no Efluente				
Concentração de Coliforme no Efluente	N0	5,00E+07	FC/100mL De acordo com a literatura para esgoto bruto	Adotado
	d	0,333333333	-	Calculado
	a	3,03	-	Calculado
	N	1,78E+06	FC/100mL	Calculado
Eficiência		96,43	% de remoção	Calculado

Fonte: Autor (2021)

Quadro 7 - Resultados do dimensionamento das Lagoas Facultativas Primárias

Quadro Resumo - Lagoa Facultativa Primária		
Descrição	Valores	Unidades
Calculo da carga afluyente de DBO (KgDBO/d)	777,79	KgDBO/d
Calculo da área requerida (A)	2,35	ha
	23.533,74	m ² (1 lagoa)
	11.766,87	m ² (2 lagoas)
Nº de Lagoas	2	Lagoa(as)
L/B	3,00	-
L	62,63	m
B	187,88	m
Área Total Requerida	30.593,86	m ²
	3,06	ha
Profundidade (H) - (m)	1,80	m
Volume da Lagoa Facultativa (V)	42.360,73	m ³
Tempo de Detenção Hidráulica (t)	16,88	dias
Coeficiente de remoção de DBO (Kt)	0,45	d ⁻¹
Efluente Solúvel - Fluxo de mistura completa	36,29	mg/L
Efluente Solúvel - Fluxo em pistão	0,16	mg/L
Efluente Solúvel - Fluxo disperso	6,74	mg/L
Efluente Solúvel Utilizado	36,29	mg/L
DBO Particulada	28,00	mgDBO/L
DBO Efluente	64,29	mg/L
Eficiência	79,26	% de remoção
Acumulo de Lodo	4,44	cm/ano
	88,83	cm em 20 anos
Concentração inicial de Coliformes Fecais	5,00E+07	FC/100mL
Concentração Final de Coliformes Fecais	1,78E+06	FC/100mL
Eficiência na remoção de coliformes fecais	96,43	% de remoção

Fonte: Autor (2021)

Quadro 8 - Dimensionamento de Lagoas de maturação em série

Lagoas de maturação em série				
Descrição		Valores	Observações/unidades	Fonte
Tempo de detenção		4	(d ⁻¹) Por lagoa	Tabela 6.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
		12	(d ⁻¹) Por 03 lagoas	Adotado
Volume por lagoa		10.036,00	m³	Calculado
Profundidade (H)		1,00	m	Adotado
Área (A)		10.036,00	m²	Calculado
		1,00	ha	Calculado
L/B		3	De acordo com a literatura de 1 a 3	Seção 6.3.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Nº de lagoas		3	-	Adotado
L		57,84	m	
B		173,52	m	
Área Total das lagoas		30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	
		13.046,80	m²	
		1,30	ha	
Concentração de Coliforme no Efluente - Fluxo Disperso				
Número de dispersão (d)		0,33	-	
Coeficiente de remoção de coliformes (Kb) - 20°C		0,54	d ⁻¹	Equação 3 (TCC)
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	Θ = 1,07	Seção 6.3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Correção de temperatura (Kbt)		0,76	d ⁻¹	
Concentração de Coliforme no Efluente - 1 Lagoa de maturação	N0	1,78E+06	FC/100mL	
	d	0,33	-	
	a	2,25	-	
	N	2,34E+05	FC/100mL	
Eficiência - 1 lagoa de maturação (E1)		86,89%	% de remoção	
Eficiência de n lagoas (En)		99,77%	% de remoção	
Concentração final de coliformes no efluente		4,02E+03	FC/100mL	
Concentração de Coliforme no Efluente - Mistura Completa				
Coeficiente de remoção de coliformes (Kmix) - 20°C		0,84	d ⁻¹	
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	-	

Correção de temperatura (Kmixt)	1,18	d ⁻¹	
Concentração final de coliformes no efluente	1,04E+05	FC/100mL	
Eficiência (E)	94,16%	% de remoção	
No Geral a Eficiência de Remoção - Lagoa Facultativa e 03 Lagoas de Maturação			
Fluxo disperso	Eficiência	99,9920%	% de remoção
	Coliformes	4,02E+03	FC/100mL
	Unidades de log removidas	4,09	Unidades de log removidas
Mistura completa	Eficiência	99,7915%	% de remoção
	Coliformes	1,04E+05	FC/100mL
	Unidades de log removidas	2,68	Unidades de log removidas

Fonte: Autor (2021)

Quadro 9 - Resultados do dimensionamento de Lagoas de Maturação

Quadro Resumo – (03) Lagoas de Maturação			
Descrição		Valores	Unidades
Tempo de detenção		4	(d ⁻¹) Por lagoa
		12	(d ⁻¹) Por 03 lagoas
Volume por lagoa		10.036,00	m ³
Profundidade (H)		1,00	m
L/B		3	De acordo com a literatura de 1 a 3
Nº de lagoas		3	-
L		57,84	m
B		173,52	m
Área Total das lagoas		30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros
		13.046,80	m ²
		1,30	ha
Coliformes - Fluxo disperso	Eficiência	99,9920%	% de remoção
	Coliformes	4,02E+03	FC/100mL
	Unidades de log removidas	4,09	Unidades de log removidas
Coliformes - Mistura completa	Eficiência	99,7915%	% de remoção
	Coliformes	1,04E+05	FC/100mL
	Unidades de log removidas	2,68	Unidades de log removidas

Fonte: Autor (2021)

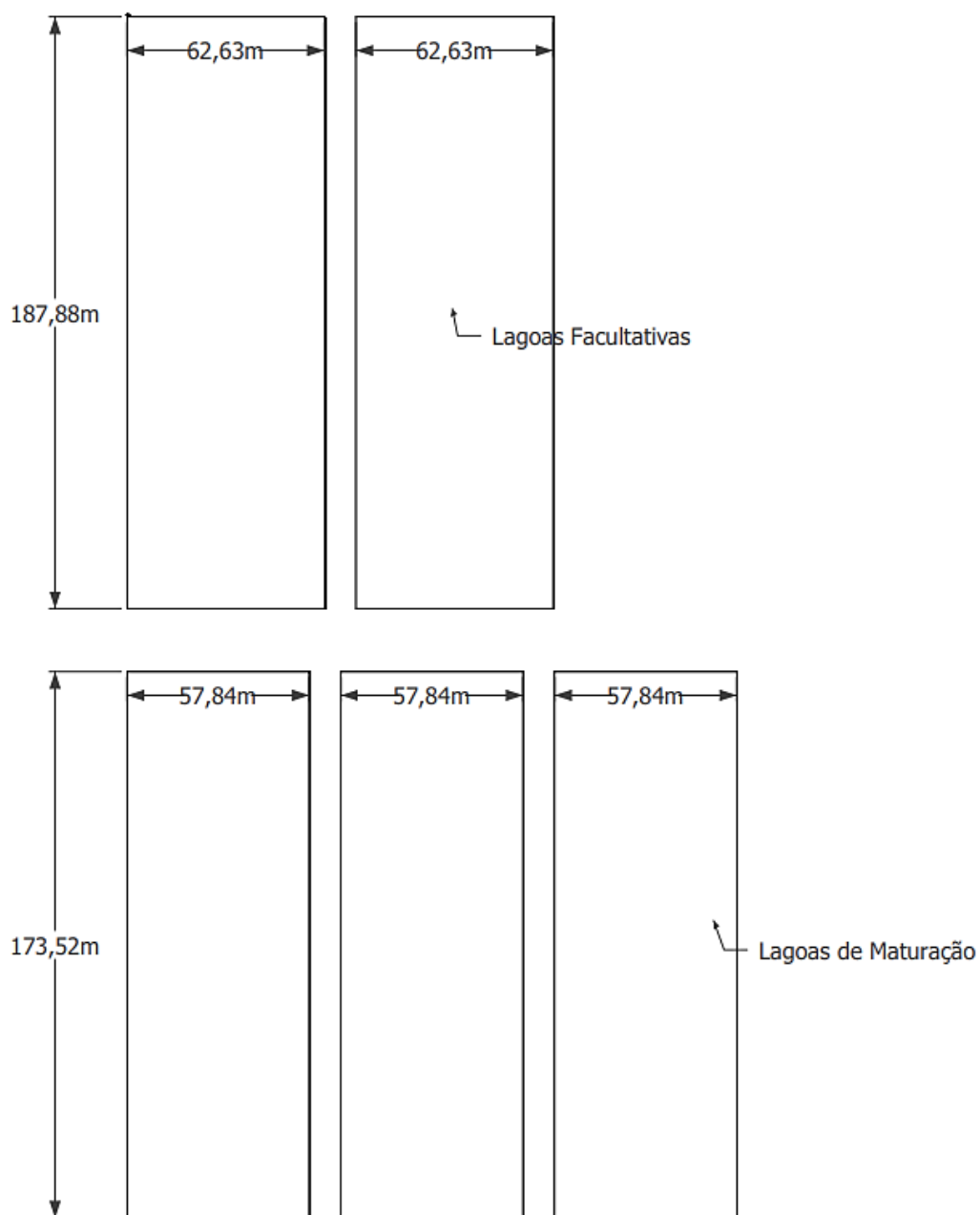
5.1 Resultados do Sistema 1:

Quadro 10 - Resultados do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

Descrição		Valores	Unidades	
Lagoa Facultativa		Nº de Lagoas	2	-
		L/B	3,0	-
		L	62,63	m
		B	187,88	m
		Área Total (+30%)	30.593,86	m²
		Volume	42.360,73	m³
		Tempo de detenção hidráulica (t)	16,88	dias
		Profundidade (H)	1,80	m
		Acumulo de lodo	4,44	cm/ano
		Concentração de DBO efluente	64,29	mg/L
		Eficiência	79,26	% de remoção
		Concentração Final de Coliformes Fecais	1,78E+06	FC/100mL
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	96,43	% de remoção
Lagoa Maturação	Nº de Lagoas		3	-
	L/B		3	-
	L		57,84	m
	B		173,52	m
	Área Total (+30%)		13.046,80	m²
	Volume (Por lagoa)		10.036,00	m³
	Tempo de detenção hidráulica (t) - Total		12	dias
	Profundidade (H)		1,00	m
	Fluxo Disperso	Concentração Final de Coliformes Fecais	4,02E+03	% de remoção
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	99,9920%	FC/100mL
		Unidades de log removidas	4,09	Unidades de log removidas
	Mistura Completa	Concentração Final de Coliformes Fecais	1,04E+05	FC/100mL
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	99,7915%	% de remoção
Unidades de log removidas		2,68	Unidades de log removidas	

Fonte: Autor (2021)

Figura 11 - Modelo esquemático do Sistema 1: Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação



Fonte: Autor (2021)

6 Dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação

Sistema 2 foi dimensionado com o auxílio de planilha eletrônica no software Microsoft Excel. Os parâmetros inseridos e os dados obtidos foram sintetizados nos quadros a seguir:

Quadro 11 - Dimensionamento de Lagoas Anaeróbias para o Sistema 2

Lagoa Anaeróbia			
Descrição	Valores	Observações/unidades	Local
Carga afluenta de DBO (L)	777,79	kgDBO/d	Calculado
Taxa de aplicação volumétrica (Lv) - kgDBO5/m ³ .d	0,34	Tabela 3.1 - $0.01T + 0,10$	Seção 3.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Volume da lagoa anaeróbia	2.287,62	m ³	Calculado
Tempo de detenção hidráulica (t)	3,00	(dias) Valor obtido: 0,91, entretanto, o mínimo é de 3, logo adota-se 3	Seção 3.3 b do livro WASTE STABILISATION PONDS
Profundidade (H)	4,5	De acordo com a literatura - entre 3 e 5 m	Seção 3.3 c do livro WASTE STABILISATION PONDS
Área da lagoa anaeróbia	0,05	ha	Calculado
	508,36	m ² (1 lagoa)	Calculado
	254,18	m ² (2 lagoas)	Calculado
Nº de lagoas	2	Lagoa(as)	Adotado
Concentração de DBO efluente	70,00%	Para T entre 10 e 25 utiliza-se $2 \cdot T + 20$, para T maior que 25 adota-se 70	Seção 3.4 do livro WASTE STABILISATION PONDS
	93,00	(mg/L) Carga Efluente da Lagoa Facultativa	Calculado
L/B	3	De acordo com a literatura - entre 1 e 3	Seção 3.3 d do livro WASTE STABILISATION PONDS
L	9,20	m	Calculado
B	27,61	m	Calculado
Acumulo de lodo	0,04	De acordo com a literatura adota-se 0,03 a 0,10 m ³ /hab.ano	Seção 3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS

	836,20	m³/ano	-
	1,64	m/ano	-
	164,49	cm/ano	-
Tempo para acumulo de 1/3 da profundidade	0,91	anos	Seção 3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Área Total Requerida	30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	Adotado
	660,87	m²	Calculado
	0,07	ha	Calculado

Fonte: Autor (2021)

Quadro 12 - Resultado do dimensionamento de Lagoas Anaeróbias Primárias para o Sistema 2

Quadro Resumo - Lagoa Anaeróbia Primária		
Descrição	Valores	Unidades
Carga afluente de DBO (L)	777,79	kgDBO/d
Área da lagoa anaeróbia	0,05	ha
	508,36	m² (1 lagoa)
	254,18	m² (2 lagoas)
Nº de lagoas	2	Lagoa(as)
L/B	3,00	-
L	9,20	m
B	27,61	m
Área Total Requerida	660,87	m²
	0,07	ha
Volume da lagoa anaeróbia	2.287,62	m³
Tempo de detenção hidráulica (t)	3,00	d
Profundidade (H)	4,50	m
Concentração de DBO efluente	93,00	mg/L (Carga Efluente da Lagoa Facultativa)
Eficiência	50,00	% de remoção
Acumulo de lodo	164,49	cm/ano
Tempo para acumulo de 1/3 da profundidade	0,91	anos

Fonte: Autor (2021)

Quadro 13 - Dimensionamento de Lagos Facultativas para o Sistema 2

Lagoa Facultativa			
Descrição	Valores	Observações/unidades	Local
Carga afluente de DBO (KgDBO/d)	233,34	KgDBO/d	Calculado
Taxa de aplicação superficial (Ls)	330,5	Entre 240 e 350 KgDBO/hab.d para regiões quentes	Seção 2.5 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Calculo da área requerida (A)	0,71	ha	Calculado
	7.060,12	m ² (1 lagoa)	Calculado
	3.530,06	m ² (2 lagoas)	Calculado
Nº de Lagoas	2	Lagoa(as)	Adotado
L/B	3	De acordo com a literatura - entre 2 e 4	Seção 2.5 d do livro WASTE STABILISATION PONDS
L	34,30	m	Calculado
B	102,91	m	Calculado
Área Total Requerida	30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	Adotado
	9.178,16	m ²	Calculado
	0,92	ha	Calculado
Área Total Lagoas LA+LF	0,98	ha	Calculado
Profundidade (H) - (m)	1,80	De acordo com a literatura - entre 1 e 2 metros	Seção 2.5 b do livro WASTE STABILISATION PONDS
Volume da Lagoa Facultativa (V)	12.708,22	m ³	Calculado
Tempo de Detenção Hidráulica (t)	15,00	(dias) Valor obtido 9,84, entretanto, o mínimo é de 15, logo adotou-se 15	Seção 2.5 c do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coefficiente de remoção de DBO (Kt)			
Coefficiente de remoção de DBO a 20°C (K20)	0,27	De acordo com a literatura - entre 0,25 e 0,32 d ⁻¹	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS/Seção 3.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coefficiente de temperatura (Θ)	1,05	Devido k=0,35, se k=0,35 adota-se 1,085, entretanto, se k diferente 0,35 adota-se 1,05	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
Coefficiente de remoção de DBO (Kt)	0,34	d ⁻¹	Calculado
Concentração de efluente de DBO Solúvel (S)			
Fluxo de mistura completa	15,08	mg/L	Calculado
Fluxo em pistão	0,53	mg/L	Calculado

Fluxo disperso	Kt	0,34	d ⁻¹	Calculado
	d	0,333333333	-	Calculado
	a	2,81	-	Calculado
	Fluxo disperso	4,77	mg/L	Calculado
Concentração de efluente de DBO Particulada				
Capacidade de sólidos suspenso na geração de DBO		0,27	De acordo com a literatura - entre 0,25 e 0,32 d ⁻¹	Seção 2.6.3 a do livro WASTE STABILISATION PONDS/Seção 3.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Concentração de Sólidos Suspensos (SS)		80	De acordo com a literatura - entre 60 a 100 mg/L	Seção 2.6.2 a do livro WASTE STABILISATION PONDS
DBO Particulada		21,6	mgDBO/L	Calculado
DBO efluente/Eficiência/Lodo				
DBO Efluente		36,68	mg/L	Calculado
Eficiência		88,17	% de remoção	Calculado
Acumulo de Lodo		0,05	De acordo com a literatura adota-se 0,03 a 0,08 m³/hab.ano	Seção 2.8do livro WASTE STABILISATION PONDS
		1.045,25	m³/ano	Calculado
		0,1480	m/ano	Calculado
		14,80	cm/ano	Calculado
		296,10	Espessura em cm em 20 anos	Calculado
Remoção de Coliformes em Lagoa Facultativa				
Coeficiente de remoção de coliformes (Kb) - 20°C		0,26	d ⁻¹	Calculado
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	Θ = 1,07	Seção 6.3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Correção de temperatura (Kbt)		0,36	d ⁻¹	Calculado
Concentração de Coliforme no Efluente				
Concentração de Coliforme no Efluente	N0 lagoa anaeróbia	5,00E+07	FC/100mL De acordo com a literatura para esgoto bruto	
	N0 lagoa facultativa	5,00E+06	FC/100mL Considerando a remoção de 1 log na anaeróbia	-
	d	0,333333333	-	Calculado
	a	2,87	-	Calculado
	N	2,31E+05	FC/100mL	Calculado
Eficiência		95,38	% de remoção	Calculado

Fonte: Autor (2021)

Quadro 14 - Resultado do dimensionamento de Lagoas Facultativas Secundárias para o Sistema 2

Quadro Resumo - Lagoa Facultativa Secundária		
Descrição	Valores	Unidades
Carga afluyente de DBO (KgDBO/d)	233,34	KgDBO/d
Calculo da área requerida (A)	0,71	ha
	7.060,12	m² (1 lagoa)
	3.530,06	m² (2 lagoas)
Nº de Lagoas	2	Lagoa(as)
L/B	3,00	-
L	34,30	m
B	102,91	m
Área Total Requerida	9.178,16	m²
	0,92	ha
Área Total Lagoas LA+LF	0,98	m²
Profundidade (H) - (m)	1,80	m
Volume da Lagoa Facultativa (V)	12.708,22	m³
Tempo de Detenção Hidráulica (t)	15,00	dias
Coeficiente de remoção de DBO (Kt)	0,34	d ⁻¹
Efluente Solúvel - Fluxo de mistura completa	15,08	mg/L
Efluente Solúvel - Fluxo em pistão	0,53	mg/L
Efluente Solúvel - Fluxo disperso	4,77	mg/L
Efluente Solúvel Utilizado	15,08	mg/L
DBO Particulada	21,60	mgDBO/L
DBO Efluente	36,68	mg/L
Eficiência	88,17	% de remoção
Acumulo de Lodo	14,80	cm/ano
	296,10	cm em 20 anos
Concentração inicial de Coliformes Fecais	5,00E+06	FC/100mL
Concentração Final de Coliformes Fecais	2,31E+05	FC/100mL
Eficiência na remoção de coliformes fecais	95,38	% de remoção

Fonte: Autor (2021)

Quadro 15 - Dimensionamento de Lagoas de maturação em série para o Sistema 2

Lagoas de maturação em série				
Descrição		Valores	Observações/unidades	Local
Tempo de detenção		4	(d ⁻¹) Por lagoa	Tabela 6.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
		12	(d ⁻¹) 03 lagoas	Calculado
Volume por lagoa		10.036,00	m ³	Calculado
Profundidade (H)		1,00	m	Adotado
Área (A)		10.036,00	m ²	Calculado
		1,00	ha	Calculado
L/B		3	De acordo com a literatura de 1 a 3	Seção 6.3.5 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Nº de lagoas		3	-	Adotado
L		57,84	m	Calculado
B		173,52	m	Calculado
Área Total das lagoas		30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros	Adotado
		13.046,80	m ²	Calculado
		1,30	ha	Calculado
Concentração de Coliforme no Efluente - Fluxo Disperso				
Número de dispersão (d)		0,33	-	Calculado
Coeficiente de remoção de coliformes (Kb) - 20°C		0,54	d ⁻¹	Calculado
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	Θ = 1,07	Seção 6.3.6 do livro WASTE STABILISATION PONDS
Correção de temperatura (Kbt)		0,76	d ⁻¹	Calculado
Concentração de Coliforme no Efluente - 1 Lagoa de maturação	N0	2,31E+05	FC/100mL	Calculado
	d	0,33	-	Calculado
	a	2,25	-	Calculado
	N	3,03E+04	FC/100mL	Calculado
Eficiência - 1 lagoa de maturação (E1)		86,89%	% de remoção	Calculado
Eficiência de n lagoas (En)		99,77%	% de remoção	Calculado
Concentração final de coliformes no efluente		5,20E+02	FC/100mL	Calculado
Concentração de Coliforme no Efluente - Mistura Completa				
Coeficiente de remoção de coliformes (Kmix) - 20°C		0,84	d ⁻¹	Calculado
Coeficiente de temperatura (Θ)		1,07	-	-
Correção de temperatura (Kmixt)		1,18	d ⁻¹	Calculado

Concentração final de coliformes no efluente		1,35E+04	FC/100mL	Calculado
Eficiência (E)		94,16%	% de remoção	Calculado
No Geral a Eficiência de Remoção - Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + 3 Lagoas de Maturação				
Fluxo disperso	Eficiência	99,9896%	% de remoção	Calculado
	Coliformes	5,20E+02	FC/100mL	Calculado
	Unidades de log removidas	3,98	Unidades de log removidas	Calculado
Mistura completa	Eficiência	99,7303%	% de remoção	Calculado
	Coliformes	1,35E+04	FC/100mL	Calculado
	Unidades de log removidas	2,57	Unidades de log removidas	Calculado

Fonte: Autor (2021)

Quadro 16 - Resultados do dimensionamento de Lagoas de maturação em série para o Sistema 2

Quadro Resumo – (03) Lagoas de Maturação			
Descrição		Valores	Unidades
Tempo de detenção		4	(d ⁻¹) Por lagoa
		12	(d ⁻¹) 03 lagoas
Volume por lagoa		10.036,00	m ³
Profundidade (H)		1,00	m
L/B		3	De acordo com a literatura de 1 a 3
Nº de lagoas		3	-
L		57,84	m
B		173,52	m
Área Total das lagoas		30,00%	De acordo com a literatura adota-se de 25 a 33% a mais da área da lagoa para pistas de rolamento e outros
		13.046,80	m ²
		1,30	ha
Coliformes - Fluxo disperso	Eficiência	99,9896%	% de remoção
	Coliformes	5,20E+02	FC/100mL
	Unidades de log removidas	3,98	Unidades de log removidas
Coliformes - Mistura completa	Eficiência	99,7303%	% de remoção
	Coliformes	1,35E+04	FC/100mL
	Unidades de log removidas	2,57	Unidades de log removidas

Fonte: Autor (2021)

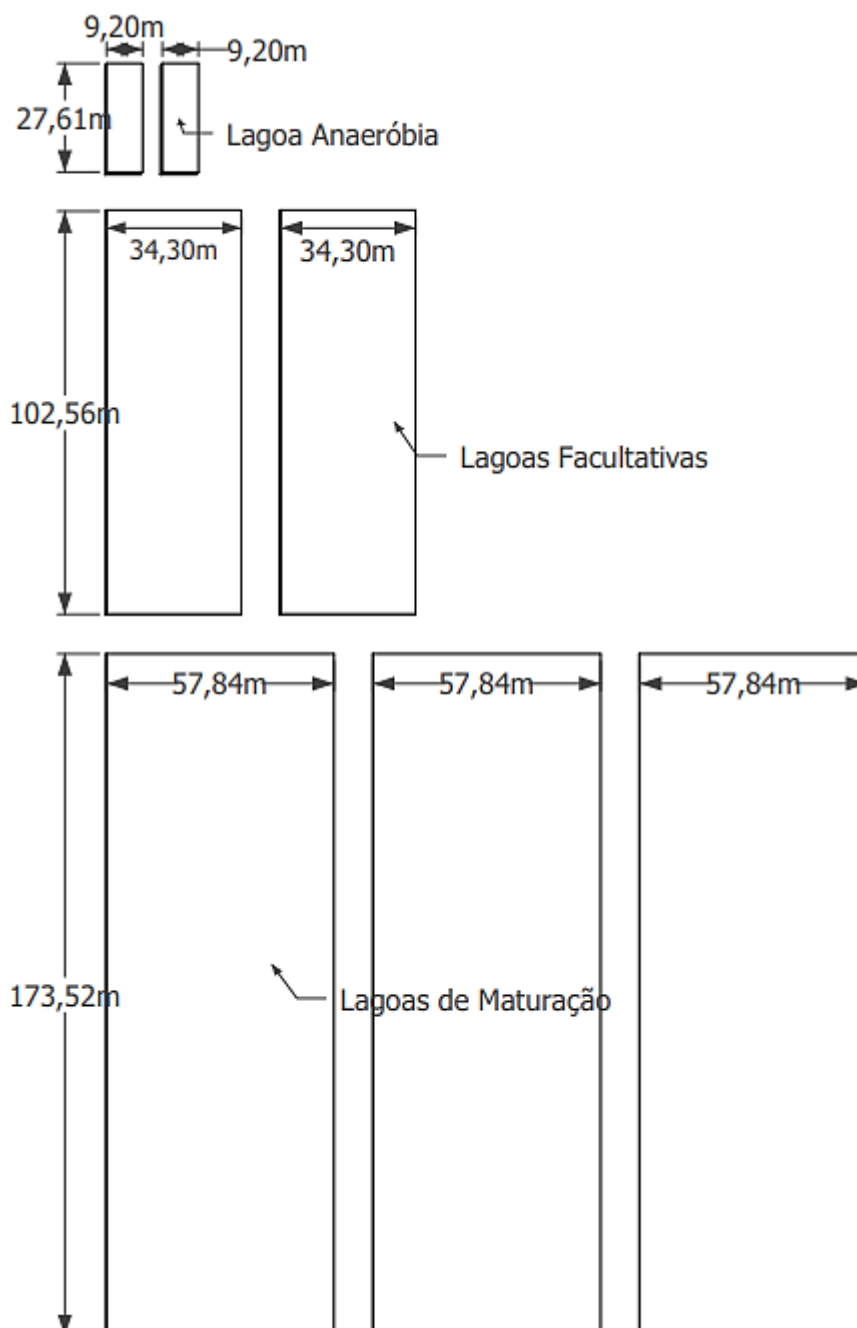
6.1 Resultados do sistema 2

Quadro 17 - Resultados do dimensionamento do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação

Descrição		Valores	Unidades	
Lagoa Anaeróbia		Nº de Lagoas	2	-
		L/B	3,0	-
		L	9,20	m
		B	27,61	m
		Área Total (+30%)	660,87	m²
		Volume	2.287,62	m³
		Tempo de detenção hidráulica (t)	3,00	dias
		Profundidade (H)	4,50	m
		Acumulo de lodo	164,49	cm/ano
		Concentração de DBO efluente	93,00	mg/L
		Eficiência	50,00	% de remoção
Lagoa Facultativa		Nº de Lagoas	2	-
		L/B	3,0	-
		L	34,30	m
		B	102,91	m
		Área Total (+30%)	9.178,16	m²
		Volume	12.708,22	m³
		Tempo de detenção hidráulica (t)	15,00	dias
		Profundidade (H)	1,80	m
		Acumulo de lodo	14,80	cm/ano
		Concentração de DBO efluente	36,68	mg/L
		Eficiência	88,17	% de remoção
		Concentração Final de Coliformes Fecais	2,31E+05	FC/100mL
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	95,38	% de remoção
Lagoa Maturação	Nº de Lagoas		3	-
	L/B		3	-
	L		57,84	m
	B		173,52	m
	Área Total (+30%)		13.046,80	m²
	Volume		10.036,00	m³
	Tempo de detenção hidráulica (t) - Total		12	dias
	Profundidade (H)		1,00	m
	Fluxo Disperso	Concentração Final de Coliformes Fecais	5,20E+02	% de remoção
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	99,9896%	FC/100mL
		Unidades de log removidas	3,98	Unidades de log removidas
	Mistura Completa	Concentração Final de Coliformes Fecais	1,35E+04	% de remoção
		Eficiência na remoção de coliformes fecais	99,7303%	FC/100mL
		Unidades de log removidas	2,57	Unidades de log removidas

Fonte: Autor (2021)

Figura 12 - Modelo esquemático do Sistema 2: Lagoa Anaeróbia seguida de Facultativa e Lagoa de Maturação



Fonte: Autor (2021)

7 CONCLUSÃO

Em virtude do que foi exposto, pode-se observar que os dois sistemas de esgotamento sanitário propostos para o município de Taguatinga – TO (Lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação e lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação) cumprem com as exigências mínimas das normas vigentes, são de baixo custo de implementação e operação tecnicamente acessível, porém alguns resultados inferem ao Sistema 2 maior viabilidade:

- Menor área total necessária para implementação do Sistema 2. Enquanto o Sistema 1 consome 43.640,66 m² de área para as lagoas, o Sistema 2 necessita apenas de 22.885,82 m². Área 47,56% menor, reduzindo custos e impactos para a região.
- O volume total das lagoas no Sistema 2 é de 25.031,84 m³, 65,46% menor que no Sistema 1 que possui um volume total de 72.468,73 m³, reduzindo o custo com movimentação de terra e simplificando a implementação do sistema.
- A eficiência na remoção de DBO no Sistema 2 é de 88,17% enquanto no Sistema 1 é de 79,26%.
- A eficiência na remoção de na remoção de coliformes fecais nos dois sistemas foi acima de 99%.

Posto isto, verifica-se que o Sistema 2 tem maior viabilidade para ser utilizado no município de Taguatinga – TO, beneficiando a população da região, garantindo um tratamento de esgoto satisfatório, dentro das condições necessárias e exigidas por normativas técnicas e leis.

REFERÊNCIAS

ALVES, Thalles Delano. **Análise de desempenho de estações de tratamento de esgoto visando condições de outorga e enquadramento de corpos hídricos: o caso das ETEs Aurenny e Prata, Palmas – TO.** Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/272>. Acesso em: 1 dez. 2020

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Curso Lei das Águas – Capacitação para gestão das águas.** Disponível em: < <https://capacitacao.ead.unesp.br/>>. Acesso set. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209:** Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro. 1992. 12p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229:** Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro. 1993. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648:** Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro. 1986. 5p

BRASIL. **Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Palma.** Secretaria de Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Tocantins, 2019. Disponível em: <https://semath.to.gov.br>. Acesso em: set. 2020.

CHAGAS Neto, Virgílio Bandeira. **Caracterização do esgoto bruto e avaliação da eficiência de redução de matéria orgânica e de bactérias entéricas, em deferentes processos de tratamento de esgotos domésticos, empregados na cidade de Salvador – Bahia.** Orientador: Prof. Dr. Salomão Anselmo Silva. 153f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1995. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/2923>. Acesso em: 2 dez. 2020

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios.** 2010. 2^a ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 588 p. (Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, 5).

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento.** Ministério da Saúde. Brasília, 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas do Saneamento 2011**. Rio de Janeiro. 2011.

MARA, D. D.; PEARSON, H. W.; ALABASTER, G. P.; MILLS, S. W. **An evaluation of waste stabilization ponds in Kenya**. Research Monograph No 11. University of Leeds. Leeds, 1997. 109p.

OMS - World Health Organization. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities**. New York. 2017

RECESA. **Esgotamento Sanitário: operação e manutenção de redes coletoras de esgoto**. Brasília: Ministérios das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.), 2008.

SPERLING, M. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2005. Livro. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA. Universidade Federal de Minas Gerais.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. 1997. 2^a ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. VON

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos** - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.