



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS DE PALMAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM  
ENGENHARIA AMBIENTAL

**ÁLEM FELIPE DA SILVA**

**ANÁLISE SOBRE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO PARA AS CIDADES DO ESTADO DO TOCANTINS**

Palmas/TO  
2023

ÁLEM FELIPE DA SILVA

**ANÁLISE SOBRE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO PARA AS CIDADES DO ESTADO DO TOCANTINS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Doutor Sérgio Carlos Bernardo Queiroz

Palmas/TO  
2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- S586a Silva, Além Felipe da.  
Análise sobre tecnologias de tratamento de esgoto para as cidades do Estado do Tocantins. / Além Felipe da Silva. – Palmas, TO, 2023.  
163 f.
- Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2023.  
Orientador: Sérgio Carlos Bernardo Queiroz
1. tratamento de esgoto. 2. CAPEX. 3. OPEX. 4. viabilidade. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

# FOLHA DE APROVAÇÃO

ÁLEM FELIPE DA SILVA

## ANÁLISE SOBRE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA AS CIDADES DO ESTADO DO TOCANTINS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 30 / 10 / 2023

Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente  
**SERGIO CARLOS BERNARDO QUEIROZ**  
Data: 30/01/2024 14:46:47-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Sérgio Carlos Bernardo Queiroz, UFT



Documento assinado digitalmente  
**MARCELO MENDES PEDROZA**  
Data: 30/01/2024 17:23:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza, IFTO



Documento assinado digitalmente  
**CRISTINA FILOMENA PEREIRA ROSA PASCHOAL**  
Data: 31/01/2024 08:40:22-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dra. Cristina Filomêna Pereira Rosa Paschoalato, UNAERP

Palmas, 2023

*Dedico este trabalho a Deus,  
à minha amada esposa Samila,  
aos meus pais  
e aos meus irmãos, de sangue e em Cristo.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela vida.

Agradeço em especial à minha querida esposa Samila, pelo carinho e motivação em todos os momentos deste trabalho e, principalmente, ao longo da vida. Agradeço ao Stanley pelo carinho de sempre.

Agradeço aos meus pais, por sempre acreditarem e investirem em mim, apoiando sempre os meus sonhos e objetivos.

Agradeço aos meus irmãos, pela amizade e parceria de sempre.

Agradeço ao meu orientador Sérgio Bernardo e ao corpo docente, que me auxiliaram nesta jornada e possibilitaram a realização deste sonho.

Agradeço aos colegas de turma, especialmente ao Lucas do Ó e ao Wesley Leal, pela parceria e apoio para conclusão deste trabalho.

Agradeço à Juliana Melo e ao Elthon Bezerra pelo apoio indispensável para conclusão deste trabalho.

Grato ao saneamento, que me acolheu e que me faz todos os dias enxergar como água potável e esgoto tratado podem proporcionar mais qualidade e dignidade de vida às pessoas.

## RESUMO

A necessidade de expansão dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil é urgente e fica evidente através da grande quantidade de pessoas – aproximadamente 100 milhões – a serem atendidas e como a falta deste serviço prejudica a qualidade de vida da população. Diante disto, o Novo Marco do Saneamento estabelece como meta a universalização dos serviços de esgotamento sanitário para 90% da população até 2033 o que, por sua vez, exige um alto valor a ser investido – cerca de 350 bilhões de reais. Dentre as regiões do Brasil, a Norte é a que se encontra com os menores índices de cobertura dos serviços de esgotamento sanitário e, em função disto, nota-se os maiores índices de doenças por falta de saneamento. O Tocantins é um dos estados com os menores índices de cobertura e com alto volume de investimentos a serem realizados, especialmente no que se diz respeito à implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Desta forma, é necessário avaliar técnica e economicamente as alternativas de tratamento de esgoto a serem implantadas no Tocantins, de forma a se alcançar a viabilidade financeira dos projetos para que isto não se torne fator impeditivo para o avanço desta área do saneamento. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo dar suporte aos municípios para estudos de concepção e tomadas de decisão referente à tecnologia de tratamento a ser adotada. Além disso, o presente trabalho teve como foco as cidades do Tocantins com população abaixo de 20 mil habitantes, que representa cerca de 92% dos municípios, e separados em três faixas de população. Foram avaliadas três tecnologias de tratamento de esgoto para cada faixa de população: 1) Sistema Australiano – Lagoas Anaeróbias seguidas de Lagoas Facultativas, 2) Lagoas Facultativas seguidas de Lagoas de Maturação, e 3) Reator UASB seguido de Lodos Ativados. Após os dimensionamentos de cada tecnologia, foram analisados os custos de implantação (CAPEX) e operacionais (OPEX) para possibilitar a análise da viabilidade financeira de cada alternativa. Por um lado, os resultados mostraram que alternativas mais simples de implantação e operação, como por exemplo, o sistema australiano de lagoas pode ser mais atraente técnica e financeiramente. Por outro lado, em casos de dificuldade de aquisição de área e restrições na capacidade de autodepuração do corpo receptor, pode ser mais viável a implantação de sistemas de Reator UASB seguidos de Lodos Ativados. A alternativa de Lagoas Facultativas seguidas de Lagoa de Maturação, em função da necessidade de grande quantidade de área para sua implantação, se apresentou inviável economicamente.

**Palavras-chaves:** tratamento de esgoto, CAPEX, OPEX, viabilidade.

## ABSTRACT

The need for the expansion of sanitation services in Brazil is urgent and becomes evident through the large number of people – approximately 100 million – to be served and how the lack of this service affects the quality of life of the population. In view of this, the New Sanitation Framework sets the goal of universalizing sanitation services for 90% of the population by 2033, which, in turn, requires a high amount to be invested – around 350 billion Brazilian reais. Among the regions of Brazil, the North is the one with the lowest coverage rates of sanitation services, and, as a result, the highest rates of diseases due to lack of sanitation are observed. Tocantins is one of the states with the lowest coverage rates and a high volume of investments to be made, especially regarding the implementation of Sewage Treatment Plants (STP). Thus, it is necessary to evaluate technically and economically the sewage treatment alternatives to be implemented in Tocantins to achieve the financial viability of the projects so that this does not become an impediment to the progress of this area of sanitation. In this context, this work aims to support municipalities in conception studies and decision-making regarding the treatment technology to be adopted. Furthermore, this work focused on cities in Tocantins with a population below 20 thousand inhabitants, representing about 92% of the municipalities, and divided into three population ranges. Three sewage treatment technologies were evaluated for each population range: 1) Australian System – Anaerobic Ponds followed by Facultative Ponds, 2) Facultative Ponds followed by Maturation Ponds, and 3) UASB Reactor followed by Activated Sludge. After dimensioning each technology, the implementation (CAPEX) and operational (OPEX) costs were analyzed to enable the financial viability analysis of each alternative. On the one hand, the results showed that simpler alternatives for implementation and operation, such as the Australian system of ponds, may be more attractive technically and financially. On the other hand, in cases of difficulty in acquiring an area and restrictions on the self-purification capacity of the receiving body, the implementation of UASB Reactor systems followed by Activated Sludge may be more viable. The alternative of Facultative Ponds followed by Maturation Pond, due to the need for a large area for its implementation, proved to be economically unfeasible.

**Keywords:** sewage treatment, CAPEX, OPEX, viability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Taxa de internações por doenças associadas à falta de saneamento (por 10 mil habitantes) em 2019.....	18
Figura 2 – Municípios que compõem o estado do Tocantins e suas respectivas populações estimadas (2021).....	26
Figura 3 - Sistema Australiano – Sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas .....	31
Figura 4 – Aspectos importantes na escolha do sistema de tratamento de esgoto .....	35
Figura 5 - Fluxograma resumo das etapas da metodologia proposta .....	45
Figura 6 - Mapa de localização e das regiões geográficas do Tocantins.....	47
Figura 7 - Mapa de temperatura média no Tocantins .....	49
Figura 8 - Mapa de precipitação pluviométrica anual no Tocantins, total acumulado.....	50
Figura 9 - Mapa das bacias hidrográficas do Tocantins .....	53
Figura 10 - Mapa dos municípios tocantinenses segregados pela capacidade de diluição de esgoto.....	55
Figura 11 - Mapa dos municípios tocantinenses identificados pelos operadores de água e esgoto .....	57
Figura 12 - Mapa dos municípios do Tocantins, de acordo com as classes de tamanho da população.....	64
Figura 13 - Curvas das projeções populacionais para o Grupo I.....	83
Figura 14 - Curvas das projeções populacionais para o Grupo II .....	85
Figura 15 - Curvas das projeções populacionais de Dianópolis.....	87
Figura 16 – Curvas de custos para o Sistema Australiano em função da população .....	117
Figura 17 – Curvas de custos para Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação em função da população.....	119
Figura 18 – Curvas de custos para Reator UASB seguido de Lodos Ativados em função da população.....	120
Figura 19 – VPL das tecnologias de tratamento para o Grupo I .....	122
Figura 20 – VPL das tecnologias de tratamento para o Grupo II.....	124
Figura 21 – VPL das tecnologias de tratamento para o Grupo III.....	125
Figura 22 – VPL por Tecnologia de Tratamento de Esgoto.....	126

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices de cobertura com água e esgoto por macrorregião.....	24
Tabela 2 – Índices de cobertura de esgoto para as cidades tocantinenses com serviço de esgotamento sanitário .....	25
Tabela 3 – Níveis do tratamento dos esgotos .....	29
Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens por cada Sistema de Tratamento de Esgoto.....	36
Tabela 5 – Condições do esgoto sanitário para lançamento no corpo receptor.....	38
Tabela 6 – Enquadramento de empreendimentos de Sistemas de Esgotos Sanitários .....	40
Tabela 7 - Níveis de atendimento com água e esgotos do Tocantins .....	56
Tabela 8 - Censo demográfico dos municípios do Tocantins (1991, 2000, 2010 e 2022) .....	58
Tabela 9 - Classes, número de municípios e percentual por faixa, segundo o tamanho da população (2022).....	63
Tabela 10 - Municípios selecionados para o estudo .....	65
Tabela 11 – Características dos esgotos domésticos brutos .....	70
Tabela 12 – Microrganismos presentes nos esgotos domésticos brutos.....	70
Tabela 13 – Taxa de aplicação volumétrica admissível para projeto de lagoas anaeróbias em função da temperatura. ....	72
Tabela 14 – Tempo de detenção hidráulico.....	77
Tabela 15 - Projeções populacionais para o Grupo I.....	82
Tabela 16 - R <sup>2</sup> das projeções realizadas frente aos dados dos censos do IBGE para o Grupo I .....	84
Tabela 17 - Projeções populacionais para o Grupo II .....	84
Tabela 18 - R <sup>2</sup> das projeções realizadas frente aos dados dos censos do IBGE para Peixe .....	86
Tabela 19 - Projeções populacionais para o Grupo III .....	86
Tabela 20 - R <sup>2</sup> das projeções realizadas frente aos dados dos censos do IBGE para Augustinópolis.....	88
Tabela 21 – Cálculo da vazão de infiltração para cada cidade estudada.....	90
Tabela 22 – Cálculo das vazões de projeto para cada cidade estudada.....	90
Tabela 23 – Tabela resumo do dimensionamento do Sistema Australiano.....	92
Tabela 24 – Tabela resumo do dimensionamento para o sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.....	95
Tabela 25 – Tabela resumo do dimensionamento de Reator UASB seguido de Lodos Ativados .....	99

Tabela 26 – Tabela resumo do CAPEX para o Sistema Australiano .....	102
Tabela 27 – Tabela resumo do CAPEX para o Sistema de Lagoa Facultativa seguido de Lagoa de Maturação .....	104
Tabela 28 – Tabela resumo do CAPEX para o Sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados.....	106
Tabela 29 – Tabela resumo do OPEX para o Sistema Australiano .....	108
Tabela 30 – Tabela do VPL para o Sistema Australiano.....	109
Tabela 31 – Tabela resumo do OPEX anual para o Sistema de Lagoa Facultativa seguido de Lagoa de Maturação .....	111
Tabela 32 – Tabela do VPL para o Sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação .....	112
Tabela 33 – Tabela resumo do OPEX anual para o Sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados.....	114
Tabela 34 – Tabela do VPL para o Sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados...	115
Tabela 35 – Resumo geral dos custos de CAPEX, OPEX e VPL de acordo com os grupos populacionais .....	116
Tabela 36 – Matriz de Indicadores para apoio à Tomada de Decisão .....	128

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCON	Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ATR	Agência Tocantinense de Regulação
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
COEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CUB	Custo Unitário Básico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EEE	Estação Elevatória de Esgoto
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
ITB	Instituto Trata Brasil
LA	Lodos Ativados
LF	Lagoa Facultativa
LM	Lagoa de Maturação
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
PB	<i>Payback</i>
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PIB	Produto Interno Bruto
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

RCE	Rede Coletora de Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico de São Paulo
SICAM	Sistema Integrado de Saneamento Ambiental
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SS	Sólidos Suspensos
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UNICEF	Fundação das Nações Unidas para a
VPL	Valor Presente Líquido

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	Problema de Pesquisa .....	19
1.2	Hipótese .....	20
1.3	Delimitação do Escopo .....	20
1.4	Estrutura da Dissertação .....	20
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
2.1	Objetivo Geral .....	22
2.2	Objetivos Específicos.....	22
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>23</b>
3.1	Cobertura do Sistema de Esgotamento Sanitário .....	23
3.2	Necessidade de Investimento para Universalização do Sistema de Esgotamento Sanitário .....	27
3.3	Sistema de Esgotamento Sanitário.....	28
3.4	Sistema de Tratamento do Esgoto Sanitário.....	29
3.4.1	Lagoas de Estabilização.....	30
3.4.2	Sistemas Anaeróbios.....	32
3.4.3	Lodos Ativados .....	33
3.5	Seleção dos Sistemas de Tratamento de Esgoto Sanitário .....	34
3.6	Aspectos Legais sobre Condições de Lançamento de Efluentes no Corpo Receptor	38
3.7	Processo de Autodepuração.....	40
3.8	Metodologias de Análise de Viabilidade Econômica.....	41
3.8.1	Valor Presente Líquido – VPL .....	42
3.8.2	Taxa Interna de Retorno – TIR.....	42
3.8.3	<i>Payback</i> Simples e <i>Payback</i> Descontado .....	43
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>44</b>
4.1	Metodologia de Pesquisa.....	44

<b>4.2 Caracterização da Área em Estudo .....</b>	<b>46</b>
4.2.1 Localização e Divisão Regional .....	46
4.2.2 Regionalização Climática .....	47
4.2.3 Temperatura .....	48
4.2.4 Precipitação.....	49
4.2.5 Evaporação .....	51
4.2.6 População.....	51
4.2.7 Aspectos Econômicos .....	51
4.2.8 Bacias Hidrográficas.....	52
4.2.9 Capacidade de Diluição .....	53
4.2.10 Abastecimento de Água e Coleta de Esgoto.....	55
4.2.11 Operadores de Abastecimento de Água e Coleta de Esgoto.....	56
<b>4.3 Delimitação Populacional .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4 Estimativa de Crescimento Populacional.....</b>	<b>65</b>
4.4.1 Método da Projeção Aritmética .....	65
4.4.2 Método da Projeção Geométrica .....	66
4.4.3 Método da Taxa Decrescente de Crescimento.....	66
4.4.4 Método do Crescimento Logístico.....	67
<b>4.5 Estimativa da Vazão de Projeto .....</b>	<b>67</b>
<b>4.6 Caracterização do Efluente Bruto .....</b>	<b>69</b>
<b>4.7 Seleção das Alternativas de Tratamento .....</b>	<b>71</b>
<b>4.8 Dimensionamento das Unidades .....</b>	<b>71</b>
4.8.1 Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa (Sistema Australiano).....	72
4.8.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.....	75
4.8.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados .....	76
<b>4.9 Estimativa de Custos de Implantação – CAPEX.....</b>	<b>79</b>
<b>4.10 Estimativa De Custos Operacionais – OPEX.....</b>	<b>80</b>

<b>4.11 Cálculo Do Valor Presente Líquido (VPL)</b> .....	<b>80</b>
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>82</b>
<b>5.1 Estudo Populacional</b> .....	<b>82</b>
5.1.1 Grupo I – até 5 mil habitantes.....	82
5.1.2 Grupo II – até 10 mil habitantes .....	84
5.1.3 Grupo III – até 20 mil habitantes .....	86
<b>5.2 Vazão de Projeto</b> .....	<b>88</b>
<b>5.3 Pré-Dimensionamento das Estações de Tratamento de Esgoto</b> .....	<b>91</b>
5.3.1 Sistema Australiano .....	91
5.3.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.....	94
5.3.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados .....	97
<b>5.4 Avaliação de CAPEX</b> .....	<b>101</b>
5.4.1 Sistema Australiano .....	101
5.4.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.....	103
5.4.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados .....	105
<b>5.5 Avaliação de OPEX e de VPL</b> .....	<b>107</b>
5.5.1 Sistema Australiano .....	107
5.5.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.....	110
5.5.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados .....	113
<b>5.6 Fórmulas Matemáticas para Estimativa de Custos</b> .....	<b>116</b>
5.6.1 Sistema Australiano .....	117
5.6.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.....	118
5.6.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados .....	120
<b>5.7 Avaliação Técnica e Econômica das Tecnologias para Cada Grupo Populacional</b>	<b>122</b>
5.7.1 Grupo I – até 5 mil habitantes.....	122
5.7.2 Grupo II – até 10 mil habitantes .....	123
5.7.3 Grupo III – até 20 mil habitantes .....	124

5.7.4	Avaliação do VPL das Tecnologias de Tratamento de Esgoto.....	125
<b>5.8</b>	<b>Matriz de Indicadores para Apoio a Tomada de Decisão .....</b>	<b>126</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>129</b>
<b>6.1</b>	<b>Trabalhos Futuros.....</b>	<b>130</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>132</b>
<b>8</b>	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>140</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Organização das Nações Unidas (ONU) definiu em 2015 os 17 (dezessete) Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS's) globais para as nações. O ODS 6 consiste em “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” e estabeleceu como meta até 2030 a redução pela metade a proporção de águas residuais não tratadas” (ONU, 2022).

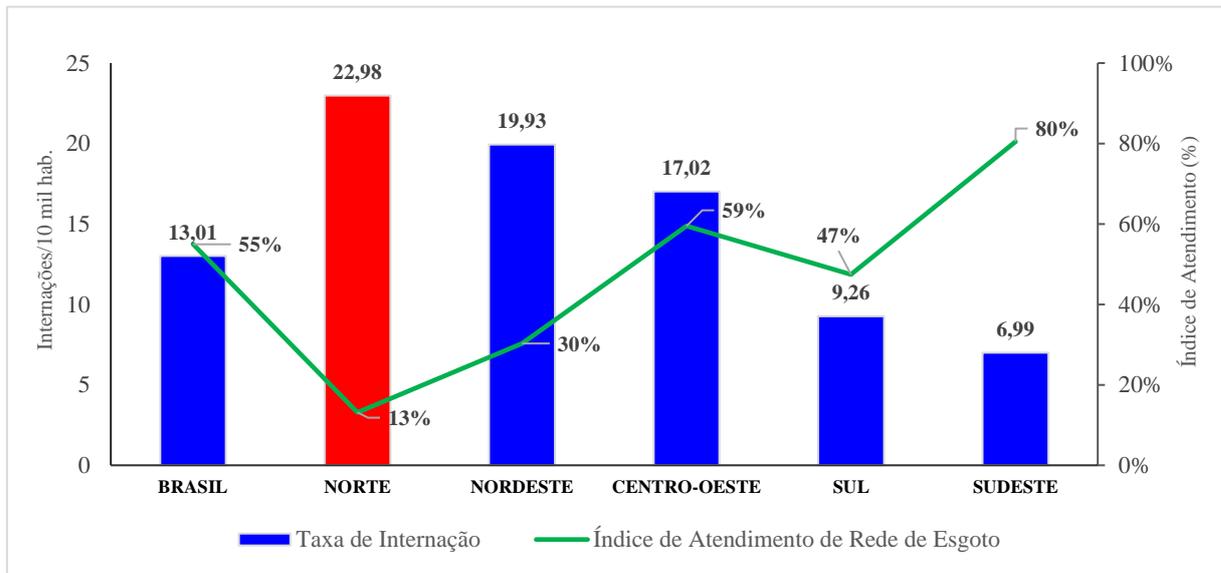
Em 15 de julho de 2020 foi sancionada a Lei nº 14.026 que instituiu o Novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, que, por sua vez, altera, dentre outros itens, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Dentre outras diretrizes, o Novo Marco estabeleceu como meta de universalização o atendimento 90% (noventa por cento) da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033 (BRASIL, 2020).

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o Diagnóstico Anual de Água e Esgoto 2022 (referente ao ano de 2020) informa que no Brasil apenas 50,8% dos esgotos gerados são tratados. Na Região Norte do país, apenas 21,4% dos esgotos gerados são tratados (SNIS, 2022).

O Estado do Tocantins também apresenta índices alarmantes de atendimento com coleta e tratamento de esgoto. De acordo com o SNIS, apenas 30,2% dos esgotos gerados são tratados no Estado. Ressalta-se ainda que, dos 139 municípios tocantinenses, apenas 20 cidades contam com tratamento do esgoto e nenhuma cidade apresenta índice acima de 90% para o indicador IN046 – Índice de esgoto tratado referido à água consumida (%) (SNIS, 2022).

De acordo com o estudo elaborado pelo Instituto Trata Brasil (ITB) em 2020, intitulado “Saneamento e Doenças de Veiculação Hídrica” e com base em dados do SNIS e do DATASUS – portal do Ministério da Saúde; no Brasil apenas no ano de 2019 foram mais de 273.403 internações por doenças de veiculação hídrica, 2.734 óbitos decorrentes destas doenças e um gasto de mais de R\$ 108 milhões com hospitalizações. O estudo afirma que as internações decorrentes de doenças causadas pela falta de saneamento se distribuem pelo território nacional refletindo as condições sanitárias de cada região. Neste sentido, nota-se que a ausência desta infraestrutura fica mais evidente na região Norte, onde apenas 13,1% da população possui rede de coleta de esgoto e, conseqüentemente, apresentou o maior e mais grave índice de internações por habitante em função de doenças originadas da falta de saneamento, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Taxa de internações por doenças associadas à falta de saneamento (por 10 mil habitantes) em 2019



Fonte: Adaptado pelo autor de ITB (2020) e SNIS (2022).

Conforme estudo elaborado pela Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON), para universalização dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil é necessário até 2033 a realização do investimento de R\$ 353,7 bilhões. Para universalização na Região Norte é necessário o investimento de R\$ 32,3 bilhões e no estado do Tocantins há a necessidade de R\$ 4,7 bilhões (ABCON, 2020).

Ainda de acordo com a ABCON, os investimentos necessários para atingir a universalização referente à implantação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) são de R\$ 56,5 bilhões no Brasil, R\$ 5,4 bilhões na região Norte e R\$ 464 milhões no Estado do Tocantins (ABCON, 2020).

O setor de esgotamento sanitário é uma das infraestruturas de saneamento que mais demandam análises para proposição de soluções viáveis, técnica e economicamente. O déficit de coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras tem resultado parcela significativa de carga poluidora chegando aos corpos d'água, causando consequências drásticas aos usos múltiplos dos recursos hídricos (ANA, 2017).

A orientação clara da Lei Federal nº 14.026/2020, é de aplicação célere de montantes financeiros extraordinários na implantação de empreendimentos de saneamento básico com aplicação de recursos privados para a realização de metas físicas audaciosas. O ponto de equilíbrio e segurança de toda a concepção será dado por profissionais qualificados e experientes e com projetos baseados em parâmetros realistas, de forma a dar solidez ao

planejamento global, fazendo-o merecedor de aportes de investimentos abrangentes em valores e nos tempos de aplicação e retorno (MARTINELLI, 2020).

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a escolha do processo de tratamento de uma ETE não se limita aos aspectos legais, ambientais ou de saúde pública, devendo abranger especialmente também as características econômicas e operacionais (ANA, 2022).

O Estado do Tocantins tem o desafio de adotar a implantação de alternativas de tratamento de esgoto viáveis economicamente para que consiga cumprir o prazo de universalização estabelecido pelo Novo Marco. Conforme dados da ABCON e do SNIS, o Tocantins precisa investir R\$ 464 milhões em ETE's ao longo de 119 municípios que ainda não possuem sistema público de esgotamento sanitário, com objetivo de sair dos atuais 26,8% e atingir a meta de 90% da população total com coleta e tratamento de esgoto até 2033, conforme estabelecido no Novo Marco Legal do Saneamento (ABCON, 2020).

Diante do cenário desafiador do Estado do Tocantins em relação à universalização do acesso aos serviços públicos de esgotamento sanitário, especialmente no que se refere à realização de alto valor de investimento e da implantação da grande quantidade de ETES, justifica-se a importância e a atualidade do presente trabalho. A presente pesquisa busca analisar a viabilidade econômica de tecnologias de tratamento de esgoto para as cidades de até 20 mil habitantes, o que representa 92% dos municípios tocantinenses.

## **1.1 Problema de Pesquisa**

De acordo com informações do SNIS (2022), no Estado do Tocantins apenas 26,8% da população e 14% dos municípios contavam com acesso aos serviços de esgotamento sanitário no ano de 2020. Por outro lado, o Estado tem a necessidade de investimento de mais de 464 milhões em ETES, para que a universalização seja cumprida até 2033, conforme previsto pelo Novo Marco do Saneamento. Em paralelo, enquanto os serviços de esgotamento sanitário cobrem uma quantidade tão pequena da população, a Região Norte possui a maior taxa de internação por doenças de veiculação hídrica em função da falta de saneamento.

A problemática apresentada pelo contexto acima demonstra a urgência no desenvolvimento de estudos e políticas que promovam a realização de investimentos que garantam à população o acesso aos serviços de esgotamento sanitário. Além disso, é fundamental que seja analisada a viabilidade econômica das tecnologias de tratamento de

esgoto a ser adotada, de forma que os custos de implantação e operação não se tornem impeditivos para que esse setor do saneamento avance no país e nas regiões mais carentes.

## **1.2 Hipótese**

O contexto da presente pesquisa propõe a seguinte hipótese:

O baixo índice de cobertura de esgotamento sanitário atrelado ao alto volume de investimentos necessários para se alcançar a meta de universalização no Estado do Tocantins exige a implantação das tecnologias de tratamento de esgoto mais viáveis técnica e economicamente para que o Novo Marco do Saneamento seja cumprido no prazo previsto.

## **1.3 Delimitação do Escopo**

O presente trabalho tem como escopo a análise da viabilidade técnica e econômica de três diferentes tecnologias de tratamento de esgoto para as cidades do Estado do Tocantins, sendo as tecnologias: 1) Sistema Australiano (Lagoas Anaeróbias seguidas de Lagoas Facultativas); 2) Lagoas Facultativas seguidas de Lagoas de Maturação; e 3) Reator UASB seguido de Lodos Ativados. As cidades foram organizadas em 3 Grupos, sendo o Grupo I – cidades de até 5 mil habitantes, o Grupo II – cidades de até 10 mil habitantes, e o Grupo III – cidades de até 20 mil habitantes, o que representa 92% dos municípios tocantinenses.

## **1.4 Estrutura da Dissertação**

O presente trabalho está organizado em 8 capítulos correlacionados. O Capítulo 1, Introdução, apresenta a contextualização do tema proposto ao descrever a importância do sistema de esgotamento sanitário para melhoria da qualidade de vida da população e como o Estado do Tocantins possui um grande desafio de investimentos para universalização, especialmente no que diz respeito à implantação das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Além disso, justifica a grande relevância do tema ao mostrar, por exemplo, que a Região Norte é a mais impactada no que diz respeito à taxa de internações por doenças de veiculação hídrica em função da falta de saneamento básico. Em paralelo, mostra os baixos índices de cobertura dos serviços de esgoto no Estado do Tocantins e os altos valores a serem investidos para se alcançar a universalização, sendo fundamental analisar a melhor viabilidade econômica das tecnologias de tratamento a serem implantadas.

O Capítulo 2, Objetivos, apresenta os objetivos geral e específicos do presente trabalho, que busca analisar a viabilidade técnica e econômica de tecnologias de tratamento de esgoto para as cidades do Estado do Tocantins.

O Capítulo 3, Fundamentação Teórica, apresenta as bases técnicas da literatura clássica sobre o tema em questão, abrangendo, dentre outros itens, as tecnologias de tratamento e suas vantagens e desvantagens.

O Capítulo 4, Metodologia, aborda sobre o procedimento adotado para desenvolvimento das etapas do presente trabalho, apresentando a caracterização da área de estudo, as fórmulas utilizadas para dimensionamento das tecnologias de tratamento selecionadas e os métodos de cálculo para análise da viabilidade econômica.

O Capítulo 5, Resultados, apresenta os cálculos realizados para dimensionamento e para análise da viabilidade econômica das tecnologias de tratamento para os três grupos de cidades. Além disso, busca compilar os resultados através de gráficos e tabelas para subsidiar as interpretações que dão base para as considerações finais. Este capítulo tem como suporte o Capítulo 8, Apêndices, onde constam os cálculos detalhados dos dimensionamentos realizados.

O Capítulo 6, Considerações Finais, apresenta os principais pontos conclusivos após interpretação dos resultados e em consonância com os objetivos inicialmente traçados. Além disso, propõe sugestões de temas a serem desenvolvidos em continuidade à presente pesquisa.

O Capítulo 7, Referências Bibliográficas, apresenta as referências das literaturas utilizadas para desenvolvimento da presente pesquisa.

O Capítulo 8, Apêndices, reúne os cálculos realizados para dimensionamento das tecnologias e análise das respectivas viabilidades, dando suporte ao Capítulo 5, Resultados.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a viabilidade técnico econômica das alternativas tecnológicas para as estações de tratamento de esgoto das cidades do Estado do Tocantins com até 20 mil habitantes e propor subsídios para tomada de decisão quanto à escolha do sistema com a melhor viabilidade econômica.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Selecionar e pré-dimensionar alternativas de tratamento de esgoto para tecnologias consolidadas pela literatura clássica, com base nas características das cidades tocantinenses;
- Estimar os custos de implantação (CAPEX) e os custos operacionais (OPEX) através de técnicas de orçamentação com base nos pré-dimensionamentos realizados;
- Calcular o Valor Presente Líquido (VPL) dos custos de implantação e de operação das tecnologias dimensionadas;
- Propor método de previsão de custos e apresentar indicadores estratégicos para apoio na tomada de decisão quanto à escolha da tecnologia de tratamento de esgoto mais vantajosa.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 Cobertura do Sistema de Esgotamento Sanitário

A Lei nº 11.445 de 2007 estabeleceu a elaboração da Política Federal de Saneamento Básico: o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), no qual a lógica de planejamento ressalta uma visão estratégica de futuro (MARCHI, 2015). Em 2013, ocorreu a publicação do PLANSAB, que em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), traçou como meta a universalização dos serviços de saneamento básico até 2033. Especificamente para os serviços de esgotamento sanitário, foi previsto que até 2033 a cobertura total de esgoto com tratamento atinja o patamar de 90% (PLANSAB, 2013).

O PLANSAB previu que para universalização da cobertura de esgotamento sanitário até 2033, deverão ser feitos investimentos de R\$ 20 bilhões anuais. Todavia, conforme estudo realizado pela GO Associados (2017) intitulado “Diagnósticos e Perspectivas para os investimentos em saneamento no Brasil”, de 2010 a 2015 os investimentos ficaram na média de R\$ 11 bilhões anuais, aproximadamente a metade do necessário; indicando que nesse ritmo, a previsão é que o cronograma para universalização atrase em 20 anos, acarretando a postergação do prazo de 2033 para 2053 (ITB, 2021).

Em 15 de julho de 2020 foi sancionada a Lei nº 14.026 que instituiu o Novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil, que, por sua vez, altera, dentre outros itens, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País. O Novo Marco estabeleceu como meta de universalização o atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033 (BRASIL, 2020).

De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2020, o Brasil conta com 54,95% da população total com acesso à rede coletora de esgoto e apenas 50,75% dos esgotos gerados no país são encaminhados para tratamento. A região Norte apresenta os piores índices de acesso à infraestrutura de esgotamento sanitário, sendo apenas 13,14% da população total com acesso à rede e apenas 21,35% dos esgotos sendo tratados. O Tocantins apresenta apenas 26,86% da população total com acesso à rede coletora de esgoto e de todo o esgoto gerado no Estado, apenas 30,16% são encaminhados para tratamento. A Tabela 1 apresenta os valores dos índices de acesso à rede de esgoto (IN056 e IN024) e de tratamento (IN046 e IN016) – (SNIS, 2022).

Tabela 1 – Índices de cobertura com água e esgoto por macrorregião

Macrorregião	Índice de atendimento com rede (%)		Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Coleta de esgotos		Esgotos gerados	Esgotos coletados
	Total	Urbano	Total	Total
	IN056	IN024	IN046	IN016
<b>Brasil</b>	<b>54,95%</b>	<b>63,18%</b>	<b>50,75%</b>	<b>79,84%</b>
<b>Norte</b>	<b>13,14%</b>	<b>17,15%</b>	<b>21,35%</b>	<b>85,75%</b>
Acre	11,40%	15,71%	20,96%	98,09%
Amapá	6,91%	7,73%	18,57%	95,38%
Amazonas	13,75%	16,75%	23,20%	92,29%
Pará	7,73%	10,72%	10,02%	58,29%
Rondônia	6,66%	7,79%	8,51%	70,67%
Roraima	63,26%	80,65%	70,39%	95,05%
<b>Tocantins</b>	<b>26,86%</b>	<b>35,09%</b>	<b>30,16%</b>	<b>98,47%</b>
<b>Nordeste</b>	<b>30,29%</b>	<b>39,29%</b>	<b>34,14%</b>	<b>76,02%</b>
Alagoas	22,94%	30,37%	17,20%	85,61%
Bahia	41,94%	55,37%	48,19%	79,65%
Ceará	29,42%	37,86%	35,99%	84,61%
Maranhão	13,83%	19,06%	13,57%	38,62%
Paraíba	38,21%	48,98%	43,83%	71,78%
Pernambuco	30,80%	35,65%	32,42%	72,32%
Piauí	17,72%	25,60%	15,93%	81,39%
Rio Grande do Norte	26,14%	33,34%	32,57%	95,37%
Sergipe	24,35%	32,50%	26,48%	72,18%
<b>Sudeste</b>	<b>80,46%</b>	<b>84,89%</b>	<b>58,60%</b>	<b>76,36%</b>
Espírito Santo	56,90%	65,17%	45,16%	73,21%
Minas Gerais	73,94%	82,96%	41,64%	54,29%
Rio de Janeiro	66,87%	68,27%	47,15%	70,12%
São Paulo	90,61%	93,46%	69,62%	86,30%
<b>Sul</b>	<b>47,43%</b>	<b>54,32%</b>	<b>46,66%</b>	<b>93,85%</b>
Paraná	74,40%	84,51%	74,63%	99,87%
Rio Grande do Sul	33,51%	38,58%	25,72%	77,74%
Santa Catarina	26,09%	30,41%	31,32%	98,69%
<b>Centro-Oeste</b>	<b>59,47%</b>	<b>65,75%</b>	<b>58,48%</b>	<b>94,28%</b>
Distrito Federal	90,90%	90,90%	90,03%	100,00%
Goiás	58,49%	64,28%	55,60%	92,25%
Mato Grosso	35,87%	43,17%	43,36%	83,59%
Mato Grosso do Sul	55,74%	64,78%	44,90%	99,78%

Fonte: SNIS (2022).

Nota-se através dos dados apresentados na Tabela 1 que o Tocantins está muito aquém dos índices nacionais, principalmente no que diz respeito à cobertura com a infraestrutura de esgotamento sanitário. Vale observar ainda que o Tocantins ocupa a 21ª posição no ranking dos estados com maior índice de tratamento dos esgotos gerados (IN046) e a 20ª posição em relação a coleta com esgoto (IN056).

A Tabela 2 apresenta os índices de atendimento com os serviços de esgotamento sanitário nas cidades tocantinenses. É possível perceber que, dos 139 municípios, apenas 20 municípios tocantinenses contam com serviços de esgotamento sanitário e nenhum deles possui índice de atendimento acima de 90%, conforme prevê a meta do Novo Marco do Saneamento.

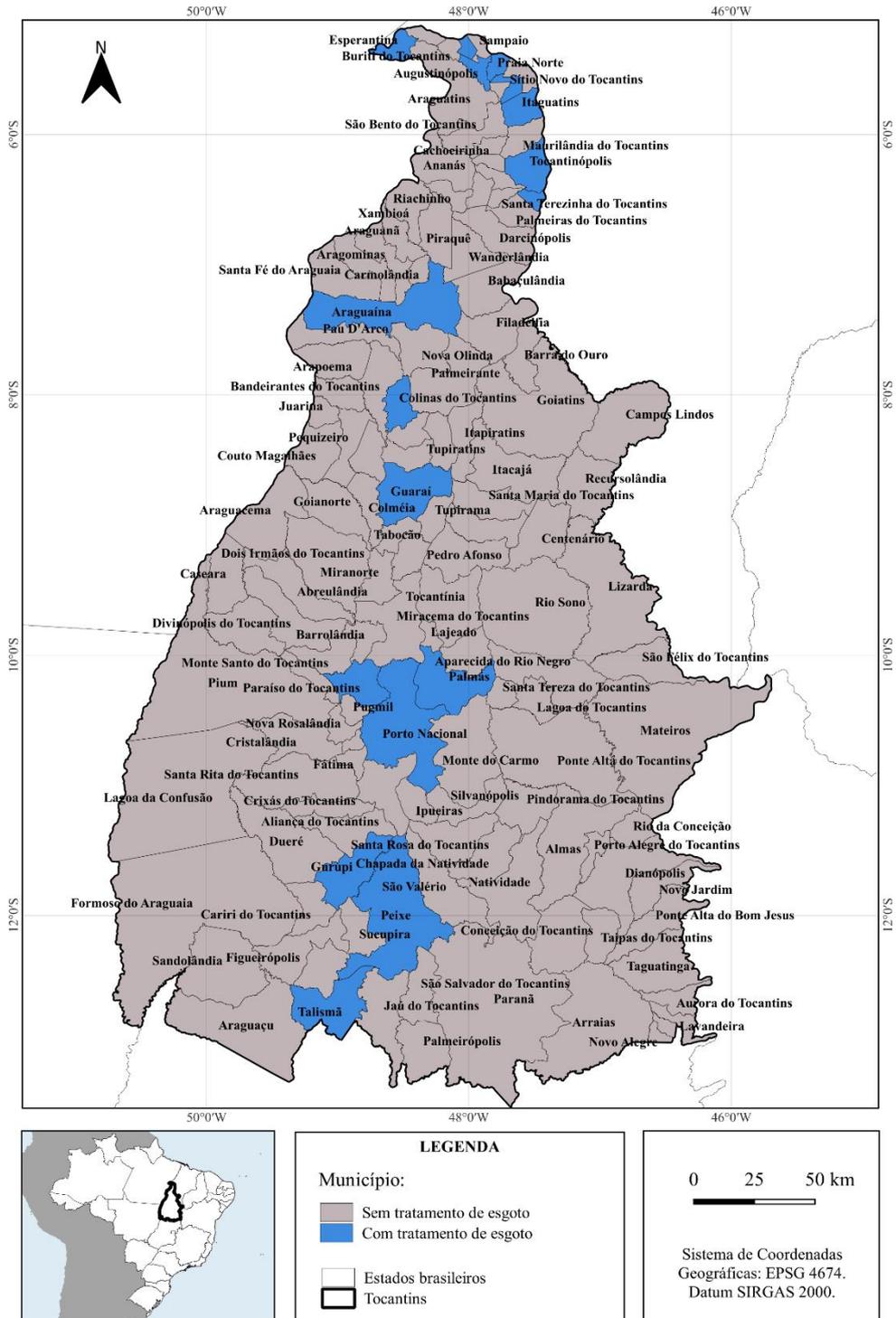
Tabela 2 – Índices de cobertura de esgoto para as cidades tocantinenses com serviço de esgotamento sanitário

Município	População Estimada (2021)	Índice de atendimento com rede (%)		Índice de tratamento dos esgotos (%)	
		Coleta de esgotos		Esgotos gerados	Esgotos coletados
		IN056	IN024	IN046	IN016
<b>Tocantins</b>	<b>1.607.363</b>	<b>26,86%</b>	<b>35,09%</b>	<b>30,16%</b>	<b>98,47%</b>
Aguiarnópolis	7.049	23,48%	29,26%	27,50%	100,00%
Ananás	9.435	48,46%	58,70%	0,00%	0,00%
Araguaína	186.245	31,09%	32,73%	25,35%	100,00%
Augustinópolis	18.870	12,47%	15,10%	13,20%	100,00%
Carrasco Bonito	4.165	14,09%	26,42%	9,25%	100,00%
Colinas do Tocantins	36.271	86,59%	90,19%	60,44%	100,00%
Dois Irmãos do Tocantins	4.686	0,70%	1,79%	0,00%	0,00%
Esperantina	3.824	22,46%	14,93%	42,08%	100,00%
Guaraí	26.403	64,31%	70,61%	75,98%	100,00%
Gurupi	88.428	41,82%	42,79%	31,06%	100,00%
Itacajá	7.471	53,78%	89,42%	0,00%	0,00%
Itaguatins	5.801	27,78%	49,32%	49,65%	100,00%
Palmas	313.349	86,92%	89,51%	63,30%	100,00%
Paraíso do Tocantins	52.521	25,39%	26,55%	10,49%	100,00%
Peixe	11.996	11,81%	23,42%	13,49%	100,00%
Porto Nacional	53.618	80,28%	92,98%	45,31%	100,00%
Praia Norte	8.563	28,83%	49,43%	36,88%	100,00%
Sítio Novo do Tocantins	8.965	13,89%	26,07%	11,58%	100,00%
Talismã	2.831	40,90%	76,87%	26,79%	100,00%
Tocantinópolis	22.820	38,43%	47,46%	40,01%	100,00%

Fonte: SNIS (2022).

A Figura 2 apresenta o mapa do Estado do Tocantins com a identificação dos municípios que possuem serviços de esgotamento sanitário. Percebe-se a grande quantidade de municípios, 119 no total, que ainda não contam com este serviço tão importante para a conservação do meio ambiente e qualidade de vida da população.

Figura 2 – Municípios que compõem o estado do Tocantins e suas respectivas populações estimadas (2021)



Fonte: Elaborado pelo autor.

### **3.2 Necessidade de Investimento para Universalização do Sistema de Esgotamento Sanitário**

A ABCON (Associação Brasileira das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto) e a KPMG desenvolveram em conjunto no ano de 2020 o estudo “Quanto custa universalizar o saneamento em Brasil?”. Neste estudo buscou-se entender o comportamento do investimento histórico e a evolução dos níveis de atendimento dos serviços de água e esgoto. Considerando os níveis históricos de investimento, com a mesma produtividade, majoritariamente realizados com recursos públicos, estimou-se que o saneamento básico só seria universalizado no País em 2055 – 22 anos após a meta estabelecida no Novo Marco Legal do Saneamento, Lei 14.026/2020 (ABCON, 2020).

Ademais, apesar dos investimentos no setor, os indicadores de cobertura dos serviços ainda não apresentaram uma evolução aceitável, principalmente no tratamento de esgotos e na garantia da segurança hídrica, no contexto de fornecer a quantidade, a qualidade e a regularidade dos serviços prestados (KUWAJIMA et al., 2020). Rossoni et al. (2020) analisaram as condicionantes municipais envolvidas na presença ou não de prestadores de serviços de esgotamento sanitário no país e identificaram que o fator economia de escala é essencial para a presença principalmente de empresas privadas, companhias estaduais e de administração indireta municipal; pois os serviços relacionados aos usuários com menores índices de desenvolvimento humano municipal (IDHM) geralmente ficam sob responsabilidade da administração direta municipal, sendo estas as localidades com maiores necessidades de recursos de infraestrutura, prejudicando o avanço na gestão e na sustentabilidade econômica dos serviços.

Todavia, prevendo o aumento da produtividade dos investimentos, seja pelo avanço da participação do capital privado no setor ou do próprio aumento da produtividade do capital do setor público, a ABCON e a KPMG estimaram a necessidade de R\$ 753 bilhões de investimentos para a universalização dos serviços de água e esgoto do País até 2033, sendo R\$ 354 bilhões a serem investidos em novas estruturas de esgotamento sanitário (ABCON, 2020). Em relação aos investimentos em novas infraestruturas de esgotamento sanitário, a região Norte demanda R\$ 32,4 bilhões, o menor volume entre todas as regiões do país. Dentre os 07 estados da região Norte, o estado do Tocantins demandará o terceiro maior volume de investimentos, cerca de R\$ 4,7 bilhões. Em relação à implantação de Estações de Tratamento de Esgoto, a região Norte demandará o investimento de R\$ 5,4 bilhões e o estado do Tocantins o valor de R\$ 464 milhões.

No estado do Tocantins, no que diz respeito aos componentes do sistema de esgotamento sanitário, serão necessários: a) R\$ 3,1 bilhões para expansão de redes coletoras de esgoto, b) R\$ 760 milhões em execução de novos coletores troncos, c) R\$ 464 milhões para execução de novas estações de tratamento de esgoto, d) R\$ 248 milhões para instalação das novas ligações de esgoto, e) R\$ 18 milhões em novas estações elevatórias de esgoto, além de f) R\$ 196 milhões a serem destinados à instalação de tanques sépticos para situações pontuais (ABCON, 2020).

### 3.3 Sistema de Esgotamento Sanitário

O sistema de esgotamento sanitário pode ser definido como o conjunto de serviços e infraestrutura direcionados à coleta, afastamento e disposição final correta das águas servidas, podendo ser esgoto doméstico, comercial, industrial ou de outros usos (NETTO; FERNÁNDEZ, 2015). Os sistemas de esgoto podem ser divididos em três tipos principais: unitário, onde os esgotos sanitários são transportados juntos com as águas pluviais; separador absoluto, cujo sistema se divide em um que coleta, transporta e trata os esgotos sanitários e outro que coleta, transporta e descarta os esgotos pluviais sem tratamento; e o tipo separador parcial, que diferentemente do separador absoluto, permite a presença de esgotos pluviais prediais no seu sistema de coleta e transporte (COELHO, 2013).

Nos países de clima tropical e em desenvolvimento, é mais conveniente a utilização do sistema separador absoluto, em decorrência dos recursos escassos e das precipitações atmosféricas mais intensas (MENDONÇA, S.; MENDONÇA, L., 2016). Os componentes de um sistema de esgotamento sanitário são rede coletora, interceptor, emissário, corpo de água receptor, estação elevatória e estação de tratamento (SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

- **Rede coletora de esgoto (RCE):** conjunto constituído por ligações prediais, coletores de esgoto, coletores-tronco e seus demais acessórios. A sua finalidade é receber os efluentes e realizar o afastamento do esgoto sanitário coletado aos grandes condutos de transporte para o local de tratamento e descarga final (ARAUJO, 2011).
- **Interceptor:** canalização de grande porte que intercepta o fluxo de coletores-tronco – canalizações que recebem as contribuições de vários coletores de esgoto, exceto ligações (NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).
- **Emissário:** canalização que conduz os esgotos sanitários a um destino conveniente, sem receber contribuições em marcha (SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

- **Corpo de água receptor:** água ou solo que recebe o esgoto sanitário em etapa final, normalmente após tratamento ou condicionamento (NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).
- **Estação elevatória (EEE):** também denominadas como estações de bombeamento, são instalações eletromecânicas e obras civis destinadas à elevação dos esgotos do nível de chegada para um nível mais elevado (NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).
- **Estação de tratamento de esgoto (ETE):** conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, acessórios e sistemas de utilidade. O seu objetivo é reduzir a quantidade de cargas poluidoras do esgoto sanitário e acondicionar a matéria residual proveniente do tratamento (ABNT, 2011).

### 3.4 Sistema de Tratamento do Esgoto Sanitário

A seleção de uma tecnologia de tratamento adequada depende de inúmeros fatores, como tipo e concentração de resíduos, heterogeneidade do efluente, nível necessário de limpeza e condições econômicas (RAJASULOCHANA; PREETHY, 2016). A remoção dos poluentes no tratamento, com objetivo de adequar o lançamento a uma qualidade requerida ou ao padrão de qualidade vigente está relacionada aos conceitos de *nível de tratamento e eficiência do tratamento*. Neste sentido, o tratamento dos esgotos é usualmente classificado através dos níveis: 1) Preliminar, 2) Primário, 3) Secundário, e 4) Terciário – os níveis de tratamento estão detalhados na Tabela 3.

Tabela 3 – Níveis do tratamento dos esgotos

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis
	DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário)
	DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos)
Terciário	Nutrientes
	Patogênicos
	Compostos não biodegradáveis
	Metais pesados
	Sólidos inorgânicos dissolvidos
	Sólidos em suspensões remanescentes

Fonte: Von Sperling (1996).

Resumidamente, o nível preliminar resulta na remoção de sólidos grosseiros; o tratamento primário remove sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica; o secundário realiza a retirada de matéria orgânica; e o terciário remove nitrogênio, fósforo e os poluentes geralmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis; além disso, pode ocorrer a remoção complementar de poluentes não retirados no tratamento ou outros tipos que não se encaixam em somente uma ou possuem diversas características (CORNELLI et al., 2014).

Após uma pesquisa feita com 2.187 estações de tratamento por Von Sperling (2016), identificou-se que as tecnologias mais utilizadas no Brasil são: Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa (Sistema Australiano); Reator UASB (reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente); Lodos Ativados; Lagoas seguidas de Lagoas de Maturação e Fossa Séptica seguida de Filtro Anaeróbio. A seguir, são descritas algumas das principais tecnologias clássicas para tratamento de esgoto.

#### 3.4.1 Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são definidas como sistemas de tratamento biológico, cuja estabilização da quantidade de matéria orgânica é resultante da oxidação bacteriológica e/ou redução fotossintética das algas (JORDÃO; PESSOA, 2011). As lagoas de estabilização são uma tecnologia de baixa complexidade e simples manutenção e operação (DIAZ; ACOSTA, 2014). Abaixo são apresentados breves conceitos relativos a cada variante das lagoas de estabilização.

##### 4.4.1.1 Lagoa Facultativa

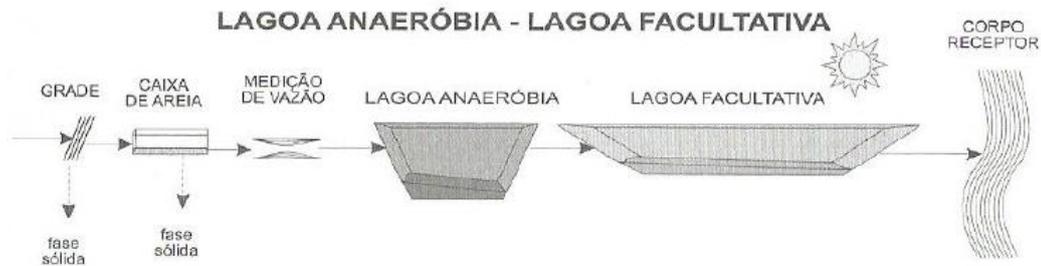
Nas lagoas facultativas ocorrem os processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética; onde os processos ocorrem por meio de uma zona anaeróbia cuja atividade bêntica é sobreposta por uma zona aeróbia de atividade biológica, que se localiza próxima à superfície – as lagoas facultativas podem ser primárias (quando recebem efluente bruto) ou secundárias, que seria na condição de recebimento do efluente oriundo de outra lagoa, que geralmente é a lagoa anaeróbia (JORDÃO; PESSOA, 2011).

##### 4.4.1.2 Sistema Australiano - Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa

O sistema, quando composto por lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa é denominado de Sistema Australiano; onde na primeira etapa do processo os efluentes brutos são encaminhados para a lagoa anaeróbia durante 3 a 5 dias – que possui altura variável de 3,5

a 5,0 metros – para que resulte na conversão da matéria orgânica em condições anaeróbias, ocorrendo a decomposição parcial da matéria orgânica em termos de DBO de 50% a 70% (VASCONCELOS, 2020). A Figura 3 apresenta o esquema do Sistema Australiano.

Figura 3 - Sistema Australiano – Sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas



Fonte: Extraído de Von Sperling (2014)

#### 4.4.1.3 Lagoa Aerada Facultativa

Nas lagoas facultativas aeradas, o método de tratamento difere significativamente daquele usado em lagoas facultativas convencionais. Nestas últimas, o oxigênio necessário não é produzido por fotossíntese, mas sim é fornecido por meio de aeração mecânica através de aeradores de superfície ou compressores de ar. Nessas lagoas, a energia introduzida pelos aeradores é suficiente apenas para oxigenar a água, não afetando a manutenção das partículas sólidas (bactérias e resíduos de esgoto) em suspensão. Essas partículas tendem a se depositar, formando uma camada de lodo que será decomposta anaerobiamente. Apenas a matéria orgânica solúvel e fina permanece na água, sujeita à decomposição aeróbia. Portanto, o comportamento da lagoa é semelhante ao de uma lagoa facultativa convencional. Devido à introdução de mecanização, as lagoas aeradas são mais complexas em termos de manutenção e operação se comparadas às lagoas facultativas convencionais (DOS SANTOS, 2007).

#### 4.4.1.6 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação são um método de tratamento biológico usado como polimento do tratamento prévio por lagoas, ou qualquer sistema de tratamento de esgoto. Estas lagoas são construídas com o propósito de eliminar micro-organismos patogênicos, como coliformes, do efluente final, após a remoção da matéria orgânica. Geralmente, essas lagoas são projetadas como uma série de unidades ou como uma única lagoa com divisões chamadas chicanas e possuem baixa profundidade, na faixa de 1 metro. Este formato tem como objetivo criar condições ambientais desfavoráveis para os patógenos, incluindo exposição solar intensa,

níveis elevados de oxigênio dissolvido, alcalinidade elevada, temperaturas mais baixas do que as do corpo humano e a presença de predadores microbianos (FUNASA, 2020).

#### 4.4.1.7 Lagoas de Polimento

São conceitualmente similares às lagoas de maturação, mas recebem essa nomenclatura por realizarem o polimento de esgoto de outros processos de tratamento, principalmente *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) e reatores anaeróbios. Removem além de organismos patogênicos, parte da matéria orgânica e amônia (VON SPERLING, 2014).

### 3.4.2 Sistemas Anaeróbios

Os sistemas anaeróbios funcionam através de um conjunto de diferentes tipos de microrganismos que, na ausência de oxigênio, realizam a transformação de compostos orgânicos em produtos mais simples como metano e gás carbônico, removendo desta forma parte dos componentes poluentes do esgoto. Algumas das principais vantagens deste tipo de sistema são o baixo consumo de energia e uma menor produção de lodo (PROSAB, 2006). A seguir são descritos os dois principais tipos de tratamento de esgoto com base no sistema anaeróbio.

#### 4.4.2.1 Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente (UASB)

A sigla UASB significa *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*. Nesse sistema de tratamento, o esgoto é introduzido pelo fundo do reator e segue no sentido ascendente passando pela manta de lodo, que serve de suporte para as bactérias. Conforme o esgoto sobe dentro do reator, através do separador trifásico, é realizada a separação das fases sólida, líquida e gasosa. Os sólidos são retidos dentro do reator, o gás é encaminhado e coletado na parte superior e o líquido verte pelas calhas coletoras. A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, em função disso, o volume requerido é bastante reduzido em comparação a outros sistemas de tratamento. Uma característica do processo é a limitação na remoção de DBO, em torno de 70% a eficiência de remoção (METCALF E EDDY, 2016).

#### 4.4.2.2 Tanques Sépticos + Filtro Anaeróbio

O sistema composto por Tanque Séptico seguido de Filtro Anaeróbio é mais utilizado em locais de baixa densidade populacional como, por exemplo, na zona rural e pequenas comunidades. O Tanque Séptico é um dispositivo fechado, geralmente de fluxo horizontal e

contínuo, que funciona como unidade de sedimentação e digestão. A velocidade e o tempo de permanência do líquido no tanque favorecem a sedimentação das partículas em suspensão. Pela digestão anaeróbia, tais partículas se transformam em substâncias sólidas parcialmente mineralizadas, líquidos e gases. O Filtro Anaeróbio realiza a remoção complementar de DBO através da presença de micro-organismos anaeróbios (EMBRAPA, 2010).

### 3.4.3 Lodos Ativados

O sistema de Lodos Ativados é constituído basicamente pelos seguintes componentes: (a) um reator no qual os microrganismos são mantidos em suspensão e aerados; (b) uma unidade de separação sólido-líquido, geralmente um decantador; e (c) um sistema de recirculação dos sólidos separados no decantador para o reator. São várias configurações do processo que foram desenvolvidas a partir da utilização destes componentes descritos (METCALF E EDDY, 2016).

#### 4.4.3.1 Lodos Ativados Convencional

O sistema de lodo ativado convencional possui fluxo contínuo com relação ao esgoto, tem como princípio básico a recirculação dos sólidos que estão no fundo da unidade de decantação (decantador secundário), através de bombeamento para a unidade de aeração (reator aerado). A concentração de sólidos em suspensão nos reatores aerados é 10 vezes superior à de lagoa aerada de mistura completa. O tempo de detenção hidráulica é baixo (em torno de 6 a 8 horas) o que permite um volume reduzido do tanque de aeração. Devido a sua recirculação, o tempo de permanência dos sólidos (4 a 10 dias) no sistema é superior ao do líquido, o que garante elevada eficiência do processo, em função de se ter tempo suficiente para a biomassa metabolizar praticamente toda matéria orgânica do esgoto.

Visando o equilíbrio do sistema, é essencial que seja retirado do sistema aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução, etapa essa que pode ser realizada tanto no reator quanto na linha de recirculação. O lodo excedente retirado do sistema deve ser tratado (adensamento, digestão e desidratação) antes da disposição final. A fase de tratamento do lodo é composta por: adensador, digestor anaeróbio primário, digestor aeróbio secundário e desidratação (VON SPERLING, 2014).

#### 4.4.3.2 Lodos Ativados por Aeração Prolongada

Semelhante ao sistema anterior, o Sistema de Lodos Ativados por Aeração Prolongada difere-se em função da biomassa permanecer um período mais longo no sistema, em torno de 18 a 30 dias (reator possui maior volume) e o tempo de detenção também ser maior, da ordem de 16 a 24 horas. Este tipo é a variante de lodos ativados mais eficiente na remoção de DBO, embora necessite de maior área de construção e consuma mais energia elétrica quando se compara com o método convencional. Além disso, este método permite alcançar entre 90 e 98% de remoção de DBO e a nitrificação é quase que total (ALÉM SOBRINHO, 1983).

#### 4.4.3.4 Lodos Ativados como Pós-tratamento de Esgotos de Reatores Anaeróbios

É comum utilizar um sistema de Lodos Ativados após reatores anaeróbios como, por exemplo, na sequência de um Reator UASB. O principal objetivo deste sistema aeróbio como fase posterior a um estágio anaeróbio é melhorar a qualidade do efluente final. Esta configuração oferece vantagens significativas no desempenho global dos sistemas, especialmente na redução do consumo de energia e na produção de lodo, se comparando com os sistemas aeróbios convencionais (KASSAB *et al*, 2010).

A peculiaridade da configuração de um reator UASB seguido por lodos ativados consiste no fato de que o primeiro substitui o tradicional tanque de sedimentação primária encontrado nos sistemas de lodos ativados convencionais. Contudo, essa configuração requer uma avaliação cuidadosa, pois embora demonstre uma boa remoção de matéria orgânica, sólidos em suspensão e amônia, possui eficácia praticamente nula na eliminação significativa dos nutrientes nitrogênio e fósforo (CHERNICHARO, 2006).

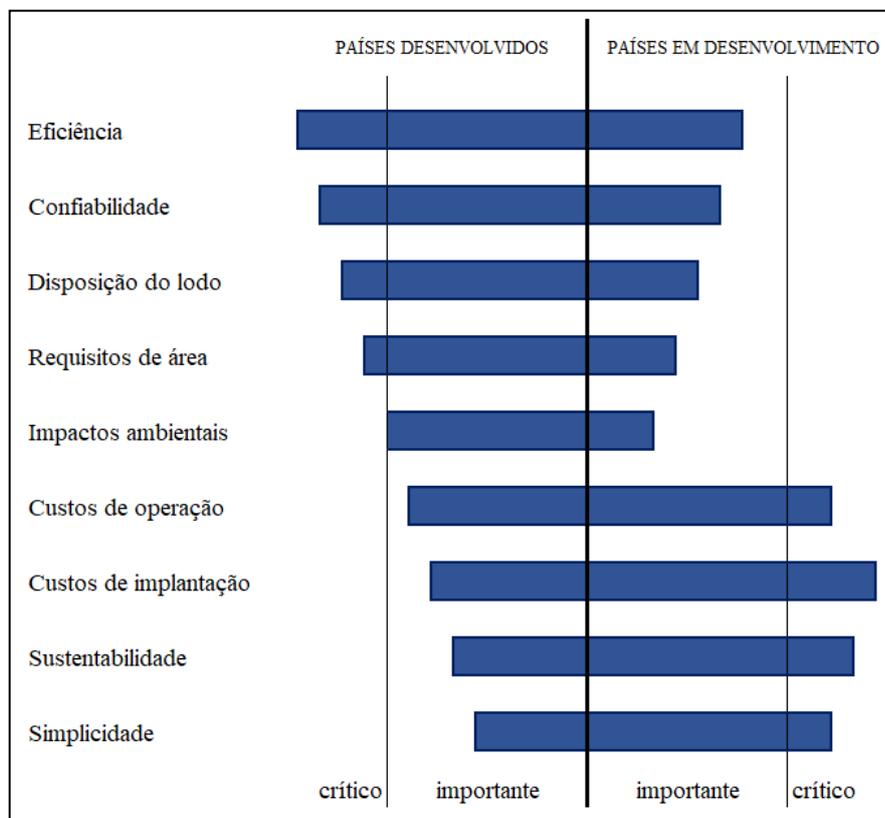
### **3.5 Seleção dos Sistemas de Tratamento de Esgoto Sanitário**

A tomada de decisão sobre o sistema de tratamento de esgoto a ser escolhido é considerada uma atividade complexa, pois ocorre em função de vários critérios como, por exemplo, técnicos, ambientais, econômicos e sociais. Diante disto, a utilização de métodos e ferramentas com capacidade de classificar estes quesitos podem apoiar na toma de decisão quanto à melhor alternativa a ser selecionada (ZANIN, 2011).

A decisão quanto ao processo a ser adotado para o tratamento do esgoto deve ser baseada fundamentalmente de um equilíbrio entre critérios técnicos e econômicos, com a avaliação dos méritos quantitativos e qualitativos de cada alternativa. Para que a eleição conduza realmente à alternativa mais adequada para a configuração em análise, critérios ou pesos devem ser atribuídos a diversos aspectos, vinculados essencialmente à realidade em foco. Os critérios para

seleção do sistema de tratamento possuem pesos diferentes ao se comparar países desenvolvidos e países em desenvolvimento. A Figura 4 apresenta uma comparação entre aspectos de importância na seleção dos sistemas de tratamento, analisados em termos de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Para os países em desenvolvimento, itens como custos de construção, sustentabilidade, simplicidade e custos operacionais são considerados críticos. Para os países desenvolvidos, itens como eficiência e confiabilidade são considerados mais críticos (VON SPERLING, 1996).

Figura 4 – Aspectos importantes na escolha do sistema de tratamento de esgoto



Fonte: Adaptado pelo autor de Von Sperling (1996).

A Tabela 4 apresenta resumidamente as principais vantagens e desvantagens para cada um dos sistemas de tratamento. Percebe-se que os impactos se diferenciam fortemente entre as alternativas, sendo, portanto, necessário uma análise detalhada das condições de contorno para escolha do processo mais adequado conforme a necessidade.

Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens por cada Sistema de Tratamento de Esgoto

<b>SISTEMAS DE TRATAMENTO – VANTAGENS E DESVANTAGENS</b>		
<b>SISTEMAS DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Lagoa facultativa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Satisfatória eficiência na remoção de DBO</li> <li>▪ Razoável eficiência na remoção de patógenos</li> <li>▪ Construção, operação e manutenção simples</li> <li>▪ Reduzidos custos de implantação e operação</li> <li>▪ Ausência de equipamentos mecânicos</li> <li>▪ Requisitos energéticos praticamente nulos</li> <li>▪ Satisfatória resistência a variações da carga</li> <li>▪ Remoção de lodo necessária apenas após períodos superiores a 20 anos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevados requisitos de área</li> <li>▪ Dificuldade em satisfazer padrões de lançamentos restritivos</li> <li>▪ Simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção (crescimento de vegetação)</li> <li>▪ Possível necessidade de remoção de algas do esgoto para o cumprimento de padrões rigorosos</li> <li>▪ Performance variável com as condições climáticas (temperatura e insolação)</li> <li>▪ Possibilidade de crescimento de insetos</li> </ul>
<b>Sistema de lagoa anaeróbia – lagoa facultativa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Idem lagoas facultativas</li> <li>▪ Requisitos de área inferiores aos das lagoas facultativas únicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Idem lagoas facultativas</li> <li>▪ Possibilidade de maus odores na lagoa anaeróbia</li> <li>▪ Eventual necessidade de elevatórias de recirculação do esgoto, para controle de maus odores</li> <li>▪ Necessidade de um afastamento razoável às residências circunvizinhas</li> <li>▪ Necessidade de remoção periódica (intervalo de alguns anos) do lodo da lagoa anaeróbia</li> </ul>
<b>Lagoa aerada facultativa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Construção, operação e manutenção relativamente simples</li> <li>▪ Requisitos de área inferiores aos sistemas de lagoas facultativas</li> <li>▪ Maior independência das condições climáticas que os sistemas de lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas</li> <li>▪ Eficiência na remoção da DBO ligeiramente superior à das lagoas facultativas</li> <li>▪ Satisfatória resistência a variações de carga</li> <li>▪ Reduzidas possibilidades de maus odores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Introdução de equipamentos</li> <li>▪ Ligeiro aumento no nível de sofisticação</li> <li>▪ Requisitos de área ainda elevados</li> <li>▪ Requisitos de energia relativamente elevados</li> <li>▪ Baixa eficiência na remoção de coliformes</li> <li>▪ Necessidade de remoção periódica (intervalo de alguns anos) do lodo da lagoa aerada</li> </ul>
<b>Lagoa – lagoa de maturação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Idem sistema de lagoa precedente</li> <li>▪ Elevada eficiência na remoção de patógenos</li> <li>▪ Razoável eficiência na remoção de nutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Idem sistema de lagoas precedente</li> <li>▪ Requisitos de área bastante elevados</li> </ul>
<b>REATORES ANAERÓBIOS</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Reator UASB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Razoável eficiência na remoção de DBO</li> <li>▪ Baixos requisitos de área</li> <li>▪ Baixos custos de implantação e operação</li> <li>▪ Tolerância a afluentes bem concentrados em matéria orgânica</li> <li>▪ Reduzido consumo de energia</li> <li>▪ Possibilidade do uso energético do biogás</li> <li>▪ Não necessita de meio suporte</li> <li>▪ Construção, operação e manutenção simples</li> <li>▪ Baixíssima produção de lodo</li> <li>▪ Estabilização do lodo no próprio reator</li> <li>▪ Lodo com ótima desidratabilidade</li> <li>▪ Necessidade apenas da disposição final do lodo</li> <li>▪ Rápido reinício após períodos de paralisação (preservação da biomassa por vários meses)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento restritivos (contornável com a inclusão de pós-tratamento)</li> <li>▪ Baixa eficiência na remoção de coliformes</li> <li>▪ Remoção de N e P praticamente nula</li> <li>▪ Possibilidade de geração de esgoto com aspecto desagradável</li> <li>▪ Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis</li> <li>▪ A partida do processo é geralmente lenta (mas pode ser acelerada com a utilização da sementeira)</li> <li>▪ Relativamente sensível a variações de carga e compostos tóxicos</li> <li>▪ Usualmente necessita pós- tratamento</li> </ul>

Fonte: Extraído de Von Sperling (1996).

Tabela 4 – Vantagens e Desvantagens por cada Sistema de Tratamento (continuação)

<b>SISTEMAS DE TRATAMENTO – VANTAGENS E DESVANTAGENS</b>		
<b>REATORES ANAERÓBIOS</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Reator UASB – pós-tratamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutenção das vantagens inerentes ao reator UASB</li> <li>▪ Manutenção das vantagens inerentes ao sistema de pós-tratamento</li> <li>▪ Redução nos volumes dos reatores biológicos do sistema de pós-tratamento (e frequentemente no volume total das unidades do sistema)</li> <li>▪ Redução no consumo de energia de sistemas de pós-tratamentos aerados</li> <li>▪ Redução na quantidade de lodo a ser tratado</li> <li>▪ Tratamento de lodo mais simplificado (apenas desidratação para o lodo misto)</li> <li>▪ Redução na quantidade de lodo a ser disposto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Manutenção das desvantagens inerentes ao reator UASB (com exceção da qualidade o Esgoto, que assume as características do pós-tratamento)</li> <li>▪ Manutenção das desvantagens inerentes ao sistema de pós-tratamento</li> <li>▪ Maior dificuldade na remoção biológica de nutrientes no sistema de pós-tratamento</li> </ul>
<b>SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS</b>		
<b>Lodos ativados convencional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevada eficiência na remoção de DBO</li> <li>▪ Nitrificação usualmente obtida</li> <li>▪ Possibilidade de remoção biológica de N e P</li> <li>▪ Baixos requisitos de área</li> <li>▪ Processo confiável, desde que supervisionado</li> <li>▪ Reduzidas possibilidades de maus odores, insetos e vermes</li> <li>▪ Flexibilidade operacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baixa eficiência na remoção de coliformes</li> <li>▪ Elevados custos de implantação e operação</li> <li>▪ Elevado consumo de energia</li> <li>▪ Necessidade de operação sofisticada</li> <li>▪ Elevado índice de mecanização</li> <li>▪ Relativamente sensível a descargas tóxicas</li> <li>▪ Necessidade do tratamento completo do lodo (quando não há retorno para reator UASB) e da sua disposição final</li> <li>▪ Possíveis problemas ambientais com ruídos e aerossóis</li> </ul>
<b>Aeração prolongada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Idem lodos ativados convencional</li> <li>▪ Sistema com maior eficiência na remoção da DBO</li> <li>▪ Nitrificação consistente</li> <li>▪ Mais simples conceitualmente que lodos ativados convencional (operação mais simples)</li> <li>▪ Menor geração de lodo que lodos ativados convencional</li> <li>▪ Estabilização do lodo no próprio reator</li> <li>▪ Elevada resistência a variações de carga e a cargas tóxicas</li> <li>▪ Satisfatória independência das condições climáticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baixa eficiência na remoção de coliformes</li> <li>▪ Elevados custos de implantação e operação</li> <li>▪ Sistema com maior consumo de energia</li> <li>▪ Elevado índice de mecanização (embora inferior a lodos ativados convencional)</li> <li>▪ Necessidade de remoção da umidade do lodo e da sua disposição final (embora mais simples que lodos ativados convencional)</li> </ul>

Fonte: Extraído de Von Sperling (1996).

### 3.6 Aspectos Legais sobre Condições de Lançamento de Efluentes no Corpo Receptor

É essencial garantir que o impacto do lançamento de esgoto bruto seja reduzido com a implantação de práticas de tratamento adequadas (DANTAS, BARROSO e OLIVEIRA; 2021). Para isso, a legislação brasileira determina requisitos que os efluentes devem atingir, que prevê padrões de qualidade para o efluente e para o corpo receptor.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), publicou a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de esgoto, e dá outras providências. Posteriormente, foi publicada a Resolução Nº 430, de 13 de maio de 2011, que altera e complementa parcialmente a Resolução nº 357 (BRASIL, 2011).

Conforme o artigo nº 16 da Resolução nº 430/2011, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos no respectivo artigo. Para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, deverão ser obedecidas condições apresentadas resumidamente na Tabela 5. Vale mencionar que podem ser requisitados condições mais restritivas, a depender de características da capacidade de autodepuração do corpo receptor e em função de legislações estaduais específicas.

Tabela 5 – Condições do esgoto sanitário para lançamento no corpo receptor

<b>Parâmetro</b>	<b>Resolução CONAMA nº 430/2011</b>
pH	Entre 5,0 a 9,0
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais Sedimentáveis	1,0 mL/L
DBO	120 mg/mL e 60% de remoção
Óleos e Graxas	100 mg/L
Materiais Flutuantes	Virtualmente ausentes

Fonte: Adaptado de Resolução nº 430/2011 CONAMA (2011).

Além da Resolução do CONAMA, em 09 de agosto de 2005 foi instituída a Resolução COEMA/TO nº 07, do Conselho Estadual do Meio Ambiente, que dispõe sobre o Sistema Integrado de Controle Ambiental do Estado do Tocantins. A Resolução estabeleceu o Sistema Integrado de Controle Ambiental (SICAM) constituído pelos instrumentos de gestão

direcionados ao controle do uso de recursos naturais, se incluindo o uso dos Recursos Hídricos (agenda azul).

A Resolução define a Outorga do Direito de Uso de Recursos Hídricos como “o procedimento administrativo pelo qual o Poder Público Estadual, órgão outorgante, autoriza o direito de utilização ou intervenção sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos de seu domínio (agenda azul)” (TOCANTINS, 2005). O Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS) é responsável por realizar a expedição de Outorga, autorizando a realização de intervenção sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos de seu domínio. Para isso, no CAPÍTULO III, na Seção I, é determinado que estão sujeitos à outorga os usos, captações, derivações, extrações, lançamento e intervenções as atividades previstas no Art. 9º da lei 1.307/02.

Art. 9º. Estão sujeitos à outorga:

- I - a derivação ou captação de parcela da água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- II - a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- III - o lançamento em corpo de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV - o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos, na forma da Lei;
- V - usos, ações ou intervenções que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água. (BRASIL, 2002)

O Inciso III do Art. 9º da lei 1.307/02 explicita a necessidade de aquisição de outorga para atividades relacionadas ao lançamento de esgotos em corpos hídricos. Para fins de enquadramento das atividades junto ao SICAM, a Resolução discrimina os requerimentos em 14 grupos, enumerados do Grupo 1 ao Grupo 14, respectivamente: Mineração, Indústria, Agropecuário, Irrigação, Aquicultura, Obras Civis Lineares, Obras Civis Não Lineares, Lazer e Turismo, Saneamento, Imobiliários e de Parcelamento e uso do Solo, Serviços, Transporte e Comércio, Ciência e Tecnologia, Florestal.

Para a concessão de Licenciamento Ambiental dos empreendimentos voltados ao Saneamento (Grupo 9), é necessário considerar condições estabelecidas, sendo o enquadramento do porte de cada sistema de saneamento um critério, definido conforme os parâmetros apresentados no Anexo V da referida Resolução (TOCANTINS, 2005). O enquadramento do porte para o Licenciamento Ambiental dos Sistemas de Esgoto Sanitário está descrito na Tabela 6.

Tabela 6 – Enquadramento de empreendimentos de Sistemas de Esgotos Sanitários

TIPO SISTEMA / ATIVIDADE	Critérios de Enquadramento do Porte para o Licenciamento Ambiental		
	Pequeno	Médio	Grande
1. coletores tronco / interceptores / emissários			
a) interligados a ETE's	$D < 600 \text{ mm}$	$D > 600 \text{ mm}$	
b) não interligados a ETE's	$Q2 \leq 50 \text{ l/s}$	$50 \text{ l/s} < Q2 < 400 \text{ l/s}$	$Q2 \geq 400 \text{ l/s}$
2. estação elevatória	$Q2 \leq 50 \text{ l/s}$	$50 \text{ l/s} < Q2 < 400 \text{ l/s}$	$Q2 \geq 400 \text{ l/s}$
3. tratamento de esgotos sanitários	$Q3 \leq 50 \text{ l/s}$	$50 \text{ l/s} < Q3 < 400 \text{ l/s}$	$Q3 \geq 400 \text{ l/s}$

Fonte: Adaptado de Resolução COEMA/TO nº 07/2005 (2005).

### 3.7 Processo de Autodepuração

A autodepuração é um processo natural, onde cargas poluidoras com características biodegradáveis, que são lançadas em corpos d'água, são reduzidas (GUEDES et al., 2019); ou seja, um determinado corpo d'água possui capacidade para despoluir sua água de qualquer poluente se a contaminação estiver abaixo do padrão de qualidade determinado (NUGRAHA; SARMININGSIH E ALFISYA, 2019).

A autodepuração inclui diversos mecanismos diferentes, como os processos de diluição, sedimentação, reaeração, adsorção, absorção, reações químicas e biológicas (SALIH; MOHAMMAD; MOHAMMED, 2021). As capacidades de autodepuração não são iguais, pois dependem das características de cada corpo d'água, como velocidade de fluxo, atividades microbianas, geologia e geometria do canal, temperatura da água, volume de descarga de água, carga de poluentes depositada etc. (ZUBAIDAH; KARNANINGROEM; SLAMET, 2011; ZHANG et al., 2022).

O estudo sobre a capacidade de autodepuração de um corpo hídrico pode ser realizado por diferentes formas, seja mediante análise de projeto (cálculos de taxas de alteração de poluentes na água, capacidade máxima admissível, modelagem e previsão) e por pesquisas em grande escala (experimentos laboratoriais especificamente nos corpos d'água) (ROMANOVA; KAZANGAPOVA, 2018).

Para avaliar a qualidade da água, o Oxigênio Dissolvido (OD) é um indicador imprescindível, pois a autodepuração é devido a conversão de biomassa, sendo o OD essencial na decomposição pelos microrganismos (WU; YU, 2021). Nesse aspecto, o modelo de Streeter-Phelps, apresentado pela Equação 1, é amplamente aplicado para modelagem da qualidade da água conforme o balanço de OD, pois o modelo considera o consumo de OD pelos microrganismos aeróbios e a inserção de OD pelo processo de reaeração no corpo d'água (GARCIA et al., 2022).

$$D_t = \frac{K_1 \cdot L_0}{K_2 - K_1} \cdot (e^{-K_1 \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + D_0 \cdot e^{-K_2 \cdot t} \quad \text{Equação 1}$$

$D_t$  = Déficit de oxigênio no instante “t” (mg/L).

$K_1$  = Parâmetro de degradação ou desoxigenação ( $\text{dia}^{-1}$ ).

$K_2$  = Parâmetro de Reaeração ( $\text{dia}^{-1}$ ).

t = Tempo (dia).

$D_0$  = Déficit inicial de oxigênio dissolvido, no ponto de mistura do efluente com o corpo receptor, que é dado pela concentração de saturação menos a concentração de mistura (mg/L).

Diversos autores aplicaram o modelo de Streeter-Phelps em suas pesquisas (ARIFIN et al., 2020; MENEZES et al., 2015; DIAZ; SALGADO; PÉREZ, 2017). Vargas e Marques (2015) avaliaram a capacidade de autodepuração do córrego Pomba Cuê, em Foz do Iguaçu no estado do Paraná, utilizando o modelo de Streeter-Phelps em quatro cenários distintos de representação da qualidade de água para determinar os valores de OD e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e afirmaram que o principal resultado foi apresentar a importância de utilização do modelo para verificação da autodepuração no córrego. Moura et al. (2020) utilizaram os modelos de Streeter-Phelps e um modelo matemático aprimorado de OD e DBO e constataram que primeiro apresentou melhor correlação com os dados experimentais das pesquisas, alcançando os melhores resultados.

### 3.8 Metodologias de Análise de Viabilidade Econômica

Na realização e implantação de um projeto de Tratamento de Esgoto, é essencial avaliar os ganhos diretos e indiretos a partir do investimento realizado. Para isso, um projeto considerado economicamente viável precisa representar a opção com menor custo ou mais eficiente, para que possa alcançar os resultados esperados do projeto (McCRAWLEY, 2017).

Para haver retorno sobre o investimento, torna-se primordial que o total das entradas de caixa supere o das saídas (BARBIERI; ÁLVARES; MACHLINE, 2007).

Com isso, para que ocorra a garantia de um futuro investimento, a administração financeira possui métodos científicos que proporcionam aos investidores a análise do projeto financeiro, avaliando viabilidade, rentabilidade, tempo de retorno e lucratividade (FRASÃO, NEVES e MEDEIROS, 2017); dentre os quais, cita-se o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback Simples e Payback Descontado. Além disso, os métodos consideram uma taxa de desconto chamada como Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para análise do retorno, que geralmente são os custos dos financiamentos (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

### 3.8.1 Valor Presente Líquido – VPL

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma variável que tem como objetivo apresentar a soma do valor presente de caixa das saídas e das entradas; o método calcula, em termos de valor presente, o impacto que será causado pelas alternativas de investimento (FRASÃO; NEVES; MEDEIROS, 2017; TORRES; JÚNIOR, 2013).

É o método mais recomendado por especialistas para decisão de investimentos, pois ele considera o valor temporal do dinheiro, sendo um recurso que pode ser investido e gerar juros (OLIVEIRA; FRANCISCO; ESMANHOTO, 2015). O projeto que apresenta os valores positivos de VPL é considerado economicamente viável, onde aquele que apresentar maior VPL, será classificado como o melhor (SILVA; FONTES, 2005).

### 3.8.2 Taxa Interna de Retorno – TIR

A Taxa Interna de Retorno de um investimento, representada pela Equação 2, é a taxa que tem como objetivo igualar o fluxo de caixa operacional ao valor a ser investido no projeto; sendo caracterizada como interna porque depende apenas dos fluxos de caixa do projeto e não inclui as taxas oferecidas pelo mercado, ou seja, quanto maior a TIR, o projeto será melhor (LIMA, 2019).

$$VPL = CF_0(1 + i)^n + CF_1(1 + i)^{n-1} + \dots + CF_{n-1}(1 + i) + CF_n = 0 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

CF = fluxo de caixa.

j = tempo.

n = período.

A TIR é considerada como a taxa de juros que anula o VPL do fluxo de caixa de um determinado investimento. Se for considerado os valores de saída de caixa como negativos e os da entrada como positivos, a condição de VPL não negativo ( $VPL \geq 0$ ) passa a indicar que a soma dos recebimentos descontados para um determinado tempo supera ou iguala os desembolsos, igualmente descontados tornando o projeto aceitável para investimento (BARBIERI; ÁLVARES; MACHLINE, 2007).

### 3.8.3 Payback Simples e Payback Descontado

O Payback é uma variável que utiliza um período em anos para tomada de decisão para projetos de investimentos (TORRES; JÚNIOR, 2013), e corresponde ao período necessário para que as entradas de caixa sejam iguais ao valor investido, ou seja, ele estima o prazo para recuperação de um determinado investimento (DIAS et al., 2015). O Payback simples é bastante utilizado nas decisões de investimento a longo prazo; entretanto, uma desvantagem do método é não considerar o valor do dinheiro no tempo – o que é corrigido pelo Payback Descontado (LIMA, 2019).

O método do Payback Descontado, apresentado pela Equação 3, é similar ao Payback Simples, e tem como finalidade calcular o prazo necessário para que haja a compensação do capital investido, com a aplicação de uma TMA como desconto para o fluxo de caixa obtido pelo projeto seja atualizado (SVIECH; MANTOVAN, 2013).

$$FCC(t) = -I \sum_{j=1}^t \frac{(R_j - C_j)}{(1+i^*)^j}; 1 \leq t \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$FCC(t)$  = fluxo de caixa descontado para o valor presente cumulativo até o instante t.

I = investimento inicial (em módulo).

$R_j$  = receita do ano j.

$C_j$  = custo do ano j.

i = taxa de juros.

j = período.

## **4 METODOLOGIA**

Neste capítulo é apresentada a metodologia de pesquisa utilizada no desenvolvimento do presente estudo. Busca-se apresentar de forma detalhada a caracterização da área de estudo, as etapas e as técnicas adotadas para alcançar os resultados e propor as considerações finais no âmbito dos objetivos inicialmente traçados.

### **4.1 Metodologia de Pesquisa**

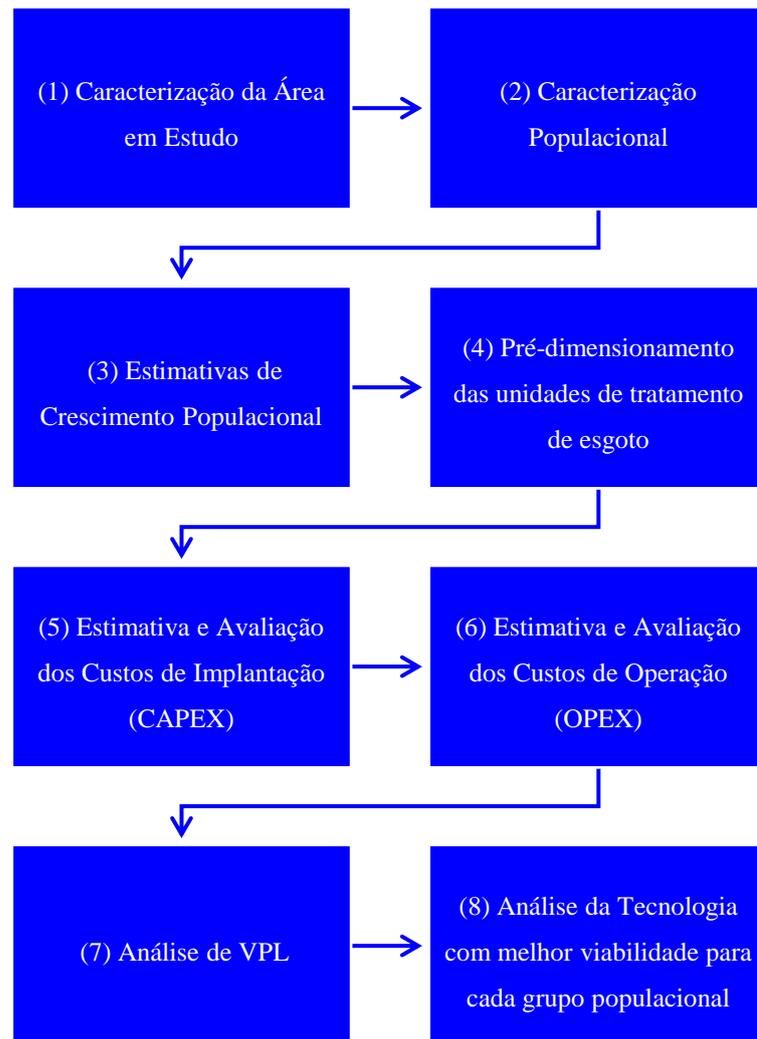
Em função da característica do presente trabalho, optou-se pela utilização do método dedutivo, pelo fato de se fundamentar em premissas gerais de dimensionamento e seguir uma estrutura lógica sequencial de avaliação através de ferramentas de análises técnicas e econômicas e, por fim, propor considerações sobre as tecnologias de tratamento de esgoto com melhor viabilidade financeira.

No que diz respeito ao tipo da pesquisa científica, o presente estudo utilizou-se da pesquisa quantitativa em função da natureza dos dados coletados e análises numéricas consistentes. Em relação à natureza da presente pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada pois atua baseada em problemas reais e busca apresentar soluções práticas no tocante às alternativas de tratamento de esgoto com melhor viabilidade técnica e econômica para os municípios.

No que tange aos objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva. Ela compara tecnologias de tratamento de esgoto utilizando critérios técnicos e financeiros, realizando uma análise detalhada e descritiva das características, custos e eficiência de cada tecnologia de tratamento estudada. Isso é feito com base em dados estruturados e quantitativos, fornecendo uma descrição abrangente das diferentes tecnologias analisadas.

Com base no método de pesquisa científica apresentado, o trabalho consiste no estudo para avaliação das alternativas de tratamento de esgoto que apresentam a melhor viabilidade técnica e econômica para as cidades do Estado do Tocantins com população de até 20 mil habitantes. Tal procedimento metodológico baseia-se nos elementos fundamentais de estudos preliminares para implantação de uma ETE definidos por Von Sperling (2014). A Figura 5 apresenta o fluxograma contendo as etapas sequenciais empregadas para desenvolvimento do presente trabalho.

Figura 5 - Fluxograma resumo das etapas da metodologia proposta



Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizou-se de uma linha metodológica sequencial para o desenvolvimento do presente estudo, tendo sido realizado um trabalho abrangente que envolveu, dentre outros itens, a revisão bibliográfica sobre a literatura clássica existente acerca das tecnologias de tratamento de esgoto, a pesquisa de banco de dados oficiais sobre o avanço dos serviços de esgotamento sanitário no país, a consulta de bancos de preços e orçamentos de estações de tratamento de esgoto de uma concessionária estadual que atua na Região Norte, e a pesquisa documental sobre dimensionamentos e análises econômicas.

## 4.2 Caracterização da Área em Estudo

Neste subtítulo são apresentadas as características do Estado do Tocantins consideradas inerentes ao desenvolvimento do presente estudo, como, por exemplo, a localização e divisão regional dos municípios, a regionalização climática, o comportamento da temperatura e da precipitação, a distribuição das bacias hidrográficas e os aspectos econômicos.

### 4.2.1 Localização e Divisão Regional

O Estado do Tocantins possui 277.423,630 km<sup>2</sup> que correspondem a aproximadamente 7,2% da área da região Norte e 3,3% do território do Brasil (8.510.345,538 km<sup>2</sup>). O Tocantins é limítrofe com os estados do Maranhão e do Pará ao norte; do Goiás ao sul; do Maranhão, do Piauí e da Bahia a leste; e do Pará e do Mato Grosso a oeste.

O Tocantins é a unidade da federação mais nova, tendo sido criada em 05 de outubro de 1988 a partir da divisão do Estado de Goiás. O Estado do Tocantins é composto por 139 municípios, totalizando 1.584.306 habitantes, segundo o Censo 2022 (IBGE, 2023). Os municípios, incluindo a capital Palmas-TO, estão distribuídos estrategicamente em onze regiões geográficas imediatas, que por sua vez estão agrupadas em três regiões geográficas intermediárias representadas por cidades centrais (IBGE, 2017).

- **Região Intermediária: Palmas**

Regiões Imediatas: Palmas, Porto Nacional, Paraíso do Tocantins e Miracema do Tocantins.

- **Região Intermediária: Araguaína**

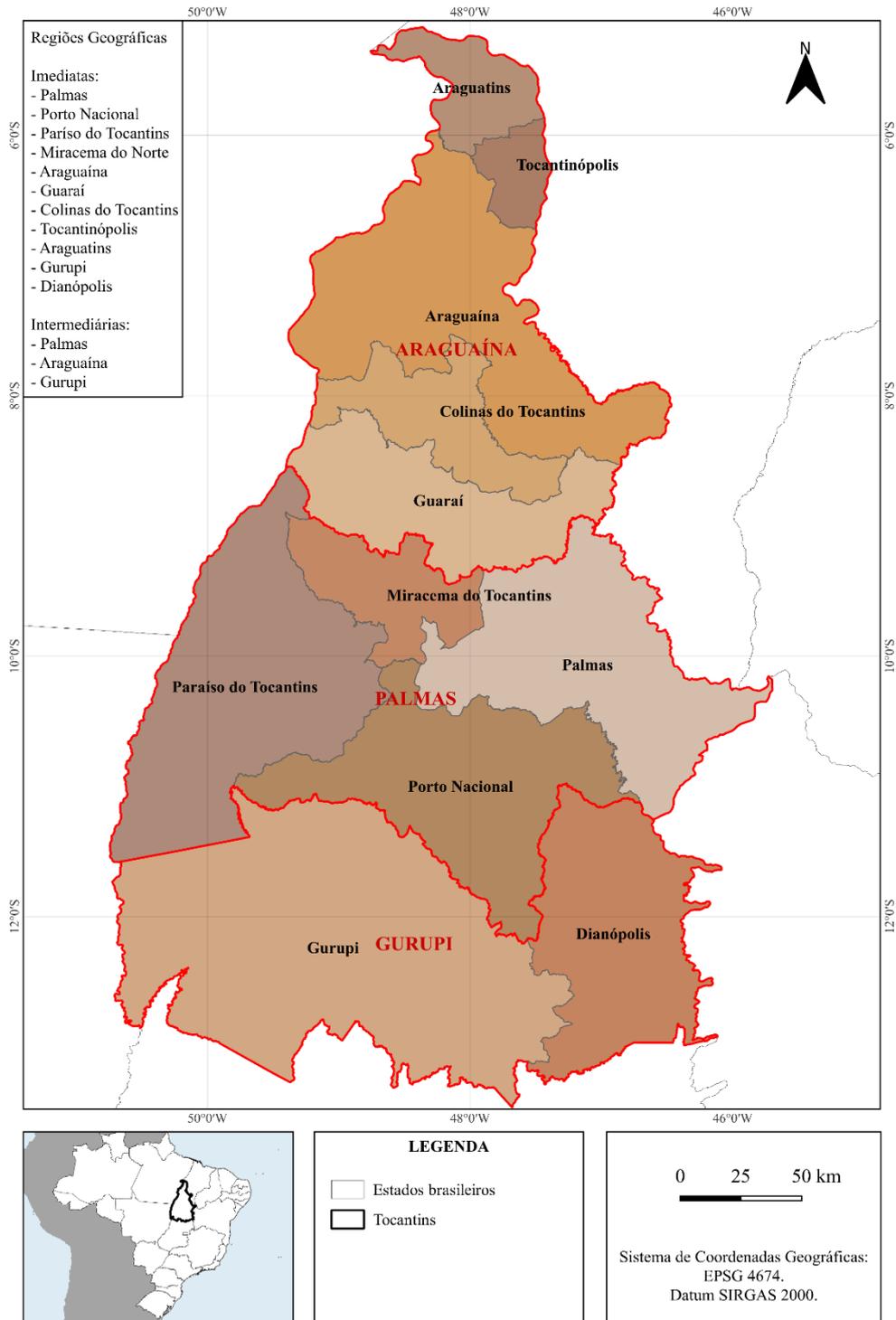
Regiões Imediatas: Araguaína, Guaraí, Colinas do Tocantins, Tocantinópolis e Araguatins.

- **Região Intermediária: Gurupi**

Regiões Imediatas: Gurupi e Dianópolis.

O mapa apresentado na Figura 6 apresenta a localização do Estado, destacando as regiões geográficas supracitadas.

Figura 6 - Mapa de localização e das regiões geográficas do Tocantins



Fonte: Adaptado pelo autor de IBGE (2017).

#### 4.2.2 Regionalização Climática

A regionalização climática do Tocantins, realizada a partir do Balanço Hídrico Climatológico de Thornthwaite-Mather, que considera os índices representativos de umidade,

aridez e eficiência térmica (evapotranspiração potencial), identifica a ocorrência de seis tipos climáticos no estado, que estão descritos abaixo (TOCANTINS, 2020b).

- **C1W** – clima subúmido seco com deficiência hídrica moderada no inverno;
- **C1W2** – clima subúmido seco com grande deficiência hídrica no inverno;
- **C2W** – clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno;
- **C2W2** – clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno;
- **B1W** – clima úmido com deficiência hídrica moderada no inverno e;
- **B1W2** – clima úmido com grande deficiência hídrica no inverno.

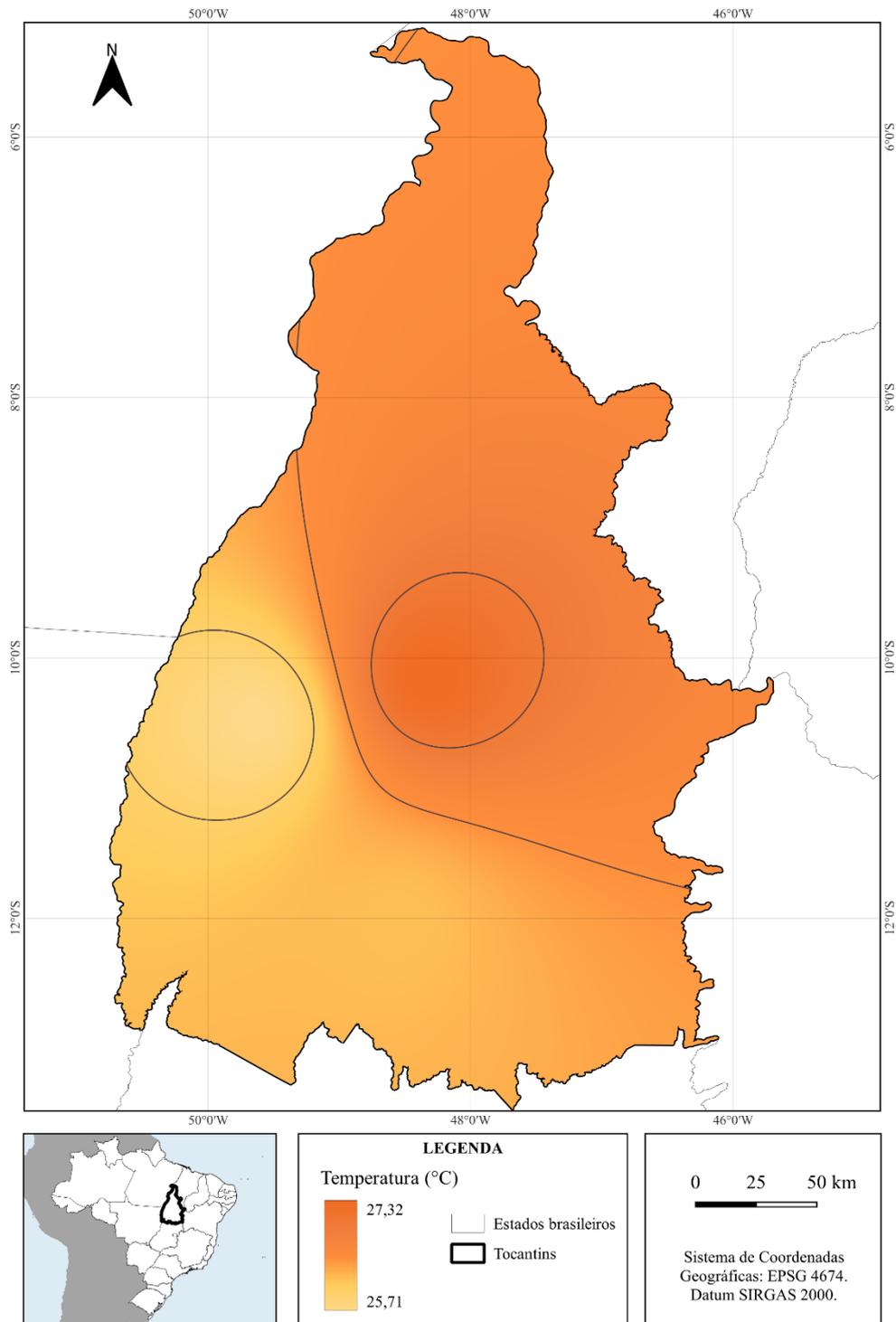
Em suma, o clima do Tocantins é tropical, quente, apresentando uma transição do clima subúmido a subúmido seco na direção de oeste para leste. Predominam os tipos climáticos C2W (clima subúmido com deficiência hídrica moderada no inverno) e C2W2 (clima subúmido com grande deficiência hídrica no inverno), sendo caracterizado por duas estações bem definidas, uma seca, que abrange os meses de maio a setembro; e outra chuvosa, que engloba os meses de novembro a abril (TOCANTINS, 2020b).

#### 4.2.3 Temperatura

Roldão e Ferreira (2019) estudaram a climatologia do estado do Tocantins, onde obtiveram os dados de temperatura do ar do projeto Reanalysis do National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), e constataram que o estado possuiu até 2019 uma temperatura média de 24,9 °C; onde os meses mais quentes são agosto, setembro e outubro e os meses com menores temperaturas são janeiro, fevereiro e março.

Para verificar a variação espacial da temperatura, a Figura 7 representa a temperatura no estado do Tocantins para o ano de 2022, cujos dados foram coletados das estações automáticas disponibilizados pelo INMET, onde é possível observar temperaturas mais elevadas na região central do estado, com ênfase na capital, Palmas, e nas regiões adjacentes, que apresentam valores acima de 27°C; de outro modo, a região onde se localizam os municípios Pium, Marianópolis, Lagoa da Confusão e Cristalândia apresentou as menores temperaturas, abaixo de 25°C.

Figura 7 - Mapa de temperatura média no Tocantins

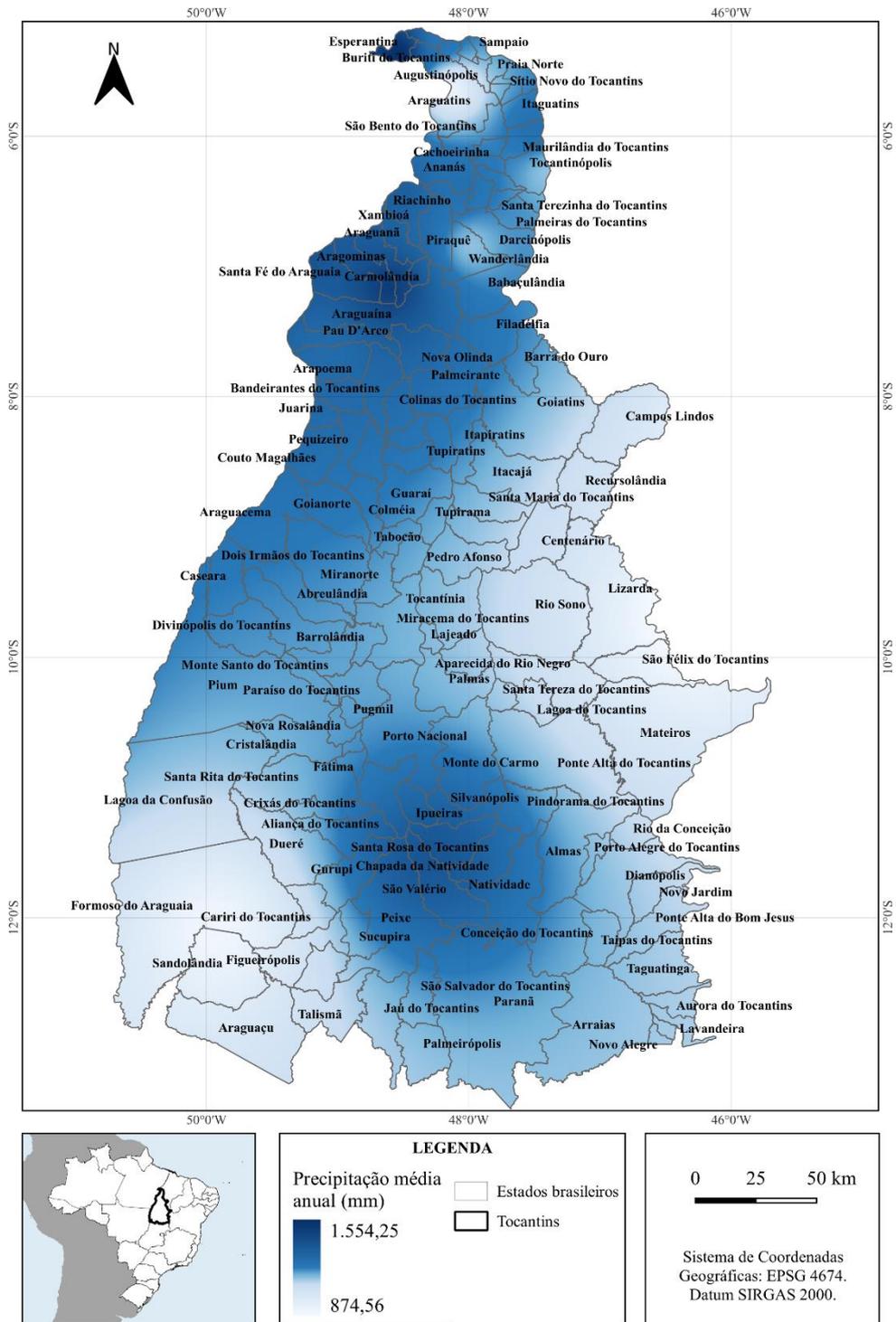


Fonte: Adaptado pelo autor de INMET (2022).

#### 4.2.4 Precipitação

A precipitação pluviométrica no Tocantins apresenta valores médios anuais que variam de 874 mm a 1.554 mm, conforme observa-se no mapa da Figura 8, a seguir.

Figura 8 - Mapa de precipitação pluviométrica anual no Tocantins, total acumulado.



Fonte: Adaptado pelo autor de ANA (2022).

Nota-se que a região Sudeste possui os valores mais baixos de precipitação de todo o Estado, concentrada em um pequeno bolsão que abrange os municípios de Paranã, Conceição do Tocantins e Arraias. Também são verificados valores inferiores 1.280 mm, no ponto de

divisa entre os estados do Tocantins, Bahia e Piauí. Em contrapartida, os maiores valores de precipitação acumulados estão situados entre o Rio Tocantins e o Rio Araguaia e na região Oeste.

#### 4.2.5 Evaporação

A evaporação total anual do Tocantins apresenta valores que variam de 1.190mm a 2.380mm. A evaporação aumenta gradativamente no sentido de noroeste a sudeste. Os menores valores, entre 1.190mm e 1.360mm, ocorrem em parte da região noroeste do Estado e no extremo oeste da região Bico do Papagaio. Em contrapartida, observam-se valores bastante consideráveis na região sudeste, entre 2.210mm e 2.550mm. O anexo A mostra os valores médios de evaporação anual para o estado do Tocantins (TOCANTINS, 2020b).

#### 4.2.6 População

Os 139 municípios do Tocantins somam 1.383.445 habitantes, de acordo com o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010. Desse total, 78,81% da população, o que corresponde a 1.090.241 pessoas, vivem na zona urbana e 21,19%, representando 293.212 pessoas, habitam a zona rural. A taxa de crescimento anual da população tocanтинense é de 1,8%.

Ainda segundo o IBGE, 49% da população do Estado se concentra em apenas dez cidades, a maior parte delas nas regiões central e norte do Tocantins. Mais de 80% dos municípios do Estado (116) têm menos de 10 mil habitantes e 55% (76 municípios) têm menos que 5 mil habitantes (IBGE, 2010).

#### 4.2.7 Aspectos Econômicos

O PIB (Produto Interno Bruto) do Tocantins em 2018 atingiu o valor de R\$ 35,67 bilhões e apresentou crescimento de 2,1%, em relação ao ano anterior. Em valores correntes, o resultado alcançado em 2018 representou um incremento de R\$ 1,56 bilhão à economia tocanтинense, em relação a 2017, em que o PIB foi R\$ 34,11 bilhões. O estado manteve a participação de 0,5% no PIB nacional e a 24ª posição entre as unidades federativas. No que concerne ao PIB *per capita*, em 2018 o Estado ocupou a 15ª posição no ranking nacional com valores de R\$ 22.933,00, sendo a UF que mais avançou posições desde 2002 (TOCANTINS, 2020a).

A análise da participação dos setores de atividade econômica na geração de riquezas do estado indica o significativo predomínio dos Serviços, que apresentou crescimento em volume de 2,8%, saindo de uma participação de 71,8% em 2017 para 74,7% em 2018. A Agropecuária teve acréscimo de 1,1% em relação ao ano anterior, com participação de 13,1% em 2018. Já o setor da Indústria apresentou decréscimo em volume de 1,4%, saindo de 13,7% em 2017 para 12,3% em 2018 (TOCANTINS, 2020a).

#### 4.2.8 Bacias Hidrográficas

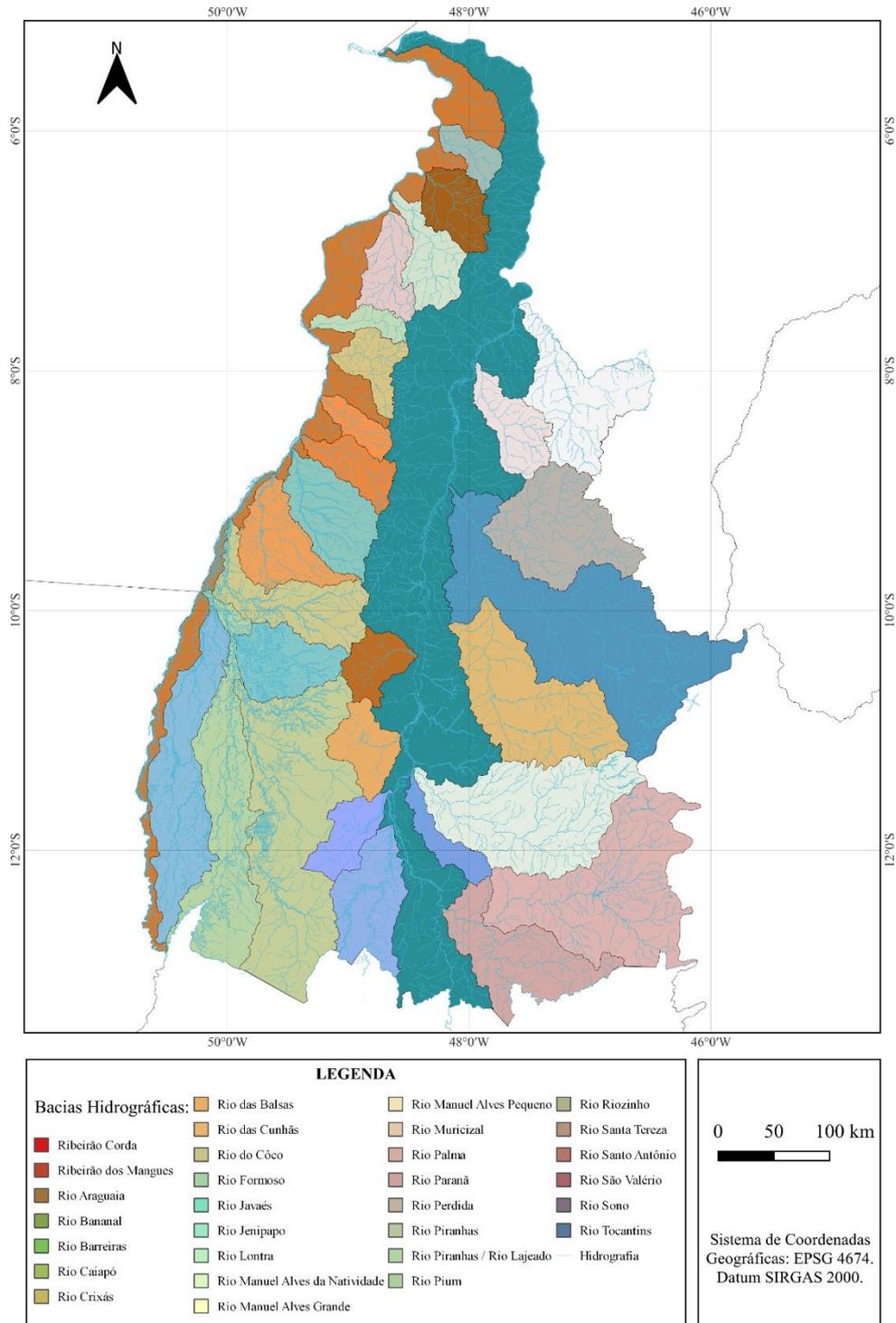
A bacia hidrográfica pode ser definida como um sistema físico no qual a entrada de água é resultante das precipitações sobre a área e a saída é o volume de água que escoar até o exutório e a água evapotranspirada (ROCHA; SANTOS, 2018). Os aspectos físicos e bióticos de uma bacia hidrográfica apresentam papel importante no ciclo hidrológico, influenciando a infiltração e o volume de água produzida como deflúvio, além da evapotranspiração, os escoamentos superficiais e sub superficiais (TEODORO et al., 2007).

A Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece em seu CAPÍTULO III os Comitês de Bacias Hidrográficas, que terão como área de atuação as bacias e sub-bacias para aplicação da Política e do Plano de Recursos Hídricos. Dessa forma, é essencial que as bacias hidrográficas sejam consideradas as unidades de gerenciamento de recursos hídricos, carecendo de manejos conservacionistas no uso dos seus recursos (APARECIDO et al., 2016).

Além das bacias hidrográficas, o território ainda pode ser dividido em sub-bacias. A subdivisão de bacias maiores em menores (sub-bacias) possibilita o diagnóstico e o monitoramento ambiental de forma simplificada, com a possibilidade de correlação das análises de qualidade dos recursos hídricos, dinâmica de uso e ocupação do solo, delimitação de áreas críticas e identificação dos impactos (MORAES; LORANDI, 2016).

O sistema hidrográfico do estado do Tocantins é dividido em 30 bacias hidrográficas, que contém 219 sub-bacias hierarquizadas, conforme informando pela Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública (SEPLAN, 2012). A Figura 9 expõe as delimitações de cada bacia no estado e os rios as quais estão vinculadas, sendo a bacia do Rio Tocantins aquela com maior área, possuindo 57.032,2 km<sup>2</sup>.

Figura 9 - Mapa das bacias hidrográficas do Tocantins



Fonte: Adaptado pelo autor de SEPLAN/TO (2023).

#### 4.2.9 Capacidade de Diluição

Apesar da importância que a coleta e o tratamento dos esgotos possuem ao mitigar impactos na saúde pública e nos corpos d'água, a avaliação da capacidade de diluição e a

compatibilização com a qualidade requerida pelo corpo receptor para que preserve os seus diversos usos também devem ser considerados (ANA, 2017). A capacidade de diluição, por sua vez, deve observar as condições iniciais de qualidade da água e a variação do regime hidrológico, possibilitando o impedimento de poluentes que excedam a sua capacidade de autodepuração (MARÇAL; SILVA, 2017).

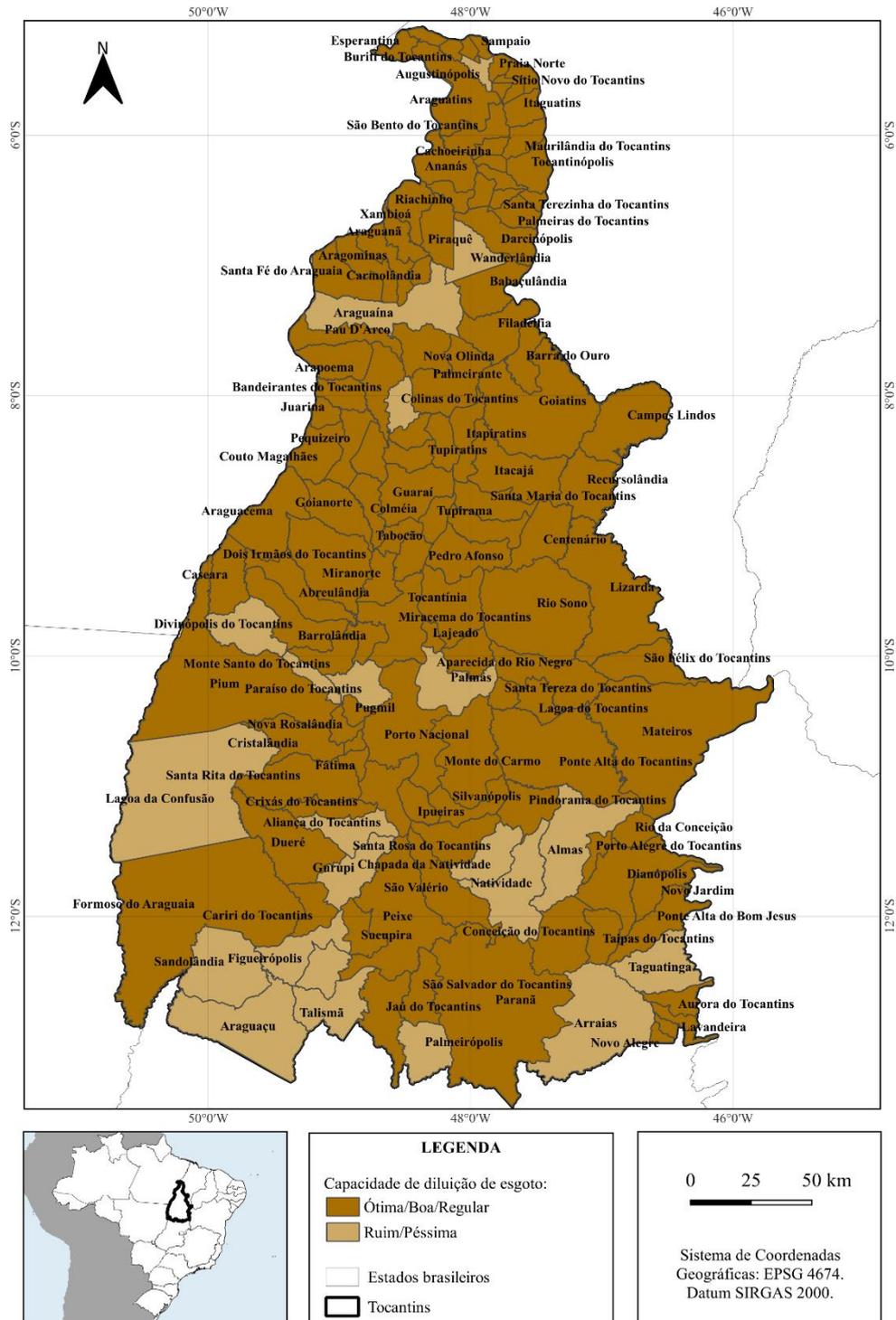
A sua adequada avaliação permite a indicação de limites de cargas de poluentes que podem ser depositados em um corpo d'água, o que condiciona os níveis de remoção de diferentes constituintes do esgoto bruto e, conseqüentemente, o projeto, a operação e a manutenção das plantas destinadas ao tratamento de esgotos (LOUZADA; REIS; MENDONÇA, 2013).

Para determinar a capacidade de diluição dos corpos d'água do Brasil, o Atlas Esgoto da ANA (2018) determinou categorias de capacidade de diluição conforme o potencial de atendimento dos corpos d'água às classes de enquadramento para água doce, conforme determinação da Resolução CONAMA nº 357/2005, e da remoção de carga orgânica do total gerado.

As classes Ilimitada e Nula se referem à possibilidade de lançamento no mar e corpo hídrico sem vazão de diluição, respectivamente; e as demais categorias estão relacionadas ao atendimento conforme as classes dos rios, com rios sem problemas de diluição até com capacidade para atender classe 2 com até 80% de remoção de carga orgânica (Ótima, Boa Regular); e rios com capacidade para atender classe 2 com até 97% de remoção de carga orgânica e possibilidade de atendimento à classe 4 (Ruim, Péssima).

A Figura 10 demonstra a classificação feita para o estado do Tocantins, sendo possível observar que somente 16% dos municípios apresentam corpos receptores com capacidade de diluição ruim ou péssima, enquanto 84% dos municípios contêm vazão suficiente para diluição da carga orgânica, conseguindo manter os padrões dos corpos receptores nas classes 1 ou 2 (classes mais restritivas).

Figura 10 - Mapa dos municípios tocantinenses segregados pela capacidade de diluição de esgoto



Fonte: Adaptado pelo autor de ANA (2018).

#### 4.2.10 Abastecimento de Água e Coleta de Esgoto

De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos elaborado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2019 o índice de atendimento total

(urbano e rural) da população tocantinense, com rede de abastecimento de água era de 79,34%; desses, apenas 26,20% da população possuía sistema de coleta de esgotos com ou sem tratamento (BRASIL, 2020). A Tabela 7 apresenta os valores médios dos índices de atendimento com água e esgotos e dos índices de tratamento dos esgotos por macrorregião.

Tabela 7 - Níveis de atendimento com água e esgotos do Tocantins

Macrorregião	Índice de atendimento com rede (%)				Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Água		Coleta de esgotos		Esgotos gerados	Esgotos coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Total
	IN055	IN023	IN056	IN024	IN046	IN016
<b>Tocantins</b>	79,34%	96,85%	26,20%	33,80%	31,31%	98,70%
<b>Norte</b>	57,5%	70,4%	12,3%	15,8%	22,0%	82,8%
<b>Brasil</b>	83,7%	92,9%	5,1%	61,9%	49,1%	78,5%

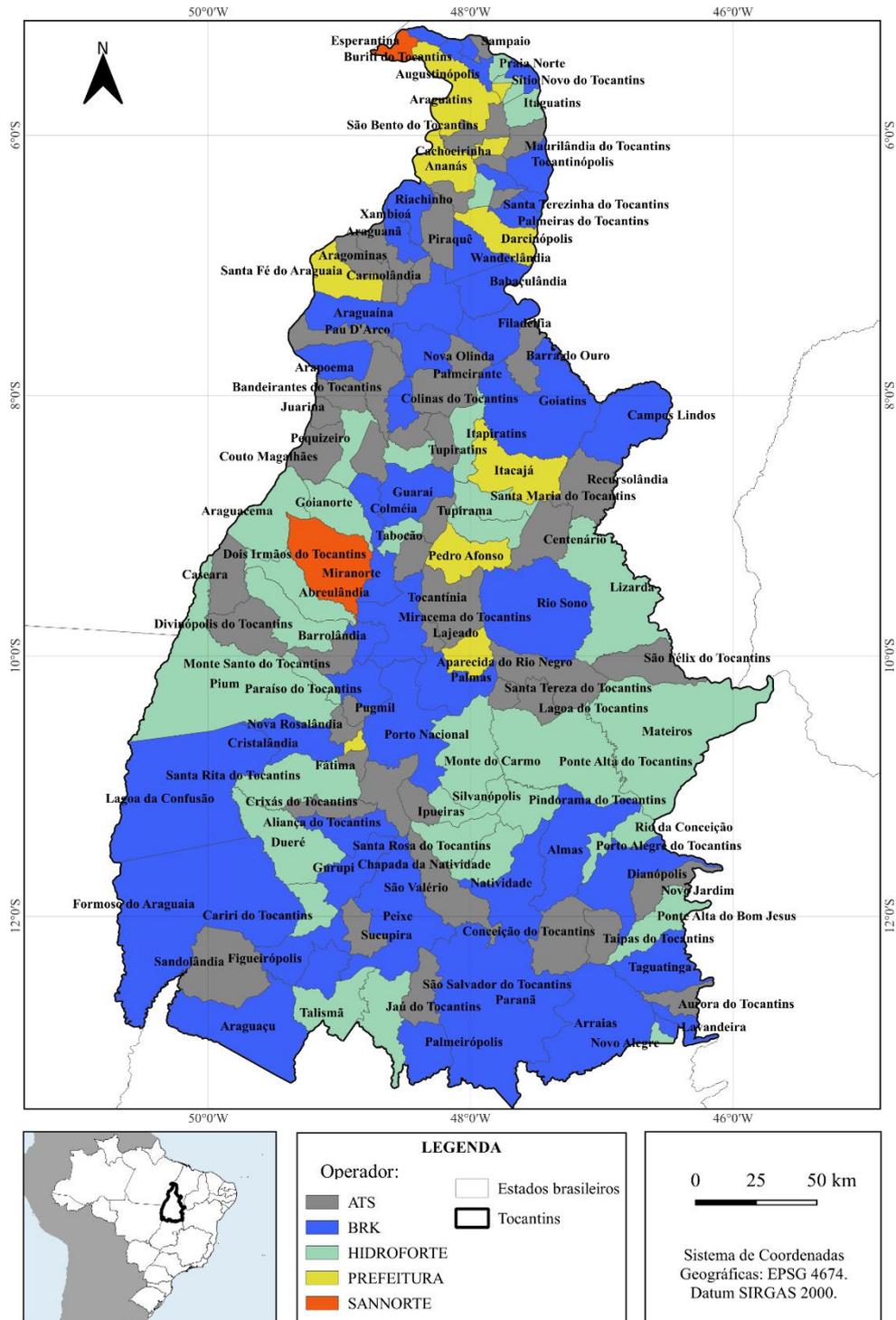
Fonte: BRASIL (2021).

Percebe-se que quando comparado à região Norte, o Tocantins apresenta valores superiores tanto em relação aos índices de atendimento com rede quanto aos índices de tratamento de esgoto. Em contrapartida, quando comparado aos valores médios do país, nota-se maior discrepância principalmente em relação aos índices de coleta e tratamento de esgoto.

#### 4.2.11 Operadores de Abastecimento de Água e Coleta de Esgoto

A prestação dos serviços de esgotamento sanitário em um município pode ser feita de forma indireta, com a delegação dos serviços para autarquia municipal, companhia estadual ou concessionária privada; ou de forma direta, sem a presença de um prestador de serviço institucionalizado (ANA, 2018). No estado do Tocantins, conforme Figura 11, os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário são distinguidos da seguinte forma: 47 municípios são operados pela empresa BRK AMBIENTAL, 47 pela Agência Tocantinense de Saneamento (ATS), 33 municípios pela empresa HIDROFORTE, 02 municípios pela empresa SANNORTE e os outros 10 municípios pelas prefeituras ou departamentos ligados a elas. Portanto, percebe-se a presença da participação privada na operação de 58,9% dos municípios tocantinenses, sendo que 41,1% são de responsabilidade de órgãos públicos.

Figura 11 - Mapa dos municípios tocantinenses identificados pelos operadores de água e esgoto



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3 Delimitação Populacional

Inicialmente foi realizada uma análise dos 139 municípios que compõem o Estado, quanto ao comportamento populacional total (rural e urbano), com base nos censos demográficos do IBGE, conforme segue apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Censo demográfico dos municípios do Tocantins (1991, 2000, 2010 e 2022)

Município	1991 <sup>1</sup>			2000			2010			2022
	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Total
Abreulândia	-	-	-	1.116	1.073	2.189	911	1.476	2.387	2.463
Aguiarnópolis	-	-	-	841	2.304	3.145	1.020	4.138	5.158	4.787
Aliança do Tocantins	2.948	3.935	6.883	1.057	5.120	6.177	907	4.756	5.663	4.932
Almas	4.141	3.511	7.652	2.897	5.577	8.474	1.579	6.016	7.595	9.044
Alvorada	4.253	5.615	9.868	666	7.842	8.508	609	7.771	8.380	8.821
Ananás	5.870	5.981	11.851	2.116	8.396	10.512	1.722	8.151	9.873	10.368
Angico	-	-	-	1.250	1.639	2.889	1.232	1.937	3.169	3.062
Aparecida do Rio Negro	1.235	2.031	3.266	928	2.589	3.517	900	3.313	4.213	4.965
Aragominas	-	-	-	3.797	2.383	6.180	3.652	2.230	5.882	6.914
Araguacema	3.439	2.955	6.394	2.382	3.032	5.414	3.392	2.925	6.317	5.913
Araguaçu	7.282	5.430	12.712	3.089	6.257	9.346	2.904	5.882	8.786	8.666
Araguaína	18.701	84.614	103.315	7.269	105.874	113.143	7.557	142.963	150.520	186.867
Araguanã	-	-	-	1.584	2.609	4.193	1.644	3.386	5.030	4.316
Araguatins	15.174	12.687	27.861	10.222	15.788	26.010	11.188	20.136	31.324	31.719
Arapoema	8.940	5.024	13.964	1.522	5.503	7.025	1.287	5.455	6.742	5.443
Arraias	7.366	5.518	12.884	4.848	6.136	10.984	3.274	7.369	10.643	10.253
Augustinópolis	1.891	8.422	10.313	2.737	10.227	12.964	2.780	13.185	15.965	17.471
Aurora do Tocantins	2.752	1.911	4.663	1.141	1.960	3.101	964	2.482	3.446	3.338
Axixá do Tocantins	3.514	6.467	9.981	1.267	7.560	8.827	1.654	7.621	9.275	10.267
Babaçulândia	5.836	3.237	9.073	6.094	4.235	10.329	5.515	4.931	10.446	8.218
Bandeirantes do Tocantins	-	-	-	1.405	1.203	2.608	1.439	1.685	3.124	3.548
Barra do Ouro	-	-	-	2.181	1.398	3.579	1.937	2.186	4.123	4.643
Barrolândia	2.510	4.015	6.525	894	4.188	5.082	872	4.474	5.346	4.875
Bernardo Sayão	2.918	1.397	4.315	2.557	1.994	4.551	2.277	2.190	4.467	4.217
Bom Jesus do Tocantins	-	-	-	1.193	1.130	2.323	942	2.826	3.768	4.087
Brasilândia do Tocantins	-	-	-	711	1.212	1.923	628	1.438	2.066	1.947
Brejinho de Nazaré	3.495	3.333	6.828	1.050	3.827	4.877	993	4.195	5.188	4.753
Buriti do Tocantins	2.775	5.263	8.038	1.726	6.116	7.842	2.316	7.454	9.770	10.346

Fonte: IBGE (1991, 2000, 2010, 2022).

Tabela 8 - Censo demográfico dos municípios do Tocantins (1991, 2000, 2010 e 2022) (Continuação)

Município	1991 <sup>1</sup>			2000			2010			2022
	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Total
Cachoeirinha	-	-	-	258	1.765	2.023	417	1.731	2.148	1.964
Campos Lindos	-	-	-	3.429	2.209	5.638	3.320	4.819	8.139	8.661
Cariri do Tocantins	-	-	-	1.048	1.942	2.990	1.663	2.091	3.754	3.555
Carmolândia	-	-	-	458	1.550	2.008	492	1.813	2.305	2.203
Carrasco Bonito	-	-	-	1.645	1.573	3.218	1.721	1.969	3.690	3.343
Caseara	742	2.033	2.775	1.010	2.650	3.660	1.864	2.737	4.601	4.764
Centenário	-	-	-	1.402	761	2.163	1.061	1.504	2.565	2.133
Chapada da Natividade	-	-	-	2.033	1.241	3.274	1.624	1.656	3.280	3.118
Chapada de Areia	-	-	-	721	549	1.270	586	749	1.335	1.358
Colinas do Tocantins	1.957	19.061	21.018	1.187	24.114	25.301	1.230	29.649	30.879	33.967
Colméia	3.054	5.678	8.732	2.994	6.358	9.352	2.237	6.370	8.607	8.476
Combinado	3.054	5.678	8.732	784	3.740	4.524	669	4.000	4.669	4.751
Conceição do Tocantins	1.480	3.390	4.870	2.042	2.335	4.377	1.271	2.911	4.182	3.891
Couto Magalhães	3.437	2.493	5.930	2.500	1.835	4.335	3.125	1.884	5.009	5.254
Cristalândia	5.220	1.594	6.814	605	6.713	7.318	1.294	5.924	7.218	6.331
Crixás do Tocantins	-	-	-	608	776	1.384	692	874	1.566	1.411
Darcinópolis	-	-	-	1.901	2.372	4.273	1.784	3.489	5.273	6.357
Dianópolis	5.614	8.408	14.022	2.981	12.447	15.428	2.663	16.447	19.110	17.658
Divinópolis do Tocantins	3.177	3.217	6.394	1.789	3.987	5.776	1.897	4.466	6.363	7.065
Dois Irmãos do Tocantins	6.031	1.918	7.949	4.881	2.388	7.269	4.384	2.777	7.161	6.735
Dueré	2.552	2.021	4.573	1.601	2.964	4.565	1.534	3.055	4.589	4.284
Esperantina	-	-	-	4.071	3.552	7.623	4.862	4.614	9.476	7.510
Fátima	1.965	2.787	4.752	553	3.295	3.848	670	3.135	3.805	3.445
Figueirópolis	3.077	4.288	7.365	1.244	4.318	5.562	1.286	4.054	5.340	5.185
Filadélfia	8.249	2.780	11.029	4.175	4.043	8.218	2.964	5.538	8.502	10.590
Formoso do Araguaia	9.277	7.810	17.087	5.559	13.258	18.817	5.095	13.333	18.428	20.471
Goianorte	3.578	1.573	5.151	2.582	2.257	4.839	2.196	2.764	4.960	4.779
Goiatins	14.981	3.183	18.164	6.795	4.241	11.036	7.115	4.949	12.064	12.798

Fonte: IBGE (1991, 2000, 2010, 2022).

Tabela 8 - Censo demográfico dos municípios do Tocantins (1991, 2000, 2010 e 2022) (Continuação)

Município	1991 <sup>1</sup>			2000			2010			2022
	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Total
Guaraí	6.249	14.573	20.822	2.431	17.587	20.018	2.080	21.132	23.212	26.444
Gurupi	4.229	52.523	56.752	1.548	63.486	65.034	1.751	75.014	76.765	83.817
Ipueiras	-	-	-	580	586	1.166	681	958	1.639	1.597
Itacajá	10.755	3.178	13.933	3.188	3.627	6.815	2.831	4.273	7.104	6.780
Itaguatins	9.501	1.579	11.080	3.116	3.270	6.386	2.633	3.396	6.029	5.187
Itapiratins	-	-	-	2.115	1.162	3.277	1.618	1.916	3.534	3.936
Itaporã do Tocantins	2.342	1.310	3.652	970	1.552	2.522	877	1.562	2.439	2.407
Jaú do Tocantins	-	-	-	2.124	997	3.121	2.197	1.310	3.507	3.475
Juarina	-	-	-	1.191	1.142	2.333	1.198	1.033	2.231	2.240
Lagoa da Confusão	-	-	-	2.772	3.396	6.168	3.878	6.337	10.215	16.117
Lagoa do Tocantins	-	-	-	899	1.631	2.530	987	2.538	3.525	3.501
Lajeado	-	-	-	761	1.583	2.344	607	2.166	2.773	3.652
Lavandeira	-	-	-	580	629	1.209	582	1.023	1.605	1.625
Lizarda	3.183	983	4.166	2.339	1.448	3.787	1.148	2.583	3.731	2.994
Luzinópolis	-	-	-	694	1.327	2.021	947	1.675	2.622	2.989
Marianópolis do Tocantins	937	1.396	2.333	1.364	1.968	3.332	1.969	2.383	4.352	4.460
Mateiros	-	-	-	1.006	640	1.646	808	1.411	2.219	2.076
Maurilândia do Tocantins	-	-	-	1.275	1.579	2.854	1.138	2.020	3.158	3.234
Miracema do Tocantins	5.092	15.723	20.815	4.009	20.435	24.444	2.747	17.945	20.692	19.561
Miranorte	2.557	8.351	10.908	1.100	10.702	11.802	1.587	11.039	12.626	13.027
Monte do Carmo	4.338	2.204	6.542	2.867	2.326	5.193	3.836	2.881	6.717	5.874
Monte Santo do Tocantins	-	-	-	1.488	381	1.869	1.635	450	2.085	2.290
Muricilândia	-	-	-	955	1.725	2.680	1.352	1.800	3.152	3.722
Natividade	5.735	4.595	10.330	2.468	6.399	8.867	1.805	7.195	9.000	8.643
Nazaré	7.404	1.616	9.020	3.147	2.003	5.150	2.395	1.991	4.386	4.664
Nova Olinda	2.366	5.303	7.669	3.257	6.128	9.385	3.221	7.465	10.686	10.353
Nova Rosalândia	1.096	1.982	3.078	755	2.435	3.190	1.302	2.468	3.770	3.334
Novo Acordo	2.775	1.082	3.857	1.089	1.968	3.057	679	3.083	3.762	3.828

Fonte: IBGE (1991, 2000, 2010, 2022).

Tabela 8 - Censo demográfico dos municípios do Tocantins (1991, 2000, 2010 e 2022) (Continuação)

Município	1991 <sup>1</sup>			2000			2010			2022
	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Total
Novo Alegre	-	-	-	468	1.806	2.274	587	1.699	2.286	1.845
Novo Jardim	-	-	-	778	1.373	2.151	681	1.776	2.457	2.235
Oliveira de Fátima	-	-	-	260	698	958	220	815	1.035	1.172
Palmas	5.088	19.246	24.334	3.176	134.179	137.355	6.570	221.727	228.297	334.454
Palmeirante	-	-	-	2.308	1.302	3.610	3.028	1.926	4.954	4.947
Palmeiras do Tocantins	-	-	-	2.125	2.497	4.622	2.519	3.227	5.746	5.359
Palmeirópolis	5.920	5.995	11.915	1.522	5.546	7.068	1.358	5.984	7.342	7.262
Paraíso do Tocantins	4.543	24.282	28.825	1.751	34.379	36.130	1.947	42.485	44.432	51.494
Paranã	9.038	1.928	10.966	7.583	2.833	10.416	5.615	4.720	10.335	10.492
Pau D'Arco	-	-	-	1.578	2.757	4.335	1.688	2.900	4.588	4.017
Pedro Afonso	6.513	6.919	13.432	1.700	7.328	9.028	1.523	10.019	11.542	14.675
Peixe	10.381	2.490	12.871	5.091	3.672	8.763	5.153	5.236	10.389	9.431
Pequizeiro	1.545	1.744	3.289	2.298	2.293	4.591	2.662	2.390	5.052	4.893
Pindorama do Tocantins	3.096	1.853	4.949	2.361	2.324	4.685	1.559	2.947	4.506	4.128
Piraquê	-	-	-	1.181	1.179	2.360	1.798	1.122	2.920	2.278
Pium	6.218	2.649	8.867	2.346	3.194	5.540	2.911	3.785	6.696	7.132
Ponte Alta do Bom Jesus	4.817	1.720	6.537	2.110	2.464	4.574	2.043	2.505	4.548	4.222
Ponte Alta do Tocantins	5.155	2.331	7.486	2.896	3.276	6.172	2.653	4.527	7.180	7.284
Porto Alegre do Tocantins	1.194	909	2.103	1.015	1.378	2.393	877	1.918	2.795	2.869
Porto Nacional	8.570	34.654	43.224	6.225	38.766	44.991	6.704	42.439	49.143	71.101
Praia Norte	3.655	2.413	6.068	3.306	3.475	6.781	3.191	4.470	7.661	8.808
Presidente Kennedy	3.691	2.807	6.498	640	3.119	3.759	456	3.229	3.685	2.963
Pugmil	-	-	-	423	1.566	1.989	365	2.001	2.366	2.185
Recursolândia	-	-	-	1.882	1.256	3.138	1.778	1.990	3.768	3.380
Riachinho	-	-	-	2.103	1.567	3.670	2.373	1.810	4.183	3.962
Rio da Conceição	-	-	-	191	998	1.189	140	1.574	1.714	1.747
Rio dos Bois	-	-	-	1.119	1.150	2.269	1.541	1.029	2.570	2.737
Rio Sono	5.384	1.610	6.994	4.218	1.871	6.089	3.855	2.404	6.259	5.600

Fonte: IBGE (1991, 2000, 2010, 2022).

Tabela 8 - Censo demográfico dos municípios do Tocantins (1991, 2000, 2010 e 2022) (Continuação)

Município	1991 <sup>1</sup>			2000			2010			2022
	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana	Total	Total
Sampaio	2.476	1.903	4.379	512	2.289	2.801	351	3.517	3.868	4.203
Sandolândia	-	-	-	1.917	1.415	3.332	1.562	1.764	3.326	4.631
Santa Fé do Araguaia	-	-	-	2.139	3.368	5.507	2.225	4.374	6.599	7.919
Santa Maria do Tocantins	-	-	-	1.192	1.034	2.226	1.169	1.725	2.894	2.557
Santa Rita do Tocantins	-	-	-	1.123	729	1.852	1.210	918	2.128	2.177
Santa Rosa do Tocantins	2.947	875	3.822	1.994	2.322	4.316	1.621	2.947	4.568	4.701
Santa Tereza do Tocantins	2.221	897	3.118	774	1.340	2.114	907	1.616	2.523	2.715
Santa Terezinha do Tocantins	-	-	-	1.068	1.387	2.455	880	1.591	2.471	2.560
São Bento do Tocantins	-	-	-	1.786	1.952	3.738	1.899	2.716	4.615	5.387
São Félix do Tocantins	-	-	-	738	531	1.269	514	931	1.445	1.780
São Miguel do Tocantins	-	-	-	6.576	1.910	8.486	7.943	2.547	10.490	14.103
São Salvador do Tocantins	-	-	-	1.656	1.084	2.740	1.322	1.588	2.910	2.481
São Sebastião do Tocantins	2.007	2.287	4.294	858	2.811	3.669	1.000	3.283	4.283	4.100
São Valério	2.314	1.336	3.650	2.816	2.238	5.054	1.660	2.724	4.384	4.399
Silvanópolis	3.131	2.747	5.878	1.376	3.349	4.725	1.007	4.064	5.071	5.126
Sítio Novo do Tocantins	3.633	4.237	7.870	4.732	4.756	9.488	4.273	4.875	9.148	10.830
Sucupira	-	-	-	612	864	1.476	633	1.106	1.739	1.576
Tabocão	-	-	-	636	1.606	2.242	455	1.968	2.423	3.458
Taguatinga	6.087	5.312	11.399	5.009	8.160	13.169	4.424	10.629	15.053	13.986
Taipas do Tocantins	-	-	-	610	1.103	1.713	388	1.557	1.945	2.023
Talismã	-	-	-	1.326	980	2.306	1.199	1.363	2.562	2.661
Tocantínia	3.332	3.031	6.363	2.808	2.980	5.788	3.643	2.955	6.598	8.518
Tocantinópolis	16.035	14.740	30.775	3.899	18.878	22.777	4.295	18.313	22.608	23.847
Tupirama	-	-	-	746	433	1.179	644	930	1.574	1.803
Tupiratins	-	-	-	636	729	1.365	1.031	1.066	2.097	1.861
Wanderlândia	4.137	5.123	9.260	5.000	5.273	10.273	5.116	5.862	10.978	11.586
Xambioá	2.586	9.170	11.756	2.460	9.677	12.137	1.746	9.738	11.484	10.519

Fonte: IBGE (1991, 2000, 2010, 2022).

Esses municípios foram estratificados em cinco classes, considerando os tamanhos da população total de 2022, conforme CENSO 2022. A Tabela 9 apresenta as classes adotadas, de acordo com a segmentação proposta pelo IBGE.

Tabela 9 - Classes, número de municípios e percentual por faixa, segundo o tamanho da população (2022)

<b>Classes de tamanho da população dos municípios (hab.)</b>	<b>Grupos</b>	<b>Número de municípios</b>	<b>Percentual de municípios</b>	<b>Percentual acumulado de municípios</b>
Até 5.000	I	79	56,83 %	56,83 %
5.001 até 10.000	II	31	22,30 %	79,13 %
10.001 até 20.000	III	19	13,67 %	92,80 %
20.001 até 100.000	IV	8	5,76 %	98,56 %
>100.000	V	2	1,44 %	100,00 %

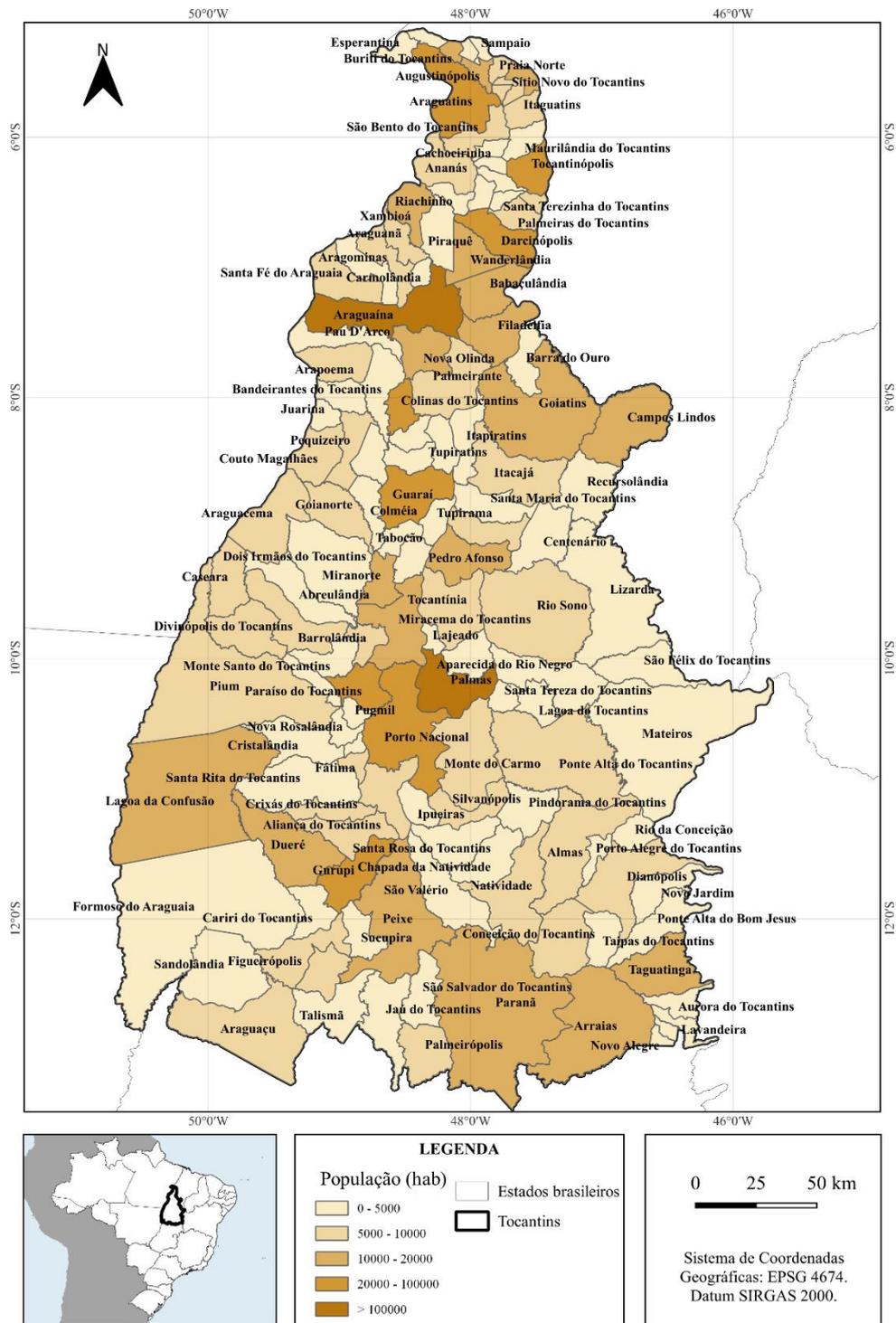
Fonte: Elaborado pelo autor, com base nos dados do IBGE (2022).

A Figura 12 ilustra um mapa com os municípios do Estado, de acordo com as classes de tamanho da população. Percebe-se que mais de 92% dos municípios do Tocantins – 129 – possuem menos de 20 mil habitantes; oito municípios têm de 20 a 100 mil habitantes e apenas dois possuem mais de 100 mil habitantes.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram considerados os municípios com até 20 mil habitantes, portanto, com os Grupos I, II e III. Tal estratégia é motivada pela grande relevância de tais municípios menores, sendo que estes representam quase que a totalidade do Estado, além do que, cidades de grande porte exigem estudos mais específicos. Sendo assim, o estudo foi limitado às cidades com até 20 mil habitantes (Grupos I, II e III).

Posto isso, após uma análise de consistência de dados dos municípios mais populosos de cada classe, foram descartados aqueles que apresentavam algum tipo de inconsistência e consequentemente selecionados os que atendiam tais critérios.

Figura 12 - Mapa dos municípios do Tocantins, de acordo com as classes de tamanho da população



Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente, foram selecionados três municípios: Brejinho de Nazaré, Peixe e Dianópolis, de forma que haja um representante para cada classe de tamanho de população, denominados de Grupo I, Grupo II e Grupo III, respectivamente, conforme pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10 - Municípios selecionados para o estudo

<b>Classes de tamanho da população dos municípios (hab.)</b>	<b>Grupo</b>	<b>Município</b>
Até 5.000	I	Brejinho de Nazaré
5.001 até 10.000	II	Peixe
10.001 até 20.000	III	Dianópolis

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4 Estimativa de Crescimento Populacional

Para a previsão das vazões de entrada na estação do município, e por conseguinte estimar a produção de lodo, foram feitas estimativas populacionais baseadas em métodos clássicos largamente aplicados em projeções populacionais no setor de saneamento. Segundo Von Sperling (2018), os principais métodos utilizados para as projeções populacionais são: projeção aritmética; projeção geométrica; taxa decrescente de crescimento e crescimento logístico. Para projeção são utilizados dados medidos nos censos do IBGE.

Nos métodos descritos são consideradas as seguintes nomenclaturas:

- $dP/dt$ : taxa de crescimento da população em função do tempo;
- $P_0, P_1, P_2$  (hab.): populações nos anos  $t_0, t_1, t_2$  (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão);
- $P_t$  (hab.): população estimada para o ano  $t$ ;
- $P_s$  (hab.): população de saturação;
- $K_a, K_g, K_d, K_l, i, c, r, s$ : coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise da regressão é preferível, já que se pode utilizar toda a série de dados existentes e não apenas  $P_0, P_1$  e  $P_2$ ).

##### 4.4.1 Método da Projeção Aritmética

Neste método parte-se do princípio de que o crescimento populacional se efetua através de uma taxa constante, referente à população na data inicial do período de previsão e sem

acúmulo periódico, evoluindo em progressão aritmética. O método é utilizado para estimativas de menor prazo. O ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão. Dessa forma, para a projeção utiliza-se a Equação 4.

$$P_t = P_0 + K_a(t - t_0) \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

Taxa de crescimento:  $K_a = \frac{dP}{dT}$

Coefficientes (se não for efetuada análise da regressão):  $K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0}$

#### 4.4.2 Método da Projeção Geométrica

Este método considera o tempo como um exponencial para o incremento anual sobre a taxa. O crescimento populacional é função da população existente a cada instante. O método é utilizado para estimativas de menor prazo e o ajuste da curva pode ser também feito por análise da regressão.

Sendo assim, a projeção para este método considera a Equação 5, abaixo.

$$P_t = P_0 \times e^{K_g(t-t_0)} \quad \text{ou} \quad P_t = P_0 \times (1 + i)^{(t-t_0)} \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

Taxa de crescimento:  $K_g \cdot P = \frac{dP}{dT}$

Coefficientes (se não for efetuada análise da regressão):  $K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_0}{dT}$

#### 4.4.3 Método da Taxa Decrescente de Crescimento

Neste método se considera a premissa de que, à medida que a cidade cresce, a taxa de crescimento torna-se menor. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não-linear.

Para este método considera-se a Equação 6 a seguir.

$$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \times [1 - e^{-K_d(t-t_0)}] \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

Taxa de crescimento:  $\frac{dP}{dT} = K_d \cdot (P_s - P)$

Coefficientes (se não for efetuada análise da regressão):

$$P_s = \frac{2P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2} \text{ e } K_d = \frac{-\ln \left[ \frac{(P_s - P_2)}{(P_s - P_1)} \right]}{t_2 - t_1}$$

#### 4.4.4 Método do Crescimento Logístico

Este método supõe que o crescimento da população segue uma relação matemática que estabelece uma curva em forma de S. A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não-linear. As condições necessárias são:  $P_0 < P_1 < P_2$  e  $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$ . O ponto de inflexão na curva ocorre no tempo  $[t_0 - \ln(c)/K_1]$  e com  $P_t = P_s/2$ .

O método do crescimento logístico considera a Equação 7 a seguir para a projeção.

$$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_1(t-t_0)}} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

Taxa de crescimento:  $\frac{dP}{dT} = K_1 \cdot P \frac{P_s - P}{P}$

Coefficientes (se não for efetuada análise da regressão):

$$P_s = \frac{2P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}, c = \frac{P_s - P}{P_0} \text{ e } K_d = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[ \frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right]$$

#### 4.5 Estimativa da Vazão de Projeto

A primeira etapa para dimensionamento dos sistemas de tratamento de esgoto é a determinação das vazões média, máxima diária e máxima horária de projeto. Conforme mencionado por Von Sperling (2014), a vazão é calculada em função da população de projeto e de um valor atribuído ao consumo médio diário de água por habitante. Além destes fatores, acrescenta-se ao cálculo o coeficiente de retorno e o índice de atendimento com rede coletora de esgoto. De acordo com a NBR 9649/1986, o valor do coeficiente de retorno a ser adotado é 0,80. A Equação 8 apresenta o cálculo para determinação da vazão média, que permitirá calcular posteriormente as vazões média, máxima diária e máxima horária de projeto.

$$Q_{media} = Q_{per\ capta} * 0,8 * P_{total} * I_{at} \quad \text{Equação 8}$$

Onde,

$P_{total}$  = População total (hab);

$I_{at}$  = Índice de Atendimento;

$Q_{media}$  = Vazão média (L/dia);

$Q_{per\ capta}$  = Consumo per capita de água (L/hab\*dia);

De acordo com Jordão (2017), a vazão a ser utilizada para dimensionamento deverá ser acrescida da vazão de infiltração de águas através das juntas e paredes das tubulações, caixas de passagem e poços de visita. Este parâmetro é em função da extensão da rede de esgoto e da taxa de infiltração, sendo que esta, por sua vez, é consequência das características do solo e do lençol freático onde estará implantado o sistema de coleta e transporte de esgoto. Conforme a NBR 9649/1986, a taxa de contribuição de infiltração depende das condições locais, tais como nível do lençol freático, natureza do subsolo, qualidade da execução da rede, material da tubulação e tipo de junta utilizada, podendo variar de 0,05 a 1,0 l/s.km. A Equação 9 a seguir apresenta o cálculo para determinação da vazão de infiltração.

$$Q_i = T_{xi} * L * 86400 \quad \text{Equação 9}$$

Onde,

$Q_i$  = Vazão de infiltração (L/dia);

$T_{xi}$  = Taxa de infiltração (L/s\*km);

$L$  = Comprimento da rede (km).

Para os cálculos das vazões máxima diária e máxima horária, adota-se os coeficientes de máxima vazão diária e horária, com os respectivos valores  $K_1 = 1,2$  e  $K_2 = 1,5$  (SOBRINHO, 2000). Portanto, as vazões de projeto média, máxima diária e máxima horária são calculadas através das seguintes equações (10), (11) e (12):

$$Q_{méd\ projeto} = Q_{média} + Q_i \quad \text{Equação 10}$$

$$Q_{m\acute{a}x\ di\acute{a}ria} = (Q_{m\acute{e}dia} * K_1) + Q_i \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 11}$$

$$Q_{m\acute{a}x\ hor\acute{a}ria} = (Q_{m\acute{e}dia} * K_1 * K_2) + Q_i \quad \text{Equa\c{c}\~{a}o 12}$$

Onde,

$Q_{m\acute{a}x\ di\acute{a}ria}$  = Vaz\~{a}o m\acute{a}xima di\acute{a}ria (L/dia);

$K_1$  = Coeficiente de m\acute{a}xima vaz\~{a}o di\acute{a}ria;

$Q_{m\acute{a}x\ hor\acute{a}ria}$  = Vaz\~{a}o m\acute{a}xima hor\acute{a}ria (L/dia);

$K_2$  = Coeficiente de m\acute{a}xima vaz\~{a}o hor\acute{a}ria;

#### 4.6 Caracteriza\c{c}\~{a}o do Efluente Bruto

Conforme descrito na NBR 12.209/2011, para o dimensionamento das unidades de tratamento e \c{o}rg\~{a}os auxiliares, os par\~{a}metros m\acute{i}nimos do efluente bruto devem ser considerados para as diversas fases do projeto, dentre os quais cita-se os relacionados a seguir (ABNT, 2011).

- vaz\~{o}es afluentes m\acute{a}xima, m\acute{i}nima e m\acute{e}dia;
- demanda bioqu\�mica de oxig\~{e}nio (DBO);
- demanda qu\�mica de oxig\~{e}nio (DQO);
- s\c{o}lidos em suspens\~{a}o (SS) e s\c{o}lidos em suspens\~{a}o vol\~{a}teis (SSV);
- nitrog\~{e}nio total *kjedahl* (NTK);
- f\c{o}sforo total (P);
- coliformes termotolerantes (CTer) e outros indicadores biol\c{o}gicos;

As caracter\xedsticas quantitativas qu\�micas e de presen\c{c}a de microrganismos predominantes no esgoto dom\~{e}stico s\~{a}o apresentadas de forma sintetizada na Tabela 11 e 12. Tais par\~{a}metros e a determina\c{c}\~{a}o dos valores destes s\~{a}o fundamentais para as etapas de defini\c{c}\~{a}o da concep\c{c}\~{a}o e dimensionamento do sistema de tratamento. A caracteriza\c{c}\~{a}o do efluente bruto utilizada no desenvolvimento do presente trabalho foi utilizada com base na literatura cl\~{a}ssica e de acordo com os par\~{a}metros observados em laudos de an\~{a}lises de ETE's ao longo do Estado do Tocantins.

Tabela 11 – Características dos esgotos domésticos brutos

Parâmetro	Contribuição per capta (g/hab.d)		Concentração		
	Faixa	Típico	Unidade	Faixa	Típico
Sólidos Totais	120 - 220	180	mg/L	700 - 1350	1100
-> Em suspensão	35 - 70	60	mg/L	200 - 450	400
- Fixos	7 - 14	10	mg/L	40 - 100	80
- Voláteis	25 - 60	50	mg/L	165 - 350	320
-> Dissolvidos	85 - 150	120	mg/L	500 - 900	700
- Fixos	50 - 90	70	mg/L	300 - 550	400
- Voláteis	35 - 60	50	mg/L	200 - 350	300
-> Sedimentáveis	-	-	mg/L	10 - 20	15
Matéria Orgânica					
-> Determinação indireta					
- DBO5	40 - 60	50	mg/L	200 - 500	350
- DQO	80 - 130	100	mg/L	400 - 800	700
- DBO última	60 - 90	75	mg/L	350 - 600	500
-> Determinação direta					
- COT	30 - 60	45	mg/L	170 - 350	250
Nitrogênio Total	6,0 - 112,0	8,0	mgN/L	35 - 70	50
-> Nitrogênio orgânico	2,5 - 5,0	3,5	mgN/L	15 - 30	20
-> Amônia	3,5 - 7,0	4,5	mgNH <sub>3</sub> -N/L	20 - 40	30
-> Nitrito	~ 0	~ 0	mgNO <sub>2</sub> -N/L	~ 0	~ 0
-> Nitrato	0,0 - 0,5	~ 0	mgNO <sub>3</sub> -N/L	0 - 2	~ 0
Fósforo	1,0 - 4,5	2,5	mgP/l	5 - 25	14
-> Fósforo orgânico	0,3 - 1,5	0,8	mgP/l	2 - 8	4
-> Fósforo inorgânico	0,7 - 3,0	1,7	mgP/l	4 - 17	10
pH	-	-	-	6,7 - 7,5	7,0
Alcalinidade	20 - 30	25	mgCaCO <sub>3</sub> /L	110 - 170	140
Cloretos	4 - 8	6	mg/L	20 - 50	35
Óleos e Graxas	10 - 30	20	mg/L	55 - 170	110

Fonte: Adaptado pelo autor de Von Sperling (2014).

Tabela 12 – Microrganismos presentes nos esgotos domésticos brutos

Microrganismo	Contribuição per capta (org/hab.d)	Concentração (org/100 mL)
Bactérias totais	$10^{12} - 10^{13}$	$10^9 - 10^{10}$
Coliformes totais	$10^9 - 10^{12}$	$10^6 - 10^9$
Coliformes fecais	$10^8 - 10^{11}$	$10^5 - 10^8$
Estreptococos fecais	$10^8 - 10^9$	$10^5 - 10^6$
Cistos de protozoários	$< 10^6$	$< 10^3$
Ovos de helmintos	$< 10^6$	$< 10^3$
Vírus	$10^5 - 10^7$	$10^2 - 10^4$

Fonte: Adaptado pelo autor de Von Sperling (2014).

#### **4.7 Seleção das Alternativas de Tratamento**

Diante das alternativas de tratamento de esgoto apresentadas na literatura clássica, foram selecionadas três alternativas com base nos critérios de simplicidade de operação e de acordo com tecnologias utilizadas em ETE's já implantadas no Estado do Tocantins. As alternativas selecionadas para o desenvolvimento do presente trabalho seguem listadas abaixo:

- 1) Sistema Australiano (Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa);
- 2) Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação;
- 3) Reator UASB + Lodos Ativados.

Vale mencionar que há uma série de alternativas, algumas consolidadas no mercado, outras ainda em processo de aperfeiçoamento e desenvolvimento. Para construção dos cenários e pré-selecionar as alternativas, foram levantadas a partir da revisão de literatura e de experiências já implantadas ao longo do estado.

#### **4.8 Dimensionamento das Unidades**

Fundamentado nas orientações de Von Sperling (2014), Metcalf e Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2017), foram realizados os dimensionamentos das três alternativas de tratamento listadas anteriormente – Sistema Australiano (Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa), Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação, e Reator UASB + Lodos Ativados – para as cidades representantes de cada Grupo:

- 1) Grupo I – cidades de até 5.000 habitantes;
- 2) Grupo II – cidades de até 10.000 habitantes;
- 3) Grupo III – cidades de até 20.000 habitantes.

A seguir são apresentados de forma sintetizada os métodos de dimensionamento para cada alternativa definida para o presente trabalho e os principais critérios adotados.

#### 4.8.1 Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa (Sistema Australiano)

O dimensionamento do sistema de Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa (Sistema Australiano) foi realizado baseado nos parâmetros e métodos da literatura clássica, sendo os autores Von Sperling (2014), Metcalf e Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2017).

##### 4.8.1.2 Lagoa Anaeróbia

Uma lagoa anaeróbia muito bem dimensionada e em conformidade com as orientações da literatura pode operar livre de odores e oferecer uma redução de DBO na faixa de 50 até 60%. Entre os parâmetros principais a serem observados no seu dimensionamento deve ser ressaltado os seguintes: tempo de detenção hidráulico, taxa de aplicação de carga orgânica, profundidade, distribuição uniforme do esgoto efluente, e relação comprimento/largura (JORDÃO; PESSOA, 2017).

A taxa de aplicação volumétrica  $L_v$ , principal parâmetro de projeto de lagoas anaeróbias, é função da temperatura. Mara (1997) propõe a relação entre as taxas de aplicação volumétricas e a temperatura apresentadas na Tabela 13. Foi adotado valor de 20°C para a temperatura do ar, 23°C para o líquido e o valor de 0,20 para a taxa de aplicação volumétrica admissível.

Tabela 13 – Taxa de aplicação volumétrica admissível para projeto de lagoas anaeróbias em função da temperatura.

<b>Temperatura média do ar no mês mais frio – T (°C)</b>	<b>Taxa de aplicação volumétrica admissível - <math>L_v</math> (kgDBO/m<sup>3</sup>.d)</b>
10 a 20	0,02T – 0,10
20 a 25	0,01T + 0,10
> 25	0,35

Fonte: Extraído de Mara (1997).

O volume requerido para a lagoa anaeróbia pode ser calculado através da Equação 13.

$$V = L / L_v \quad \text{Equação 13}$$

Onde,

$V$  = Volume requerido para a lagoa (m<sup>3</sup>);

$L$  = Carga de DBO total afluyente (solúvel + particulada) – (kgDBO/d);

$L_v$  = Taxa de aplicação volumétrica - (kgDBO /m<sup>3</sup>d);

Após se ter calculado o volume da lagoa em função da taxa de aplicação volumétrica ( $L_v$ ), o tempo de detenção hidráulica pode ser definido por meio da Equação 14. Recomenda-se que o tempo de detenção varia entre 3,0 e 6,0 dias.

$$t = V / Q \quad \text{Equação 14}$$

Onde,

$t$  = Tempo de detenção (d);

$V$  = Volume da lagoa (m<sup>3</sup>);

$Q$  = Vazão média afluente (m<sup>3</sup>/d).

Para as lagoas anaeróbias, a profundidade ( $H$ ) a ser adotada deve ser elevada, variando entre 3,5 e 5,0 m, com o objetivo de garantir a predominância das condições anaeróbias, evitando que trabalhe como facultativa. Neste trabalho foi adotada a profundidade de 4,50 m útil e uma borda livre de 0,5 m, portanto, com uma profundidade total de 5,0 m.

A partir do cálculo do Volume ( $V$ ) e da definição da profundidade ( $H$ ), há condições para ser definida a Área útil da lagoa. No que diz respeito à geometria, as lagoas anaeróbias variam entre quadradas a levemente retangulares, com relações comprimento / largura ( $L/B$ ) típicas entre 1 e 3. No presente estudo foi adotada a lagoa anaeróbia em formato quadrado.

#### 4.8.1.2 Lagoa Facultativa

Para as lagoas facultativas, o seu dimensionamento considera a remoção preliminar pela lagoa anaeróbia, o que resulta na diminuição do tempo de detenção do tratamento, pois a carga afluente da lagoa facultativa é a carga efluente da lagoa anaeróbia. Para determinação da carga, utiliza-se a Equação 15. Foi adotado como 60% a remoção de carga na lagoa anaeróbia.

$$L = \frac{(100 - E) \cdot L_0}{100} \quad \text{Equação 15}$$

Onde,

$L$  = Carga afluente à lagoa facultativa (kg DBO/d);

$L_0$  = Carga efluente da lagoa anaeróbia (kg DBO/d).

$E$  = Eficiência de remoção da DBO.

Para definição da taxa de aplicação superficial, considera-se estimativas empíricas que consideram a influência na temperatura do ar no mês mais frio e que têm como carga máxima admissível a quantidade de 350 kg DBO/há.d. A Equação 16 proposta por Mara (1997) representa a correlação existente entre as variáveis. Após os cálculos, foi adotado o valor de 250 kgDBO/ha.d para a Taxa de aplicação superficial na lagoa facultativa.

$$L_s = 350x(1,107 - 0,002xT)^{(T-25)} \quad \text{Equação 16}$$

Onde,

$L_s$  = Taxa de aplicação superficial (kgDBO/ha.d);

T = Temperatura média do ar no mês mais frio (°C).

A área requerida pela lagoa é definida como a relação entre a taxa de aplicação superficial e a carga de DBO total, conforme representa a Equação 17. A partir disso, determina-se o número de lagoas e as suas dimensões. A partir do volume resultante, obtém-se o tempo de detenção (25)

$$A = L / L_s \quad \text{Equação 17}$$

Onde,

A = Área requerida para a lagoa (ha);

L = Carga de DBO total (solúvel + particulada) afluyente (kgDBO/d).

Em relação às dimensões das lagoas, adota-se conforme as características de cada terreno, devendo-se considerar que a área total requerida pelo sistema inclui taludes, urbanização, estacionamento, dentre outros; considera de 25% a 33% adicionalmente a área líquida calculada.

Para as lagoas facultativas, recomenda-se que a profundidade ( $H$ ) seja entre 1,5 e 2,0 m. Neste trabalho foi adotada a profundidade útil de 1,50 m útil e uma borda livre de 0,5 m, portanto, com uma profundidade total de 2,3 m.

#### 4.8.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

De forma semelhante ao item anterior, o dimensionamento do sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação seguiu as recomendações e critérios de cálculo da literatura clássica.

##### 4.8.2.1 Lagoa Facultativa

A primeira etapa do procedimento consiste no dimensionamento da etapa formada pela lagoa facultativa. O dimensionamento neste caso é idêntico ao descrito no interior, com exceção à carga orgânica afluyente que neste caso é maior pois não possui a lagoa anaeróbia como etapa anterior. Desta forma, segue-se para a demonstração do cálculo para dimensionamento da Lagoa de Maturação.

##### 4.8.2.2 Lagoa de Maturação

A primeira etapa do procedimento consiste no dimensionamento da etapa formada pela lagoa facultativa. O dimensionamento neste caso é idêntico ao descrito no interior, com exceção à carga orgânica afluyente que neste caso é maior pois não possui a lagoa anaeróbia como etapa anterior. Desta forma, segue-se para a demonstração do cálculo para dimensionamento da Lagoa de Maturação.

Com o conhecimento da eficiência do sistema de lagoas facultativas, realiza-se o dimensionamento das lagoas de maturação. Usualmente são utilizadas duas diferentes configurações: lagoas em série ou lagoa única com chicanas. Neste trabalho adotou-se a alternativa de lagoa única com chicanas.

A primeira etapa do dimensionamento consiste na determinação do volume das lagoas, para isso, utiliza-se a Equação 18. Em seguida, determina-se as dimensões, considerando que a área total requerida pela lagoa é em torno de 25% superior à área líquida determinada.

$$V = t \cdot Q \quad \text{Equação 18}$$

Onde,

V = Volume da lagoa (m<sup>3</sup>);

t = Tempo (d);

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/d).

A partir disso, é possível determinar a concentração de coliformes no efluente final seguindo o modelo de fluxo disperso, e a eficiência que o sistema terá. Para isso, as equações utilizadas são as mesmas aplicadas para as lagoas de estabilização, que foram descritas anteriormente.

Além do modelo de fluxo disperso, tem-se o modelo de mistura completa, cujo regime hidráulico seria o de mistura completa. Nesse tipo, o coeficiente de decaimento bacteriano é dado pela Equação 19. Para definir a concentração de coliformes totais, também se aplica as equações abaixo.

$$\frac{K_b \text{ mist}}{K_b \text{ disp}} = 1,0 + [0,0540 \times (K_b \text{ disp} \cdot t)^{1,8166} \times d^{-0,8426}] \quad \text{Equação 19}$$

Onde,

$K_b$  = Coeficiente de decaimento bacteriano a 20°C para mistura completa ( $d^{-1}$ );

$K_b$  = Coeficiente de decaimento bacteriano a 20°C disponível ( $d^{-1}$ );

t = Tempo (d).

#### 4.8.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados

##### 4.8.3.1 Reator UASB

Para o dimensionamento de um Reator UASB determina-se, a partir dos dados iniciais que caracterizam o efluente e sua população, carga do afluente por meio da Equação 20, tempo de detenção hidráulico (definido conforme Tabela 14) e volume total do reator (Equação 21). No dimensionamento deste trabalho foi adotado o valor de 8,0 horas de detenção hidráulica.

$$L_o = S_0 * Q_{méd} \quad \text{Equação 20}$$

Onde,

$L_o$  = Carga afluente média de DQO (kgDQO/d);

$S_0$  = DQO afluente (mg/L);

$Q_{méd}$  = Vazão afluente média ( $m^3/d$ ).

Tabela 14 – Tempo de detenção hidráulico

Temperatura (°C)	Tempo Médio (h)	Tempo Mínimo (h)
16 – 19	> 10 – 14	> 7 – 9
20 – 26	> 6 – 9	> 4 – 6
> 26	> 6	> 4

Fonte: Extraído de Von Sperling (2014)

$$V = Q_{méd} \times TDH \quad \text{Equação 21}$$

Onde,

V = Volume total do reator (m<sup>3</sup>);

TDH = Tempo de detenção hidráulico.

Para o cálculo das cargas aplicadas – carga orgânica volumétrica e carga hidráulica volumétrica – utiliza-se as Equações 22 e 23. Após, calcula-se as velocidades superficiais médias e máximas pela Equação 24. Para definição do número de pontos de distribuição do esgoto, utiliza-se como auxílio a literatura clássica, que possibilita definir os distribuidores no comprimento e na largura de cada reator.

$$COV = Q_{méd} \times S_0 / V \quad \text{Equação 22}$$

Onde,

COV = Carga orgânica volumétrica (m<sup>3</sup>.d).

$$CHV = Q_{méd} / V \quad \text{Equação 23}$$

Onde,

CHV = Carga hidráulica volumétrica (m<sup>3</sup>.d);

$$v = Q / A \quad \text{Equação 24}$$

Onde,

v = Velocidade superficial média ou máxima (m/h);

Q = Vazão média ou máxima (m<sup>3</sup>/h);

A = Área de cada reator (m<sup>2</sup>).

Para os reatores UASB, recomenda-se que a altura seja entre 4,0 e 5,0 m. Neste trabalho foi adotada a altura útil de 5,0 m e uma borda livre de 1,0 m, portanto, com uma altura total de 6,0 m.

#### 4.8.3.2 Lodos Ativados

Para dimensionamento do tanque de aeração utiliza-se a Equação 25 e com base em dados de projeto e coeficientes da literatura clássica.

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q \cdot (DBO_{afl} - S)}{X_v \cdot (1 + f_b \cdot k_d \cdot \theta_c)} \quad \text{Equação 25}$$

Onde,

V = Volume do reator (m<sup>3</sup>);

Y = Coeficiente de produção celular (gSSV/gDQO);

$\theta_c$  = Idade do lodo (d);

DBO<sub>afl</sub> = DBO afluente (mg/L);

S = DBO solúvel afluente (mg/L);

$X_v$  = Sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração (mg/L);

$f_b$  = Fração biodegradável dos SSV (kgSS<sub>b</sub>/kgSSV);

$k_d$  = Coeficiente de respiração endógena (gSSV/gSSV.d).

A partir do volume obtido, é possível determinar o número de tanques, profundidades e área que cada tanque ocupará. O tempo de detenção hidráulica pode então ser calculado a partir da Equação 26.

$$TDH = V / Q \quad \text{Equação 26}$$

Onde,

TDH = Tempo de detenção hidráulica (h);

V = Volume (m<sup>3</sup>);

Q = Vazão média (m<sup>3</sup>/h).

Em relação ao dimensionamento do decantador secundário, a primeira etapa consiste na definição de sua área com base na Taxa de Aplicação Hidráulica, conforme apresentado pela Equação 27.

$$\text{Área} = Q/TAH \quad \text{Equação 27}$$

Onde,

Q = Vazão média afluyente (m<sup>3</sup>/d);

TAH = Taxa de Aplicação Hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d).

#### 4.9 Estimativa de Custos de Implantação – CAPEX

Os custos de implantação (CAPEX) foram estimados principalmente com base no banco de preços e orçamentos de uma companhia estadual de água e esgoto da região Norte do país, não sendo identificada aqui por questões de sigilo de informações. Além disso, também foram utilizados outros bancos de preços de obras de estações de tratamento de esgoto de outras empresas privadas de água e esgoto. Vale mencionar que, também foram consultados bancos de preços como, por exemplo, da Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP) e Relatório de Composições do Sistema de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).

Foram avaliados os custos de implantação de projetos similares às tecnologias de tratamento de esgoto selecionadas por este trabalho. Diante disto, foram realizadas análises com base em custos históricos e uma previsão da ordem de grandeza do custo do empreendimento. Em geral, a estimativa de custos é feita a partir de indicadores genéricos, números consagrados que servem para uma primeira abordagem da faixa de custo da obra.

O indicador utilizado foi o custo do metro quadrado construído. Inúmeras são as fontes de referência desse parâmetro, sendo o Custo Unitário Básico (CUB) o mais utilizado. O CUB de cada projeto é calculado aplicando-se aos coeficientes constantes dos quadros da NBR 12.721 (lotes básicos) os preços unitários dos insumos (material e mão-de-obra) ali relacionados. Com base nesta mesma metodologia do CUB, através do banco de dados de preços e serviços foram levantados os custos unitários por metro quadrado para implantação dos sistemas de tratamento de esgoto e utilizados como base para cálculo do CAPEX das alternativas dimensionadas no presente estudo.

#### 4.10 Estimativa De Custos Operacionais – OPEX

Os custos operacionais de tratamento de esgoto podem variar significativamente com base em vários fatores, incluindo o tamanho da estação de tratamento, as tecnologias utilizadas, a complexidade do processo de tratamento, a quantidade de esgoto tratada, os custos de energia, os custos de mão de obra, os custos de manutenção e as regulamentações locais. Alguns dos principais custos são: a) energia elétrica, b) produtos químicos, c) mão de obra, d) manutenção, e) descarte de subprodutos, e f) monitoramento e testes.

A eficiência operacional e a escolha de tecnologias apropriadas podem ajudar a otimizar os custos operacionais de uma estação de tratamento de esgoto e tornar a alternativa mais atraente para ser implantada. É importante conduzir análises detalhadas e consultas especializadas para determinar os custos operacionais específicos para um projeto ou uma estação de tratamento de esgoto em particular.

Os custos operacionais foram baseados também no banco de dados de custos de estações de tratamento de esgoto de uma concessionária de água e esgoto da região Norte do País, que abrange a operação de mais de 20 plantas com diferentes tecnologias de tratamento. Neste âmbito, foram analisados os custos com mão de obra, consumo energético, destinação de lodo e resíduos, manutenção, custo com produtos químicos, limpeza de área, dentre outros itens.

#### 4.11 Cálculo Do Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma ferramenta poderosa para a tomada de decisões financeiras, pois ajuda a determinar se um investimento potencial é econômica e financeiramente viável. O VPL é calculado através da Equação 28:

$$\text{VPL} = -C_0 - \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_t}{(1+i)^n} \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

$C_0$  = custo inicial de implantação.

$FC_t$  = fluxo de caixa operacional no ano t.

$i$  = taxa mínima de atratividade (TMA).

$n$  = período.

No caso do presente trabalho, os custos de implantação (CAPEX) foram considerados apenas no primeiro ano de operação, logo não foi necessário corrigir os valores. Todavia, vale ressaltar que o projeto de uma ETE pode ser concebido em fases de implantação, o que levaria a aplicação de investimentos em distintos anos ao longo do horizonte de projeto. No caso dos custos operacionais (OPEX), foram considerados de forma uniforme anualmente para sintetização da modelagem realizada. Por serem anuais, carecem de aplicação de técnicas de análise financeira, ao caso em questão foi realizado via cálculo do valor presente líquido (VPL).

A avaliação de VPL ocorre e função das características específicas do ramo do setor econômico que o investimento será realizado e flutua conforme a situação do mercado financeiro, podendo influenciar na taxa de atratividade a ser considerada. Para investimentos na área saneamento, geralmente se usa a taxa de 10% a 14%. No presente estudo foi adotado uma taxa de 12%, cabendo ressaltar que sempre se adota a mesma taxa para todas as alternativas. Logo, independente da taxa adotada, os cálculos são proporcionais.

## 5 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos para as tecnologias de tratamento de esgoto selecionadas para os municípios do Estado do Tocantins com população até 20 mil habitantes agrupados, por sua vez, em três grupos de acordo com a população.

### 5.1 Estudo Populacional

A partir dos três grupos definidos foi escolhida uma cidade para representar cada grupo com o objetivo de possibilitar a projeção de crescimento populacional. As cidades escolhidas são dadas como exemplos do grupo, e em se tratando de um trabalho que pretende contribuir com processos de concepção, fica demonstrada a metodologia proposta.

Neste sentido, em consulta ao histórico dos Censos do IBGE, foram definidas as seguintes cidades seu respectivo grupo: Grupo I: até 5 mil habitantes - Brejinho de Nazaré; Grupo II: até 10 mil habitantes – Peixe; e Grupo III: até 20 mil habitantes - Dianópolis. Os métodos mais tradicionais referem-se aos de formulação matemática, como, por exemplo, os métodos Aritmético, Geométrico, Taxa de Decrescimento e Curva Logística (QUASIN, 1985).

#### 5.1.1 Grupo I – até 5 mil habitantes

Como representante do Grupo I, foi considerada a série histórica do município de Brejinho de Nazaré, no qual foram aplicadas as metodologias de projeção propostas. A Tabela 15 traz os resultados obtidos para todas as projeções realizadas.

Tabela 15 - Projeções populacionais para o Grupo I

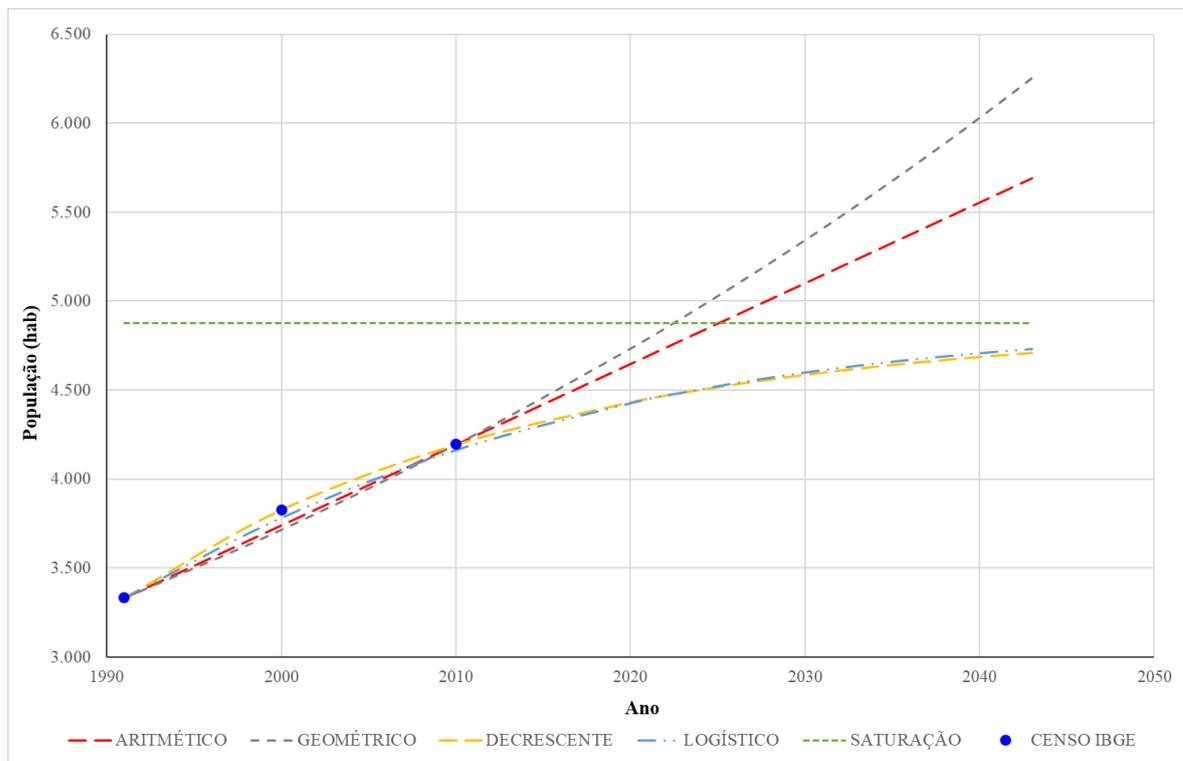
ANO	CENSO IBGE	ARITM	GEOMÉ	DECRES	LOGÍST	SATUR
1991	3.333	3.333	3.333	3.333	3.333	4.875
2000	3.827	3.741	3.717	3.829	3.783	4.875
2010	4.195	4.195	4.195	4.195	4.164	4.875
2020		4.649	4.735	4.433	4.427	4.875
2023		4.785	4.910	4.487	4.487	4.875
2024		4.830	4.970	4.503	4.506	4.875
2025		4.876	5.030	4.519	4.523	4.875
2026		4.921	5.092	4.534	4.540	4.875
2027		4.966	5.154	4.548	4.556	4.875
2028		5.012	5.216	4.562	4.571	4.875

2029		5.057	5.280	4.575	4.586	4.875
2030		5.102	5.344	4.588	4.600	4.875
2031		5.148	5.409	4.600	4.613	4.875
2032		5.193	5.475	4.611	4.626	4.875
2033		5.238	5.542	4.623	4.638	4.875
2034		5.284	5.609	4.633	4.649	4.875
2035		5.329	5.678	4.643	4.660	4.875
2036		5.375	5.747	4.653	4.671	4.875
2037		5.420	5.817	4.662	4.681	4.875
2038		5.465	5.888	4.671	4.690	4.875
2039		5.511	5.959	4.680	4.699	4.875
2040		5.556	6.032	4.688	4.708	4.875
2041		5.601	6.106	4.696	4.716	4.875
2042		5.647	6.180	4.704	4.724	4.875
2043		5.692	6.255	4.711	4.732	4.875

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fim de demonstrar com maior clareza os dados contidos na Tabela 15, elaborou-se o gráfico da Figura 13, que ilustra a previsão de evolução da população para os diferentes modelos matemáticos.

Figura 13 - Curvas das projeções populacionais para o Grupo I



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para auxiliar a seleção do método mais adequado ao Grupo I, foi adotada uma extrapolação da projeção para os anos onde há censo demográfico do IBGE. Desses, foi

calculado o  $R^2$  a fim de determinar o ajuste do modelo estatístico aos valores observados das variáveis aleatórias (WALPOLE *et al*, 2008). A Tabela 16 mostra os valores de  $R^2$  calculados.

Tabela 16 -  $R^2$  das projeções realizadas frente aos dados dos censos do IBGE para o Grupo I

<b>ANO</b>	<b>ARITMÉTICO</b>	<b>GEOMÉTRICO</b>	<b>DECRESCENTE</b>	<b>LOGÍSTICO</b>
<b><math>R^2</math></b>	<b>0,9869</b>	<b>0,9989</b>	<b>0,9864</b>	<b>0,9938</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de  $R^2$  expostos na Tabela 16, mostram que duas projeções têm valores maiores que 0,99, excluindo a Projeção Aritmética, que tem  $R^2$  de 0,9869, e a Projeção Decrescente, que tem  $R^2$  de 0,9864. Para fins de cálculo, foi adotada a Projeção Geométrica, tendo em vista que para saneamento, na maioria das vezes a melhor alternativa é optar pelo caminho mais desfavorável (nesse caso, com maior população), visando garantir a operação e o funcionamento do serviço sob quaisquer condições, além de possuir o maior  $R^2$ .

Espera-se uma população máxima de 6.255 habitantes dentro do horizonte de 20 anos para o Grupo I. Partindo do último censo, que foi em 2010, a população urbana era de 3.333 habitantes. Isso significa um avanço de 2.922 habitantes, aproximadamente 46% no total.

### 5.1.2 Grupo II – até 10 mil habitantes

Para o Grupo II, foi considerado como representante o município de Peixe, no qual foram aplicadas as mesmas metodologias de projeção propostas para o Grupo I. A Tabela 17 traz os resultados obtidos para todas as projeções realizadas.

Tabela 17 - Projeções populacionais para o Grupo II

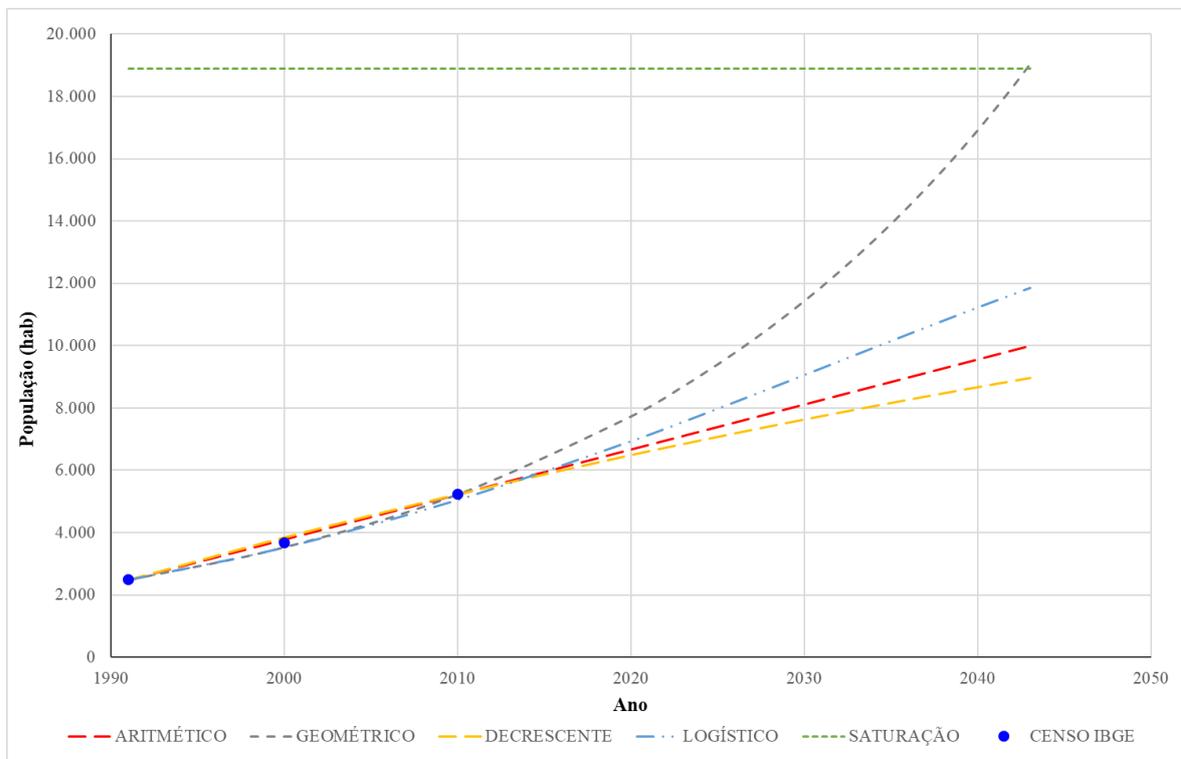
<b>ANO</b>	<b>CENSO IBGE</b>	<b>ARITM</b>	<b>GEOMÉ</b>	<b>DECRES</b>	<b>LOGÍST</b>	<b>SATUR</b>
1991	2.490	2.490	2.490	2.490	2.490	18.894
2000	3.672	3.791	3.541	3.854	3.537	18.894
2010	5.236	5.236	5.236	5.236	5.062	18.894
2020		6.681	7.743	6.491	6.948	18.894
2023		7.115	8.707	6.845	7.569	18.894
2024		7.259	9.054	6.961	7.780	18.894
2025		7.404	9.415	7.075	7.993	18.894
2026		7.548	9.791	7.189	8.208	18.894
2027		7.693	10.182	7.301	8.423	18.894
2028		7.837	10.588	7.412	8.640	18.894

2029		7.982	11.010	7.522	8.858	18.894
2030		8.127	11.450	7.631	9.076	18.894
2031		8.271	11.906	7.740	9.294	18.894
2032		8.416	12.381	7.847	9.513	18.894
2033		8.560	12.875	7.953	9.732	18.894
2034		8.705	13.389	8.058	9.950	18.894
2035		8.849	13.923	8.162	10.168	18.894
2036		8.994	14.479	8.265	10.385	18.894
2037		9.138	15.056	8.367	10.602	18.894
2038		9.283	15.657	8.468	10.816	18.894
2039		9.427	16.282	8.568	11.030	18.894
2040		9.572	16.931	8.667	11.242	18.894
2041		9.716	17.607	8.765	11.452	18.894
2042		9.861	18.309	8.862	11.660	18.894
2043		10.005	19.039	8.958	11.865	18.894

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fim de demonstrar com maior clareza os dados contidos na Tabela 17, elaborou-se o gráfico da Figura 14, que ilustra a previsão de evolução da população para os diferentes modelos matemáticos adotados.

Figura 14 - Curvas das projeções populacionais para o Grupo II



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para auxiliar a seleção do método mais adequado ao Grupo II, foi adotada uma extrapolação da projeção para os anos onde há censo demográfico do IBGE. Desses, foi

calculado o  $R^2$  a fim de determinar o ajuste do modelo estatístico aos valores observados das variáveis aleatórias (WALPOLE *et al*, 2008). A Tabela 18 mostra os valores de  $R^2$  calculados.

Tabela 18 -  $R^2$  das projeções realizadas frente aos dados dos censos do IBGE para Peixe

<b>ANO</b>	<b>ARITMÉTICO</b>	<b>GEOMÉTRICO</b>	<b>DECRESCENTE</b>	<b>LOGÍSTICO</b>
<b><math>R^2</math></b>	<b>0,9975</b>	<b>0,9892</b>	<b>0,9993</b>	<b>0,9941</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de  $R^2$  expostos na Tabela 18 mostram que três projeções têm valores maiores que 0,99, excluindo então a projeção Geométrica que tem  $R^2$  de 0,9898. Dentre as projeções Aritmética, Decrescente e Logística, todas com  $R^2$  acima de 0,99, foi selecionada a Projeção Aritmética. Apesar da Projeção Decrescente apresentar o maior valor para  $R^2$ , foi selecionada a Projeção Aritmética que apresenta também um valor alto para  $R^2$  e proporciona uma população maior. Normalmente, para projeções populacionais para projetos de saneamento, costuma-se utilizar cenários mais desfavoráveis, sendo, portanto, neste caso selecionada a Projeção Aritmética. Espera-se uma população máxima de 10.005 habitantes dentro do horizonte de 20 anos para o Grupo II. Partindo do último censo, que foi em 2010, a população urbana era de 5.236 habitantes. Isso significa um avanço de 4.769 habitantes.

### 5.1.3 Grupo III – até 20 mil habitantes

Para o Grupo III, foi considerado como representante o município de Dianópolis, no qual foram aplicadas as mesmas metodologias de projeção propostas para os Grupos I e II. A Tabela 19 traz os resultados obtidos para as projeções realizadas.

Tabela 19 - Projeções populacionais para o Grupo III

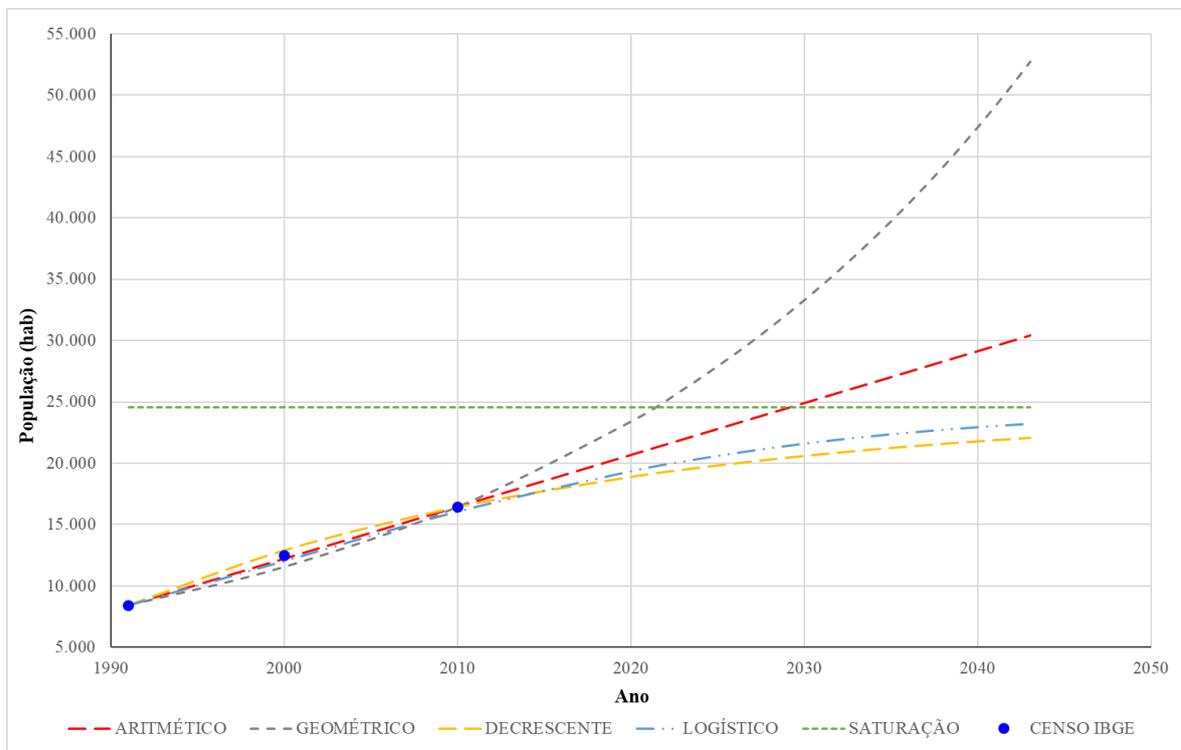
<b>ANO</b>	<b>CENSO IBGE</b>	<b>ARITM</b>	<b>GEOMÉ</b>	<b>DECRES</b>	<b>LOGÍST</b>	<b>SATUR</b>
1991	8.408	8.408	8.408	8.408	8.408	24.531
2000	12.447	12.216	11.554	12.905	12.030	24.531
2010	16.447	16.447	16.447	16.447	16.074	24.531
2020		20.678	23.413	18.910	19.371	24.531
2023		21.947	26.029	19.490	20.154	24.531
2024		22.370	26.965	19.670	20.393	24.531
2025		22.794	27.934	19.844	20.622	24.531
2026		23.217	28.938	20.011	20.841	24.531
2027		23.640	29.978	20.172	21.049	24.531
2028		24.063	31.056	20.328	21.248	24.531

2029		24.486	32.172	20.478	21.436	24.531
2030		24.909	33.329	20.622	21.616	24.531
2031		25.332	34.527	20.762	21.786	24.531
2032		25.755	35.768	20.896	21.948	24.531
2033		26.178	37.053	21.026	22.101	24.531
2034		26.602	38.385	21.151	22.246	24.531
2035		27.025	39.765	21.272	22.383	24.531
2036		27.448	41.194	21.388	22.513	24.531
2037		27.871	42.675	21.500	22.635	24.531
2038		28.294	44.209	21.608	22.751	24.531
2039		28.717	45.798	21.713	22.860	24.531
2040		29.140	47.444	21.813	22.963	24.531
2041		29.563	49.149	21.910	23.060	24.531
2042		29.986	50.916	22.004	23.151	24.531
2043		30.409	52.746	22.094	23.237	24.531

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fim de demonstrar com maior clareza os dados contidos na Tabela 19, elaborou-se o gráfico da Figura 15, que ilustra a previsão de evolução da população para os diferentes modelos matemáticos adotados.

Figura 15 - Curvas das projeções populacionais de Dianópolis



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para auxiliar a seleção do método mais adequado ao Grupo III, foi adotada uma extrapolação da projeção para os anos onde há censo demográfico do IBGE. Desses, foi

calculado o  $R^2$  a fim de determinar o ajuste do modelo estatístico aos valores observados das variáveis aleatórias (WALPOLE *et al*, 2008). A Tabela 20 mostra os valores de  $R^2$  calculados.

Tabela 20 -  $R^2$  das projeções realizadas frente aos dados dos censos do IBGE para Augustinópolis

ANO	ARITMÉTICO	GEOMÉTRICO	DECRESCENTE	LOGÍSTICO
$R^2$	0,9989	0,9911	0,9903	1,0000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de  $R^2$  expostos na Tabela 20 mostram que todas as projeções possuem  $R^2$  com valor maior que 0,99, apresentando uma boa previsão de crescimento. Todavia, uma das projeções possui valor de 1,00 para  $R^2$ , sendo portanto, a melhor projeção para representar a previsão de crescimento populacional do município de Dianópolis. Diante disto, foi selecionada a Projeção Logística para a cidade de Dianópolis.

Espera-se uma população máxima de 23.237 habitantes dentro do horizonte de 20 anos. Partindo do último censo, que foi em 2010, a população era de 16.447 habitantes. Isso significa um avanço de 6.790 habitantes.

## 5.2 Vazão de Projeto

Com base nas projeções populacionais desenvolvidas para cada uma das cidades, foi possível calcular a vazão média de projeto afluyente às estações de tratamento de esgoto. Na Tabela 22 são apresentados os cálculos realizados para estimativa das vazões de projeto para fim de plano. As vazões de projeto foram calculadas em função da população prevista para fim de plano de cada cidade, tendo sido considerado 20 anos para o horizonte de projeto.

Para cálculo das vazões de projeto, inicialmente foi necessário determinar a vazão de infiltração de cada cidade. Por sua vez, para cálculo da vazão de infiltração foi necessário prever a extensão de rede coletora de esgoto nas cidades. Para isto, foi previsto um índice de cobertura de atendimento com rede coletora de esgoto de 90% em relação à quantidade de domicílios, conforme previsto na meta do Novo Marco do Saneamento. Foi considerado a extensão de 20 metros de rede coletora para cada domicílio a ser atendido com ligação de esgoto, em coerência com o observado pelas concessionárias do estado do Tocantins. A Tabela 21 apresenta os valores para as vazões de infiltração para cada cidade, em função da extensão da rede coletora e da taxa de infiltração adotadas.

Por fim, para cálculo das vazões de projeto, foi consultado o Consumo Médio Per Capta de cada cidade no Diagnóstico de Água e Esgoto 2022 do SNIS (Sistema Nacional de Informações de Saneamento) e tendo sido adotado o valor médio de 130 L/hab por dia. Na Tabela 22 são apresentados os valores das vazões média, máxima diária e máxima horária, tendo sido adotados os coeficientes de  $K1 = 1,20$ ,  $K2 = 1,50$  e Coeficiente de Retorno =  $0,80$ .

Tabela 21 – Cálculo da vazão de infiltração para cada cidade estudada

<b>Vazão de Infiltração (L/s)</b>	<b>Brejinho de Nazaré</b>	<b>Peixe</b>	<b>Dianópolis</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	6.255	10.005	23.237
Quantidade de Habitantes por Domicílio (hab/domicílio) - IBGE 2010	3,41	3,15	3,70
Quantidade Total de Domicílios	1.834	3.176	6.280
Índice de Atendimento de Esgoto (%)	90%	90%	90%
Quantidade de Domicílios com Rede de Esgoto	1.651	2.859	5.652
Taxa de Extensão de Rede Coletora de Esgoto por Domicílio (m/domicílio)	20	20	20
Extensão Total de Rede Coletora de Esgoto (m)	33.018	57.174	113.047
Taxa de Contribuição de Infiltração (L/s.Km)	0,10	0,10	0,10
Vazão de Infiltração (L/s)	3,30	5,72	11,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 22 – Cálculo das vazões de projeto para cada cidade estudada

<b>Vazão de Projeto (L/s)</b>			
Consumo Médio per Capta de Água (L/hab.dia) - IN022 / SNIS	40,43	126,30	112,88
Consumo Médio per Capta de Água (L/hab.dia)	130,00	130,00	130,00
Coefficiente de Retorno	0,80	0,80	0,80
Índice de Atendimento de Esgoto (%)	90%	90%	90%
Coefficiente de Máxima Vazão Diária - K1	1,20	1,20	1,20
Coefficiente de Máxima Vazão Diária - K2	1,50	1,50	1,50
Vazão Média (L/s)	6,78	10,84	25,17
Vazão Média + Vazão de Infiltração (L/s)	10,08	16,56	36,48
Vazão Máxima Diária + Vazão de Infiltração (L/s)	11,43	18,72	41,51
Vazão Máxima Horária + Vazão de Infiltração (L/s)	15,50	25,23	56,62

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3 Pré-Dimensionamento das Estações de Tratamento de Esgoto

Neste subcapítulo são apresentados os pré-dimensionamentos realizados para as tecnologias de tratamento escolhidas para este trabalho, a saber: 1) Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa (Sistema Australiano); 2) Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação; e 3) Reator UASB seguido de Lodos Ativados. Os dimensionamentos foram realizados com base na literatura técnica tradicional, conforme orientações de Von Sperling e Fernandes (2014), Jordão e Pessoa (2017) e Metcalf e Eddy (2016), e feitos para cada grupo populacional.

A seguir são apresentados os principais critérios adotados para os dimensionamentos e os resultados são demonstrados de forma compilada em tabelas resumos com as principais dimensões e características de cada sistema. O detalhamento dos cálculos pode ser consultado nos apêndices que, por sua vez, apresenta cada etapa dos cálculos realizados.

#### 5.3.1 Sistema Australiano

O Sistema Australiano de tratamento de esgoto, também conhecido como sistema de Lagoas Anaeróbias seguidas de Lagoas Facultativas, é um método simples de tratamento e que possui como vantagens o baixo custo e a simplicidade de operação e manutenção. O dimensionamento deste sistema foi realizado com base nas orientações de Von Sperling (2014).

Os detalhes do dimensionamento do Sistema Australiano podem ser consultados nos **Apêndices A, B e C**, respectivamente para os Grupos Populacionais I, II e III. A Tabela 23 apresenta as principais características e dimensões para as lagoas após realização dos cálculos.

Inicialmente cabe esclarecer que foi proposto duas linhas de tratamento paralelas sendo, portanto, 2 (duas) Lagoas Anaeróbias e 2 (duas) Lagoas Facultativas. Esta configuração possui como vantagens o fato de possibilitar a implantação escalonada em fases, apesar de este trabalho ter considerado a implantação de uma única vez, e a possibilidade de paralisação de uma linha para manutenção enquanto o tratamento é realizado na outra linha.

Para as Lagoas Anaeróbias foi adotada uma profundidade útil de 4,5 m, com uma borda livre de 0,5 m totalizando, portanto, uma profundidade de 5,0 m. Isto é fundamental para garantir as condições anaeróbias de tratamento e evitar que esta lagoa trabalhe como uma lagoa facultativa. Além disso, foi utilizada a configuração do tipo quadrada, sendo portanto a relação comprimento / largura igual a 1. O tempo de detenção hidráulica observado é de 2 dias, sendo satisfatório e vantajoso para evitar a geração de odor.

Para as Lagoas Facultativas foi adotada uma profundidade útil de 1,8 m, com uma borda livre de 0,5 m, totalizando, portanto, uma profundidade de 2,3 m. Foi utilizada a relação comprimento / largura igual a 2,5. O tempo de detenção hidráulica considerado é de 10 dias.

O sistema completo tem como previsão alcançar a eficiência de remoção de DBO na faixa de 82,3%, reduzindo a DBO de entrada de 350 mg/L para 62 mg/L no efluente tratado. Este sistema é recomendado para corpos receptores com uma melhor capacidade de autodepuração, pois a DBO do efluente tratado ainda é relativamente alta e pelo fato de não ser tão eficaz na remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Possui uma estimativa de produção de lodo à uma taxa de 0,45 L/hab.d.

Tabela 23 – Tabela resumo do dimensionamento do Sistema Australiano

<b>Parâmetros</b>	<b>Grupo I</b>	<b>Grupo II</b>	<b>Grupo III</b>	<b>Unidade</b>
População de projeto (Pop)	6.255	10.005	23.237	hab
Vazão de projeto (Q)	11,43	18,72	41,51	L/s
Quantidade de lagoas anaeróbias	2	2	2	un
Comprimento de cada lagoa anaeróbia (L)	14,0	18,0	26,0	m
Largura de cada lagoa anaeróbia (B)	14,0	18,0	26,0	m
Profundidade útil das lagoas anaeróbias (H)	4,5	4,5	4,5	m
Profundidade total das lagoas anaeróbias (H)	5,0	5,0	5,0	m
Área de cada lagoa anaeróbia (A)	196	324	676	m <sup>2</sup>
Tempo detenção hidráulica lagoas anaeróbias (TDH)	2	2	2	dia
Quantidade de lagoas facultativas	2	2	2	un
Comprimento de cada lagoa facultativa (L)	83,00	106,00	158,00	m
Largura de cada lagoa facultativa (B)	33,00	43,00	63,00	m
Profundidade útil das lagoas facultativas (H)	1,8	1,8	1,8	m
Profundidade total das lagoas facultativas (H)	2,3	2,3	2,3	m
Área de cada lagoa facultativa (A)	2.739	4.558	9.954	m <sup>2</sup>
Área total útil	5.870	9.764	21.260	m <sup>2</sup>
Área total (lagoas + ruas + estrut. auxiliares)	7.337	12.205	26.575	m <sup>2</sup>
Tempo detenção hidráulica lagoas facultativas (TDH)	10	10	10	dia
DBO afluente do sistema	350	350	350	mg/L
DBO efluente do sistema	62	62	62	mg/L
Eficiência de remoção de DBO do sistema	82,30	82,30	82,30	%
Volume de lodo produzido por habitante	0,45	0,45	0,45	L/hab.d
Volume de lodo produzido anualmente	1.027	1.643	3.817	m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor.

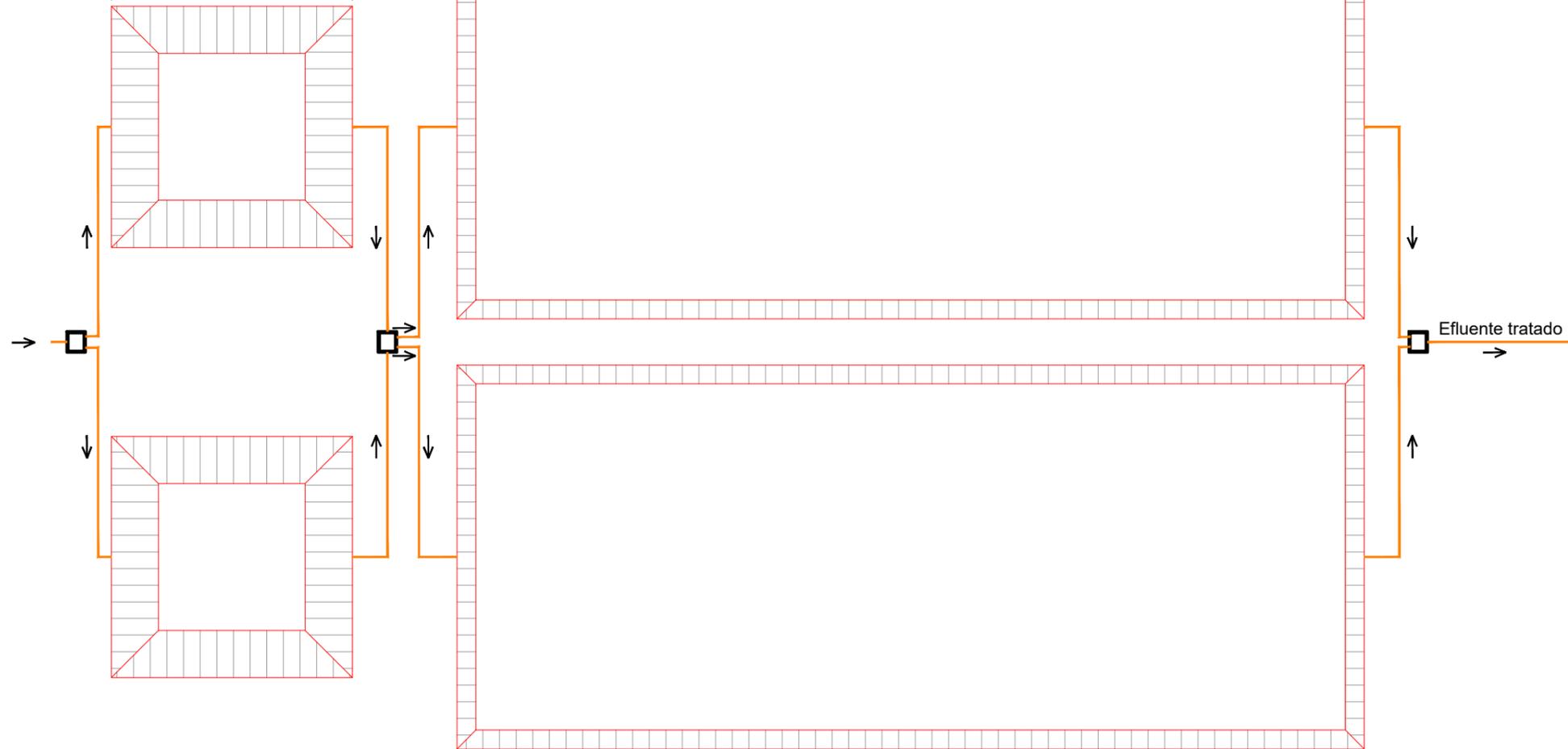
Com base nas dimensões obtidas através do dimensionamento, foi produzido o croqui esquemático a seguir. É possível perceber a simplicidade do sistema através da utilização das lagoas, tubulações, poços de visita e caixas de manobra.

LAGOAS ANAERÓBIAS

Grupo III - 26x26  
 Grupo II - 18x18  
 Grupo I - 14x14

LAGOAS FACULTATIVAS

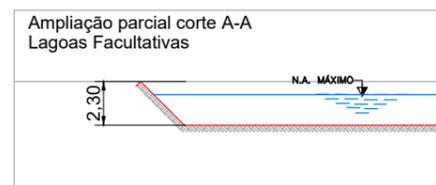
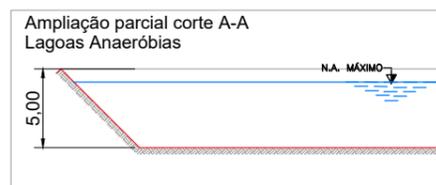
63 x 158  
 43 x 106  
 33 x 83



PLANTA BAIXA



CORTE A-A



PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL - UFT

DICIPLINA: SEMINÁRIO DE DEFESA

ESCALA: 1/500

ANL. SOBRE TEC. DE TRATAMENTO DE ESGOTO P/ AS CIDADES DO ESTADO DO TOCANTINS

DATA: OUTUBRO / 2023

PROJETO: SISTEMA AUSTRALIANO - LAGOA ANAERÓBIA + LAGOA FACULTATIVA

TURMA: 2021/1

ALUNO: ALEM FELIPE DA SILVA

PRANCHA: 01/01

### 5.3.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

O sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação é um aprimoramento do sistema australiano, ao qual é acrescentado uma lagoa de polimento ao final do sistema. Esta última lagoa tem como objetivo eliminar micro-organismos patogênicos, como coliformes, do efluente final, após a remoção da matéria orgânica. O dimensionamento deste sistema foi realizado com base nas orientações de Von Sperling (2014) e Metcalf e Eddy (2016..

Os detalhes do dimensionamento do sistema formado por Lagoas Facultativas seguidas de Lagoa de Maturação podem ser consultados nos **Apêndices D, E e F**, respectivamente para os Grupos Populacionais I, II e III. A Tabela 24 apresenta as principais características e dimensões para as lagoas após realização dos cálculos.

Inicialmente cabe esclarecer que foi adotada a configuração de 2 (duas) Lagoas Facultativas e 1 (uma) Lagoa de Maturação com chicanas. Esta configuração possui como vantagens o fato de possibilitar a implantação escalonada das lagoas em fases, apesar de este trabalho ter considerado a implantação de uma única vez, e a possibilidade de paralisação de uma linha para manutenção enquanto o tratamento é realizado na outra linha.

Para as Lagoas Facultativas foi adotada uma profundidade útil de 1,8 m, com uma borda livre de 0,5 m totalizando, portanto, uma profundidade de 2,3 m. Para configuração das dimensões foi adotada a relação comprimento / largura igual a 2,5.

Para a Lagoa de Maturação normalmente é utilizada uma profundidade menor, tendo sido adotada no presente estudo uma profundidade útil de 1,0 m, com uma borda livre de 0,5 m, totalizando, portanto, uma profundidade de 1,5 m. Para as dimensões da lagoa foi utilizada uma configuração quadrada, portanto de relação comprimento / largura igual a 1, e três canais formando as chicanas através de duas paredes divisórias. O tempo de detenção hidráulica considerado foi de 12 dias.

O sistema completo tem como previsão alcançar uma eficiência de remoção de DBO um pouco maior que a do Sistema Australiano, chegando a 83,2% de remoção. O diferencial do sistema de lagoa facultativa seguida por lagoa de maturação é o polimento que esta última lagoa proporciona ao efluente, principalmente no que diz respeito à eliminação de patógenos, como, por exemplo, os coliformes fecais. Para este caso, foi calculada a previsão de remoção de 99,99% de remoção de coliformes fecais. Possui uma estimativa de produção de lodo à uma taxa de 0,40 L/hab.d.

Um ponto de grande importância neste sistema é a demanda de área com grandes dimensões para sua implantação. No presente estudo verificou-se que o sistema de Lagoa

Facultativa seguida de Lagoa de Maturação exigiu uma área aproximadamente 6 (seis) vezes maior do que aquela necessária para implantação do Sistema Australiano. Esta condição pode se tornar um fator desafiador para viabilizar a implantação deste sistema, uma vez que os altos custos com aquisição de área podem tornar esta alternativa menos atraente economicamente.

A Tabela 24 apresenta de forma resumida as principais dimensões e resultados para o sistema provenientes do dimensionamento realizado para os Grupos Populacionais.

Tabela 24 – Tabela resumo do dimensionamento para o sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

<b>Parâmetros</b>	<b>Grupo I</b>	<b>Grupo II</b>	<b>Grupo III</b>	<b>Unidade</b>
Vazão de projeto (Q)	11,43	18,72	41,51	L/s
Quantidade de lagoas facultativas	2	2	2	un
Comprimento de cada lagoa facultativa (L)	131,00	168,00	251,00	m
Largura de cada lagoa facultativa (B)	53,00	67,00	100,00	m
Profundidade útil das lagoas facultativas (H)	1,80	1,80	1,80	m
Profundidade total das lagoas facultativas (H)	2,30	2,30	2,30	m
Área de cada lagoa facultativa (A)	6.943,00	11.256,00	25.100,00	m <sup>2</sup>
Tempo detenção hidráulica lagoas facultativas (TDH)	25,20	25,20	25,20	dia
Quantidade de lagoas de maturação	1	1	1	un
Comprimento da lagoa de maturação (L)	109,00	139,00	207,00	m
Largura da lagoa de maturação (B)	109,00	139,00	207,00	m
Profundidade útil da lagoa de maturação (H)	1,00	1,00	1,00	m
Profundidade total da lagoas de maturação (H)	1,50	1,50	1,50	m
Área da lagoa de maturação (A)	11.881,00	19.321,00	42.849,00	m <sup>2</sup>
Área total útil	37.648,00	61.154,00	135.898,00	m <sup>2</sup>
Área total (lagoas + ruas + estrut. auxiliares)	47.060,00	76.442,50	169.872,50	m <sup>2</sup>
Tempo detenção hidráulica lagoa de maturação (TDH)	12,00	12,00	12,00	dia
DBO afluente do sistema	350,00	350,00	350,00	mg/L
DBO efluente do sistema	58,00	58,00	58,00	mg/L
Eficiência de remoção de DBO do sistema	83,00	83,00	83,00	%
Eficiência de remoção de coliformes fecais	99,99	99,99	99,99	%
Volume de lodo produzido por habitante	0,40	0,40	0,40	L/hab.d
Volume de lodo produzido anualmente	913	1.461	3.393	m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas dimensões obtidas através do dimensionamento, foi produzido o croqui esquemático a seguir, onde é possível perceber os altos valores para largura e comprimento.

LAGOAS FACULTATIVAS

Grupo III - 100 x 251

Grupo II - 67 x 168

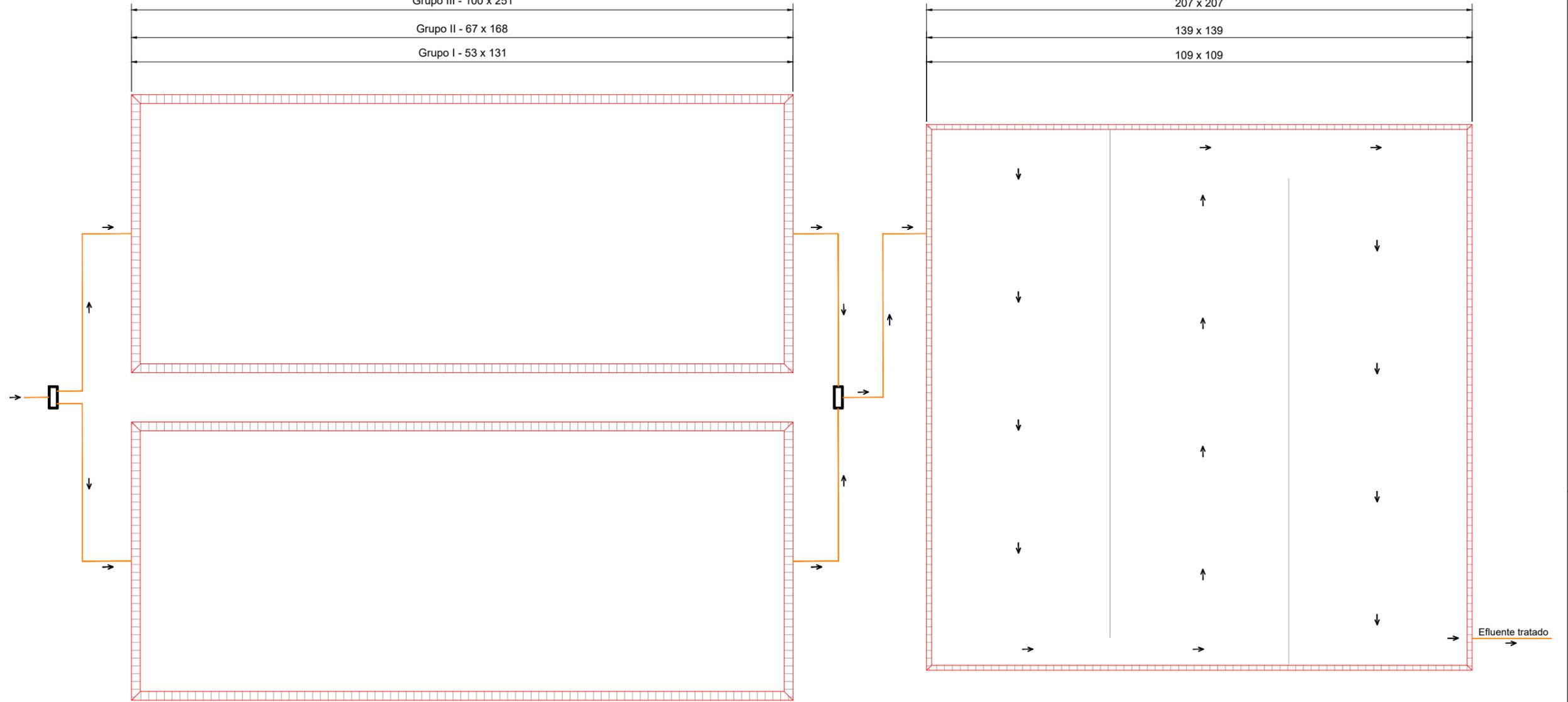
Grupo I - 53 x 131

LAGOA DE MATURAÇÃO

207 x 207

139 x 139

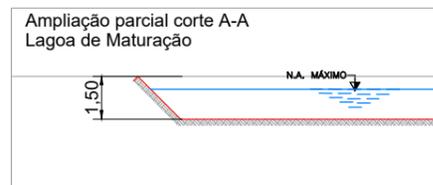
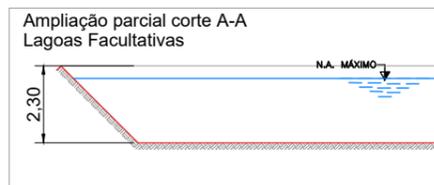
109 x 109



PLANTA BAIXA



CORTE A-A



PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL - UFT

DICIPLINA: SEMINÁRIO DE DEFESA	ESCALA: S/E
ANL. SOBRE TEC. DE TRATAMENTO DE ESGOTO P/ AS CIDADES DO ESTADO DO TOCANTINS	DATA: OUTUBRO / 2023
PROJETO: LAGOA FACULTATIVA + LAGOA DE MATURAÇÃO	TURMA: 2021/1
ALUNO: ALEM FELIPE DA SILVA	PRANCHA: 01/01

### 5.3.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados

O sistema formado por Reator UASB seguido de Lodos Ativados é uma tecnologia de tratamento de esgoto largamente utilizada em estações no mundo e no Brasil. As principais vantagens deste sistema consistem nas altas eficiências de remoção de carga orgânica e menor quantidade de área para sua implantação. Em relação às lagoas de estabilização, este sistema possui um grau elevado de mecanização, operação e manutenção. O dimensionamento deste sistema foi realizado com base nas orientações de Jordão e Pessoa (2017).

Os detalhes do dimensionamento do sistema formado por Reator UASB seguido de Lodos Ativados podem ser consultados nos **Apêndices G, H e I**, respectivamente para os Grupos Populacionais I, II e III. A Tabela 25 apresenta as principais características e dimensões para as reatores UASB, tanque de aeração e decantador secundário.

Primeiro vale mencionar que a configuração do sistema foi composta por duas linhas de tratamento, sendo formadas por 1 (um) Reator UASB subdividido em 4 (quatro) células, por 2 (dois) Tanques de Aeração e por 2 (dois) Decantadores Secundários. Neste formato há a vantagem de se ter a possibilidade de realizar a implantação escalonada do sistema em fases, apesar de este trabalho ter considerado a implantação de uma única vez, e a possibilidade de paralisação de uma linha para manutenção enquanto o tratamento é realizado na outra linha.

Para o Reator UASB foi considerado como tempo de detenção hidráulica o valor de 8,0 horas, coerente com o preconizado na literatura. Foi adotada uma altura útil de 5,0 m, com uma borda livre de 1,0 m, totalizando, portanto, a altura de 6,0 m. Para configuração das dimensões foi adotada a relação comprimento / largura igual a 1, sendo desta forma o reator do tipo quadrado. Além disso, o UASB foi considerado com um tanque quadrado subdividido em 4 células através de paredes intermediárias. Foi verificada também a velocidade ascensional do efluente no interior no Reator, tendo sido obtido o valor de 0,96 m/h, coerente com o previsto nos critérios de dimensionamento.

Para o Tanque de Aeração foi considerada uma altura menor do que o Reator UASB com objetivo de favorecer carga hidráulica para fluxo do efluente por gravidade, sem a necessidade da utilização de bombeamento. Foi adotada uma altura útil de 3,5 m, com uma borda livre de 0,5 m, totalizando, portanto, a altura de 4,0 m. Em relação à configuração foi adotada no formato retangular, com relação comprimento / largura na faixa de 2,2. Em relação à idade do lodo, foi considerado o valor de 8 dias.

Em relação à aeração dos Tanques de Aeração, foram considerados aeradores mecânicos instalados na parte superior das unidades. Além disso, foram adotados 02 aeradores por Tanque

de Aeração, sendo, portanto, no total 4 (quatro) unidades de aeradores. Os cálculos de demanda de oxigênio, potência requerida para os aeradores, quantidade de aeradores, potência consumida anualmente dentre outros itens, podem ser consultados na Tabela 25.

No que diz respeito aos Decantadores Secundários, foi adotada a mesma altura do Tanque de Aeração, sendo 3,5 m a altura útil, com borda livre de 0,5 m e, portanto, 4,0 m a altura total. Foi considerado o decantador do tipo de fundo cônico com extração de lodo por carga hidráulica e com módulos lamelares de decantação de alta taxa. Todo o sistema tem uma previsão estimada de produção de lodo à uma taxa de 1,10 L/hab.d, sendo superior quando comparada com a taxa de produção de lodo das lagoas de estabilização avaliadas.

Foram previstas para o sistema as eficiências globais para remoção de DBO na faixa de 90% e para remoção de Nitrogênio na faixa de 85%. Em relação às lagoas de estabilização, o Reator UASB seguido de Lodos Ativados proporciona um efluente com qualidade elevada, sendo, portanto, mais indicado para situações nas quais o corpo receptor possui capacidade reduzida de autodepuração.

Vale observar que este sistema, quando comparado com as lagoas de estabilização avaliadas no presente estudo, demanda uma quantidade consideravelmente maior de energia elétrica, principalmente para o funcionamento dos aeradores. Diante disto, para este tipo de sistema é fundamental a adoção de alternativas de aeração mais eficientes e a utilização de formas de compra de energia mais viáveis como, por exemplo, mercado livre de energia ou compensação de energia solar. Além disso, cabe mencionar que o nível de manutenção e mecanização deste sistema também é consideravelmente maior do que quando comparado com o das lagoas de estabilização.

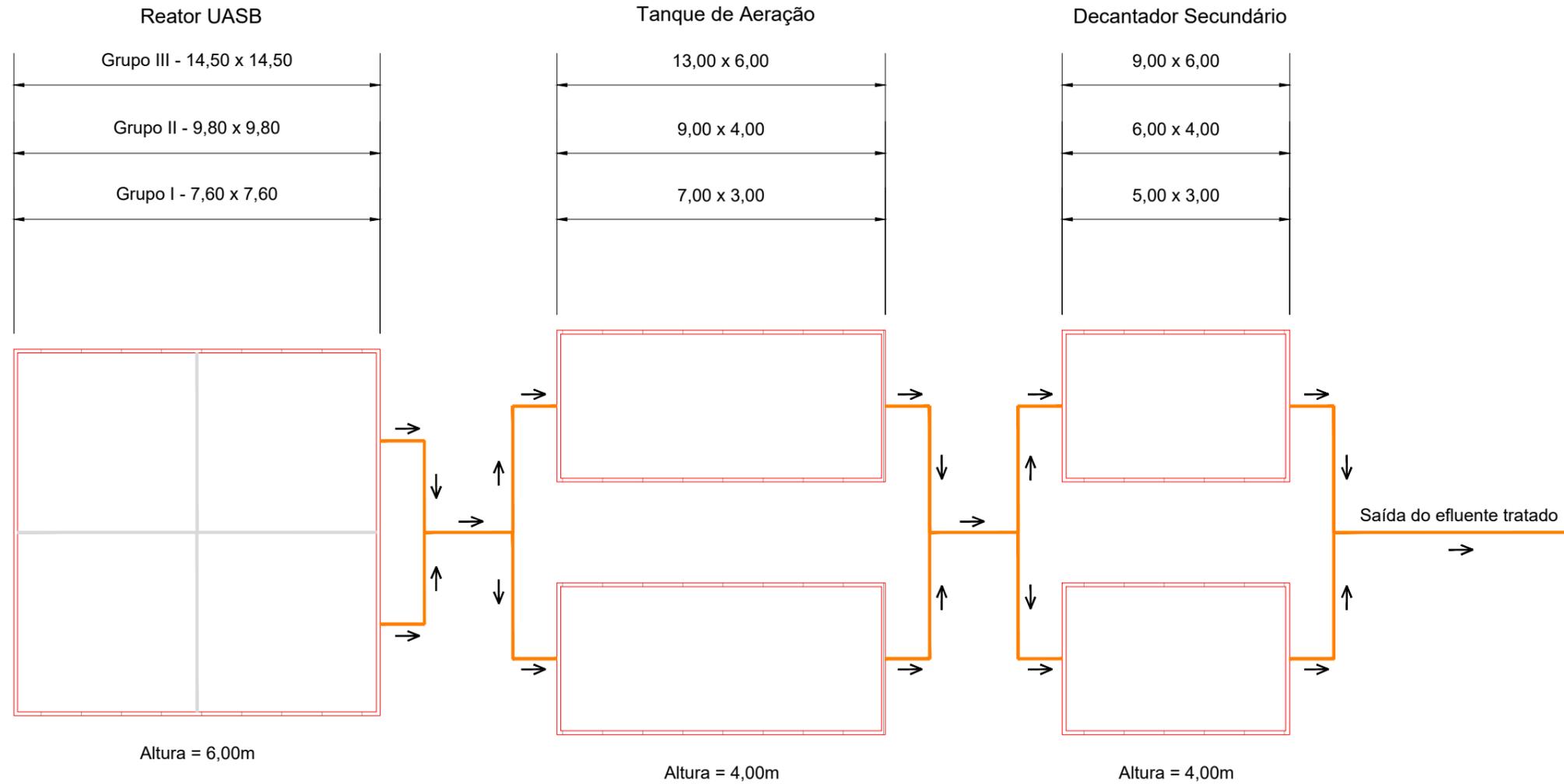
A Tabela 25 apresenta os valores das principais características do sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados dimensionado para os Grupos Populacionais em estudo. Além disso, foi elaborado e é apresentado a seguir o croqui esquemático de disposição e principais dimensões das unidades do sistema formado pelo Reator UASB, Tanques de Aeração e Decantadores Secundários.

Tabela 25 – Tabela resumo do dimensionamento de Reator UASB seguido de Lodos Ativados

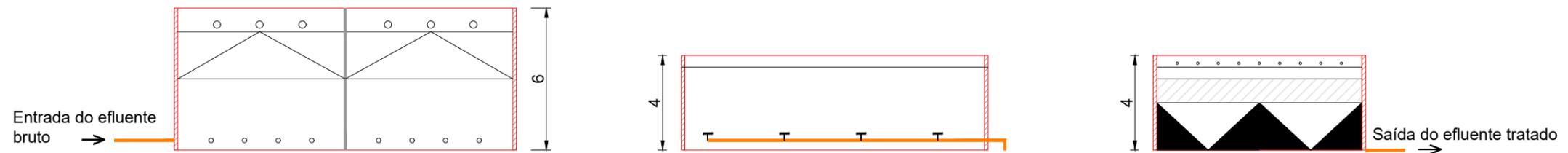
<b>Parâmetros</b>	<b>Grupo I</b>	<b>Grupo II</b>	<b>Grupo III</b>	<b>Unidade</b>
População (Pop)	6.255	10.005	23.237	hab
Vazão de projeto (Q)	11,43	18,72	41,51	L/s
Quantidade de células do Reator UASB	4	4	4	un
Comprimento do Reator UASB (L)	7,6	9,8	14,5	m
Largura do Reator UASB (B)	7,6	9,8	14,5	m
Altura útil do Reator UASB (H)	5,0	5,0	5,0	m
Altura total do Reator UASB (H)	6,0	6,0	6,0	m
Área do Reator UASB (A)	58,1	95,5	210,3	m <sup>2</sup>
Quantidade de Tanques de Aeração	2	2	2	un
Comprimento de cada Tanque de Aeração (L)	7,0	9,0	13,0	m
Largura de cada Tanque de Aeração (L)	3,0	4,0	6,0	m
Profundidade útil dos Tanques de Aeração (H)	3,5	3,5	3,5	m
Profundidade total dos Tanques de Aeração (H)	4,0	4,0	4,0	m <sup>2</sup>
Área de cada Tanque de Aeração (A)	21,0	36,0	78,0	m <sup>2</sup>
Quantidade de Aeradores	4,0	4,0	4,0	un
Potência comercial de cada aerador	5,0	7,5	15,0	CV
Potência total instalada	20,0	30,0	60,0	CV
Potência total consumida por ano	100.703	165.435	364.498	kWh
Quantidade de Decantadores Secundários	2	2	2	un
Comprimento de cada Decantador Secundário (L)	5,0	6,0	9,0	m
Largura de cada Decantador Secundário (L)	3,0	4,0	6,0	m
Profundidade útil Decantadores Secundários (H)	3,5	3,5	3,5	m
Profundidade dos Decantadores Secundários (H)	4,0	4,0	4,0	m <sup>2</sup>
Área de cada Decantador Secundário (A)	15,0	24,0	54,0	m <sup>2</sup>
Volume anual de lodo a ser disposto (m <sup>3</sup> )	186	306	674	m <sup>3</sup>
Área útil da estação (m <sup>2</sup> )	130	215	474	m <sup>2</sup>
Área total da estação (m <sup>2</sup> ) - (+ 50%)	260	431	949	m <sup>2</sup>
Eficiência de remoção de DBO do sistema	90,00	90,00	90,00	%
Volume de lodo produzido por habitante	1,10	1,10	1,10	L/hab.d
Volume de lodo produzido anualmente	2.511	4.017	9.330	m <sup>3</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor.

# Reator UASB + Lodos Ativos



PLANTA BAIXA  
 ESCALA: 1/200



CORTE A-A  
 ESCALA: 1/200

PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL - UFT	
DICIPLINA: SEMINÁRIO DE DEFESA	ESCALA: 1/200
ANL. SOBRE TEC. DE TRATAMENTO DE ESGOTO P/ AS CIDADES DO ESTADO DO TOCANTINS	DATA: OUTUBRO / 2023
PROJETO: PROJETO: REATOR UASB + LODOS ATIVADOS	TURMA: 2021/1
ALUNO: ALEM FELIPE DA SILVA	PRANCHA: 01/01

## 5.4 Avaliação de CAPEX

O custo de implantação (CAPEX) para a construção de estações de tratamento de esgoto pode variar significativamente com base em diversos fatores, incluindo o tamanho da estação, a tecnologia utilizada, as condições locais do terreno, os requisitos regulatórios, e as premissas adotadas. Neste item será apresentadas as características do levantamento dos custos referentes à implantação das tecnologias de tratamento avaliadas no presente trabalho. É importante citar que foi considerado a implantação dos sistemas de forma integral no primeiro ano.

Neste sentido foram utilizados orçamentos analíticos, propostas comerciais e banco de preços para levantamento dos custos unitários de implantação com base no conceito do Custo Unitário Básico (CUB) - NBR 12.721. Para subsidiar a previsão deste custos, foram avaliados: a) orçamentos analíticos e banco de preços de implantação de ETE's de uma concessionária de água e esgoto da região Norte, b) quatro orçamentos de uma outra concessionária privada da região centro oeste, c) banco de preços da SABESP, e d) propostas comerciais.

### 5.4.1 Sistema Australiano

A previsão do custo de implantação do sistema australiano foi realizada com base nos quantitativos provenientes do pré-dimensionamento e nos custos unitários e proporções baseados em outros orçamentos já existentes para esta mesma tecnologia, conforme segue apresentado na Tabela 26.

Como pode ser observado, o item com maior representatividade no CAPEX deste sistema é a execução da lagoa facultativa, em função do alto volume de escavação e alta quantidade de manta PEAD a ser instalada. Percebe-se que o custo para aquisição da área possui uma representatividade considerável, na faixa de 8% do valor total. Desta forma, é possível observar a indicação da literatura clássica que aponta a necessidade de grandes quantidades de área para implantação dos sistemas de lagoas de estabilização, quando comparadas com outros sistemas.

Os itens referentes à execução das lagoas anaeróbias, execução das lagoas facultativas e aquisição da área foram estimados com base na área calculada através do pré-dimensionamento. Os demais itens foram previstos com base em suas respectivas proporções presentes em outros orçamentos similares. Além disso, é possível perceber também o baixo custo referente à implantação do sistema de instalações elétricas, em função de constituir basicamente na iluminação e alimentação da sala de operação.

Tabela 26 – Tabela resumo do CAPEX para o Sistema Australiano

CAPEX			GRUPO I			GRUPO II			GRUPO III			%
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	
1	Aquisição de área - próxima à zona urbana	ha	0,73	R\$ 150.000	R\$ 110.063	1,22	R\$ 150.000	R\$ 183.075	2,66	R\$ 150.000	R\$ 398.625	8%
2	Serviços preliminares - placa, mobilização, desmatamento e limpeza mecanizada (~ 3%)	vb	1	R\$ 50.000	R\$ 50.000	1	R\$ 70.000	R\$ 70.000	1	R\$ 140.000	R\$ 140.000	3%
3	Lagoa anaeróbia - escavação, manta PEAD e outros - prof. 5,0 m	m²	392	R\$ 175	R\$ 68.600	648	R\$ 175	R\$ 113.400	1.352	R\$ 175	R\$ 236.600	4%
4	Lagoa facultativa - escavação, manta PEAD e outros - prof. 2,3 m	m²	5.478	R\$ 150	R\$ 821.700	9.116	R\$ 150	R\$ 1.367.400	19.908	R\$ 150	R\$ 2.986.200	57%
5	Instalações hidráulicas, poços de visita e caixas de passagem (~ 10%)	vb	1,00	R\$ 150.000	R\$ 150.000	1,00	R\$ 250.000	R\$ 250.000	1,00	R\$ 500.000	R\$ 500.000	10%
6	Instalações elétricas (~ 4%)	vb	1,00	R\$ 60.000	R\$ 60.000	1,00	R\$ 100.000	R\$ 100.000	1,00	R\$ 200.000	R\$ 200.000	4%
7	Urbanização - meio-fio, sarjetas, ruas, alambrado e calçadas (~ 15%)	vb	1,00	R\$ 220.000	R\$ 220.000	1,00	R\$ 375.000	R\$ 375.000	1,00	R\$ 800.000	R\$ 800.000	15%
			<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 1.480.363</b>	<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 2.458.875</b>	<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 5.261.425</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 5.4.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

De forma semelhante à tecnologia anterior, a previsão do custo de implantação do sistema de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação foi realizada com base nos quantitativos provenientes do pré-dimensionamento e nos custos unitários e proporções baseados em outros orçamentos. A estimativa do orçamento de implantação para esta alternativa pode ser observada na Tabela 27.

Pode ser observado no orçamento que os itens com maior representatividade são, respectivamente, a execução das lagoas facultativas, a execução da lagoa de maturação e a aquisição da área. Assim como o Sistema Australiano, os maiores custos são referentes à execução das lagoas em função dos altos volumes necessários de escavação e grande quantidade de manta PEAD a ser instalada.

Vale citar algumas observações identificadas ao se comparar este sistema com o Sistema Australiano: a) exige uma quantidade de área aproximadamente 6 vezes maior, b) a aquisição de área apresenta uma representatividade maior em relação ao custo total, na faixa de 12% neste caso, e c) um custo total aproximadamente 3,5 vezes maior. Diante disto, é possível notar que a adoção desta alternativa, em detrimento da alternativa do Sistema Australiano, do ponto de vista de CAPEX justifica-se apenas frente à uma maior restrição ambiental no que diz respeito à baixa capacidade de autodepuração do corpo receptor.

Os itens referentes à execução das lagoas facultativas, execução da lagoa de maturação e aquisição da área foram estimados com base na área calculada através do pré-dimensionamento. As cortinas divisórias das chicanas foram consideradas na configuração de placas de concreto pré-moldadas e estimadas com base em sua extensão linear. Os demais itens foram previstos com base em suas respectivas proporções presentes em outros orçamentos similares. Além disso, é possível perceber também o baixo custo referente à implantação do sistema de instalações elétricas, em função de constituir basicamente na iluminação da área externa e alimentação da sala de operação.

Tabela 27 – Tabela resumo do CAPEX para o Sistema de Lagoa Facultativa seguido de Lagoa de Maturação

CAPEX			GRUPO I			GRUPO II			GRUPO III			%
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	
1	Aquisição de área - próxima à zona urbana	ha	4,71	R\$ 150.000	R\$ 705.900	7,64	R\$ 150.000	R\$ 1.146.638	16,99	R\$ 150.000	R\$ 2.548.088	12%
2	Serviços preliminares - placa, mobilização, desmatamento e limpeza mecanizada (~ 3%)	vb	1,00	R\$ 150.000	R\$ 150.000	1,00	R\$ 175.000	R\$ 250.000	1,00	R\$ 600.000	R\$ 600.000	3%
3	Lagoa facultativa - escavação, manta PEAD e outros - prof. 2,3 m	m²	13.886	R\$ 150	R\$ 2.082.900	22.512	R\$ 150	R\$ 3.376.800	50.200	R\$ 150	R\$ 7.530.000	37%
4	Lagoa maturação - escavação, manta PEAD e outros - prof. 1,5 m	m²	11.881	R\$ 120	R\$ 1.425.720	19.321	R\$ 120	R\$ 2.318.520	42.849	R\$ 120	R\$ 5.141.880	25%
5	Cortinas divisórias das chicanas da lagoa de maturação	m	300	R\$ 250	R\$ 75.000	417	R\$ 250	R\$ 104.250	621	R\$ 250	R\$ 155.250	1%
6	Instalações hidráulicas, poços de visita e caixas de passagem (~ 10%)	vb	1,00	R\$ 550.000	R\$ 550.000	1,00	R\$ 900.000	R\$ 900.000	1,00	R\$ 2.000.000	R\$ 2.000.000	10%
7	Instalações elétricas (~ 3%)	vb	1,00	R\$ 170.000	R\$ 170.000	1,00	R\$ 300.000	R\$ 300.000	1,00	R\$ 1.000.000	R\$ 600.000	3%
8	Urbanização - meio-fio, sarjetas, ruas, alambrado e calçadas (~ 10%)	vb	1,00	R\$ 550.000	R\$ 550.000	1,00	R\$ 900.000	R\$ 900.000	1,00	R\$ 2.000.000	R\$ 2.000.000	10%
			<b>TOTAL</b>			<b>TOTAL</b>			<b>TOTAL</b>			<b>100%</b>
					<b>R\$ 5.709.520</b>			<b>R\$ 9.296.208</b>			<b>R\$ 20.575.218</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.4.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados

Semelhantemente às estimativas anteriores de CAPEX, a previsão do custo de implantação do sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados foi realizada com base nos quantitativos provenientes do pré-dimensionamento e nos custos unitários e proporções baseados em outros orçamentos. É importante citar que foi considerada a execução dos tanques do Reator UASB, dos Tanques de Aeração e dos Decantadores Secundários em estrutura de concreto armado. A estimativa do orçamento de implantação para esta alternativa pode ser observada na Tabela 28.

Pode ser observado no orçamento que os itens com maior representatividade são, respectivamente na seguinte ordem: a execução do Reator UASB, a execução dos Tanques de Aeração e por fim a execução dos Decantadores Secundários. Para esta alternativa é possível notar uma maior representatividade para o item de instalações elétricas em função do nível maior de mecanização e instalação de equipamentos.

Nota-se algumas análises ao se comparar este sistema com as outras alternativas de lagoas de estabilização: a) apresenta um custo de implantação de aproximadamente 2,3 vezes maior que àquele para o Sistema Australiano e de aproximadamente 60% daquele necessário para o sistema de Lagoas Facultativas, b) a aquisição de área apresenta uma representatividade consideravelmente menor em relação às demais alternativas. Diante disto, é possível notar que a adoção desta alternativa, em detrimento da alternativa do Sistema Australiano, do ponto de vista de CAPEX justifica-se apenas frente à uma maior restrição ambiental no que diz respeito à baixa capacidade de autodepuração do corpo receptor. Em relação ao sistema de Lagoas Facultativas seguida de Lagoa de Maturação apresenta-se, do ponto de vista do CAPEX, como uma alternativa mais viável.

Os itens referentes à execução do Reator UASB, Tanques de Aeração, Decantadores Secundários e aquisição da área foram estimados com base na área calculada através do pré-dimensionamento. Os demais itens foram previstos com base em suas respectivas proporções presentes em outros orçamentos similares.

Tabela 28 – Tabela resumo do CAPEX para o Sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados

CAPEX			GRUPO I			GRUPO II			GRUPO III			%
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUB	CUSTO TOTAL	
1	Aquisição de área - muito próxima à zona urbana	m <sup>2</sup>	260	R\$ 300	R\$ 78.039	431	R\$ 300	R\$ 129.272	949	R\$ 300	R\$ 284.550	2%
2	Reator UASB - concreto armado e altura de 6,0 metros	m <sup>2</sup>	58	R\$ 20.000	R\$ 1.161.288	95	R\$ 20.000	R\$ 1.909.058	210	R\$ 20.000	R\$ 4.205.000	35%
3	Tanque de Aeração - concreto armado e altura de 4,0 metros	m <sup>2</sup>	42	R\$ 15.000	R\$ 630.000	72	R\$ 15.000	R\$ 1.080.000	156	R\$ 15.000	R\$ 2.340.000	19%
4	Decantador Secundário - concreto armado e altura de 4,0 metros	m <sup>2</sup>	30	R\$ 17.500	R\$ 525.000	48	R\$ 17.500	R\$ 840.000	108	R\$ 17.500	R\$ 1.890.000	16%
5	Aeradores - 5 CV	un	4,0	R\$ 20.000	R\$ 80.000	4,0	R\$ 40.000	R\$ 160.000	4,0	R\$ 65.000	R\$ 260.000	2%
6	Instalações hidráulicas, poços de visita e caixas de passagem (~ 10%)	vb	1,00	R\$ 350.000	R\$ 350.000	1,00	R\$ 550.000	R\$ 550.000	1,00	R\$ 1.200.000	R\$ 1.200.000	10%
7	Instalações elétricas (~ 10%)	vb	1,00	R\$ 350.000	R\$ 350.000	1,00	R\$ 550.000	R\$ 550.000	1,00	R\$ 1.200.000	R\$ 1.200.000	10%
8	Urbanização - meio-fio, sarjetas, ruas, alambrado e calçadas (~ 7%)	vb	1,00	R\$ 250.000	R\$ 250.000	1,00	R\$ 400.000	R\$ 400.000	1,00	R\$ 800.000	R\$ 800.000	7%
			<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 3.424.327</b>	<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 5.618.330</b>	<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 12.179.550</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.5 Avaliação de OPEX e de VPL

Para avaliação da viabilidade econômica de um sistema de tratamento de esgoto não basta apenas analisar os custos destinados à realização dos investimentos (CAPEX). É fundamental também que seja realizada a análise dos custos operacionais (OPEX) em busca da escolha de uma alternativa de tratamento que seja eficiente economicamente e apresente boa performance operacional. Diante disto, é indispensável prever os custos anuais de operação e trazê-los a valor presente através da correção conforme uma taxa média de atratividade (TMA) usualmente adotada para investimentos na área de saneamento, que no caso da presente trabalho foi considerada uma taxa no valor de 12%.

O levantamento dos custos operacionais e de manutenção contou com o suporte do robusto banco de dados de informações técnicas operacionais e financeiras sobre mais de 20 estações de tratamento de esgoto de uma concessionária privada de água e esgoto da região Norte do país. Isto possibilitou a consulta acerca do desempenho e experiência na operação de ETE's no que diz respeito ao consumo de energia elétrica, ao consumo de produtos químicos, à mão de obra para operação e manutenção, à limpeza e roçagem de áreas e ao transporte e destinação de resíduos e de lodo.

### 5.5.1 Sistema Australiano

A Tabela 29 apresenta a previsão anual de OPEX para o Sistema Australiano para cada Grupo populacional. Este levantamento foi realizado com base nos quantitativos provenientes do pré-dimensionamento e com base nos custos unitários identificados no mercado atual e no banco de dados de informações e indicadores técnicos e financeiros de da concessionária privada de água e esgoto da região Norte.

Após o levantamento do OPEX anual, foi realizado o cálculo do VPL para cada ano de operação, considerando-se para isso um período de projeto de 20 anos de operação. A Tabela 30 apresenta a previsão do VPL para cada Grupo Populacional, considerando o CAPEX no primeiro ano e o OPEX anual descontado à uma taxa de atratividade de 12%

É possível perceber que para o Sistema Australiano o OPEX descontado acumulado possui maior representatividade quando comparado com o CAPEX. Observa-se ainda que os principais custos operacionais desta tecnologia são referentes à remoção, transporte e destinação de lodo.

Tabela 29 – Tabela resumo do OPEX para o Sistema Australiano

OPEX ANUAL			GRUPO I			GRUPO II			GRUPO III				
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL		
1	Pessoal - Operador de estação de tratamento	un	2,00	R\$ 60.000	R\$ 120.000	2,00	R\$ 60.000	R\$ 120.000	2,00	R\$ 60.000	R\$ 120.000		
2	Energia Elétrica - Iluminação	kWh	12.000	R\$ 1,10	R\$ 13.200	18.000	R\$ 1,10	R\$ 19.800	24.000	R\$ 1,10	R\$ 26.400		
3	Serviços - Transporte e destinação de resíduos	ton	36,00	R\$ 300	R\$ 10.800	72,00	R\$ 300	R\$ 21.600	108,00	R\$ 300	R\$ 32.400		
4	Serviços - Dragagem de lodo	ton	1.027	R\$ 110	R\$ 113.015	1.643	R\$ 110	R\$ 180.772	3.817	R\$ 110	R\$ 419.841		
5	Serviços - Transporte e destinação de lodo	ton	205	R\$ 300	R\$ 61.644	329	R\$ 300	R\$ 98.603	763	R\$ 300	R\$ 229.004		
6	Serviços - Limpeza e roçagem da área	m²	4.403	R\$ 1,00	R\$ 4.403	7.323	R\$ 1,00	R\$ 7.323	15.945	R\$ 1,00	R\$ 15.945		
7	Materiais - Produto químico	kg	360,00	R\$ 1,20	R\$ 432	720,00	R\$ 1,20	R\$ 864	1080,00	R\$ 1,20	R\$ 1.296		
					<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 323.494</b>				<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 448.962</b>		
									<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 844.887</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 30 – Tabela do VPL para o Sistema Australiano

ANO		GRUPO I				GRUPO II				GRUPO III			
		(CAPEX)		(OPEX)		(CAPEX)		(OPEX)		(CAPEX)		(OPEX)	
		CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE						
0	2023	R\$ 1.480.363	R\$ 1.480.363	R\$ 323.494	R\$ 323.494	R\$ 2.458.875	R\$ 2.458.875	R\$ 448.962	R\$ 448.962	R\$ 5.261.425	R\$ 5.261.425	R\$ 844.887	R\$ 844.887
1	2024	-	-	R\$ 323.494	R\$ 288.833	-	-	R\$ 448.962	R\$ 400.859	-	-	R\$ 844.887	R\$ 754.363
2	2025	-	-	R\$ 323.494	R\$ 257.887	-	-	R\$ 448.962	R\$ 357.910	-	-	R\$ 844.887	R\$ 673.539
3	2026	-	-	R\$ 323.494	R\$ 230.256	-	-	R\$ 448.962	R\$ 319.562	-	-	R\$ 844.887	R\$ 601.374
4	2027	-	-	R\$ 323.494	R\$ 205.586	-	-	R\$ 448.962	R\$ 285.323	-	-	R\$ 844.887	R\$ 536.941
5	2028	-	-	R\$ 323.494	R\$ 183.559	-	-	R\$ 448.962	R\$ 254.753	-	-	R\$ 844.887	R\$ 479.412
6	2029	-	-	R\$ 323.494	R\$ 163.892	-	-	R\$ 448.962	R\$ 227.458	-	-	R\$ 844.887	R\$ 428.046
7	2030	-	-	R\$ 323.494	R\$ 146.332	-	-	R\$ 448.962	R\$ 203.088	-	-	R\$ 844.887	R\$ 382.184
8	2031	-	-	R\$ 323.494	R\$ 130.654	-	-	R\$ 448.962	R\$ 181.328	-	-	R\$ 844.887	R\$ 341.236
9	2032	-	-	R\$ 323.494	R\$ 116.655	-	-	R\$ 448.962	R\$ 161.900	-	-	R\$ 844.887	R\$ 304.675
10	2033	-	-	R\$ 323.494	R\$ 104.156	-	-	R\$ 448.962	R\$ 144.554	-	-	R\$ 844.887	R\$ 272.031
11	2034	-	-	R\$ 323.494	R\$ 92.997	-	-	R\$ 448.962	R\$ 129.066	-	-	R\$ 844.887	R\$ 242.885
12	2035	-	-	R\$ 323.494	R\$ 83.033	-	-	R\$ 448.962	R\$ 115.237	-	-	R\$ 844.887	R\$ 216.861
13	2036	-	-	R\$ 323.494	R\$ 74.136	-	-	R\$ 448.962	R\$ 102.890	-	-	R\$ 844.887	R\$ 193.626
14	2037	-	-	R\$ 323.494	R\$ 66.193	-	-	R\$ 448.962	R\$ 91.866	-	-	R\$ 844.887	R\$ 172.881
15	2038	-	-	R\$ 323.494	R\$ 59.101	-	-	R\$ 448.962	R\$ 82.024	-	-	R\$ 844.887	R\$ 154.358
16	2039	-	-	R\$ 323.494	R\$ 52.769	-	-	R\$ 448.962	R\$ 73.235	-	-	R\$ 844.887	R\$ 137.819
17	2040	-	-	R\$ 323.494	R\$ 47.115	-	-	R\$ 448.962	R\$ 65.389	-	-	R\$ 844.887	R\$ 123.053
18	2041	-	-	R\$ 323.494	R\$ 42.067	-	-	R\$ 448.962	R\$ 58.383	-	-	R\$ 844.887	R\$ 109.869
19	2042	-	-	R\$ 323.494	R\$ 37.560	-	-	R\$ 448.962	R\$ 52.128	-	-	R\$ 844.887	R\$ 98.097
20	2043	-	-	R\$ 323.494	R\$ 33.536	-	-	R\$ 448.962	R\$ 46.542	-	-	R\$ 844.887	R\$ 87.587
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 1.480.363</b>	<b>R\$ 1.480.363</b>	<b>R\$ 6.793.364</b>	<b>R\$ 2.739.810</b>	<b>R\$ 2.458.875</b>	<b>R\$ 2.458.875</b>	<b>R\$ 9.428.200</b>	<b>R\$ 3.802.457</b>	<b>R\$ 5.261.425</b>	<b>R\$ 5.261.425</b>	<b>R\$ 17.742.625</b>	<b>R\$ 7.155.722</b>
<b>VPL</b>		<b>R\$ 4.220.172</b>				<b>R\$ 6.261.332</b>				<b>R\$ 12.417.147</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.5.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

O levantamento de custos operacionais e de manutenção para a alternativa de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação foi adotado conforme o mesmo critério utilizado para o Sistema Australiano, descrito no item anterior. Esta estimativa de OPEX anual foi realizada com base nos quantitativos provenientes do pré-dimensionamento e com base nos custos unitários identificados no mercado atual e no banco de dados de informações e indicadores técnicos e financeiros da concessionária privada de água e esgoto da região Norte.

A Tabela 31 apresenta a previsão detalhada anual de OPEX para o sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação. É possível notar que os custos com maior representatividade são referentes à retirada, transporte e destinação de lodo. Na sequência, o custo com mão de obra para operação se apresenta em segundo lugar de representatividade. Os custos com energia elétrica são mínimos pois consiste basicamente no consumo para iluminação e da sala administrativa do operador.

Após o levantamento do OPEX anual, foi realizado o cálculo do VPL para cada ano de operação, considerando-se para isso um período de projeto de 20 anos de operação. A Tabela 32 apresenta a previsão do VPL para cada Grupo Populacional, considerando o CAPEX no primeiro ano e o OPEX anual descontado à uma taxa de atratividade de 12%

Diferentemente do Sistema Australiano, o sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação apresenta um CAPEX consideravelmente maior do que o OPEX descontado acumulado no valor presente. É possível concluir que o CAPEX se apresenta alto principalmente em função das grandes dimensões das lagoas, exigindo altíssimos volumes de escavação e alto custo para aquisição de área. Além disso, por outro lado evidencia de certa forma o baixo custo de operação em função da simplicidade operacional.

Vale mencionar ainda que os custos de CAPEX e OPEX do sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação se apresentaram maior que aqueles do Sistema Australiano.

É importante ressaltar ainda que foram consideradas premissas para elaboração das estimativas em questão como, por exemplo, a destinação de resíduos e lodo em aterro sanitário legalizado com base em custos unitários praticados pelo mercado local do Tocantins. Diante disto, os valores podem sofrer variações em caso de alteração das premissas.

Tabela 31 – Tabela resumo do OPEX anual para o Sistema de Lagoa Facultativa seguido de Lagoa de Maturação

OPEX ANUAL			GRUPO I			GRUPO II			GRUPO III						
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL				
1	Pessoal - Operador de estação de tratamento	un	2,00	R\$ 60.000	R\$ 120.000	2,00	R\$ 60.000	R\$ 120.000	2,00	R\$ 60.000	R\$ 120.000				
2	Energia Elétrica - Iluminação	kWh	24.000	R\$ 1,10	R\$ 26.400	36.000	R\$ 1,10	R\$ 39.600	48.000	R\$ 1,10	R\$ 52.800				
3	Serviços - Transporte e destinação de resíduos	ton	36,00	R\$ 300	R\$ 10.800	72,00	R\$ 300	R\$ 21.600	108,00	R\$ 300	R\$ 32.400				
4	Serviços - Dragagem de lodo	ton	913	R\$ 110	R\$ 100.457	1.461	R\$ 110	R\$ 160.686	3.393	R\$ 110	R\$ 373.192				
5	Serviços - Transporte e destinação de lodo	ton	183	R\$ 300	R\$ 54.795	292	R\$ 300	R\$ 87.647	679	R\$ 300	R\$ 203.560				
6	Serviços - Limpeza e roçagem da área	m²	28.236	R\$ 1,00	R\$ 28.236	45.866	R\$ 1,00	R\$ 45.866	101.924	R\$ 1,00	R\$ 101.924				
7	Materiais - Produto químico	kg	360	R\$ 1,20	R\$ 432	720,00	R\$ 1,20	R\$ 864	1080,00	R\$ 1,20	R\$ 1.296				
					<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 341.120</b>				<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 476.263</b>			<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 885.171</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 32 – Tabela do VPL para o Sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação

ANO		GRUPO I				GRUPO II				GRUPO III			
		(CAPEX)		(OPEX)		(CAPEX)		(OPEX)		(CAPEX)		(OPEX)	
		CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE
0	2023	R\$ 5.709.520	R\$ 5.709.520	R\$ 341.120	R\$ 341.120	R\$ 9.296.208	R\$ 9.296.208	R\$ 476.263	R\$ 476.263	R\$ 20.575.218	R\$ 20.575.218	R\$ 885.171	R\$ 885.171
1	2024	-	-	R\$ 341.120	R\$ 304.572	-	-	R\$ 476.263	R\$ 425.235	-	-	R\$ 885.171	R\$ 790.332
2	2025	-	-	R\$ 341.120	R\$ 271.939	-	-	R\$ 476.263	R\$ 379.674	-	-	R\$ 885.171	R\$ 705.653
3	2026	-	-	R\$ 341.120	R\$ 242.803	-	-	R\$ 476.263	R\$ 338.994	-	-	R\$ 885.171	R\$ 630.048
4	2027	-	-	R\$ 341.120	R\$ 216.788	-	-	R\$ 476.263	R\$ 302.674	-	-	R\$ 885.171	R\$ 562.542
5	2028	-	-	R\$ 341.120	R\$ 193.561	-	-	R\$ 476.263	R\$ 270.244	-	-	R\$ 885.171	R\$ 502.270
6	2029	-	-	R\$ 341.120	R\$ 172.822	-	-	R\$ 476.263	R\$ 241.290	-	-	R\$ 885.171	R\$ 448.455
7	2030	-	-	R\$ 341.120	R\$ 154.306	-	-	R\$ 476.263	R\$ 215.437	-	-	R\$ 885.171	R\$ 400.407
8	2031	-	-	R\$ 341.120	R\$ 137.773	-	-	R\$ 476.263	R\$ 192.355	-	-	R\$ 885.171	R\$ 357.506
9	2032	-	-	R\$ 341.120	R\$ 123.011	-	-	R\$ 476.263	R\$ 171.745	-	-	R\$ 885.171	R\$ 319.202
10	2033	-	-	R\$ 341.120	R\$ 109.832	-	-	R\$ 476.263	R\$ 153.344	-	-	R\$ 885.171	R\$ 285.002
11	2034	-	-	R\$ 341.120	R\$ 98.064	-	-	R\$ 476.263	R\$ 136.914	-	-	R\$ 885.171	R\$ 254.466
12	2035	-	-	R\$ 341.120	R\$ 87.557	-	-	R\$ 476.263	R\$ 122.245	-	-	R\$ 885.171	R\$ 227.201
13	2036	-	-	R\$ 341.120	R\$ 78.176	-	-	R\$ 476.263	R\$ 109.147	-	-	R\$ 885.171	R\$ 202.858
14	2037	-	-	R\$ 341.120	R\$ 69.800	-	-	R\$ 476.263	R\$ 97.453	-	-	R\$ 885.171	R\$ 181.124
15	2038	-	-	R\$ 341.120	R\$ 62.321	-	-	R\$ 476.263	R\$ 87.011	-	-	R\$ 885.171	R\$ 161.718
16	2039	-	-	R\$ 341.120	R\$ 55.644	-	-	R\$ 476.263	R\$ 77.689	-	-	R\$ 885.171	R\$ 144.391
17	2040	-	-	R\$ 341.120	R\$ 49.682	-	-	R\$ 476.263	R\$ 69.365	-	-	R\$ 885.171	R\$ 128.920
18	2041	-	-	R\$ 341.120	R\$ 44.359	-	-	R\$ 476.263	R\$ 61.933	-	-	R\$ 885.171	R\$ 115.107
19	2042	-	-	R\$ 341.120	R\$ 39.606	-	-	R\$ 476.263	R\$ 55.297	-	-	R\$ 885.171	R\$ 102.774
20	2043	-	-	R\$ 341.120	R\$ 35.363	-	-	R\$ 476.263	R\$ 49.373	-	-	R\$ 885.171	R\$ 91.763
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 5.709.520</b>	<b>R\$ 5.709.520</b>	<b>R\$ 7.163.529</b>	<b>R\$ 2.889.100</b>	<b>R\$ 9.296.208</b>	<b>R\$ 9.296.208</b>	<b>R\$ 10.001.518</b>	<b>R\$ 4.033.680</b>	<b>R\$ 20.575.218</b>	<b>R\$ 20.575.218</b>	<b>R\$ 18.588.600</b>	<b>R\$ 7.496.910</b>
<b>VPL</b>		<b>R\$ 8.598.620</b>				<b>R\$ 13.329.888</b>				<b>R\$ 28.072.127</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.5.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados

O levantamento de custos operacionais e de manutenção para a alternativa de Reator UASB seguido de Lodos Ativados foi realizado de acordo o mesmo método utilizado para as alternativas anteriores. Esta estimativa foi baseada nos quantitativos provenientes do pré-dimensionamento e com base nos custos unitários do banco de dados de informações e indicadores técnicos e financeiros da concessionária privada de água e esgoto da região Norte.

A Tabela 33 apresenta a previsão detalhada anual de OPEX para o sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados conforme cada Grupo Populacional. É possível perceber que esta alternativa demanda um custo maior de mão de obra para operação em relação às demais alternativas estudadas no presente trabalho, em função de exigir um acompanhamento e monitoramento mais próximo. Ainda em relação à mão de obra, foram considerados 5 operadores em regime de revezamento de turno para a alternativa de Reator UASB seguido de Lodos Ativados, enquanto para as alternativas de lagoas de estabilização foram considerados apenas 02 operadores.

Os custos com energia elétrica para esta alternativa são muito maiores quando comparada com o consumo para as alternativas de lagoas. Isto decorre da utilização de aeradores para introdução de oxigênio no Tanque de Aeração. Além disso, há um custo com energia elétrica também proveniente do funcionamento das bombas que fazem a recirculação do lodo entre as unidades do sistema.

Os custos com destinação e transporte de lodo também são representativos para esta alternativa em função da alta quantidade de lodo produzida, quando comparada com as alternativas de lagoas de estabilização.

Após o levantamento do OPEX anual, foi realizado o cálculo do VPL para cada ano de operação, considerando-se para isso um período de projeto de 20 anos de operação. A Tabela 34 apresenta a previsão do VPL para cada Grupo Populacional, considerando o CAPEX no primeiro ano e o OPEX anual descontado à uma taxa de atratividade de 12%.

É possível perceber que a alternativa de Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresenta um custo total de VPL maior que o do Sistema Australiano porém, menor que o do sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação. Isso indica que em casos de cidades que necessitem melhores índices de remoção de poluentes a alternativa de Reator UASB seguida de Lodos Ativados se apresenta com melhor viabilidade econômica quando comparada com a alternativa de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.

Tabela 33 – Tabela resumo do OPEX anual para o Sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados

OPEX ANUAL			GRUPO I			GRUPO II			GRUPO III		
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	QUAN.	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
1	Pessoal - Operador de estação de tratamento	un	5,00	R\$ 60.000	R\$ 300.000	5,00	R\$ 60.000	R\$ 300.000	5,00	R\$ 60.000	R\$ 300.000
2	Energia Elétrica - Iluminação	kWh	12.000	R\$ 1,10	R\$ 13.200	24.000	R\$ 1,10	R\$ 26.400	36.000	R\$ 1,10	R\$ 39.600
3	Energia Elétrica - Sistema de aeração	kWh	100.703	R\$ 1,10	R\$ 110.773	165.435	R\$ 1,10	R\$ 181.978	364.498	R\$ 1,10	R\$ 400.948
4	Serviços - Transporte e destinação de resíduos	ton	36,00	R\$ 300	R\$ 10.800	72,00	R\$ 300	R\$ 21.600	108,00	R\$ 300	R\$ 32.400
5	Serviços - Transporte e destinação de lodo	ton	502	R\$ 300	R\$ 150.686	803	R\$ 300	R\$ 241.029	1.866	R\$ 300	R\$ 559.789
6	Serviços - Limpeza e roçagem da área	m²	780	R\$ 1,00	R\$ 780	1.293	R\$ 1,00	R\$ 1.293	2.846	R\$ 1,00	R\$ 2.846
7	Materiais - Produto químico	kg	360	R\$ 1,20	R\$ 432	720	R\$ 1,20	R\$ 864	1.080	R\$ 1,20	R\$ 1.296
			<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 586.672</b>		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 773.164</b>		<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 1.336.878</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 34 – Tabela do VPL para o Sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados

ANO		GRUPO I				GRUPO II				GRUPO III			
		(CAPEX)		(OPEX)		(CAPEX)		(OPEX)		(CAPEX)		(OPEX)	
		CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE	CUSTO ANUAL	CUSTO PRESENTE
0	2023	R\$ 3.424.327	R\$ 3.424.327	R\$ 586.672	R\$ 586.672	R\$ 5.618.330	R\$ 5.618.330	R\$ 773.164	R\$ 773.164	R\$ 12.179.550	R\$ 12.179.550	R\$ 1.336.878	R\$ 1.336.878
1	2024	-	-	R\$ 586.672	R\$ 523.814	-	-	R\$ 773.164	R\$ 690.325	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 1.193.641
2	2025	-	-	R\$ 586.672	R\$ 467.691	-	-	R\$ 773.164	R\$ 616.362	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 1.065.751
3	2026	-	-	R\$ 586.672	R\$ 417.581	-	-	R\$ 773.164	R\$ 550.323	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 951.564
4	2027	-	-	R\$ 586.672	R\$ 372.841	-	-	R\$ 773.164	R\$ 491.360	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 849.610
5	2028	-	-	R\$ 586.672	R\$ 332.893	-	-	R\$ 773.164	R\$ 438.714	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 758.581
6	2029	-	-	R\$ 586.672	R\$ 297.226	-	-	R\$ 773.164	R\$ 391.709	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 677.304
7	2030	-	-	R\$ 586.672	R\$ 265.381	-	-	R\$ 773.164	R\$ 349.740	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 604.736
8	2031	-	-	R\$ 586.672	R\$ 236.947	-	-	R\$ 773.164	R\$ 312.268	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 539.943
9	2032	-	-	R\$ 586.672	R\$ 211.560	-	-	R\$ 773.164	R\$ 278.811	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 482.092
10	2033	-	-	R\$ 586.672	R\$ 188.893	-	-	R\$ 773.164	R\$ 248.938	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 430.439
11	2034	-	-	R\$ 586.672	R\$ 168.654	-	-	R\$ 773.164	R\$ 222.266	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 384.321
12	2035	-	-	R\$ 586.672	R\$ 150.584	-	-	R\$ 773.164	R\$ 198.452	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 343.143
13	2036	-	-	R\$ 586.672	R\$ 134.450	-	-	R\$ 773.164	R\$ 177.189	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 306.378
14	2037	-	-	R\$ 586.672	R\$ 120.045	-	-	R\$ 773.164	R\$ 158.205	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 273.552
15	2038	-	-	R\$ 586.672	R\$ 107.183	-	-	R\$ 773.164	R\$ 141.254	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 244.243
16	2039	-	-	R\$ 586.672	R\$ 95.699	-	-	R\$ 773.164	R\$ 126.120	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 218.074
17	2040	-	-	R\$ 586.672	R\$ 85.445	-	-	R\$ 773.164	R\$ 112.607	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 194.709
18	2041	-	-	R\$ 586.672	R\$ 76.291	-	-	R\$ 773.164	R\$ 100.542	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 173.847
19	2042	-	-	R\$ 586.672	R\$ 68.117	-	-	R\$ 773.164	R\$ 89.770	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 155.221
20	2043	-	-	R\$ 586.672	R\$ 60.818	-	-	R\$ 773.164	R\$ 80.151	-	-	R\$ 1.336.878	R\$ 138.590
<b>TOTAL</b>		<b>R\$ 3.424.327</b>	<b>R\$ 3.424.327</b>	<b>R\$ 12.320.110</b>	<b>R\$ 4.968.785</b>	<b>R\$ 5.618.330</b>	<b>R\$ 5.618.330</b>	<b>R\$ 16.236.452</b>	<b>R\$ 6.548.272</b>	<b>R\$ 12.179.550</b>	<b>R\$ 12.179.550</b>	<b>R\$ 28.074.444</b>	<b>R\$ 11.322.615</b>
<b>VPL</b>		<b>R\$ 8.393.111</b>				<b>R\$ 12.166.602</b>				<b>R\$ 23.502.165</b>			

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.6 Fórmulas Matemáticas para Estimativa de Custos

A Tabela 35 apresenta de forma resumida os valores dos custos inerentes à implantação e à operação e manutenção das alternativas de tratamento de esgoto estudadas e de acordo com os grupos populacionais definidos neste trabalho. Baseado nestes dados de acordo com os grupos populacionais. Com base nestes dados tornou-se possível, através de ferramentas de projeção e tendência, estabelecer correlações e extrapolar as estimativas de custos para cidades com populações diferentes, desde que adotadas as mesmas premissas utilizadas nesta pesquisa.

Tabela 35 – Resumo geral dos custos de CAPEX, OPEX e VPL de acordo com os grupos populacionais

Grupo	CAPEX (R\$)	OPEX (R\$)	VPL (R\$)
<b>Sistema Australiano</b>			
I	1.480.362,50	2.739.809,98	4.220.172,48
II	2.458.875,00	3.802.457,50	6.261.332,50
III	5.261.425,00	7.155.722,17	12.417.147,17
<b>Lagoas Facultativas seguidas de Lagoa de Maturação</b>			
I	5.709.520,00	2.889.100,39	8.598.620,39
II	9.296.207,50	4.033.680,46	13.329.887,96
III	20.575.217,50	7.496.909,54	28.072.127,04
<b>Reator UASB seguido de Lodos Ativados</b>			
I	3.424.326,64	4.968.784,75	8.393.111,39
II	5.618.329,74	6.548.272,16	12.166.601,90
III	12.179.550,00	11.322.615,14	23.502.165,14

Fonte: Elaborado pelo autor.

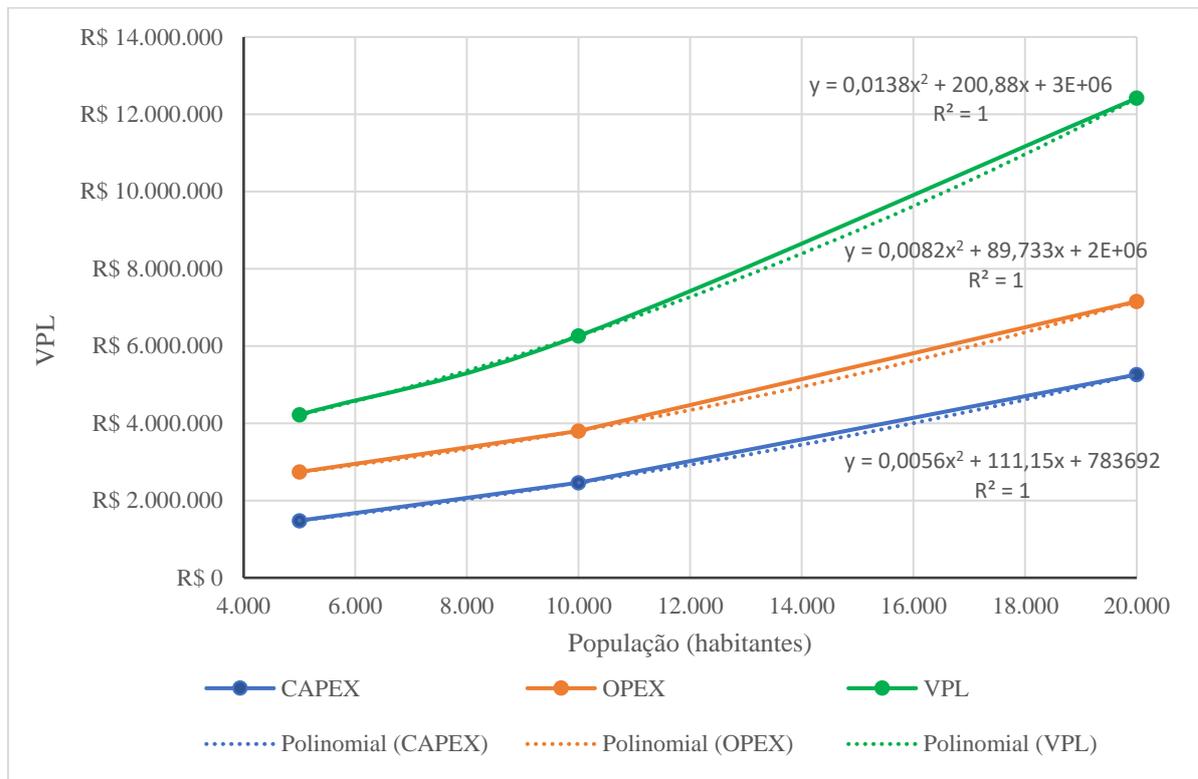
Com base nos dados acima, foi elaborado um gráfico de dispersão para cada tecnologia de tratamento de esgoto, tendo como variáveis os custos no eixo vertical (y) e a população no eixo horizontal (x), conforme passa a ser apresentado a seguir. Na sequência foram traçadas linhas de tendência através de equações polinomiais de segundo grau, com objetivo de possibilitar a estimativas de custos para outras cidades em função população.

É importante ressaltar que diversas são as variáveis que podem afetar a composição destes valores, tornando suscetíveis a alterações. Todavia, tais fórmulas matemáticas podem ser utilizadas para dar suporte a estudos de concepção e tomadas de decisão quanto ao sistema com maior viabilidade econômica.

### 5.6.1 Sistema Australiano

Em função da correlação entre a população e os custos de implantação (CAPEX), operação e manutenção (OPEX) e VPL referentes ao Sistema Australiano foi desenvolvido o gráfico de dispersão apresentado na Figura 16. Com base no gráfico de dispersão foram traçadas linhas de tendência que melhor representem o comportamento dos dados analisados.

Figura 16 – Curvas de custos para o Sistema Australiano em função da população



Fonte: Elaborado pelo autor.

As linhas de tendência apresentadas na Figura 16 foram obtidas através de equações polinomiais de segundo grau, com objetivo de possibilitar a estimativa dos custos de implantação e de operação do Sistema Australiano para outros municípios do Estado do Tocantins com base na população. A seguir são apresentadas as equações que permitem estimar os custos com CAPEX, OPEX e VPL.

#### Equação para estimativa dos custos de investimentos (CAPEX)

$$y = 0,0056 x^2 + 111,15 x + 783.692$$

Equação 29

Onde:

y: custo total estimado de CAPEX (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

### **Equação para estimativa dos custos operacionais (OPEX)**

$$y = 0,0082 x^2 + 89,733 x + 2.086.485$$

Equação 30

Onde:

y: custo total estimado de OPEX (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

### **Equação para estimativa do VPL**

$$y = 0,0138 x^2 + 200,88 x + 2.870.177$$

Equação 31

Onde:

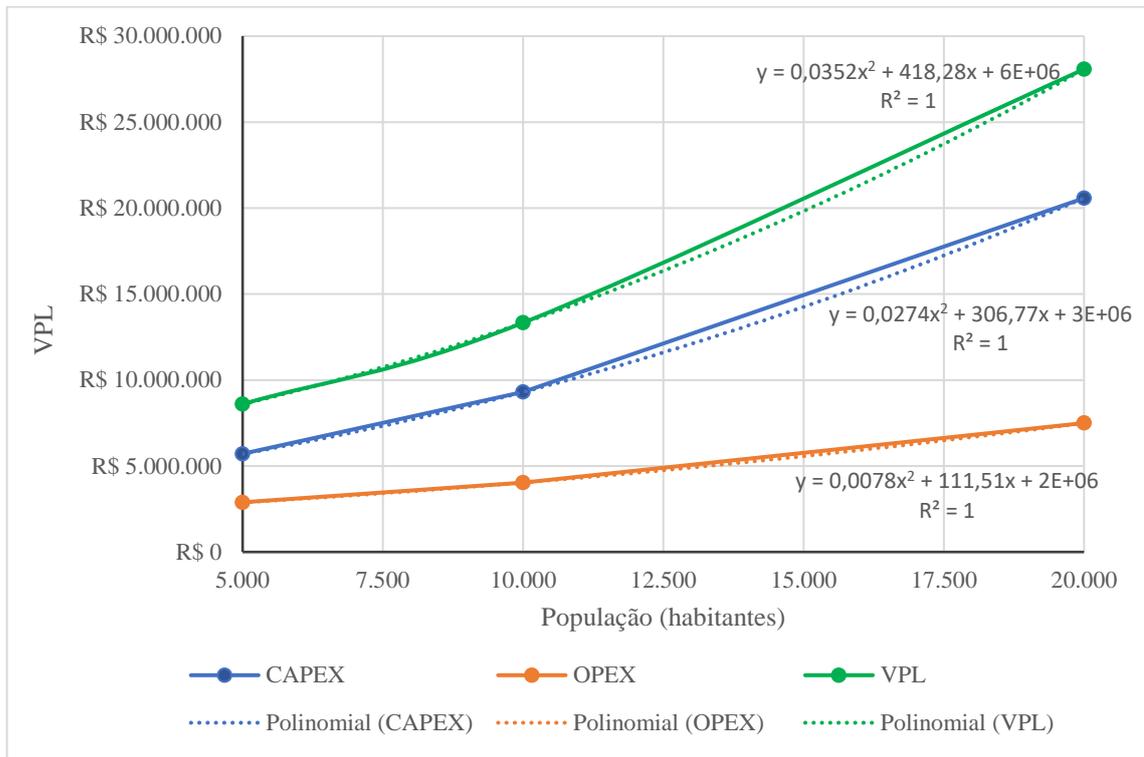
y: custo total estimado do VPL (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

#### **5.6.2 Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação**

Semelhantemente à formulação matemática realizada no item anterior para o Sistema Australiano, elaborou-se o gráfico apresentado da Figura 17 para possibilitar a estimativa de custos para o sistema de Lagoas Facultativas seguida de Lagoa de Maturação em função da população. Com base no gráfico de dispersão foram traçadas linhas de tendência que melhor representem o comportamento dos dados analisados.

Figura 17 – Curvas de custos para Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação em função da população



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base no gráfico apresentado na Figura 17 desenvolveu-se as equações polinomiais de segundo grau que possibilitam estimar os custos específicos para as cidades do Tocantins e em relação à Lagoas Facultativas seguida de Lagoa de Maturação e seguem apresentadas.

#### **Equação para estimativa dos custos de investimentos (CAPEX)**

$$y = 0,0274 x^2 + 306,77 x + 3.491.377 \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

y: custo total estimado de CAPEX (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

#### **Equação para estimativa dos custos operacionais (OPEX)**

$$y = 0,0078 x^2 + 111,51 x + 2.135.876 \quad \text{Equação 33}$$

Onde:

y: custo total estimado de OPEX (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

### Equação para estimativa do VPL

$$y = 0,0352 x^2 + 418,28 x + 5.627.254$$

Equação 34

Onde:

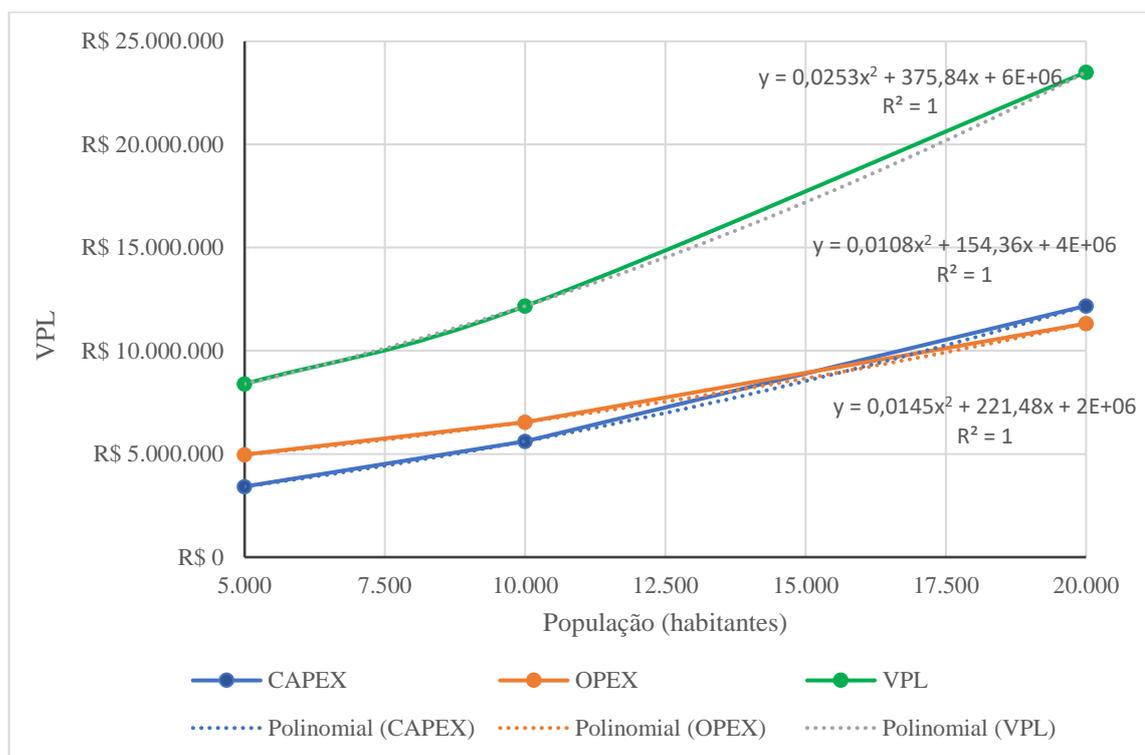
y: custo total estimado do VPL (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

### 5.6.3 Reator UASB seguido de Lodos Ativados

Para o sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados também foi elaborado o gráfico de dispersão, apresentado na Figura 18, semelhantemente aos itens anteriores, para possibilitar a estimativa de custos em função da tendência de progressão dos custos em função do crescimento populacional.

Figura 18 – Curvas de custos para Reator UASB seguido de Lodos Ativados em função da população



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base no gráfico apresentado na Figura 18 desenvolveu-se as equações polinomiais de segundo grau que possibilitam estimar os custos específicos para as cidades do Tocantins em relação ao sistema de tratamento de Reator UASB seguido de Lodos Ativados e que são apresentadas a seguir.

#### **Equação para estimativa dos custos de investimentos (CAPEX)**

$$y = 0,0145 x^2 + 221,48 x + 1.954.728 \quad \text{Equação 35}$$

Em que:

y: custo total estimado de CAPEX (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

#### **Equação para estimativa dos custos operacionais (OPEX)**

$$y = 0,0108 x^2 + 154,36 x + 3.927.753 \quad \text{Equação 36}$$

Em que:

y: custo total estimado de OPEX (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

#### **Equação para estimativa do VPL**

$$y = 0,0253 x^2 + 375,84 x + 5.882.481 \quad \text{Equação 37}$$

Em que:

y: custo total estimado do VPL (R\$);

x: população estimada para a cidade em final de plano (habitantes).

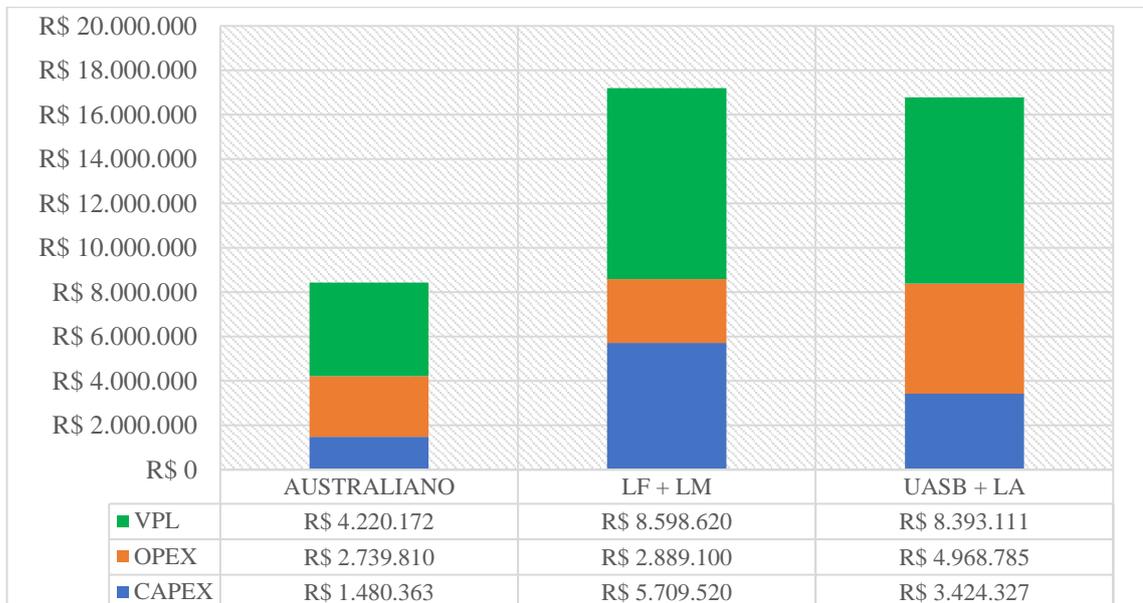
## 5.7 Avaliação Técnica e Econômica das Tecnologias para Cada Grupo Populacional

Neste subcapítulo são apresentadas as análises econômicas realizadas através do Valor Presente Líquido (VPL) para as tecnologias de tratamento de esgoto aplicadas para cada Grupo Populacional, acrescidas de análises técnicas sobre as principais características destas tecnologias. São apresentadas as interpretações dos custos de implantação (CAPEX) e dos custos operacionais (OPEX), com objetivo de avaliar as tecnologias de tratamento com maior viabilidade econômica.

### 5.7.1 Grupo I – até 5 mil habitantes

O Grupo I contempla os municípios do Tocantins com população de até 5 mil habitantes, totalizando 79 unidades municipais e que representam 56,83% do total de cidades tocantinenses. Na Figura 19 são apresentados os gráficos com os resultados das análises econômicas para as alternativas de tratamento de esgoto estudadas no presente trabalho e aplicadas ao Grupo I.

Figura 19 – VPL das tecnologias de tratamento para o Grupo I



Fonte: Elaborado pelo autor.

A tecnologia de tratamento de esgoto mais vantajosa do ponto de vista econômico para o Grupo I é o Sistema Australiano, que apresentou um VPL na ordem da 50% quando

comparado com o VPL das demais alternativas. Essa vantagem econômica decorre da fácil implantação e simplicidade operacional desta alternativa de tratamento. Todavia, esta alternativa apresenta limitações quanto à eficiência de remoção de carga orgânica e baixíssima eficiência na remoção de nutrientes e coliformes, se tornando uma alternativa inviável tecnicamente para cidades com corpos receptores com baixa capacidade de autodepuração.

As demais tecnologias de tratamento, Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação e Reator UASB seguido de Lodos Ativados, apresentaram VPL semelhantes ao término dos 20 anos de projeto. Todavia, a proporção entre CAPEX e OPEX destas alternativas se apresentaram diferentes.

A alternativa de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação apresenta um custo de implantação (CAPEX) maior que o custo operacional (OPEX), decorrente principalmente dos altos volumes de escavação e grande área necessária para sua implantação. Este grande desembolso inicial para realização do investimento torna esta alternativa de tratamento menos atraente economicamente, além de possuir capacidade de remoção menor que a alternativa de Reator UASB seguido de Lodos Ativados.

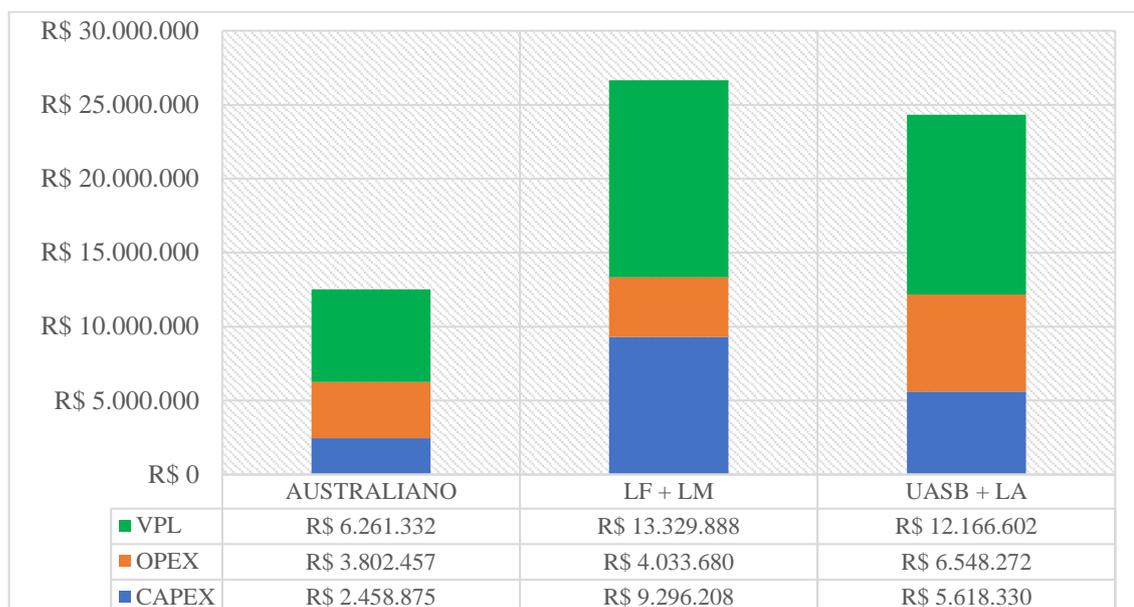
A alternativa de Reator UASB seguido de Lodos Ativados, diferentemente da Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação, possui um custo de implantação (CAPEX) menor que o custo operacional (OPEX). A redução no custo de implantação é fruto da redução da área necessária para instalação das unidades, em função das altas taxas de carga orgânica demandando menos espaço para realizar o tratamento e, portanto, tornando as estruturas mais compactas. O custo operacional maior é resultado da necessidade, principalmente, de mais mão de obra para operação e maior consumo de energia elétrica.

Diante do exposto, no caso de uma cidade com necessidade de uma alternativa de tratamento com maior eficiência, recomenda-se a escolha do sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados.

### 5.7.2 Grupo II – até 10 mil habitantes

O Grupo II contempla os municípios do Tocantins com população de até 10 mil habitantes, totalizando 31 unidades municipais e que representam 22,30% do total de cidades tocaninenses. Na Figura 20 são apresentados os gráficos com os resultados das análises econômicas para as alternativas de tratamento de esgoto estudadas no presente trabalho e aplicadas ao Grupo II.

Figura 20 – VPL das tecnologias de tratamento para o Grupo II



Fonte: Elaborado pelo autor.

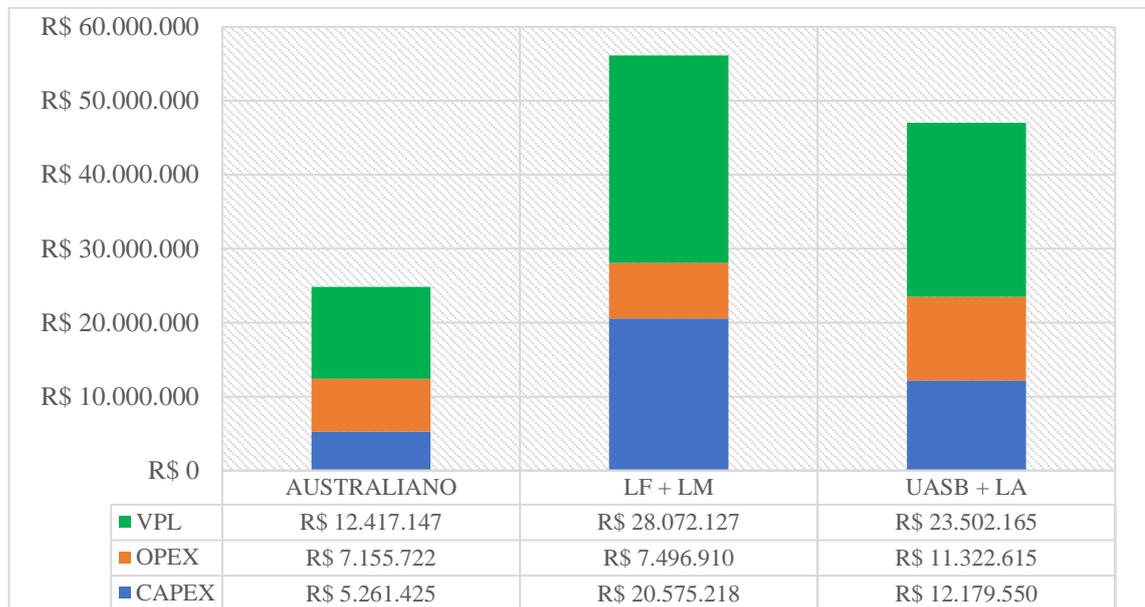
De forma semelhante para o Grupo I, a tecnologia de tratamento de esgoto mais vantajosa do ponto de vista econômico para o Grupo II é o Sistema Australiano, que apresentou um CAPEX de R\$ 2.458.875,00 e um OPEX total de R\$ 3.802.457. O VPL desta alternativa também foi da ordem de 50% quando comparado com o VPL das demais alternativas. No entanto, como mencionado no item anterior, esta alternativa apresenta limitações quanto à sua eficiência no tratamento de esgoto.

Diferentemente do Grupo I, para o Grupo II a alternativa de Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresentou-se mais viável economicamente em torno de 9% na avaliação de VPL pelo período de 20 anos, quando comparada com a alternativa de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação. A alternativa de Reator UASB seguida de Lodos Ativados apresentou um CAPEX de R\$ 5.618.330,00 e um OPEX total de R\$ 6.548.272,00.

### 5.7.3 Grupo III – até 20 mil habitantes

O Grupo III contempla os municípios do Tocantins com população de até 20 mil habitantes, totalizando 19 unidades municipais e que representam 13,67% do total de cidades tocaninenses. Na Figura 21 são apresentados os gráficos com os resultados das análises econômicas para as alternativas de tratamento de esgoto estudadas no presente trabalho e aplicadas ao Grupo III.

Figura 21 – VPL das tecnologias de tratamento para o Grupo III



Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma semelhante para os Grupos I e II, a tecnologia de tratamento de esgoto mais vantajosa do ponto de vista econômico para o Grupo III é o Sistema Australiano, que apresentou um CAPEX de R\$ 5.261.425,00 e um OPEX total de R\$ 7.496.910,00. O VPL desta alternativa foi da ordem de 44% quando comparado com o VPL da alternativa de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação, e de 52% quando comparado com o VPL da alternativa de Reator UASB seguido de Lodos Ativados.

Diferentemente do Grupo I, para o Grupo III a alternativa de Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresentou-se mais viável economicamente em torno de 16% na avaliação de VPL pelo período de 20 anos, quando comparada com a alternativa de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação. A alternativa de Reator UASB seguida de Lodos Ativados apresentou um CAPEX de R\$ 12.179.550,00 e um OPEX total de R\$ 11.322.615,00.

Diante disto, assim como para o Grupo II, para o Grupo III a alternativa de tratamento de esgoto de Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresentou-se mais viável economicamente quando comparada com a de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.

#### 5.7.4 Avaliação do VPL das Tecnologias de Tratamento de Esgoto

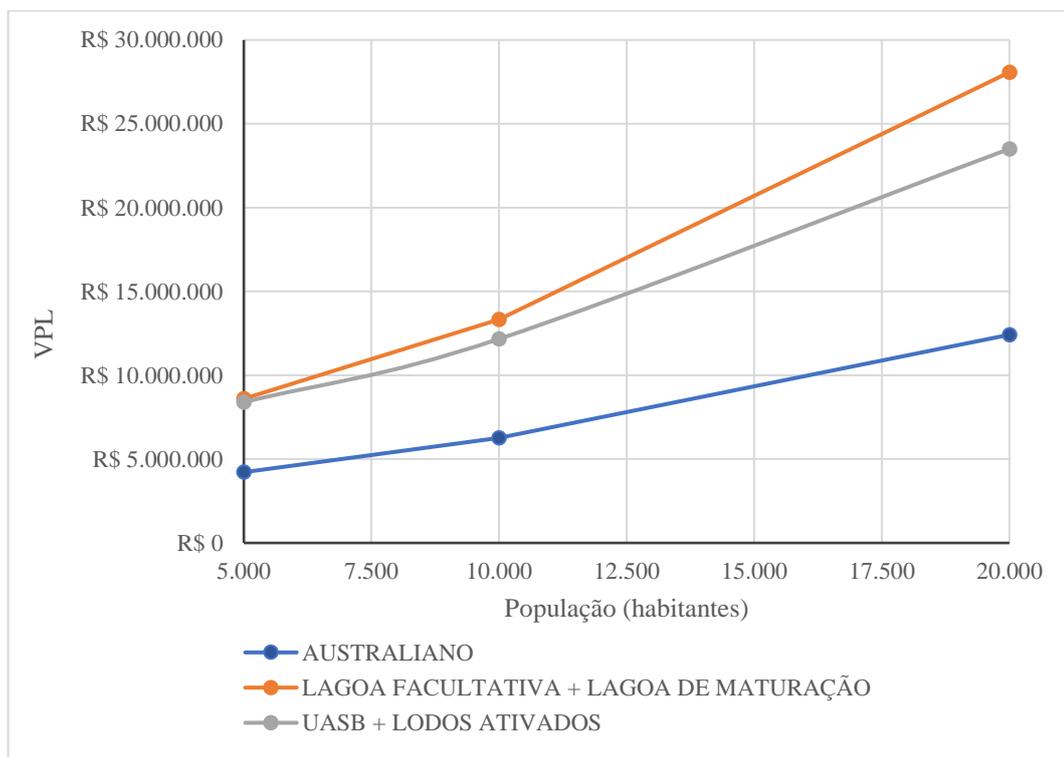
Para complementar a análise acerca do comportamento econômico das tecnologias de tratamento de esgoto em função da população, foram plotados no gráfico apresentado na Figura 22 os valores totais de VPL de cada alternativa de tratamento.

É possível verificar que, do ponto de vista econômico, o Sistema Australiano apresenta os menores custos para todos os Grupos Populacionais analisados.

Para o Grupo I, as tecnologias de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação e de Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresentaram valores similares.

Para os Grupos II e III, a tecnologia de Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresentou menores custos quando comparada com a tecnologia de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação. Além disso, é possível perceber que quanto maior a população, maior é a viabilidade da tecnologia de Reator UASB seguido de Lodos Ativados comparada à tecnologia de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação.

Figura 22 – VPL por Tecnologia de Tratamento de Esgoto



Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.8 Matriz de Indicadores para Apoio a Tomada de Decisão

A avaliação de estações de tratamento de esgoto (ETE) envolve uma análise detalhada de diversos indicadores técnicos e econômicos para garantir que a estação apresente excelente performance operacional e com a otimização contínua dos seus custos, tanto operacionais quanto de implantação. Neste sentido, após as etapas pré-dimensionamento e estimativa de custos, foram cruzadas diversas informações e calculados alguns indicadores para proporcionar uma melhor compreensão a respeito das tecnologias de tratamento de esgoto estudadas no presente trabalho.

A seguir são listados informações e indicadores definidos e calculados para dar suporte à análise das características de cada tecnologia de tratamento para os Grupos Populacionais:

- Eficiência de área para implantação da ETE:  $\text{Área (m}^2\text{)} / \text{População (habitantes)}$ ;
- Eficiência do custo de implantação:  $\text{CAPEX (R\$)} / \text{População (habitantes)}$ ;
- Eficiência do custo de implantação:  $\text{CAPEX (R\$)} / \text{Vazão (L/s)}$ ;
- Eficiência dos custos de operação:  $\text{OPEX (R\$)} / \text{População (habitantes)}$ ;
- Eficiência do VPL:  $\text{VPL (R\$)} / \text{População (habitantes)}$ ;
- Eficiência do tratamento: Eficiência na remoção de DBO (%);
- Eficiência no consumo de energia:  $\text{Consumo (kWh)} / \text{População (habitantes)}$ ;
- Eficiência da mão de obra:  $\text{Custo com pessoal (R\$)} / \text{População (habitantes)}$ .

No geral, as lagoas de estabilização, por apresentarem uma operação simplificada apresentam melhores indicadores no que diz respeito à eficiência no consumo de energia, eficiência da mão de obra e eficiência de custos operacionais. No entanto, apresentam indicadores piores em relação à eficiência da área necessária para implantação. Especialmente a Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação apresentou os piores indicadores de eficiência de área de implantação e de custos de implantação, em função da necessidade de uma área muito grande para implantação da tecnologia.

O Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresentou o pior indicador para custos operacionais. Todavia, apresenta os melhores indicadores de eficiência na necessidade de área e na remoção de carga orgânica, no caso DBO.

Tabela 36 – Matriz de Indicadores para apoio à Tomada de Decisão

Grupo	Grupo I (até 5 mil habitantes)			Grupo II (até 10 mil habitantes)			Grupo III (até 20 mil habitantes)		
	AUSTRA.	LF + LM	UASB + LA	AUSTRA.	LF + LM	UASB + LA	AUSTRA.	LF + LM	UASB + LA
Área (m²) / População (hab)	1,17	7,52	0,04	1,22	7,64	0,04	1,14	7,31	0,04
CAPEX (R\$) / População (hab)	236,66	912,77	547,44	245,76	929,12	561,53	226,42	885,44	524,14
CAPEX (R\$) / Vazão (L/s)	129.476	499.367	299.499	131.320	496.477	300.055	126.741	495.630	293.389
OPEX Anual (R\$) / População (hab)	51,72	54,53	93,79	44,87	47,60	77,27	36,36	38,09	57,53
VPL (R\$) / População (hab)	675	1.375	1.342	626	1.332	1.216	534	1.208	1.011
Eficiência Remoção de DBO (%)	82,30%	83,00%	90,00%	82,30%	83,00%	90,00%	82,30%	83,00%	90,00%
Cons. energ. anual (kWh) / Pop (hab)	1,92	3,84	18,02	1,80	3,60	18,93	1,03	2,07	17,24
Custo Pessoal (R\$) / População (hab)	19,18	19,18	47,96	11,99	11,99	29,98	5,16	5,16	12,91

Legenda: AUSTRA. - Sistema Australiano, LF + LM - Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação, UASB + LA - Reator UASB seguido de Lodos Ativos

Fonte: Elaborado pelo autor

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de avançar com a cobertura dos serviços de esgotamento sanitário no Estado do Tocantins é urgente, apesar do grande desafio existente de realização de vultuosos investimentos, especialmente no que diz respeito à implantação de estações de tratamento de esgoto. Diante disto, é importante o desenvolvimento de estudos técnicos e análises econômicas para auxiliar na escolha das tecnologias de tratamento mais apropriadas para cada situação, alcançando a alternativa com melhor viabilidade técnico econômica. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo subsidiar gestores e técnicos da área de saneamento na tomada de decisão estratégica para escolha da alternativa com a performance operacional e econômica mais apropriada para cada cidade do Estado do Tocantins.

É importante mencionar que o processo de seleção da alternativa de tratamento de esgoto depende de diversos fatores, todavia a análise dos custos de implantação (CAPEX) e custos operacionais (OPEX) é fundamental para alocação eficiente dos valores. Neste contexto, foi utilizado o Valor Presente Líquido (VPL) como ferramenta para análise dos custos de cada alternativa, tendo como premissa uma taxa de atratividade de 12% e um horizonte de projeto de 20 anos. Foram analisadas três diferentes tecnologias de tratamento de esgoto para três distintos grupos de cidades tocaninenses, sendo estes de até 5 mil, de até 10 mil e de até 20 mil habitantes, o que abrange aproximadamente 92% dos municípios tocaninenses.

Diante do trabalho realizado e através da interpretação dos resultados obtidos, foi possível emitir as seguintes considerações finais:

- O Sistema Australiano se apresentou como a tecnologia com menores custos de implantação e de operação para todos os Grupos Populacionais, sendo altamente atrativa do ponto de vista econômico. Todavia, esta tecnologia apresenta remoção de DBO na faixa de 82% e remoção quase nula para nutrientes e patógenos, sendo, portanto, recomendada para cidades que possuam corpo receptor com alta capacidade de autodepuração;
- O sistema de Lagoas Facultativas seguida de Lagoa de Maturação se apresentou como a tecnologia com o maior custo total, com maior proporção do custo de implantação (CAPEX) em relação ao custo operacional (OPEX). Essa característica decorre da grande quantidade de área necessária para instalação das lagoas e altos volumes de escavação para execução em função das grandes dimensões das lagoas;

- O sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresentou o maior custo operacional (OPEX) para todos os Grupos Populacionais. Todavia, em função do custo de implantação (CAPEX) ser menor do que quando comparado com o do sistema de Lagoas Facultativas seguidas de Lagoa de Maturação, no final das contas apresentou-se com um custo total de VPL menor e, portanto, sendo uma alternativa mais atrativa do ponto de vista econômico;
- As alternativas de lagoas de estabilização apresentaram a necessidade de grande quantidade de área para implantação dos sistemas, especialmente para o caso da Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação. A alternativa do Reator UASB seguido de Lodos Ativados apresentou-se como a opção mais compacta e com menor necessidade de área. A avaliação desta variável é fundamental em função do crescente adensamento das cidades e altos custos para aquisição de área;
- O sistema de Reator UASB apresenta os melhores índices de remoção de carga orgânica, sendo recomendado para cidades com corpos receptores com limitação na capacidade de autodepuração. Entretanto, esta alternativa exige uma operação mais capacitada e robusta, além de contar com um nível de mecanização mais complexo e um maior consumo energético quando comparada com as outras alternativas avaliadas no presente estudo.

## **6.1 Trabalhos Futuros**

Com base no desenvolvimento do presente estudo foram identificadas oportunidades de pesquisa para trabalhos futuros com objetivo de aprofundar a investigação e o conhecimento científico nesta área de avaliação da viabilidade técnico e econômica de alternativas de tratamento de esgoto. Diante disto, propõe-se o desenvolvimento de próximos trabalhos com as seguintes temáticas:

- Análise multicritérios como apoio para tomada de decisão na escolha das melhores alternativas de tratamento de esgoto para as cidades do Estado do Tocantins, com foco na viabilidade econômica;

- Estudo comparativo para análise da viabilidade técnico e econômica de alternativas de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados em relação aos sistemas tradicionais centralizados;
- Análise de indicadores técnicos e econômicos de estações de tratamento de esgoto em funcionamento no Estado do Tocantins para apresentação de dados locais reais e comparação com os dados da literatura clássica;
- Avaliação técnico e econômica de novas tecnologias de tratamento de esgoto como, por exemplo, a tecnologia granular aeróbia, patenteada como NEREDA® e recentemente implantada na cidade de Araguaína – TO.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Esgotos - Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília, 2017. Disponível em: [https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo\\_livro.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf). Acesso em: 11 out. 2020.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Sludge Treatment and Disposal**. Water Intelligence Online, v. 6, n. 0, p. 9781780402130-9781780402130, 30 dez. 2015.

AQUINO, S. F.; SILVA, S. de Q.; CHERNICHARO, C. A. L. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**: 2006. 11(4), 295-304.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS CONCESSIONÁRIAS PRIVADAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E ESGOTO (ABCON). **Mais de mil municípios no país estão sem contrato de serviço de água ou esgoto**. Abconsindcon, 2020. Disponível em: <https://abconsindcon.com.br/setor/mais-de-mil-municipios-no-pais-estao-sem-contrato-de-servico-de-agua-ou-esgoto>. Acesso em: 13 out. 2020.

ALÉM SOBRINHO, Pedro; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: Epusp/PHD, 1999. Acesso em: 15 out. 2023.

ALVES, José Roberto Xavier; ALVES, João Murta. Definição de localidade para instalação industrial com o apoio do método de análise hierárquica (AHP). **Production**, [S.L.], v. 25, n. 1, p. 13-26, 2014. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&id=S0103-65132015000100013](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&id=S0103-65132015000100013). Acesso em: 18 out. 2020.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre de; CAMPOS, José Roberto. Introdução. In: JOSÉ ROBERTO CAMPOS. Prosab (org.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: Rima, Abes, 1999. Cap. 1. p. 1-28. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>. Acesso em: 13 out. 2020.

ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2014. 444 p. Coleção Princípios do tratamento biológico de águas residuárias v. 6.

ASIK, Barış Bülent; AYDINALP, Cumhur; KATKAT, Ali Vahap; SAGBAN, Fatma Olcay Topaç. Effect of the application of various wastewater sludges on the properties of sandy soil. **Environmental Monitoring And Assessment**, [S.L.], v. 187, n. 2, p. 1-11, 30 jan. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4300-5>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/271596039\\_Effect\\_of\\_the\\_application\\_of\\_various\\_wastewater\\_sludges\\_on\\_the\\_properties\\_of\\_sandy\\_soil](https://www.researchgate.net/publication/271596039_Effect_of_the_application_of_various_wastewater_sludges_on_the_properties_of_sandy_soil). Acesso em: 06 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011. 53 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 91 p.

BARBIERI, J. C., ÁLVARES, A. C. T., MACHLINE, C. Taxa Interna de Retorno: controvérsias e interpretações. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**: 2007, (4), Pag. 131. <https://doi.org/10.15675/gepros.v0i4.184>

BAUER, Torben *et al.* Effects of the different implementation of legislation relating to sewage sludge disposal in the EU. **Detritus**, [S.L.], n. 10, p. 92-99, 8 maio 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/344667815\\_Evaluation\\_the\\_Effect\\_of\\_Reuse\\_Sewage\\_Sludge\\_and\\_Sewage\\_Sludge](https://www.researchgate.net/publication/344667815_Evaluation_the_Effect_of_Reuse_Sewage_Sludge_and_Sewage_Sludge). Acesso em: 15 out. 2020.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2016].

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento (SNS). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

CERQUEIRA, Pedro Lindstron Wittica; AISSE, Miguel Mansur. Custos de processamento de lodo em Estações de Tratamento de Esgoto com reatores anaeróbios de manto de lodo e pós-tratamento aeróbio: subsídios para estudos de concepção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.l.], v. 26, n. 2, p. 251-262, abr. 2021. FapUNIFESP (SciELO).

CHAN, Hing Kai; SUN, Xuting; CHUNG, Sai-Ho. When should fuzzy analytic hierarchy process be used instead of analytic hierarchy process? **Decision Support Systems**, [S.L.], v. 125, n. 1, p. 1-10, out. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167923619301435?via%3Dihub>. Acesso em: 04 out. 2020.

CHRISTMANN, Rodrigo Augusto. **Análise de Investimentos**: Um sistema de apoio à decisão. 2009. 87 f. Monografia (Especialização) - Curso de Administração, Centro Universitário, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2009.

CIEŚLIK, Bartłomiej Michał; NAMIEŚNIK, Jacek; KONIECZKA, Piotr. Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 90, n. 0959-65261401211-6, p. 1-15, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.031>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/>

publication/272027407\_Review\_of\_sewage\_sludge\_management\_standards\_regulations\_and\_analytical\_methods. Acesso em: 11 out. 2020.

COELHO, C. F. **Impactos socioambientais e desempenho do sistema fossa verde no assentamento 25 de maio, Madalena (CE)**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, 112 p. ,2013.

COLLIVIGNARELLI, Maria Cristina; CANATO, Matteo; ABBÀ, Alessandro; MIINO, Marco Carnevale. Biosolids: what are the different types of reuse?. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 238, n. 117844, p. 1-21, nov. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/334766498\\_Biosolids\\_What\\_are\\_the\\_different\\_types\\_of\\_reuse](https://www.researchgate.net/publication/334766498_Biosolids_What_are_the_different_types_of_reuse). Acesso em: 12 out. 2020.

CORNELLI, Renata et al. Métodos de tratamento de esgotos domésticos: uma revisão sistemática. **Revista de Estudos Ambientais**, [S.l.], v. 16, n. 2, p. 20-36, jul. 2015. ISSN 1983-1501. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/4423>. Acesso em: 16 out. 2020. doi: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2014v16n2p20-36>.

CUNHA, Marco Antônio Nascimento da. **O perfil da administração financeira das pequenas e médias empresas**. 2002. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Executivo, Centro de Formação Acadêmica e Pesquisa, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2002.

CZECHOWSKA-KOSACKA, Aneta; CAO, Yucheng; PAWŁOWSKI, Artur. Criteria for Sustainable Disposal of Sewage Sludge. **Annual Set The Environment Protection Rocznik Ochrona Środowiska**, [S.L.], v. 17, n. [], p. 337-350, dez. 2015. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/283127703\\_Criteria\\_for\\_Sustainable\\_Disposal\\_of\\_Sewage\\_Sludge](https://www.researchgate.net/publication/283127703_Criteria_for_Sustainable_Disposal_of_Sewage_Sludge). Acesso em: 24 out. 2020.

DANTAS, M. S., BARROSO, G. R.; OLIVEIRA, S. C. **Performance of sewage treatment plants and impact of effluent discharge on receiving water quality within an urbanized area**. *Environ Monit Assess*: 2021. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09075-1>

DIAZ, Jhon Jairo Feria; ACOSTA, Luisa Elvira Martinez. **Tratamento de lodo de fundo de lagoas facultativas com estabilização em condições de laboratório**. (2014).

ELBAZ, A.A. *et al.* Review Classification of sludge drying beds SDB (conventional sand drying beds CSDB, Wedge-wire, Solar, and Vacuum assisted and paved drying beds PDB). **Journal Of Materials And Environmental Sciences**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 593-608, mar. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/340004077\\_Review\\_Classification\\_of\\_sludge\\_drying\\_beds\\_SDB\\_conventional\\_sand\\_drying\\_beds\\_CSDB\\_Wedge-wire\\_Solar\\_and\\_Vacuum\\_assisted\\_and\\_paved\\_drying\\_beds\\_PDB](https://www.researchgate.net/publication/340004077_Review_Classification_of_sludge_drying_beds_SDB_conventional_sand_drying_beds_CSDB_Wedge-wire_Solar_and_Vacuum_assisted_and_paved_drying_beds_PDB). Acesso em: 15 out. 2020.

FERIA DÍAZ, Jhon J.; NADER SALGADO, Daniela; MEZA PÉREZ, Sindy J. Tasas de desoxigenación y reaireación para el río Sinú. **Ingeniería y desarrollo**, v. 35, n. 1, p. 8-17, 2017.

FERNANDES, Fernando *et al.* Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: ANDREOLI, Cleverson Vitorio; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodos de esgotos: tratamento e disposição final**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2014. Cap. 7. p. 297-315.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler; MARGUTI, André Luiz; PIVELI, Roque Passos. Produção de lodo e comportamento químico de sais de ferro empregados no pós-tratamento de esgoto sanitário por precipitação química. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 49-58, mar. 2009. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_artext&pid=S1413-41522009000100006](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_artext&pid=S1413-41522009000100006). Acesso em: 02 out. 2020.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Caderno Didático/Técnico para Curso de Gestão de Sistemas de Esgotamento Sanitário em áreas rurais do Brasil**. Brasília: Funasa, 2020. 53 p.

GHOSH, Anindya; MAL, Prithwiraj; MAJUMDAR, Abhijit. **Advanced Optimization and Decision-Making Techniques in Textile Manufacturing**. Boca Raton: Crc Press, 2019. 316 p. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9780429504419>. Acesso em: 18 out. 2020.

GO ASSOCIADOS. **Diagnósticos e Perspectivas para os investimentos em saneamento no Brasil**. 2017.

HASTENREITER, Tainá Alves. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de Implantação de um Sistema de Reuso de Água Cinza Para Fim Não Potável em Edificação Empresarial**. 2013. 151 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2013.

HUBBER. **HUBER Screw Press Q-PRESS®**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.huber-technology.com.br/br/produtos/tratamento-de-lodo/desidracao/huber-screw-press-q-pressr.html>. Acesso em: 18 de setembro 2021.

HUTTUNEN, Manu *et al.* Real-time monitoring of the moisture content of filter cakes in vacuum filters by a novel soft sensor. **Separation And Purification Technology**, [S.L.], v. 223, p. 282-291, set. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586618340413>. Acesso em: 08 out. 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 82 p.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Com mais de 273 mil internações por doenças de veiculação hídrica, falta de saneamento básico faz Brasil gastar R\$ 108 milhões com hospitalizações**. [s.l: s.n.].

ISHIZAKA, Alessio. Analytic Hierarchy Process and Its Extensions. **Multiple Criteria Decision Making**, [S.L.], p. 81-93, dez. 2019. Springer International Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-11482-4\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-11482-4_2). Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/302416864\\_The\\_Analytic\\_Hierarchy\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/302416864_The_Analytic_Hierarchy_Process). Acesso em: 18 out. 2020.

ISHIZAKA, Alessio; LABIB, Ashraf. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. **Expert Systems With Applications**, [S.L.], v. 38, n. 11, p. 14336-14345, maio 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417411006701>. Acesso em: 18 out. 2020.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 8.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017. 916p.

KASSAB, G.; HALALSHEH, M.; KLAPWIJK, A.; FAYYAD, M.; VAN LIER, J. B.. Sequential anaerobic-aerobic treatment for domestic wastewater – A review. **Bioresource Technol.**, v. 101, p. 3299-3310, 2010.

KOPPER, Michael; HAVRIN, Robert. The New Standard for Centrifugal Sludge Thickening Technology. **Proceedings Of The Water Environment Federation**, [S.L.], v. 2012, n. 14, p. 2569-2588, 1 jan. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/305247222\\_Process\\_optimization\\_of\\_centrifugal\\_sludge\\_reduction\\_treatment/stats](https://www.researchgate.net/publication/305247222_Process_optimization_of_centrifugal_sludge_reduction_treatment/stats). Acesso em: 17 out. 2020.

KPMG. **Quanto Custa Universalizar o Saneamento no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/br/pdf/2020/07/kpmg-quanto-custa-universalizar-o-saneamento-no-brasil.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

KUWAJIMA, Julio Issao; SANTOS, Gesmar Rosa; FECHINE, Valéria Maria Rodrigues; SANTANA, Adrielli Santos. **TD 2614 - Saneamento no Brasil: proposta de priorização do investimento público**. Texto para Discussão, p. 1–68, 12 nov. 2020.

LEE, S.J *et al.* Consolidation dewatering and centrifugal sedimentation of flocculated activated sludge. **Chemical Engineering Science**, [S.L.], v. 58, n. 9, p. 1687-1701, maio 2003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250903000204>. Acesso em: 12 out. 2020.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Átomo, 2008.

LOUCKS, Daniel P.; VAN BEEK, Eelco. **Water Resources Systems Planning and Management: an introduction to methods, models and applications**. Paris: Unesco, 2017. 690 p.

MAHMOUD, Akrama *et al.* Advances in Mechanical Dewatering of Wastewater Sludge Treatment. In: MAHMOUD, Akrama *et al.* **Wastewater Reuse and Management**. [S.L.]: Springer Netherlands, 2013. Cap. 9. p. 253-303. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/262197903\\_Advances\\_in\\_Mechanical\\_Dewatering\\_of\\_Wastewater\\_Sludge\\_Treatment](https://www.researchgate.net/publication/262197903_Advances_in_Mechanical_Dewatering_of_Wastewater_Sludge_Treatment). Acesso em: 02 out. 2020.

MARCHI, C. M. D. F. (2017). **O saneamento básico brasileiro no contexto da transição para a economia verde**. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), xx-xx. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.sbbc>

MARTINELLI, I.; OLIVEIRA, P. R. **Projetos e orçamentos de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário**. [s.l: s.n.].

McCAWLEY, Peter. **Banking on the future of Asia and the Pacific**. Asian Development Bank: 2017. 550 p.

MENEZES, Joao Paulo Cunha de et al. Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 748-757, 2015.

MENDIVIL-GARCÍA, Kimberly et al. Climate change impact assessment on a tropical river resilience using the Streeter-Phelps dissolved oxygen model. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 903046, 2022.

MENDONÇA, Sérgio Rolim; MENDONÇA, Luciana Coêlho. **Sistemas sustentáveis de esgotos**. São Paulo: Blucher, 2016. 348 p.

MOURA, Lucinewton Silva et al. Mathematical modeling in the Urumari micro-watershed using Streeter-Phelps mathematical models and the enhanced Do-Bod model. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 6, p. 332-345, 2020.

NETTO, Azevedo; Y FERNÁNDEZ, Miguel Fernández. **Manual de hidráulica**. Editora Blucher, 2018.

NUGRAHA; W. D.; SARMININGSIH, A.; ALFISYA, B. The Study of Self Purification Capacity Based on Biological Oxygen Demand (BOD) and Dissolved Oxygen (DO) Parameters. IOP Conf. Series: **Earth and Environmental Science** (2020).

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 05 out. 2020.

OSELAME, Rejane Helena Costa. **Estudo de alternativas para minimização do excesso de lodo produzido em estação de lodos ativados**. 2010. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

PENHA, E. das M.; SOUZA, A. M. de; SANTIAGO, M. C. P. de A.; CENDON, B. R.; SILVA, R. R. de B.; ARAÚJO, A. M. Manual de operação e manutenção da estação de tratamento de efluentes da Embrapa Agroindústria de Alimentos. Rio de Janeiro: **Embrapa Agroindústria de Alimentos**, 2010. (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Documentos, 106).

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB). Reuso das águas de esgoto sanitário, inclusive desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esse fim. Rio de Janeiro: **ABES**, 2006.

RAJASULOCHANA, P. et al. **Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water—a comprehensive review**. Resour Efficient Technol 2 (4): 175–184. 2016.

ROMANOVA, S.; KAZANGAPOVA, N. Theory and practice of selfpurification capacities of natural water in Kazakhstan. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. **Series of Geology and Technical Sciences**, v. 1, n. 427, p. 41-48, 2018.

ROSSONI, H. A. V., FARIA, M. T da S., SILVA, A.C., HELLER, L. **Aspectos socioeconômicos e de desenvolvimento humano municipal determinantes na ausência de prestadores de serviços de esgotamento sanitário no Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2020, 25(2), 393-402. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020183887>

SALIBA, P. D. **Avaliação do desempenho de sistema de tratamento de esgoto sanitário composto de reator UASB seguido de lodo ativado: estudo de caso da ETE Betim Central-MG**. 29 mar. 2016. Disponível em: [repositorio.ufmg.br](https://repositorio.ufmg.br). Acesso em: 12 out. 2020.

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Plano Nacional em Saneamento Básico**. Disponível em: <[www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/saneamento-ambiental/](http://www.cidades.gov.br/secretarias-nacionais/saneamento-ambiental/)>. Acesso em: 10 out. 2020.

SVIECH, V.; MANTOVAN, E. A. Análise de investimentos: controvérsias na utilização da TIR e VPL na comparação de projetos. *Percurso*, v. 1, n. 13, p. 270–298, 2013.

SALIH, N. Y. H.; MOHAMMAD, A. O.; MOHAMMED, F. O. **Estudo sobre a Autopurificação do Rio Tanjaro**. *Tikrit Journal for Agricultural Sciences* v. 21, n. 4, pág. 54-62, jan. 2022. Disponível em: <http://tujas.tu.edu.iq/index.php/ph/article/view/547>. Acesso em: 07 out. 2020.

SANTOS, A.B dos (org.). **Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais**. Fortaleza: Imprece, 2019.

SANTOS, A. B. **Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos**. [s.l.] Banco do Nordeste do Brasil, 2007.

SIEGER, Ronald B.. Optimization of Belt Filter Presses. **Proceedings Of The Water Environment Federation**, [S.L.], v. 2005, n. 2, p. 438-450, 1 jan. 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/272578270\\_Optimization\\_of\\_Belt\\_Filter\\_Presses](https://www.researchgate.net/publication/272578270_Optimization_of_Belt_Filter_Presses). Acesso em: 07 out. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico Temático - Visão Geral do Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. Dez 2019. Disponível em: [http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_VISAO\\_GERAL\\_AE\\_SNIS\\_2021.pdf](http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf). Acesso em: 12 out. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. 2022**. Disponível em: [http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO\\_TEMATICO\\_GESTAO\\_TECNICA\\_DE\\_ESGOTO\\_AE\\_SNIS\\_2022.pdf](http://antigo.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_GESTAO_TECNICA_DE_ESGOTO_AE_SNIS_2022.pdf). Acesso em: 12 out. 2020.

SPIRANDELI, Adjentina B. de Lima *et al.* Projeto e construção de um filtro de tambor rotativo à vácuo em escala de laboratório. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberlândia, v. 1, n. 3, p. 24-42, dez. 2016. Disponível em: <http://seer.uftm.edu.br/revistaeletronica/index.php/rbcti/article/viewFile/3682/3541>. Acesso em: 14 out. 2020.

SULLYVAN, R. S., Allyson. **Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil**. 2020.

TO, Vu Hien Phuong *et al.* A review on sludge dewatering indices. **Water Science And Technology**, [S.L.], v. 74, n. 1, p. 1-16, 7 mar. 2016. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2016.102>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/297662000\\_A\\_review\\_on\\_sludge\\_dewatering\\_indices](https://www.researchgate.net/publication/297662000_A_review_on_sludge_dewatering_indices). Acesso em: 20 out. 2020.

TOCANTINS (Estado). Constituição (2017). Resolução nº 7, de 06 de setembro de 2017. Regulamenta os serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Estado do Tocantins e dá outras providências. **Lex**. Palmas, TO, 11 set. 2017. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=349970>. Acesso em: 10 set. 2021.

TOCANTINS. **Resolução ATR nº 7, de 7 de setembro de 2017**. Regulamenta os serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Estado do Tocantins e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 11 set. 2017.

TOCANTINS. **Resolução COEMA/TO nº 07, de 09 de agosto de 2005**. Dispõe sobre o Sistema Integrado de Controle Ambiental do Estado do Tocantins. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 09 ago. 2005.

TOCANTINS. Secretaria da Fazenda e Planejamento (SEFAZ). Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas (DIGIT). Gerência de Contas Regionais (GECORE). **Release Produto Interno Bruto do Tocantins – Ano 2018**. Palmas: SEFAZ/GECORE, novembro/2020a. 3p.

TOCANTINS. Secretaria da Fazenda e Planejamento (SEFAZ). Subsecretaria do Planejamento e Orçamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial (GZT). **Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável: Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins**. Palmas: SEFAZ/GZT, 2020b. 464 p.

VARGAS, Eduardo Hermes; MARQUES, Felipe Souza. Análise da autodepuração do curso d'água Pomba Cuê utilizando o modelo Streeter Phelps. **Revista Pleiade**, v. 9, n. 17, p. 83-92, 2015.

VASCONCELOS, Raylan Caminha de. Tratamento de efluentes líquidos: uma perspectiva para o desenvolvimento sustentável. **Editora Amplla**. Campina Grande, 2020. 47 p.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Urban wastewater treatment in Brazil**. Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Minas Gerais, Brazil, 2016.

WU, J.; YU, X. Numerical Investigation of Dissolved Oxygen Transportation through a Coupled SWE and Streeter–Phelps Model. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2021, p. e6663696, 8 fev. 2021.

ZANIN, R. F. **Seleção de processos de tratamento de esgoto sanitário utilizando análise multicritério**. Universidade da Região de Joinville, 2011.

ZUBAIDAH, T.; KARNANINGROEM, N.; SLAMET, A. The Self-Purification Ability in The Rivers of Banjarmasin, Indonesia. **Revista de Engenharia Ecológica**: 2018. p. 177-182.

## 8 APÊNDICES

### Apêndice A: Dimensionamento do Sistema Australiano para o Grupo I

<b>LAGOA ANAERÓBIA</b>	<b>Grupo I</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	6.255
Q - Vazão Afluente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	988
DBO Afluente - S <sub>0</sub> (mg/L)	350
Tar - Temperatura do ar no mês mais frio (°C)	20
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L <sub>0</sub> - Carga (kgDBO/d)	346
L <sub>v</sub> - Taxa de Aplicação Volumétrica Admissível (kgDBO/m <sup>3</sup> .d)	0,20
V - Volume (m <sup>3</sup> )	1.729
t - Tempo de Detenção (d)	1,75
H - Profundidade (m)	4,50
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	384
Quantidade de Lagoas Anaeróbias (un)	2
Área de cada Lagoa (2 lagoas)	192
Dimensões - L x B, onde L = B	14
E - Eficiência de remoção de DBO (%)	60%
DBO <sub>efl</sub> - Concentração de DBO Efluente (mg/L)	140

<b>LAGOA FACULTATIVA</b>	<b>Grupo I</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	6.255
Q - Vazão Afluente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	987,9
DBO Afluente - S <sub>0</sub> (mg/L)	140
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L - Carga (kgDBO/d)	138
L <sub>s</sub> - Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO/ha.d)	250
A - Área Requerida (ha)	0,55
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	5.532
H - Profundidade (m)	1,80
V - Volume (m <sup>3</sup> )	9.958

t - Tempo de Detenção (d)	10,08
K - Regime de mistura completa a 20°C (1/d)	0,27
KT - Correção do K para a Temperatura de 23°C (1/d)	0,31
S - Estimativa da DBO solúvel efluente (mg/L)	34
DBO particulada (mg/L)	28
DBO efluente do sistema (mg/L)	62
Ettotal - Eficiência Total do Sistema (%)	82,30%
Quantidade de Lagoas Facultativas (un)	2
B - Largura de cada Lagoa Facultativa (m)	33
L - Comprimento de cada Lagoa Facultativa (m), onde: $L=2,5*B$	83
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	0,45
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	1.027

**Apêndice B: Dimensionamento do Sistema Australiano para o Grupo II**

<b>LAGOA ANAERÓBIA</b>	<b>Grupo II</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	10.005
Q - Vazão Afluyente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	1.618
DBO Afluyente - S <sub>0</sub> (mg/L)	350
Tar - Temperatura do ar no mês mais frio (°C)	20
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L <sub>0</sub> - Carga (kgDBO/d)	566
L <sub>v</sub> - Taxa de Aplicação Volumétrica Admissível (kgDBO/m <sup>3</sup> .d)	0,20
V - Volume (m <sup>3</sup> )	2.831
t - Tempo de Detenção (d)	1,75
H - Profundidade (m)	4,50
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	629
Quantidade de Lagoas Anaeróbias (un)	2
Área de cada Lagoa (2 lagoas)	315
Dimensões - L x B, onde L = B	18
E - Eficiência de remoção de DBO (%)	60%
DBO <sub>efl</sub> - Concentração de DBO Efluyente (mg/L)	140

<b>LAGOA FACULTATIVA</b>	<b>Grupo II</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	10.005
Q - Vazão Afluyente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	1.617,8
DBO Afluyente - S <sub>0</sub> (mg/L)	140
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L - Carga (kgDBO/d)	226
L <sub>s</sub> - Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO/ha.d)	250
A - Área Requerida (ha)	0,91
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	9.060
H - Profundidade (m)	1,80
V - Volume (m <sup>3</sup> )	16.307
t - Tempo de Detenção (d)	10,08
K - Regime de mistura completa a 20°C (1/d)	0,27

KT - Correção do K para a Temperatura de 23°C (1/d)	0,31
S - Estimativa da DBO solúvel efluente (mg/L)	34
DBO particulada (mg/L)	28
DBO efluente do sistema (mg/L)	62
Ettotal - Eficiência Total do Sistema (%)	82,30%
Quantidade de Lagoas Facultativas (un)	2
B - Largura de cada Lagoa Facultativa (m)	43
L - Comprimento de cada Lagoa Facultativa (m), onde: $L=2,5*B$	106
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	0,45
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	1.643

**Apêndice C: Dimensionamento do Sistema Australiano para o Grupo III**

<b>LAGOA ANAERÓBIA</b>	<b>Grupo III</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	23.237
Q - Vazão Afluyente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	3.587
DBO Afluyente - S <sub>0</sub> (mg/L)	350
Tar - Temperatura do ar no mês mais frio (°C)	20
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L <sub>0</sub> - Carga (kgDBO/d)	1.255
L <sub>v</sub> - Taxa de Aplicação Volumétrica Admissível (kgDBO/m <sup>3</sup> .d)	0,20
V - Volume (m <sup>3</sup> )	6.277
t - Tempo de Detenção (d)	1,75
H - Profundidade (m)	4,50
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	1.395
Quantidade de Lagoas Anaeróbias (un)	2
Área de cada Lagoa (2 lagoas)	697
Dimensões - L x B, onde L = B	26
E - Eficiência de remoção de DBO (%)	60%
DBO <sub>efl</sub> - Concentração de DBO Efluyente (mg/L)	140

<b>LAGOA FACULTATIVA</b>	<b>Grupo III</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	23.237
Q - Vazão Afluyente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	3.586,7
DBO Afluyente - S <sub>0</sub> (mg/L)	140
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L - Carga (kgDBO/d)	502
L <sub>s</sub> - Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO/ha.d)	250
A - Área Requerida (ha)	2,01
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	20.086
H - Profundidade (m)	1,80
V - Volume (m <sup>3</sup> )	36.154
t - Tempo de Detenção (d)	10,08
K - Regime de mistura completa a 20°C (1/d)	0,27

KT - Correção do K para a Temperatura de 23°C (1/d)	0,31
S - Estimativa da DBO solúvel efluente (mg/L)	34
DBO particulada (mg/L)	28
DBO efluente do sistema (mg/L)	62
Ettotal - Eficiência Total do Sistema (%)	82,30%
Quantidade de Lagoas Facultativas (un)	2
B - Largura de cada Lagoa Facultativa (m)	63
L - Comprimento de cada Lagoa Facultativa (m), onde: $L=2,5*B$	158
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	0,45
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	3.817

**Apêndice D:** Dimensionamento do sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação para o Grupo I

<b>LAGOA FACULTATIVA</b>	<b>Grupo I</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	6.255
Q - Vazão Afluente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	988
DBO Afluente - S <sub>0</sub> (mg/L)	350
T <sub>ar</sub> - Temperatura do ar no mês mais frio (°C)	20
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L - Carga (kgDBO/d)	346
L <sub>s</sub> - Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO/ha.d)	250
A - Área Requerida (ha)	1,38
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	13.830
H - Profundidade (m)	1,80
V - Volume (m <sup>3</sup> )	24.894
t - Tempo de Detenção (d)	25,20
K - Regime de mistura completa a 20°C (1/d)	0,35
KT - Correção do K para a Temperatura de 23°C (1/d)	0,41
S - Estimativa da DBO solúvel efluente (mg/L)	30,9
DBO particulada (mg/L)	28,0
DBO efluente do sistema (mg/L)	58,9
E <sub>total</sub> - Eficiência Total do Sistema (%)	83,18%
Quantidade de Lagoas Facultativas (un)	2
B - Largura de cada Lagoa Facultativa (m)	53
L - Comprimento de cada Lagoa Facultativa (m), onde: L=2,5*B	131

<b>LAGOA MATURAÇÃO</b>	<b>Grupo I</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	6.255
Q - Vazão Afluente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	988
N <sub>0</sub> - Coliformes fecais (termotolerantes) esgoto bruto (CF/100mL)	50.000.000
d - Número de dispersão	0,40
K <sub>b</sub> - Coeficiente de remoção de coliformes (20°C)	0,26
K <sub>bT</sub> - Coeficiente ajustado (23°C)	0,32

a - Coeficiente	3,71
N - Coliforme fecais efluente da lagoa facultativa	1.128.483
E - Eficiência de remoção de coliforme fecais	97,74%
<b>Alternativa - Lagoa Única com Chicanas</b>	
t - Tempo de Detenção Total (d)	12,00
H - Profundidade (m)	1,00
V - Volume de cada Lagoa (m <sup>3</sup> )	11.854
A - Área Superficial (m <sup>2</sup> )	11.854
L = B - Largura e Comprimento de cada Lagoa de Maturação (m)	109
Quantidade de chicanas - n	3
Relação interna L/B	16,0
Comprimento total das chicanas (m)	436
Largura de cada chicana (m)	27
d - Número de dispersão	0,06
Kb (fluxo disperso) - Coeficiente de decaimento de coliformes 20°C	0,54
KbT - Correção do coeficiente de decaimento de coliformes para 23°C	0,66
a - Coeficiente para fluxo disperso	1,73
Kb (fluxo disperso) - Coeficiente de decaimento de coliformes	0,00
KbT - Correção do coeficiente de decaimento de coliformes para 23°C	0,00
N - Coliforme fecais efluente da lagoa facultativa - CF/100mL	3.055
E - Eficiência de remoção de coliforme fecais efluente lagoa facultativa	99,73%
E - Efic total sistema remoção coliforme fecais efluente lagoa facultativa	99,994%
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	0,40
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	913

**Apêndice E:** Dimensionamento do sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação para o Grupo II

<b>LAGOA FACULTATIVA</b>	<b>Grupo II</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	10.005
Q - Vazão Afluente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	1.618
DBO Afluente - S <sub>0</sub> (mg/L)	350
T <sub>ar</sub> - Temperatura do ar no mês mais frio (°C)	20
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L - Carga (kgDBO/d)	566
L <sub>s</sub> - Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO/ha.d)	250
A - Área Requerida (ha)	2,26
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	22.649
H - Profundidade (m)	1,80
V - Volume (m <sup>3</sup> )	40.768
t - Tempo de Detenção (d)	25,20
K - Regime de mistura completa a 20°C (1/d)	0,35
KT - Correção do K para a Temperatura de 23°C (1/d)	0,41
S - Estimativa da DBO solúvel efluente (mg/L)	30,9
DBO particulada (mg/L)	28,0
DBO efluente do sistema (mg/L)	58,9
E <sub>total</sub> - Eficiência Total do Sistema (%)	83,18%
Quantidade de Lagoas Facultativas (un)	2
B - Largura de cada Lagoa Facultativa (m)	67
L - Comprimento de cada Lagoa Facultativa (m), onde: L=2,5*B	168

<b>LAGOA MATURAÇÃO</b>	<b>Grupo II</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	10.005
Q - Vazão Afluente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	1.618
N <sub>0</sub> - Coliformes fecais (termotolerantes) esgoto bruto (CF/100mL)	50.000.000
d - Número de dispersão	0,40
K <sub>b</sub> - Coeficiente de remoção de coliformes (20°C)	0,26
K <sub>bT</sub> - Coeficiente ajustado (23°C)	0,32

a - Coeficiente	3,71
N - Coliforme feciais efluente da lagoa facultativa	1.128.483
E - Eficiência de remoção de coliforme fecais	97,74%
<b>Alternativa - Lagoa Única com Chicanas</b>	
t - Tempo de Detenção Total (d)	12,00
H - Profundidade (m)	1,00
V - Volume de cada Lagoa (m <sup>3</sup> )	19.413
A - Área Superficial (m <sup>2</sup> )	19.413
L = B - Largura e Comprimento de cada Lagoa de Maturação (m)	139
Quantidade de chicanas - n	3
Relação interna L/B	16,0
Comprimento total das chicanas (m)	557
Largura de cada chicana (m)	35
d - Número de dispersão	0,06
Kb (fluxo disperso) - Coeficiente de decaimento de coliformes 20°C	0,54
KbT - Correção do coeficiente de decaimento de coliformes para 23°C	0,66
a - Coeficiente para fluxo disperso	1,73
Kb (fluxo disperso) - Coeficiente de decaimento de coliformes	0,00
KbT - Correção do coeficiente de decaimento de coliformes para 23°C	0,00
N - Coliforme feciais efluente da lagoa facultativa - CF/100mL	3.055
E - Eficiência de remoção de coliforme feciais efluente lagoa facultativa	99,73%
E - Efic total sistema remoção coliforme feciais efluente lagoa facultativa	99,994%
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	0,40
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	1.461

**Apêndice F:** Dimensionamento do sistema de Lagoa Facultativa seguida de Lagoa de Maturação para o Grupo III

<b>LAGOA FACULTATIVA</b>	<b>Grupo III</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	23.237
Q - Vazão Afluente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	3.587
DBO Afluente - S <sub>0</sub> (mg/L)	350
T <sub>ar</sub> - Temperatura do ar no mês mais frio (°C)	20
T - Temperatura - líquido no mês mais frio (°C)	23
L - Carga (kgDBO/d)	1.255
L <sub>s</sub> - Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO/ha.d)	250
A - Área Requerida (ha)	5,02
A - Área Requerida (m <sup>2</sup> )	50.214
H - Profundidade (m)	1,80
V - Volume (m <sup>3</sup> )	90.386
t - Tempo de Detenção (d)	25,20
K - Regime de mistura completa a 20°C (1/d)	0,35
KT - Correção do K para a Temperatura de 23°C (1/d)	0,41
S - Estimativa da DBO solúvel efluente (mg/L)	30,9
DBO particulada (mg/L)	28,0
DBO efluente do sistema (mg/L)	58,9
E <sub>total</sub> - Eficiência Total do Sistema (%)	83,18%
Quantidade de Lagoas Facultativas (un)	2
B - Largura de cada Lagoa Facultativa (m)	100
L - Comprimento de cada Lagoa Facultativa (m), onde: L=2,5*B	251

<b>LAGOA MATURAÇÃO</b>	<b>Grupo III</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	23.237
Q - Vazão Afluente - Vazão Máxima Diária (m <sup>3</sup> /dia)	3.587
N <sub>0</sub> - Coliformes fecais (termotolerantes) esgoto bruto (CF/100mL)	50.000.000
d - Número de dispersão	0,40
K <sub>b</sub> - Coeficiente de remoção de coliformes (20°C)	0,26
K <sub>bT</sub> - Coeficiente ajustado (23°C)	0,32

a - Coeficiente	3,71
N - Coliforme feciais efluente da lagoa facultativa	1.128.483
E - Eficiência de remoção de coliforme fecais	97,74%
<b>Alternativa - Lagoa Única com Chicanas</b>	
t - Tempo de Detenção Total (d)	12,00
H - Profundidade (m)	1,00
V - Volume de cada Lagoa (m <sup>3</sup> )	43.041
A - Área Superficial (m <sup>2</sup> )	43.041
L = B - Largura e Comprimento de cada Lagoa de Maturação (m)	207
Quantidade de chicanas - n	3
Relação interna L/B	16,0
Comprimento total das chicanas (m)	830
Largura de cada chicana (m)	52
d - Número de dispersão	0,06
Kb (fluxo disperso) - Coeficiente de decaimento de coliformes 20°C	0,54
KbT - Correção do coeficiente de decaimento de coliformes para 23°C	0,66
a - Coeficiente para fluxo disperso	1,73
Kb (fluxo disperso) - Coeficiente de decaimento de coliformes	0,00
KbT - Correção do coeficiente de decaimento de coliformes para 23°C	0,00
N - Coliforme feciais efluente da lagoa facultativa - CF/100mL	3.055
E - Eficiência de remoção de coliforme feciais efluente lagoa facultativa	99,73%
E - Efic total sistema remoção coliforme feciais efluente lagoa facultativa	99,994%
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	0,40
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	3.393

**Apêndice G:** Dimensionamento do sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados para o Grupo I

<b>REATOR UASB</b>	<b>Grupo I</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	6.255
Vazão Média + Vazão de Infiltração (L/s)	10,08
Vazão Máxima Diária + Vazão de Infiltração (L/s)	11,43
Vazão Máxima Horária + Vazão de Infiltração (L/s)	15,50
t - Tempo de Detenção (d)	8,00
Vtotal - Volume Total de Reatores (m <sup>3</sup> )	290
h - Altura (m)	5,00
Atotal - Área da Seção Transversal dos Reatores (m <sup>2</sup> )	58
Dimensões - L x B, onde L = B	7,62
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	350
DQO - Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	700
CDQO - Carga Orgânica de DQO por dia (kg.DQO/dia)	305
CHV - Carga Volumétrica Hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> *dia)	3,00
COV - Carga Volumétrica Orgânica (kg/m <sup>3</sup> *dia)	0,70
Velocidade Ascensional Média (m/h)	0,63
Velocidade Ascensional Máxima Horária (m/h)	0,96
Eficiência (%)	75%

<b>LODO ATIVADO</b>	<b>Grupo I</b>
<b>Dimensionamento do Reator de Lodo Ativado</b>	
Vazão Média (m <sup>3</sup> /dia)	871
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	350
SS - Sólidos em Suspensão (mg/L)	400
NTK - Nitrogênio Total (mg/L)	50
Carga Orgânica de DBO por dia (kgDBO/dia)	305
Carga SS - Sólidos em Suspensão (kgSS/dia)	348
Carga NTK - Nitrogênio Total (kgNTK/dia)	44
Eficiência de Remoção de DBO do UASB (%)	75%
Eficiência de Remoção de NTK do UASB (%)	10%

Carga de DBO afluente Lodo Ativado (kgDBO/dia)	75
Concentração de DBO afluente Lodo Ativado (mg.DBO/L)	87
Carga de NTK afluente Lodo Ativado (kgNTK/dia)	39
Concentração de NTK afluente Lodo Ativado (mgNTK/L)	45
Eficiência Global do Sistema para DBO (%)	90%
Eficiência Global do Sistema para NTK (%)	85%
Concentração de DBO efluente finalo (mgDBO/L)	35
Concentração de NTK afluente Lodo Ativadoo (mgNTK/L)	8
Idade do Lodo (dia)	8
SSTVA - Sólidos em Suspensão Voláteis no Tanque Aeração (mg/L)	1.500
S - DBO solúvel efluente (mg/L)	10
Coeficiente Y (gSSV/gSSV.d)	0,60
Coeficiente Kd (gSSV/gSSV.d)	0,08
Fração Biodegradável do SSV - fb (kgSSb/kgSSV)	0,70
Volume do Tanque de Aeração (m <sup>3</sup> )	147,44
Altura do Tanque de Aeração (m)	3,50
Área do Tanque de Aeração (m <sup>2</sup> )	42,13
Volume do Tanque de Aeração (m <sup>3</sup> ) - 02 Tanques (cada tanque)	73,72
Área do Tanque de Aeração (m <sup>2</sup> ) - 02 Tanques (cada tanque)	21,06
L - Comprimento de cada Tanque (m)	7,00
B - Largura de cada Tanque (m)	3,00
Relação L/B	2,33
Volume Total Resultante (m <sup>3</sup> )	147
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica (h)	4,05
SSVTA / SSTA = SSV / SS = Xv/X	0,75
SSTA = SSVTA / (SSV/SS) (mg/L)	2.000
<b>Estimativa da produção e da remoção de lodo excedente</b>	
Coeficiente de produção de lodo (kgSS/kgDBO)	0,65
Px - Produção de lodo aeróbio excedente (kgSS/d)	49
Px per capita (gSS/hab.d)	8
Px - Sólidos totais (kgSS/d)	49
Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	37
Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	12

R - Razão de recirculação	0,80
Xr - Concentração SS lodo aeróbio exced e lodo de retorno (kgSS/m <sup>3</sup> )	4,50
Q <sub>ex.aeróbio</sub> - Vazão de lodo aeróbio excedente (m <sup>3</sup> /d)	11
<b>Cálculo do consumo de O<sub>2</sub> e da potência requerida p/ aeradores</b>	
Consumo médio O <sub>2</sub> demanda carbonácea por DBO (kgO <sub>2</sub> /kgDBO)	1,00
Consumo médio O <sub>2</sub> demanda carbonácea (kgO <sub>2</sub> /d)	75
Consumo médio de O <sub>2</sub> demanda nitrogenada (kgO <sub>2</sub> /kgN)	4,60
Consumo médio de O <sub>2</sub> demanda nitrogenada (kgO <sub>2</sub> /d)	163
Consumo médio total de O <sub>2</sub> (kgO <sub>2</sub> /d)	239
Romáx/RoméD - Relação consumo máximo / consumo médio de O <sub>2</sub>	1,30
Consumo máximo de O <sub>2</sub> (kgO <sub>2</sub> /d)	310
Relação padrão / campo	1,60
Consumo de O <sub>2</sub> em condições padrão (kgO <sub>2</sub> /d)	497
Consumo de O <sub>2</sub> em condições padrão (kgO <sub>2</sub> /h)	21
Eficiência de Oxigenação Padrão (kgO <sub>2</sub> /kWh)	1,80
Potência requerida (CV)	16
Quantidade de aeradores (unid)	4
Potência requerida para cada aerador (CV)	4
Potência comercial para cada aerador (CV)	5,0
Potência total instalada (CV)	20
Potência total instalada (kW)	15
Potência instalada per capita (W/hab)	2,35
Potência consumida por ano (kWh/ano)	100.703
Potência consumida por habitante por ano (kWh/hab.ano)	16
<b>Dimensionamento do decantador secundário</b>	
TAH - Taxa de aplicação hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	30,00
TAS - Taxa de aplicação de sólidos (kgSS/m <sup>2</sup> .d)	120
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) - pela TAH - adotado	29,03
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) - pela TAS	26,12
H - Profundidade (m)	3,50
Volume (m <sup>3</sup> )	102
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) de cada tanque de aeração - Adotado 2 tanques	15
L - Comprimento de cada Tanque (m)	5

B - Largura de cada Tanque (m)	3
Relação L/B	1,67
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica (h)	2,80
<b>Tratamento de lodo</b>	
Px - Sólidos totais (kgSS/d)	49
Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	37
Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	12
Remoção de SSV mdo lodo aeróbio no Reator UASB (%)	35%
Lodo aeróbio - Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	24
Lodo aeróbio - Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	12
Lodo aeróbio - Px - Sólidos totais (kgSS/d)	36
Lodo anaeróbio - Coefic produção lodo anaeróbio (kgSS/kgDBO)	0,30
Lodo anaeróbio - Px - Sólidos totais (kgSS/d)	91
Produção total de lodo - aeróbio + anaeróbio (kgSS/d)	128
Produção per capita de lodo excedente (gSS/hab.d)	20
QexUASB - Vazão de lodo (m <sup>3</sup> /d)	4,25
Carga de sólidos (kgSS/d)	128
Volume diário de lodo a ser disposto (m <sup>3</sup> /d)	0,51
Volume anual de lodo a ser disposto (m <sup>3</sup> /ano)	186
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	1,10
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	2.511

**Apêndice H:** Dimensionamento do sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados para o Grupo II

<b>REATOR UASB</b>	<b>Grupo II</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	10.005
Vazão Média + Vazão de Infiltração (L/s)	16,56
Vazão Máxima Diária + Vazão de Infiltração (L/s)	18,72
Vazão Máxima Horária + Vazão de Infiltração (L/s)	25,23
t - Tempo de Detenção (d)	8,00
Vtotal - Volume Total de Reatores (m <sup>3</sup> )	477
h - Altura (m)	5,00
Atotal - Área da Seção Transversal dos Reatores (m <sup>2</sup> )	95
Dimensões - L x B, onde L = B	9,77
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	350
DQO - Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	700
CDQO - Carga Orgânica de DQO por dia (kg.DQO/dia)	501
CHV - Carga Volumétrica Hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .dia)	3,00
COV - Carga Volumétrica Orgânica (kg/m <sup>3</sup> .dia)	0,70
Velocidade Ascensional Média (m/h)	0,63
Velocidade Ascensional Máxima Horária (m/h)	0,95
Eficiência (%)	75%

<b>LODO ATIVADO</b>	<b>Grupo II</b>
<b>Dimensionamento do Reator de Lodo Ativado</b>	
Vazão Média (m <sup>3</sup> /dia)	1.430
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	350
SS - Sólidos em Suspensão (mg/L)	400
NTK - Nitrogênio Total (mg/L)	50
Carga Orgânica de DBO por dia (kgDBO/dia)	501
Carga SS - Sólidos em Suspensão (kgSS/dia)	572
Carga NTK - Nitrogênio Total (kgNTK/dia)	72
Eficiência de Remoção de DBO do UASB (%)	75%
Eficiência de Remoção de NTK do UASB (%)	10%

Carga de DBO afluente Lodo Ativado (kgDBO/dia)	124
Concentração de DBO afluente Lodo Ativado (mg.DBO/L)	87
Carga de NTK afluente Lodo Ativado (kgNTK/dia)	64
Concentração de NTK afluente Lodo Ativado (mg.NTK/L)	45
Eficiência Global do Sistema para DBO (%)	90%
Eficiência Global do Sistema para NTK (%)	85%
Concentração de DBO efluente finalo (mgDBO/L)	35
Concentração de NTK afluente Lodo Ativadoo (mgNTK/L)	8
Idade do Lodo (dia)	8
SSTVA - Sólidos em Suspensão Voláteis no Tanque Aeração (mg/L)	1.500
S - DBO solúvel efluente (mg/L)	10
Coeficiente Y (gSSV/gSSV.d)	0,60
Coeficiente Kd (gSSV/gSSV.d)	0,08
Fração Biodegradável do SSV - fb (kgSSb/kgSSV)	0,70
Volume do Tanque de Aeração (m <sup>3</sup> )	242,22
Altura do Tanque de Aeração (m)	3,50
Área do Tanque de Aeração (m)	69,21
Volume do Tanque de Aeração (m <sup>3</sup> ) - 02 Tanques (cada tanque)	121,11
Área do Tanque de Aeração (m) - 02 Tanques (cada tanque)	34,60
L - Comprimento de cada Tanque (m)	9,00
B - Largura de cada Tanque (m)	4,00
Relação L/B	2,25
Volume Total Resultante (m <sup>3</sup> )	252
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica (h)	4,23
SSVTA / SSTA = SSV / SS = Xv/X	0,75
SSTA = SSVTA / (SSV/SS) (mg/L)	2.000
<b>Estimativa da produção e da remoção de lodo excedente</b>	
Coeficiente de produção de lodo (kgSS/kgDBO)	0,65
Px - Produção de lodo aeróbio excedente (kgSS/d)	81
Px per capita (gSS/hab.d)	8
Px - Sólidos totais (kgSS/d)	81
Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	60
Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	20

R - Razão de recirculação	0,80
Xr - Concentração SS lodo aeróbio exced e lodo de retorno (kgSS/m <sup>3</sup> )	4,50
Qex.aeróbio - Vazão de lodo aeróbio excedente (m <sup>3</sup> /d)	18
<b>Cálculo do consumo de O<sub>2</sub> e da potência requerida p/ aeradores</b>	
Consumo médio O <sub>2</sub> demanda carbonácea por DBO (kgO <sub>2</sub> /kgDBO)	1,00
Consumo médio O <sub>2</sub> demanda carbonácea (kgO <sub>2</sub> /d)	124
Consumo médio de O <sub>2</sub> demanda nitrogenada (kgO <sub>2</sub> /kgN)	4,60
Consumo médio de O <sub>2</sub> demanda nitrogenada (kgO <sub>2</sub> /d)	268
Consumo médio total de O <sub>2</sub> (kgO <sub>2</sub> /d)	392
Romáx/Roméd - Relação consumo máximo / consumo médio de O <sub>2</sub>	1,30
Consumo máximo de O <sub>2</sub> (kgO <sub>2</sub> /d)	510
Relação padrão / campo	1,60
Consumo de O <sub>2</sub> em condições padrão (kgO <sub>2</sub> /d)	816
Consumo de O <sub>2</sub> em condições padrão (kgO <sub>2</sub> /h)	34
Eficiência de Oxigenação Padrão (kgO <sub>2</sub> /kWh)	1,80
Potência requerida (CV)	26
Quantidade de aeradores (unid)	4
Potência requerida para cada aerador (CV)	6
Potência comercial para cada aerador (CV)	7,5
Potência total instalada (CV)	30
Potência total instalada (kW)	22
Potência instalada per capita (W/hab)	2,20
Potência consumida por ano (kWh/ano)	165.435
Potência consumida por habitante por ano (kWh/hab.ano)	17
<b>Dimensionamento do decantador secundário</b>	
TAH - Taxa de aplicação hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	30,00
TAS - Taxa de aplicação de sólidos (kgSS/m <sup>2</sup> .d)	120
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) - pela TAH - adotado	47,68
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) - pela TAS	42,91
H - Profundidade (m)	3,50
Volume (m <sup>3</sup> )	167
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) de cada tanque de aeração - Adotado 2 tanques	24
L - Comprimento de cada Tanque (m)	6

B - Largura de cada Tanque (m)	4
Relação L/B	1,50
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica (h)	2,80
<b>Tratamento de lodo</b>	
Px - Sólidos totais (kgSS/d)	81
Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	60
Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	20
Remoção de SSV mdo lodo aeróbio no Reator UASB (%)	35%
Lodo aeróbio - Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	39
Lodo aeróbio - Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	20
Lodo aeróbio - Px - Sólidos totais (kgSS/d)	59
Lodo anaeróbio - Coefic produção lodo anaeróbio (kgSS/kgDBO)	0,30
Lodo anaeróbio - Px - Sólidos totais (kgSS/d)	150
Produção total de lodo - aeróbio + anaeróbio (kgSS/d)	210
Produção per capita de lodo excedente (gSS/hab.d)	21
QexUASB - Vazão de lodo (m <sup>3</sup> /d)	6,99
Carga de sólidos (kgSS/d)	210
Volume diário de lodo a ser disposto (m <sup>3</sup> /d)	0,84
Volume anual de lodo a ser disposto (m <sup>3</sup> /ano)	306
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	1,10
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	4.017

**Apêndice I:** Dimensionamento do sistema de Reator UASB seguido de Lodos Ativados para o Grupo III

<b>REATOR UASB</b>	<b>Grupo III</b>
População Urbana de Fim de Plano (hab)	23.237
Vazão Média + Vazão de Infiltração (L/s)	36,48
Vazão Máxima Diária + Vazão de Infiltração (L/s)	41,51
Vazão Máxima Horária + Vazão de Infiltração (L/s)	56,62
t - Tempo de Detenção (d)	8,00
Vtotal - Volume Total de Reatores (m <sup>3</sup> )	1.051
h - Altura (m)	5,00
Atotal - Área da Seção Transversal dos Reatores (m <sup>2</sup> )	210
Dimensões - L x B, onde L = B	14,50
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	350
DQO - Demanda Química de Oxigênio (mg/L)	700
CDQO - Carga Orgânica de DQO por dia (kg.DQO/dia)	1.103
CHV - Carga Volumétrica Hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> *dia)	3,00
COV - Carga Volumétrica Orgânica (kg/m <sup>3</sup> *dia)	0,70
Velocidade Ascensional Média (m/h)	0,63
Velocidade Ascensional Máxima Horária (m/h)	0,97
Eficiência (%)	75%

<b>LODO ATIVADO</b>	<b>Grupo III</b>
<b>Dimensionamento do Reator de Lodo Ativado</b>	
Vazão Média (m <sup>3</sup> /dia)	3.152
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	350
SS - Sólidos em Suspensão (mg/L)	400
NTK - Nitrogênio Total (mg/L)	50
Carga Orgânica de DBO por dia (kgDBO/dia)	1.103
Carga SS - Sólidos em Suspensão (kgSS/dia)	1.261
Carga NTK - Nitrogênio Total (kgNTK/dia)	158
Eficiência de Remoção de DBO do UASB (%)	75%
Eficiência de Remoção de NTK do UASB (%)	10%

Carga de DBO afluente Lodo Ativado (kgDBO/dia)	273
Concentração de DBO afluente Lodo Ativado (mg.DBO/L)	87
Carga de NTK afluente Lodo Ativado (kgNTK/dia)	142
Concentração de NTK afluente Lodo Ativado (mgNTK/L)	45
Eficiência Global do Sistema para DBO (%)	90%
Eficiência Global do Sistema para NTK (%)	85%
Concentração de DBO efluente finalo (mgDBO/L)	35
Concentração de NTK afluente Lodo Ativadoo (mgNTK/L)	8
Idade do Lodo (dia)	8
SSTVA - Sólidos em Suspensão Voláteis no Tanque Aeração (mg/L)	1.500
S - DBO solúvel efluente (mg/L)	10
Coefficiente Y (gSSV/gSSV.d)	0,60
Coefficiente Kd (gSSV/gSSV.d)	0,08
Fração Biodegradável do SSV - fb (kgSSb/kgSSV)	0,70
Volume do Tanque de Aeração (m <sup>3</sup> )	533,68
Altura do Tanque de Aeração (m)	3,50
Área do Tanque de Aeração (m)	152,48
Volume do Tanque de Aeração (m <sup>3</sup> ) - 02 Tanques (cada tanque)	266,84
Área do Tanque de Aeração (m) - 02 Tanques (cada tanque)	76,24
L - Comprimento de cada Tanque (m)	13,00
B - Largura de cada Tanque (m)	6,00
Relação L/B	2,17
Volume Total Resultante (m <sup>3</sup> )	546
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica (h)	4,16
SSVTA / SSTA = SSV / SS = Xv/X	0,75
SSTA = SSVTA / (SSV/SS) (mg/L)	2.000
<b>Estimativa da produção e da remoção de lodo excedente</b>	
Coefficiente de produção de lodo (kgSS/kgDBO)	0,65
Px - Produção de lodo aeróbio excedente (kgSS/d)	177
Px per capita (gSS/hab.d)	8
Px - Sólidos totais (kgSS/d)	177
Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	133
Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	44

R - Razão de recirculação	0,80
Xr - Concentração SS lodo aeróbio exced e lodo de retorno (kgSS/m <sup>3</sup> )	4,50
Qex.aeróbio - Vazão de lodo aeróbio excedente (m <sup>3</sup> /d)	39
<b>Cálculo do consumo de O<sub>2</sub> e da potência requerida p/ aeradores</b>	
Consumo médio O <sub>2</sub> demanda carbonácea por DBO (kgO <sub>2</sub> /kgDBO)	1,00
Consumo médio O <sub>2</sub> demanda carbonácea (kgO <sub>2</sub> /d)	273
Consumo médio de O <sub>2</sub> demanda nitrogenada (kgO <sub>2</sub> /kgN)	4,60
Consumo médio de O <sub>2</sub> demanda nitrogenada (kgO <sub>2</sub> /d)	591
Consumo médio total de O <sub>2</sub> (kgO <sub>2</sub> /d)	864
Romáx/Roméd - Relação consumo máximo / consumo médio de O <sub>2</sub>	1,30
Consumo máximo de O <sub>2</sub> (kgO <sub>2</sub> /d)	1.123
Relação padrão / campo	1,60
Consumo de O <sub>2</sub> em condições padrão (kgO <sub>2</sub> /d)	1.798
Consumo de O <sub>2</sub> em condições padrão (kgO <sub>2</sub> /h)	75
Eficiência de Oxigenação Padrão (kgO <sub>2</sub> /kWh)	1,80
Potência requerida (CV)	57
Quantidade de aeradores (unid)	4
Potência requerida para cada aerador (CV)	14
Potência comercial para cada aerador (CV)	15,0
Potência total instalada (CV)	60
Potência total instalada (kW)	44
Potência instalada per capita (W/hab)	1,90
Potência consumida por ano (kWh/ano)	364.498
Potência consumida por habitante por ano (kWh/hab.ano)	16
<b>Dimensionamento do decantador secundário</b>	
TAH - Taxa de aplicação hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	30,00
TAS - Taxa de aplicação de sólidos (kgSS/m <sup>2</sup> .d)	120
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) - pela TAH - adotado	105,06
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) - pela TAS	94,55
H - Profundidade (m)	3,50
Volume (m <sup>3</sup> )	368
Área Superficial (m <sup>2</sup> ) de cada tanque de aeração - Adotado 2 tanques	53
L - Comprimento de cada Tanque (m)	9

B - Largura de cada Tanque (m)	6
Relação L/B	1,50
TDH - Tempo de Detenção Hidráulica (h)	2,80
<b>Tratamento de lodo</b>	
Px - Sólidos totais (kgSS/d)	177
Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	133
Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	44
Remoção de SSV mdo lodo aeróbio no Reator UASB (%)	35%
Lodo aeróbio - Pxv - Sólidos voláteis (kgSSV/d)	87
Lodo aeróbio - Pxf - Sólidos fixos (kgSSF/d)	44
Lodo aeróbio - Px - Sólidos totais (kgSS/d)	131
Lodo anaeróbio - Coefic produção lodo anaeróbio (kgSS/kgDBO)	0,30
Lodo anaeróbio - Px - Sólidos totais (kgSS/d)	331
Produção total de lodo - aeróbio + anaeróbio (kgSS/d)	462
Produção per capita de lodo excedente (gSS/hab.d)	20
QexUASB - Vazão de lodo (m <sup>3</sup> /d)	15,39
Carga de sólidos (kgSS/d)	462
Volume diário de lodo a ser disposto (m <sup>3</sup> /d)	1,85
Volume anual de lodo a ser disposto (m <sup>3</sup> /ano)	674
Taxa de Produção de Lodo (L/hab.d)	1,10
Produção anual de lodo (m <sup>3</sup> )	9.330