



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADEMICO DO AGRESTE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TALES TADEU GUEDES DE SOUZA

**APLICAÇÃO DA TEORIA DA UTILIDADE MULTIATRIBUTO PARA TOMADA  
DE DECISÃO SOBRE A MELHOR ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO  
DE ESGOTOS DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO**

Caruaru  
2018

TALES TADEU GUEDES DE SOUZA

**APLICAÇÃO DA TEORIA DA UTILIDADE MULTIATRIBUTO PARA TOMADA DE DECISÃO SOBRE A MELHOR ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau em Engenheiro Civil.

**Área de concentração:** Saneamento

**Orientador:** Prof<sup>a</sup> Dra. Kenia Kelly Barros da Silva

Caruaru

2018

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

- S729e Souza, Tales Tadeu Guedes de.  
Aplicação da teoria da utilidade multiatributo para tomada de decisão sobre a melhor alternativa para o tratamento de esgotos do município de Vitória de Santo Antão. / Tales Tadeu Guedes de Souza. – 2018.  
67 f. il. : 30 cm.
- Orientadora: Kenia Kelly Barros da Silva.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.  
Inclui Referências.
1. Esgotos - Tratamento. 2. Saneamento. 3. Vitória de Santo Antão (PE). I. Silva, Kenia Kelly Barros da (Orientadora). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-343)

TALES TADEU GUEDES DE SOUZA

# **APLICAÇÃO DA TEORIA DA UTILIDADE MULTIATRIBUTO PARA TOMADA DE DECISÃO SOBRE A MELHOR ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Área de concentração: Saneamento

A banca examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o candidato **APROVADO**, com a nota \_\_\_\_\_.

Caruaru, 04 de dezembro de 2018.

Banca examinadora:

Profª Dra. Kenia Kelly Barros da Silva  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Profª Dra. Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Profª. Dra. Simone Machado Santos  
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

## RESUMO

Neste trabalho, sobre a aplicação da teoria da utilidade multiatributo como ferramenta de apoio à tomada de decisão para escolha da melhor alternativa para o tratamento de esgotos do município de vitória de santo antão, tratou-se principalmente de propor um sistema de que atenda às necessidades e especificidades do município de Vitória de Santo Antão. Inicialmente, realizou-se o diagnóstico do município, através do levantamento das condições sanitárias que envolvem abastecimento de água, esgotamento e destinação para o lixo, bem como a projeção populacional a ser atendida pela respectiva Estação de Tratamento. Nesse sentido, a partir do estudo dos processos e etapas envolvidas no tratamento foram formuladas três alternativas de tecnologia favoráveis ao atendimento das exigências ambientais e da legislação vigente, inclusive em relação ao padrão de lançamento no corpo hídrico receptor, o Rio Tapacurá. Então, para avaliação das alternativas Sistema de Lagoas de Estabilização, Reator UASB seguido de Filtro Biológico Percolador e o Sistema de Lodos ativados, foram elencados 16 (dezesesseis) critérios divididos em 04 (quatro) grupos: técnicos, ambientais, econômicos e sociais. Finalmente, elaborou-se um questionário, onde especialistas em saneamento responderam qual o grau de relevância de cada critério para a escolha da tecnologia: pouco relevante, relevante ou muito relevante. Como também, indicaram o grau de atendimento de cada uma das três alternativas segundo os dezesseis critérios elencados. Assim, um olhar empírico sobre a relevância dos critérios elencados, bem como sobre o desempenho das alternativas formuladas, irá refinar a escolha do tratamento indicado.

**Palavras-chave:** Teoria da utilidade multiatributo. Tratamento de esgotos. Estudo de concepção. Avaliação de alternativas para tratamento de esgotos. Vitória de santo antão. Saneamento.

## ABSTRACT

In this work, on the application of the multiattribute utility theory as a tool to support decision-making in order to choose the best alternative for the treatment of sewage in the municipality of Vitória de Santo Antão, it was primarily proposed a system that meets the needs and specificities of the city of Vitória de Santo Antão. Initially, the municipality was diagnosed by evaluated the sanitary conditions that involve water supply, depletion and waste disposal, as well as the population projection to be attended by the respective Treatment Station. In this sense, from the study of the processes and stages involved in the treatment, in order to meet the environmental requirements and the current legislation, including in relation to the launching standard in the water body, the Tapacurá River, it were formulated three alternatives of technology. Then, to evaluate the alternatives of Stabilization Pond System, UASB Reactor followed by Biological Filter Percolator and activated sludge system, 16 (sixteen) criteria were divided into four (four) groups: technical, environmental, economic and social. Finally, a questionnaire was elaborated, where sanitation specialists answered the degree of relevance of each criterion for the choice of technology: little relevant, relevant or very relevant. As well, they indicated the degree of care of each of the three alternatives according to the sixteen criteria listed. Thus, an empirical look at the relevance of the criteria listed, as well as on the performance of formulated alternatives, will refine the choice of the indicated treatment.

**Key-words:** Multi-attribute utility theory. Waste water treatment. Study design. Evaluation of alternatives for waste water treatment. Vitória de Santo Antão. Sanitation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Gráfico: Condições Sanitárias - Abastecimento de Água .....	20
Figura 4.2 Gráfico: Condições Sanitárias – Destinação do Lixo.....	20
Figura 4.3 Gráfico: Condições Sanitárias – Esgotamento Sanitário.....	21
Figura 4.4 Problemas identificados relacionados a coleta de esgotamento sanitário. ....	22
Figura 4.5 Registro da Estação de Tratamento existente Em 2001 .....	23
Figura 4.6 Localização dos Reservatórios de Goitá e Tapacurá. ....	29
Figura 4.7 Municípios da bacia do Rio Tapacurá.....	30
Figura 4.8 Área indicada para o desenvolvimento de alternativas de tratamento do município.	37
Figura 4.9 Esquema Alternativa 01 .....	39
Figura 4.10 Esquema Alternativa 02 .....	41
Figura 4.11 Ilustração do Funcionamento do Reator UASB. ....	42
Figura 4.12 Esquema Alternativa 03 .....	44
Figura 4.13 Desenho esquemático da configuração proposta por Ludzack e Ettinger. ....	45
Figura 5.1 Gráfico da avaliação média dos critérios técnicos.....	50
Figura 5.2 Gráfico da avaliação média dos critérios ambientais .....	52
Figura 5.3 Gráfico da avaliação média dos critérios econômicos.....	54
Figura 5.4 Gráfico da avaliação média Dos critérios sociais .....	55
Figura 5.5 Gráfico do resultado geral dos questionários .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Qualidade das águas de rios relevantes – Concentração de DBO <sub>5</sub> em mg/L.....	15
Tabela 3.2 Caracterização do rio de acordo com a concentração de DBO <sub>5</sub> .....	15
Tabela 3.3 Etapas de tratamento em função da eficiência das unidades .....	17
Tabela 4.1 Índices de atendimento de Água e Esgoto. ....	21
Tabela 4.6 Valores típicos de Parâmetros de Carga Orgânica no Esgoto .....	24
Tabela 4.7 Características típicas de sólidos no Esgoto Bruto.....	26
Tabela 4.8 Resulta da coleta de Esgotos .....	27
Tabela 4.9 Resulta da coleta de Esgotos .....	27
Tabela 4.10 Parâmetros das análises da Qualidade da Água no Rio Tapacurá.....	31
Tabela 4.11 Classes e usos de água conforme a Resolução CONAMA Nº 357/2005.....	32
Tabela 4.12 Nível de remoção de carga orgânica em função da carga do efluente bruto .....	34
Tabela 4.13 Considerações para a nova ETE (Jordão; Pessoa, 2005, P. 136).....	37
Tabela 4.14 Estimativa da eficiência para a Alternativa 01 .....	40
Tabela 4.15 Estimativa da eficiência para a Alternativa 02 .....	43
Tabela 4.16 Estimativa da eficiência para a Alternativa 03 .....	46
Tabela 4.17 Critérios para avaliação das alternativas de tratamento.....	46
Tabela 4.18 Escala de relevância para avaliação dos critérios .....	47
Tabela 4.19 Critérios estatísticos para delimitação da pesquisa.....	48
Tabela 5.1 Análise Técnica: vantagens e desvantagens.....	49
Tabela 5.2 Avaliação dos critérios técnicos .....	50
Tabela 5.3 Análise Ambiental: vantagens e desvantagens .....	51
Tabela 5.4 Avaliação dos critérios ambientais.....	51
Tabela 5.5 Análise Econômica: vantagens e desvantagens .....	53
Tabela 5.6 Avaliação dos critérios econômicos .....	53
Tabela 5.7 Análise Social: vantagens e desvantagens .....	54
Tabela 5.8 Avaliação dos critérios sociais .....	55
Tabela 5.9 Resultado geral dos questionários.....	58
Tabela 4.2 Censo Populacional município de Vitória de Santo Antão.....	64
Tabela 4.3 Taxas de crescimento populacional do município .....	64
Tabela 4.4 Projeção Populacional – Vitória De Santo Antão.....	65
Tabela 4.5 Consumo Per Capita médio por localidades.....	66

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos Gerais.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Cenário Atual.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Tratamento de Efluentes .....</b>	<b>16</b>
3.2.1	Processos de Tratamento.....	16
3.2.2	Etapas de Tratamento .....	17
<b>3.3</b>	<b>Identificação da melhor alternativa .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Materiais.....</b>	<b>20</b>
4.1.1	Condições Sanitárias do município .....	20
4.1.2	Sistemas existentes de esgotamento sanitário.....	22
4.1.3	Características do esgoto a ser tratado .....	23
4.1.4	Características dos corpos hídricos.....	28
4.1.5	Legislação ambiental e exigências .....	33
4.1.6	Área de implantação da estação de tratamento .....	36
<b>4.2</b>	<b>Metodos .....</b>	<b>37</b>
4.2.1	Formulação de alternativas para o tratamento .....	37
4.2.2	Alternativa 01.....	39
4.2.3	Alternativa 02.....	41
4.2.4	Alternativa 03.....	44
4.2.5	Aplicação de questionário à especialistas .....	46
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise Técnica .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise Ambiental .....</b>	<b>51</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise Econômica .....</b>	<b>52</b>
<b>5.4</b>	<b>Análise Social .....</b>	<b>54</b>
<b>5.5</b>	<b>Seleção e Justificativa da alternativa escolhida .....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
6.1	Avaliação de impactos relacionados à ETE.....	60
6.2	Considerações Finais .....	61
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO A - QUESTIONÁRIO APLICADO À ESPECIALISTAS.....</b>	<b>63</b>
	<b>ANEXO B - ESTUDO DE DEMANDA.....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a antiguidade o homem costuma lançar seus detritos em cursos de água nas adjacências de sua comunidade. Até a Revolução Industrial esse procedimento não causava problemas, tendo em vista que os rios, mares e oceanos são dotados de considerável poder de autolimpeza, de purificação. Com a industrialização, porém, a situação passou a sofrer profundas alterações. O volume de despejos nas águas tornou-se cada vez maior, superando a capacidade natural de purificação dos rios e oceanos, que é limitada. Além disso, passou a ser despejada na água uma grande quantidade de elementos que não são biodegradáveis, ou seja, que não são decompostos pela natureza. Tais elementos - por exemplo, plásticos, detergentes e pesticidas inorgânicos - vão se acumulando nos rios, lagos e oceanos, diminuindo a capacidade de retenção de oxigênio das águas e, conseqüentemente, prejudicando o abastecimento humano, a vida aquática, e as demais funções dos recursos hídricos no funcionamento na natureza.

O saneamento vem então como uma solução no sentido de preservar as condições do meio ambiente, prevenindo doenças e melhorando as condições da saúde pública. Uma das finalidades do saneamento básico está ligada à coleta e tratamento de resíduos produzidos pelo homem, como o esgoto, tornando-os inofensivos à saúde.

Neste sentido, o primeiro passo para mobilizar recursos para a implantação de um sistema de esgotamento sanitário em um determinado município é estudá-lo. Através de um diagnóstico sobre a localidade, dados gerais do município, situação atual de seu saneamento, diretrizes municipais e perspectiva estadual, de forma a consolidar o reconhecimento do lugar. Assim, propondo alternativas de concepção para um projeto de esgotamento sanitário viável de ser implantado.

Para o presente trabalho acadêmico, será estudado o município de Vitória de Santo Antão – PE, onde, após o diagnóstico do município, será realizado um estudo de alternativas para escolher o melhor sistema de tratamento dos esgotos sanitários produzidos pela cidade, de forma que, ao final do trabalho, será indicada a alternativa mais vantajosa. Para tanto, pretende-se formular

alternativas, com base na literatura acadêmica, e com a utilização de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão, fundamentada na opinião de especialistas em saneamento, indicar qual delas é a mais vantajosa dos pontos de vista técnico, ambiental, econômico e social.

O tema proposto para este trabalho é de grande relevância para a área de saneamento e tecnologia ambiental, mais especificamente, para projetos de esgotamento sanitário. Uma vez que, o saneamento básico se caracteriza como um dos principais agentes de transformação e melhoria da qualidade de vida da população, contribuindo para a promoção do desenvolvimento sustentável de uma região, além de se caracterizar como um direito essencial à cidadania.

Além dos benefícios sociais e ambientais de um sistema de esgotamento eficiente, no âmbito financeiro e econômico a sociedade também é favorecida. Conforme afirma declaração oficial da relatora especial da ONU sobre o direito humano à água e saneamento em sua visita ao Brasil em dezembro de 2013:

*“O investimento no saneamento faz sentido não só em termos de direitos humanos, mas igualmente de uma perspectiva econômica e de desenvolvimento. A nível mundial, por cada dólar investido em esgoto, há um retorno de cerca de 4 dólares. No caso do Brasil, há estudos que apontam para um retorno ainda maior, devido aos ganhos de produtividade e poupanças feitas nomeadamente na área da saúde.”*

Um sistema para tratamento de esgotamento sanitário, quando projetado adequadamente, implantado de forma correta e operado de maneira eficaz, possibilita o alcance de importantes benefícios à população diretamente favorecida e à saúde pública em geral, na medida em que seus efeitos podem ser traduzidos em redução de gastos com saúde, incluindo diminuição de despesas com internações e tratamentos de enfermidades, tendo em vista alguns aspectos, tais como: a comprovada relação direta entre a ocorrência de doenças infecciosas e parasitárias e da mortalidade infantil com o lançamento

inadequado do esgoto doméstico *in natura*; o aumento médio de vida do homem, em decorrência da diminuição da insalubridade ambiental; diminuição dos custos associados ao tratamento da água de abastecimento, uma vez que a água bruta captada se apresenta menos contaminada com esgoto; o controle da poluição dos locais de recreação, com promoção do conforto e atendimento ao senso estético, sendo possível ampliar o leque de usos dos corpos hídricos; diminuição dos processos de eutrofização; proteção da fauna aquática, dentre outros.

## **2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

Propor um sistema de tratamento de efluentes que atenda às necessidades e especificidades do município de Vitória de Santo Antão.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- A.** Estudar e projetar a população a ser atendida, através da curva de melhor ajuste para o crescimento populacional, bem como calcular a sua demanda;
- B.** Estudar e caracterizar, de acordo com a literatura, a classificação dos efluentes gerados no município;
- C.** Conhecer os corpos hídricos pertinentes à área do projeto e identificar as exigências e os padrões de lançamento de efluentes a serem atendidos;
- D.** Estudar os processos e as etapas envolvidas em uma estação de tratamento de esgotos;
- E.** Propor diferentes tecnologias para o tratamento dos efluentes do município e comparar as alternativas do ponto de vista Técnico, Ambiental e Financeiro;

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Cenário Atual**

Conforme definido na Política Nacional de Saneamento Básico, lei 11.445/07, o saneamento básico pode ser traduzido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

De acordo como a NBR 9648 (ABNT, 1986), Esgoto Sanitário é definido como um “Despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Este deve ser coletado, transportado e depositado em lugar apropriado para esse fim. Recebe o nome de sistema de esgoto sanitário o conjunto de atividades com a finalidade de realizar as etapas descritas acima.

Sabe-se, no entanto, e com certeza, que a principal causa da má qualidade dos corpos d’água, quando localizados próximos aos grandes centros urbanos, ocorre justamente pelo baixo atendimento da população com redes coletoras de esgoto adequadas e pela deficiência do tratamento de esgotos sanitários nas cidades. Usando dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento, SNIS 2013, verifica-se que o percentual de esgotos tratados era, no ano 2010, de 39,01%, em relação à população consumindo água. Por consequência, a contribuição de esgotos não tratados que alcança os nossos rios contribui fortemente para a degradação dos corpos d’ água, apresentando assim a necessidade da implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotamento.

No que se refere à associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros, conforme estudo realizado por Teixeira, Gomes e Souza (2011), identificou-se que o gasto público com saúde proporcionalmente ao PIB apresenta correlação negativa com a taxa de mortalidade infantil, provavelmente devido ao fato de que o aumento dos gastos em saúde nos estados após a implantação do Pacto Nacional pela Redução da Mortalidade Materna, Neonatal e Infantil (BRASIL, 2004) contribuiu para o desenvolvimento de estratégias de atenção voltadas para a redução da mortalidade infantil, resultando no aumento

de coberturas vacinais, de assistência pré-natal e de consultas médicas. Enquanto, o indicador “cobertura por sistemas de esgotamento sanitário” apresentou uma correlação inversamente proporcional com a taxa de mortalidade infantil. Esses dois resultados sugerem que os investimentos realizados na ampliação em sistemas de esgotamento sanitário, no período entre 2001 e 2006, não foram suficientes para eliminar a influência da baixa cobertura por sistemas de esgotamento sanitário sobre a mortalidade infantil no país.

Como aponta Jordão (2013), os nossos rios são normalmente poluídos e sujos, principalmente nas proximidades dos centros urbanos, onde a contaminação por esgotos domésticos não tratados e por efluentes industriais têm contribuído para elevar consideravelmente a concentração de poluentes nos corpos d’ água. Alguns exemplos claros deste quadro podem ser observados na Tabela 0.1, onde se indicam as concentrações de DBO encontradas em rios próximos a cidades nas maiores regiões metropolitanas no país.

Tabela 0.1 Qualidade das águas de rios relevantes – concentração de DBO<sub>5</sub> em mg/L

Região	Cidade	Rio	DBO <sub>5</sub> (mg/L)
RMSP	São Paulo	Tiête	50
RMRJ	Rio de Janeiro	Sarapuí	36
RMBH	Belo Horizonte	Das Velhas	43
RMPA	Porto Alegre	Dilúvio	22

Fonte: JORDÃO, E. P; PESSOA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 3. Ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1994. – Adaptado.

Em contraponto, na Tabela 0.2 é ilustrado a condição do rio, sua capacidade para desenvolvimento da vida aquática e a sua apresentação estética em acordo com a concentração de DBO em mg/L à temperatura de 20°C.

Tabela 0.2 Caracterização do rio de acordo com a concentração de DBO<sub>5</sub>

Condição do rio	DBO <sub>5</sub> (mg/L) 20°C	Aspecto estético	Vida peixes
Muito Limpo	1	Bom	Vida aquática
Limpo	2	Bom	Vida aquática
Duvidoso	5	Turvo	Só os mais resistentes
Pobre	7,5	Turvo	Só os mais resistentes

<b>Condição do rio</b>	<b>DBO<sub>5</sub> (mg/L) 20°C</b>	<b>Aspecto estético</b>	<b>Vida peixes</b>
Péssimo	30	Mau	Difícil

Fonte: JORDÃO, E. P; PESSOA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 5. Ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2009. – Adaptado.

Assim, são os processos de tratamento de efluentes que irão garantir que o corpo hídrico em questão irá receber um esgoto condicionado assegurando os parâmetros de qualidade da água, em função da legislação ambiental e de seus usos para a região.

### **3.2 Tratamento de Efluentes**

Segundo Jordão e Pessoa (2009, p.93), os processos de tratamento de esgotos são formados, em última análise, por uma série de operações unitárias, empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis, ou para a transformação destas substâncias em outras de forma aceitável. A natureza do processo pode ser classificada em física, química e biológica, em função do fenômeno predominante.

Sobre a eficiência dos processos, nas estações de tratamento de esgoto, pode considerar-se, essencialmente, um tratamento preliminar e três níveis de tratamento: primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar visa a remoção de material grosseiro e areia, enquanto o primário remove sólidos sedimentáveis. O tratamento secundário tem como objetivo a remoção de matéria orgânica e o tratamento terciário objetiva a remoção de nutrientes e organismos patogênicos (METCALF e EDDY, 2003).

#### **3.2.1 Processos de Tratamento**

Os processos físicos têm, basicamente, a finalidade de separar e/ou remover substâncias em suspensão no esgoto, como por exemplo na remoção de sólidos grosseiros, sedimentáveis e flutuantes. São caracterizados assim os dispositivos de caixas de areia, lagoa de decantação, decantador secundário, por exemplo.

Os processos químicos são caracterizados pela adição de produtos químicos ao efluente. São usualmente utilizados em dispositivos de coagulação e floculação, precipitação química, oxidação química, cloração, por exemplo.

Os processos biológicos são caracterizados pela participação de microrganismos presentes no esgoto, replicando em ambiente controlado os fenômenos observados na natureza, podendo ser aeróbicos ou anaeróbicos. São caracterizados assim os dispositivos de lagoas anaeróbicas, lagoas de estabilização, reatores anaeróbicos, filtros biológicos, lodos ativados, bem como dispositivos de digestão de lodo, como fossas sépticas.

### 3.2.2 Etapas de Tratamento

Segundo Jordão e Pessôa, o tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros e areia, através de processos físicos como gradeamento e sedimentação, necessário ao devido funcionamento das etapas subsequentes da estação de tratamento. Normalmente, nesta etapa é instalado um medidor de vazão, a exemplo da Calha Parshall.

O tratamento primário tem por objetivo remover sólidos sedimentáveis e matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis através, principalmente, de processos físicos. E, também através de processos bioquímicos, os sistemas anaeróbicos, como lagoas anaeróbicas e Reator UASB, são classificados como tratamento primário devido a necessidade de pós tratamento do efluente (VON SPERLING, 2005).

O tratamento secundário tem como principal objetivo a remoção da matéria orgânica carbonácea, DBO, além da eventual redução de nutrientes, N e P. Nesta etapa predomina a ação de processos biológicos (VON SPERLING, 2005).

Ainda pouco utilizado no Brasil, o tratamento terciário tem por objetivo a remoção de organismos patogênicos, nutrientes (N e P) e/ou poluentes específicos. Geralmente é realizado através de processos químicos e biológicos.

Tabela 0.3 Etapas de tratamento em função da eficiência das unidades

Etapas de tratamento			
Preliminar	Primário	Secundário	Terciário
Remoção de sólidos grosseiros	Sedimentação	Filtração biológica	Remoção de organismos patogênicos

Etapas de tratamento			
Preliminar	Primário	Secundário	Terciário
Remoção de gorduras	Flotação	Lodos ativados	Remoção de nutrientes (N e P)
Remoção de areia	Lagoas anaeróbicas	Lagoas de estabilização aeróbicas	Tratamento avançado
	Reator UASB		
	Digestão de Lodo		

Fonte: Jordão; Pessôa, 2009, p. 98 – adaptado.

### 3.3 Identificação da melhor alternativa

Segundo Vargas (1998, p. 56), todo projeto tem sua origem em um problema ou uma oportunidade. Pode-se considerar que o não aproveitamento de uma oportunidade representa um problema para a organização, uma vez que empresas concorrentes ou até mesmo o mercado consumidor estão se preparando para se adequarem a essas oportunidades.

É durante a fase de concepção que são desenvolvidas atividades voltadas para o diagnóstico preciso do problema a ser resolvido pelo projeto, identificando os fatos geradores do problema. É a partir deste diagnóstico da situação que se pode propor possíveis soluções à questão (VARGAS, 1998).

No caso do município de Vitória de Santo Antão, apresenta-se o problema de esgotos lançados de forma indevida em corpos hídricos, prejudicando o meio ambiente e o desenvolvimento do local. A oportunidade da realização desse trabalho surge em solucionar esse caso, de maneira ótima, dos pontos de vista técnico, ambiental, econômico e social, fundamentado na literatura acadêmica e através de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Segundo Hunt (2013, p. 21), a Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT), método utilizado nesta pesquisa, fundamenta-se no julgamento a partir de uma função de valor multiatributo que é uma modelagem matemática para a expressão dos critérios e dos seus pesos, e de como estes se relacionam para refletir o valor de uma alternativa (DE MONTIS et al., 2004; GOMES; GOMES, 2012). Uma propriedade importante do método MAUT é a possibilidade de compensação

entre critérios com a atribuição de pesos, ou a possibilidade de *trade-off*<sup>1</sup> (GOMES, 1998).

*<sup>1</sup>O trade-off é o valor de compensação entre dois critérios, ou seja, um grande ganho num critério de menor importância compensa uma pequena perda em um critério de grande importância. Os trade-offs permitem deduzir pesos de importância relativa (GOMES; GOMES, 2012).*

A Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) também foi utilizada para o desenvolvimento de uma ferramenta de análise e seleção de alternativas sustentáveis de esgotos sanitários, através de uma adaptação que avaliou 45 critérios. Para a avaliação de 10 especialistas, foi organizado uma tabela de critérios *versus* alternativas, cada sistema foi avaliado com nota de 1 a 3, e cada critério foi classificado de acordo com sua respectiva importância (CORNELLI, 2014).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Nesse capítulo será apresentado o objeto de estudo, Vitória de Santo Antão, e sua caracterização, dando suporte à definição de parâmetros para a formulação de alternativas de tecnologia de tratamento para os efluentes gerados.

#### 4.1.1 Condições Sanitárias do município

De acordo com o Censo Demográfico (IBGE, 2010), o município apresentava a seguinte condição, com relação ao saneamento, para os 39.461 domicílios particulares permanentes registrados:

Figura 0.1 Gráfico: Condições sanitárias - Abastecimento de água

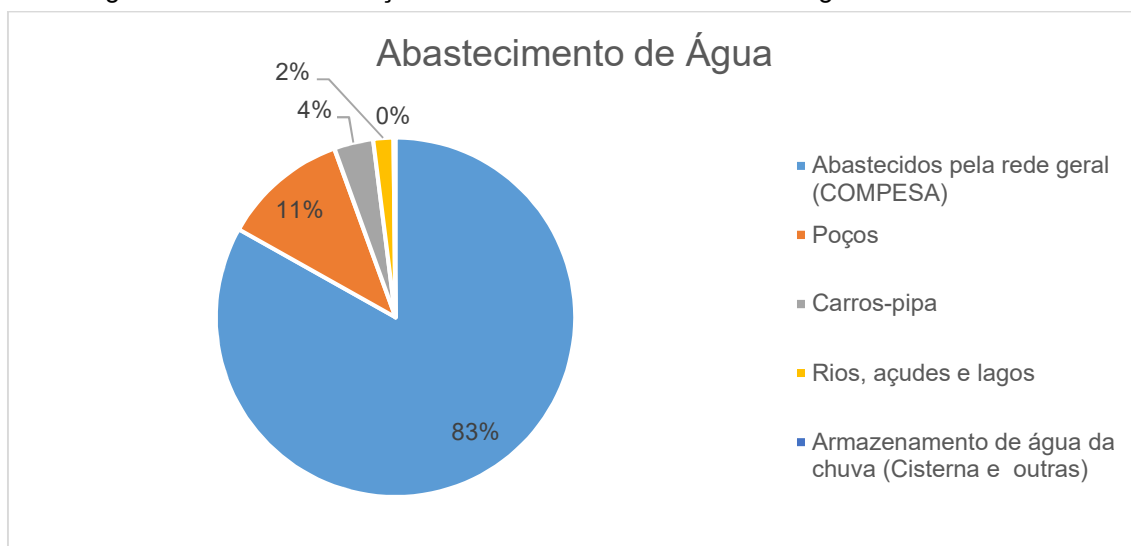
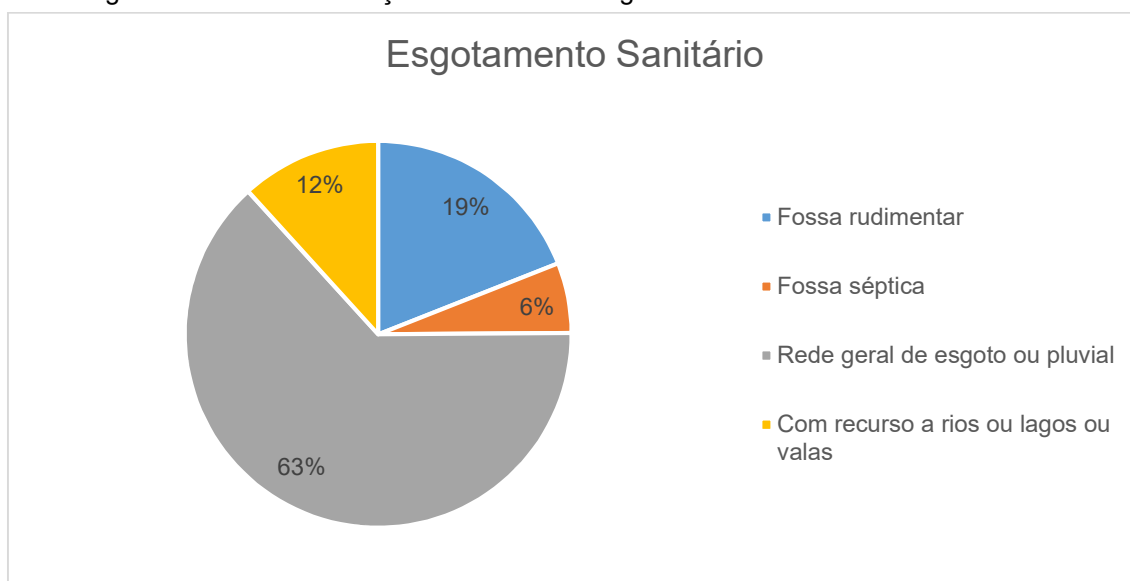


Figura 0.2 Gráfico: Condições sanitárias – Destinação do lixo



Figura 0.3 Gráfico: Condições sanitárias – Esgotamento sanitário



De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), para o ano de 2010, verifica-se que aproximadamente 72% do município é abastecido com água e 24% tem esgotamento sanitário (Tabela 4.1).

Tabela 0.4 Índices de atendimento de água e esgoto.

Índice	2010
Índice de atendimento total de água	71,40 %
Índice de atendimento total de esgoto	23,70 %

Fonte: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – SNIS 2010

Assim, constata-se uma grande disparidade entre os valores do abastecimento de água e do esgotamento sanitário, no entanto nenhum dos dois serviços atende integralmente à população, embora a necessidade do melhoramento de sistema de esgoto seja superior à necessidade de melhorias no sistema de água.

Quando da visita de campo, para conhecimento da área de estudo, foi possível verificar alguns problemas que visivelmente são potencializados em função do baixo índice de atendimento com sistema do esgotamento sanitário, conforme pode ser visto na Figura 0.4.

Figura 0.4 Problemas identificados relacionados à coleta de esgotamento sanitário.



#### 4.1.2 Sistemas existentes de esgotamento sanitário

Conforme informado pela COMPESA e verificado em campo, o município de Vitória de Santo Antão dispõe de uma estação de tratamento de esgotos, esta implantada no ano de 2001, mas atualmente encontra-se fora de uso, devido problemas de caráter operacional e de manutenção.

O tratamento dos efluentes na ETE contempla os tratamentos preliminar e biológico. Além de sistema de secagem de lodo constituído por oito leitos de secagem; no entanto, apesar destes terem sido implantados nunca foram utilizados.

O ciclo do tratamento se inicia na calha Parshall seguido pela caixa de areia (tratamento preliminar). Posteriormente, o tratamento biológico é constituído por reatores anaeróbios do tipo RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente). Como os efluentes de reatores anaeróbios (do tipo RAFA), somente, não atendendo aos padrões de lançamento da legislação ambiental, a época, para o Rio Goitá foram implantadas lagoas de polimento para adequar o efluente tratado aos padrões de lançamento exigidos.

As duas lagoas, com 72.265 m<sup>2</sup> e 80.804 m<sup>2</sup> de área superficial, foram divididas, cada qual, em duas unidades de áreas superficiais iguais, ou seja, duas unidades de 36.132 m<sup>2</sup>, seguido de duas unidades de 40.402 m<sup>2</sup>, totalizando 04 (quatro) fases. Para a divisão das lagoas, foram projetados muros de concreto ciclópico, em vista da maior facilidade de construção e da ocupação de menor área. A

profundidade indicada das lagoas é 2,00 m. A Figura 0.5 representam a estação de tratamento de esgoto como prevista no projeto de 2001.

Figura 0.5 Registro da Estação de Tratamento Existente em 2001



A ETE existente foi projetada para lançar seus despejos no Rio Goitá, através de um emissário de 13 km de extensão, a partir de uma Estação Elevatória Final implantada conforme projetada, mas desativada devido ausência de bombas. O fluxo de esgoto no emissário, por sua vez, deveria seguir por recalque até um stand-pipe e, em seguida, ser direcionado por gravidade até o ponto de lançamento.

Com a desativação da estação elevatória, o trecho de recalque do emissário para a bacia do rio Goitá, atualmente, se encontra fora de operação. E apesar do stand-pipe ter sido construído, parte do emissário final por gravidade não chegou a ser implantado.

O ponto de lançamento do emissário final se encontra situado em um fundo de vale com algumas residências e não possui corpo receptor visível.

#### 4.1.3 Características do esgoto a ser tratado

Tendo em vista que o parâmetro mais importante na avaliação de um corpo de água é o oxigênio, que por sua vez indica a condição do corpo em relação a

eventuais lançamentos de cargas poluidoras, é oportuno caracterizar o esgoto em função da demanda por oxigênio para estabilização dos efluentes gerados.

Uma vez que não se dispõe de dados de monitoramento relativamente à contribuição *per capita* de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e demais características químicas do esgoto, foram adotados os valores da literatura (Von Sperling, 2009). A seguir são apresentados na Tabela 0.5 Valores típicos de parâmetros de carga orgânica no esgoto, as equações para cálculo dos parâmetros e os resultados obtidos:

Tabela 0.5 Valores típicos de parâmetros de carga orgânica no esgoto

Parâmetro	Esgoto Forte (mg/L)	Esgoto Médio (mg/L)	Esgoto Fraco (mg/L)
DQO	800	400	200
DBO	400	200	100
Nitrogênio Total	85	40	20
Fósforo	20	10	5

Fonte: Jordão e Pêsoa, 2009, p.60 – adaptado.

a) Carga e Concentração de DBO:

$$carga\ DBO = \frac{C \cdot População\ atendida}{1000}$$

Em que a Carga *per capita* (C) é 54 gDBO/hab.dia, tem-se que a carga DBO será 8.309,57 kgDBO/dia;

$$Concentração\ de\ DBO = \frac{População \times Carga\ DBO\ "per\ capita"}{86.400 \times Vazão\ média}$$

Continuando, tem-se a que a concentração de DBO será 642,67 mgDBO/L;

b) Carga de DQO:

$$carga\ DQO = \frac{C \cdot População\ atendida}{1000}$$

Em que Carga *per capita* (C) é 110 g DQO/hab.dia., tem-se que a carga DQO será 16.926,91 kgDQO/dia;

$$População \times Carga\ DQO\ "per\ capita"$$

$$\text{Concentração de DQO} = \frac{\quad}{86.400 \times \text{Vazão média}}$$

Continuando, tem-se a que a concentração de DQO será 1.309,14 mgDQO/L;

c) Concentração de Nitrogênio Total – NTK:

$$\text{Concentração NTK} = \frac{(c \cdot \text{População atendida}) \cdot \left(\frac{1000}{86400}\right)}{Q_{med}}$$

Em que Carga per capita (C) é 8 g NTK/hab.dia, tem-se que a concentração NTK será 95,21 mg/L;

d) Concentração de Fósforo Total - P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>:

$$\text{Concentração P-PO}_4^{3-} = (c \cdot \text{Pop.Atendida}) \cdot \left(\frac{1000}{86400}\right) / Q_{med}$$

Onde Carga *per capita* (C) é 1 g P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/hab.dia, tem-se que a concentração P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> será 11,90 mg/L;

Dessa forma, através da metodologia de cálculo descrita acima e considerando os parâmetros adotados pela literatura, é possível caracterizar o esgoto como Forte.

Embora o esgoto seja constituído por, aproximadamente, 99,92% de água, a pesquisa de matéria sólida é de grande importância. Define-se como matéria sólida total do esgoto, àquela que permanece como resíduo após a evaporação a 103°C. Ainda passível de separação após filtração em membrana (fibra de vidro, com porosidade 1,2 µm), em Sólidos em Suspensão, o material retido, e em Sólidos Dissolvidos o material não retido. Se este resíduo é calcinado a 600°C, as substâncias orgânicas se volatilizam e as minerais permanecem sob a forma de cinzas, compondo assim a chamada matéria sólida volátil e a matéria fixa. A matéria sólida pode ainda ser dividida em matéria em suspensão e dissolvida (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Tabela 0.6 Características Típicas de Sólidos no esgoto bruto

<b>Matéria Sólida</b>	<b>Esgoto Forte (mg/L)</b>	<b>Esgoto Médio (mg/L)</b>	<b>Esgoto Fraco (mg/L)</b>
Sólidos Totais	1.160	730	370
Sólidos Susp. Totais	360	230	120
Sólidos Susp. Voláteis	280	175	90

Fonte: Jordão e Pêsoa, 2009, p.47 – adaptado.

Como também, não se dispõe de dados de monitoramento relativamente à concentração de sólidos do esgoto gerado em Vitória de Santo Antão, foram adotados os valores da literatura (Von Sperling, 2009), com o objetivo de calcular os parâmetros abaixo:

e) Concentração de Sólidos Totais - ST:

$$\text{Concentração ST} = (c \cdot \text{Pop. Atendida}) \cdot \left(\frac{1000}{86400}\right) / Q_{\text{méd}}$$

Onde Carga *per capita* (C) é 180 g ST /hab.dia, a Concentração ST será 2.142,23 mg/L;

f) Concentração de Sólidos Suspensos Totais - SST:

$$\text{Concentração SST} = (c \cdot \text{Pop. Atendida}) \cdot \left(\frac{1000}{86400}\right) / Q_{\text{méd}}$$

Em que a Carga *per capita* (C) é 60 g SST /hab.dia, a Concentração SST será 714,08 mg/L;

g) Concentração de Sólidos Suspensos Voláteis - SSV:

$$\text{Concentração SSV} = (c \cdot \text{Pop. Atendida}) \cdot \left(\frac{1000}{86400}\right) / Q_{\text{méd}}$$

Em que a Carga *per capita* (C) é 50 g SSV /hab.dia, a Concentração SSV será 595,07 mg/L.

Nesse sentido, em observância aos resultados de concentração de sólidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos Voláteis, e em comparação com o padrão indicado na

Tabela 0.6, é possível caracterizar os efluentes do município como Esgoto Forte.

Em comparação com os cálculos realizados, foi coletado uma amostra do esgoto gerado em Vitória. O ponto de coleta foi a Estação Elevatória Final, unidade que atualmente concentra os efluentes coletados através da rede existente e, eventualmente, bombeia o esgoto para as lagoas. Os parâmetros estudados e os resultados estão resumidos na tabela

Tabela 0.7 Resulta da coleta de esgotos

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado amostra</b>	<b>Padrão CONAMA 357/05 Classe 2</b>
OD (mg/L)	0,7	$\geq 5$
Salinidade	0,3	$\leq 0,50$
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	1368	-
pH	6,83	6 a 9
DQO ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ )	533,58	-
ST ( $\text{mgST}/\text{L}$ )	1200	500

Também foram analisados os parâmetros de sólidos totais detalhados, listados abaixo: sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos totais suspensos, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis.

Tabela 0.8 Resulta da coleta de esgotos

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultado amostra</b>
STF ( $\text{mgSTF}/\text{L}$ )	900
STV ( $\text{mgSTV}/\text{L}$ )	300
STS ( $\text{mgSTS}/\text{L}$ )	108
SSF ( $\text{mgSSF}/\text{L}$ )	36
SSV ( $\text{mgSTV}/\text{L}$ )	72

A partir dos ensaios experimentais específicos, para este trabalho será considerado a classificação de Esgoto Forte com alta concentração de sólidos, conforme descrito pelos cálculos apresentados acima.

#### 4.1.4 Características dos corpos hídricos

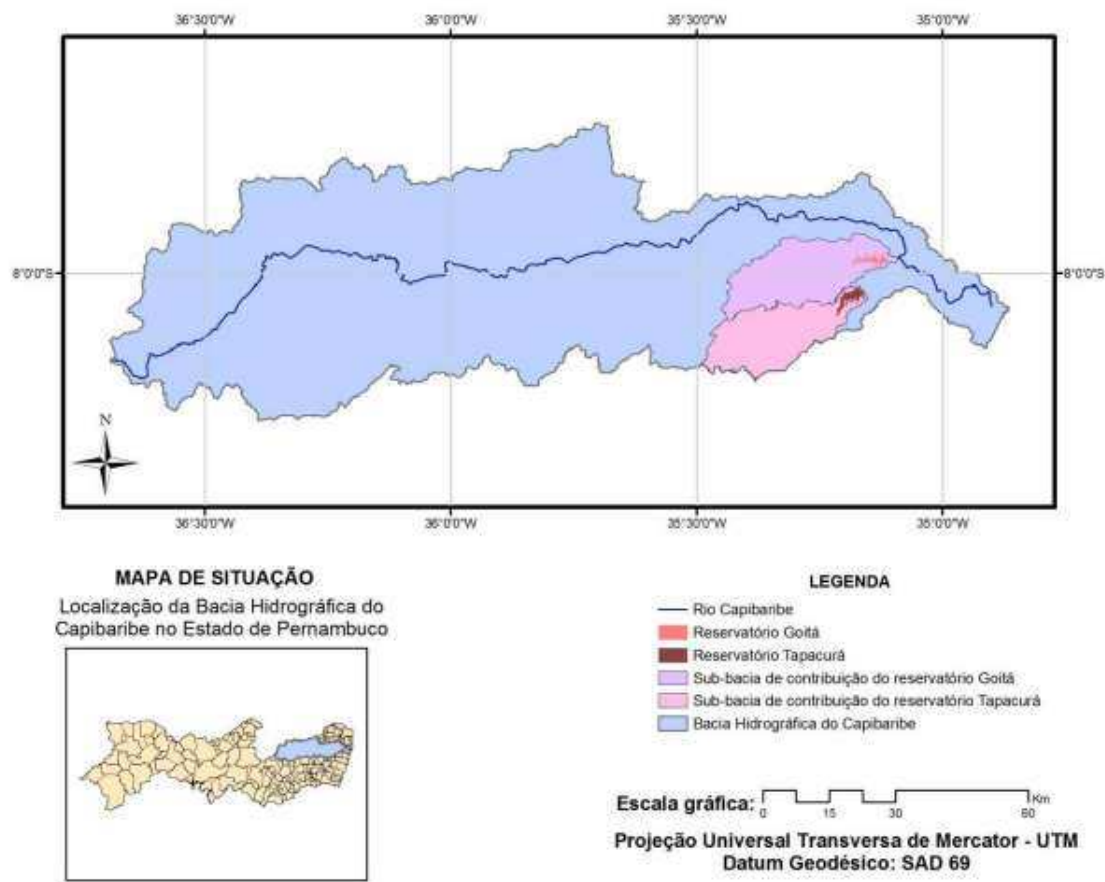
Em relação aos domínios hidrográficos, Vitória de Santo Antão encontra-se inserida nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe. Seus principais tributários são: o Rio Capibaribe, Tapacurá, Tamatá, Mirim, Jaboatão, Cueira de Suassuna e Ipojuca e os riachos: Boeira, Várzea Grande, Açude Grande, Una, Natuba, Laranjeiras e Guandu. O principal corpo de acumulação é a Barragem Tapacurá e os açudes: Toró e da Usina Santo Antônio. Os principais cursos d'água no município têm regime de escoamento perenizado e o padrão de drenagem é o dendrítico. É importante salientar que toda a zona urbana de Vitória de Santo Antão se localiza na bacia hidrográfica do rio Tapacurá (NETO, 2009).

As barragens situadas na bacia do rio Capibaribe são: Carpina, Engenho Gercino Pontes/Tabocas, Goitá, Jucazinho, Machados, Poço Fundo, Tapacurá, Várzea do Una, Cursaí, Oitis, Jataúba (SRHE, 2012b), Santa Luzia, Matriz da Luz e Lagoa do Porco (RELATÓRIO CPRH, 2012), onde os reservatórios de Jucazinho, Carpina, Tapacurá e Goitá servem, dentre outros usos, para o controle de enchentes, com exceção do último que foi construído apenas com esse objetivo (SRHE, 2012c).

A

Figura 0.6, mostra a localização dos reservatórios de Goitá e Tapacurá, e suas respectivas sub-bacias de contribuição abrangentes ao território de Vitória de Santo Antão, na bacia hidrográfica do Capibaribe.

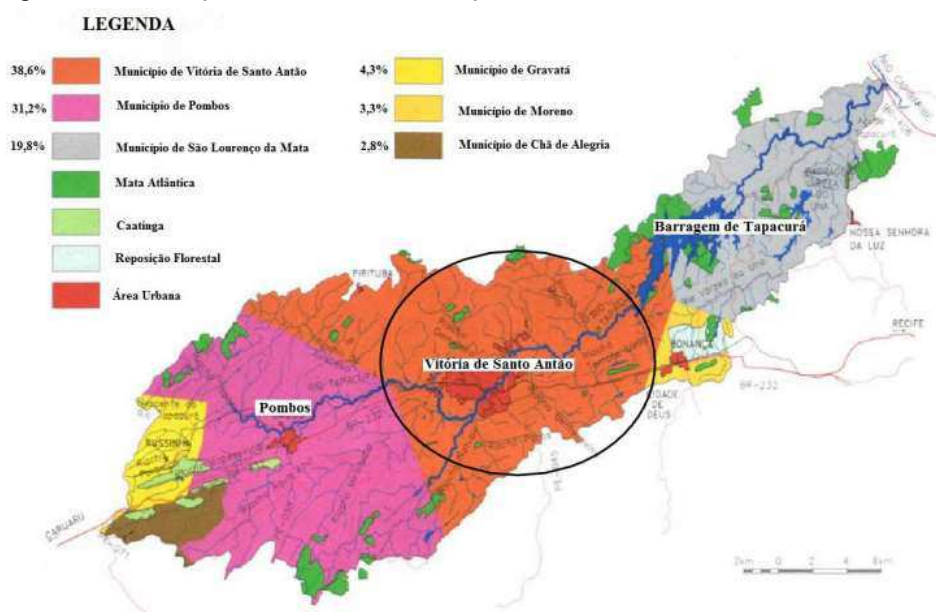
Figura 0.6 Localização dos reservatórios de Goitá e Tapacurá.



Fonte: Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, 2010. Adaptado.

A bacia do Rio Tapacurá, está inserida na bacia do rio Capibaribe e, com uma área de drenagem de 470,5 km<sup>2</sup>, é uma das mais importantes para o abastecimento público da região metropolitana de Recife (RMR). Engloba os municípios de Vitória de Santo Antão (38,6%), Pombos (31,2%), São Lourenço da Mata (19,8%), Gravatá (4,3%), Moreno (3,3%), Chã Grande (2,8%), gerando uma parcela significativa da água consumida na Região (SRH, 2010). A Figura 0.7 ilustra os municípios, com destaque para Pombos e Vitória de Santo Antão, na bacia do rio Tapacurá.

Figura 0.7 Municípios da bacia do rio Tapacurá.



Fonte: Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, 2010. Adaptado.

Em 2010, a CPRH realizou o monitoramento da qualidade da água nas bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco, e um dos objetivos do estudo foi identificar quais as principais fontes potencialmente poluidoras no estado. Deste estudo faz parte o Relatório de Monitoramento da bacia hidrográfica do Ipojuca e do Reservatório de Tapacurá, de maior interesse para o escopo do trabalho. O relatório mostra o levantamento dos parâmetros da qualidade da água no rio Tapacurá (

Tabela 0.9), utilizando-se a estação CB-62 da CPRH, situada na ponte da rodovia PE-50, a jusante da cidade de Vitória de Santo Antão.

Tabela 0.9 Parâmetros das análises da qualidade da água no rio Tapacurá.

Parâmetro	Unid.	Data e Hora das Coletas											
		03/02 10:00	29/04 15:15					12/08 10:10		06/10 13:25		14/12 10:00	
Temperatura	°C	29	29					24		30		31	
pH	-	7,3	6,4					7,2		7,4		7,4	
OD	mg/L	<u>0,0</u>	<u>0,0</u>					<u>3,5</u>		<u>3,5</u>		<u>0,0</u>	
DBO	mg/L	<u>7,8</u>	<u>41,7</u>					3,2		<u>18,6</u>		<u>15,4</u>	
Condutividade Elétrica	µS/cm	1160	852					426		923		1288	
Amônia	mg/L	0,31	<u>11,4</u>					2,30		<u>19,4</u>		<u>37,8</u>	
Nitrito	mg/L	ND	ND					0,12		ND		ND	
Nitrato	mg/L	ND	ND					0,22		0,06		ND	
Daphnia	FD <sub>r</sub>	1	1					1		1		1	
Clorofila a	µg/L	-	-					-		-		<u>138</u>	
Fósforo Total	mg/L	<u>2,99</u>	<u>1,91</u>					<u>0,55</u>		<u>1,94</u>		<u>2,62</u>	
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	<u>160.000</u>	<u>160.000</u>					<u>3.400</u>		<u>≥160.000</u>		<u>≥160.000</u>	
Salinidade	ups	0,6	0,4					0,2		0,5		0,6	
Classe na CONAMA 357/05													
Classe	-	2	2					2		2		1SB	
Índices e Indicadores de qualidade													
OD saturação	%	0	0					42		46		0	
Qualidade	-	MP	MP					P		P		MP	
IET	-	HE(75)	HE(73)					SE(67)		HE(72)		HE(75)	
Ecotoxicidade	-	NT	NT					NT		NT		NT	
Risco de salinidade	-	M	M					B		M		M	
Pluviometria em Vitória de Santo Antão - IPA - Fonte ITEP - LAMEPE													
Total mensal	mm	64	42	33	132	48	379	83	70	35	20	7	37
Média histórica	mm	47	61	<u>121</u>	<u>137</u>	<u>157</u>	<u>151</u>	<u>151</u>	<u>72</u>	<u>44</u>	<u>24</u>	<u>26</u>	<u>34</u>

ND = não detectável; Limite de detecção (mg/L): Nitrito: 0,05; Nitrato:0,05. Valores em negrito e sublinhado indicam resultado fora de classe segundo a CONAMA 357/05.

Fonte: CPRH - Bacia do rio Capibaribe.

A bacia do rio Tapacurá, assim como toda a bacia do rio Capibaribe, vem servindo de corpo receptor de resíduos líquidos e sólidos domésticos, resíduos agrícolas e industriais (CPRH, 2010). Considerando todas as atividades antrópicas presentes na Bacia, têm crescido a preocupação com o equilíbrio do ecossistema e cada vez mais se tem realizado estudos, com o intuito de se compreender e relacionar a dinâmica das características de uso, a ocupação do solo, a poluição do rio e os processos hidrológicos.

A barragem de Goitá, situada no rio Goitá, afluente do Capibaribe, está localizada nos municípios de Glória do Goitá e Paudalho e a sua sub-bacia de contribuição engloba os municípios de Chã de Alegria, Feira Nova, Glória do Goitá, Lagoa do Itaenga, Passira, Paudalho, Pombos, São Lourenço da Mata, Vitória de Santo Antão. A barragem foi construída visando regularizar a vazão do rio Capibaribe e conter possíveis cheias, possuindo uma capacidade de acumulação máxima de 52.900.000 m<sup>3</sup>. Tais objetivos permitiram que as estações elevatórias do sistema Capibaribe operassem normalmente e minimizam a probabilidade de ocorrência de enchentes na RMR (SRH, 2010).

Conforme o Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (2010), o Rio Tapacurá no trecho que vai desde o município de Pombos até a sua foz com o rio Capibaribe, possui proposta de enquadramento como Classe 2. Desta forma, o lançamento de efluentes neste corpo hídrico deverá ocorrer de forma a manter os padrões de qualidade exigidos na Resolução CONAMA 357/2005, na Resolução CONAMA 430/2011 e no Decreto Estadual nº 7.269/1981.

Já o rio Goitá, de acordo com o Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe (2010), tem a proposta de enquadramento como Classe 1, no trecho que vai desde o distrito de Apoti até a sua foz no rio Capibaribe. De acordo com o Decreto Estadual nº 7.269/1981, no Artigo 25 não são tolerados lançamentos de efluentes, nem mesmo tratado, em corpos hídricos classificados como Classe 1. Desta forma não é possível realizar o lançamento do esgoto tratado de Vitória de Santo Antão no rio Goitá.

Conforme mencionado anteriormente, o rio Capibaribe, assim como o Rio Goitá e o Rio Tapacurá, apresenta baixa capacidade de assimilação e diluição no trecho proposto para o lançamento do efluente tratado da ETE em períodos de seca, ou seja, curso intermitente. Nestas condições, de acordo com a legislação, o atendimento aos padrões de lançamento deve garantir simultaneamente o atendimento aos padrões de corpo receptor Classe 2, sendo então, o Rio Tapacurá o corpo hídrico mais indicado para receber os efluentes.

Classe	Usos
0	a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
1	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e e) proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
2	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) aquicultura e à atividade de pesca
3	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) pesca amadora; d) recreação de contato secundário; e e) dessedentação de animais
4	a) navegação; e b) harmonia paisagística

Fonte: Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe, 2010. Adaptado.

#### 4.1.5 Legislação ambiental e exigências

Nesse item será abordado os parâmetros e exigências definidos pela legislação ambiental federal e estadual para o lançamento de efluentes em corpos hídricos, bem como a Resolução CONAMA 340/2011, a norma 2.002 da CPRH.

A nível estadual, a Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH, através da norma N 2.002 - Controle de Carga Orgânica não Industrial

estabelece condições gerais em função da carga orgânica bruta, para efluentes industriais e domésticos, conforme Tabela 0.11.

Tabela 0.11 Nível de remoção de carga orgânica em função da carga do efluente bruto.

Carga Orgânica Bruta (C) Kg DBO/dia	Eficiência Mínima de Remoção do sistema (%)
$C \leq 2$	40
$2 < C \leq 6$	70
$6 < C \leq 50$	80
$C > 50$	90

Fonte: CPRH N 2002.

Através desta norma N 2.002, a CPRH, recomenda que as alternativas de Estações de Tratamento de Esgotos deverão seguir os seguintes quesitos:

- Apresentar eficiência mínima de remoção de DBO do sistema igual a 90%;
- Atendimento aos critérios e padrões de lançamento (CONAMA 430);
- Atendimento aos critérios e padrões de qualidade da água do corpo receptor (CONAMA 357);

Esta norma é aplicável às atividades não industriais: loteamento, edificações, residências multifamiliares, condomínios, hospitais, hotéis, restaurantes, portos, aeroportos, estações de tratamento de esgoto e emissários, outras atividades de comércio e serviços que geram esgotos sanitários e demais despejos contendo matéria orgânica biodegradável.

No caso do corpo receptor escolhido, uma vez que é majoritariamente intermitente, não se dispõe de vazão mínima capaz de assimilar e atenuar o efeito do lançamento da matéria orgânica do manancial e como tal o efluente gerado não será diluído. Para a concepção do tratamento este fato é importante e deve ser considerado.

Assim, na escolha do tipo de tratamento a ser proposto, considerando a intermitência do corpo receptor é observada a RESOLUÇÃO nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de

efluentes e complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

No seu Art. 15, a resolução diz:

*“Para o lançamento de efluentes tratados em leito seco de corpos receptores intermitentes, o órgão ambiental competente poderá definir condições especiais, ouvido o órgão gestor de recursos hídricos”*

Em convergência com a classificação definida pelo Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe/2010, de acordo com a CPRH, considerando esta intermitência e a não classificação oficial do corpo receptor, o lançamento dos efluentes deverá respeitar os padrões adotados para corpo receptor Classe 2.

Portanto, as alternativas componentes deste estudo deverão seguir o padrão de lançamento preconizado pela Resolução Nº 430/ 2011 do CONAMA, que complementa e altera a Resolução Nº 357/2005 que, por sua vez, dispõe sobre as condições de padrões de lançamento de efluentes.

A seguir foram relacionados os principais parâmetros preconizados pela citada normas:

- DBO<sub>5</sub>, 20°C: máximo de 120mg/L;
- pH entre 5 e 9;
- Materiais sedimentáveis até 1ml/L;
- OD > 5mg/L;
- Coliformes totais < 5.000 / 100 ml;
- Coliformes fecais < 1.000 / 100 ml;
- Ausência de materiais flutuantes.

Para os ambientes com reservatórios locais de abastecimento, considerados ambientes lênticos, a legislação determina valores limite específicos, especialmente para os nutrientes (nitrogênio e fosforo), de acordo com a

Resolução Nº 357/2005 - Capítulo III - DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS - Seção I Das Disposições Gerais:

*“(...) Art. 10. Os valores máximos estabelecidos para os parâmetros relacionados em cada uma das classes de enquadramento deverão ser obedecidos nas condições de vazão de referência.*

*§ 1º Os limites de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), estabelecidos para as águas doces de classes 2 e 3, poderão ser elevados, caso o estudo da capacidade de autodepuração do corpo receptor demonstre que as concentrações mínimas de oxigênio dissolvido (OD) previstas não serão desobedecidas, nas condições de vazão de referência, com exceção da zona de mistura. § 2º Os valores máximos admissíveis dos parâmetros relativos às formas químicas de nitrogênio e fósforo, nas condições de vazão de referência, poderão ser alterados em decorrência de condições naturais, ou quando estudos ambientais específicos, que considerem também a poluição difusa, comprovem que esses novos limites não acarretarão prejuízos para os usos previstos no enquadramento do corpo de água.*

#### 4.1.6 Área de implantação da estação de tratamento

A área que servirá de estudo para o presente trabalho é o terreno onde se encontra implantada a Estação de Tratamento existente. Por se tratar de uma área que atende aos princípios para o dimensionamento do Sistema de Esgotamento Sanitário de Vitória de Santo Anão, localiza-se a jusante do município em relação ao corpo receptor do Rio Tapacurá e se encontra em favorável desnível em relação à zona urbana do município, beneficiando o fluxo

dos efluentes por gravidade. Além disso, trata-se de um terreno de propriedade da COMPESA, conforme informado pela própria companhia.

Figura 0.8 Área indicada para o desenvolvimento de alternativas de tratamento do município.



## 4.2 Metodos

### 4.2.1 Formulação de alternativas para o tratamento

A escolha da tecnologia utilizada na Estação de tratamento de esgoto e do tipo de tratamento adotado procura atender não só às exigências ambientais, de saúde pública e legais como também assegurar as exigências tecnológicas, econômicas e atender, concomitantemente, as exigências e expectativas da comunidade. Assim, são considerados inúmeros aspectos resumidos abaixo (Jordão e Pessoa, 2001).

Tabela 0.12 Considerações para a nova ETE (JORDÃO; PESSÔA, 2005, p. 136)

<b>Exigências Tecnológicas</b>	<b>Exigências da Economia</b>	<b>Anseios da Comunidade</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Uso de novos materiais;</li> <li>✓ Instrumentação e automação;</li> <li>✓ Baixa produção de lodo;</li> <li>✓ Operacionalidade;</li> <li>✓ Maior eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes e de organismos patogênicos;</li> <li>✓ Simplicidade construtiva e operacional;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baixo consumo energético;</li> <li>✓ Maior relação custo benefício;</li> <li>✓ Otimização dos custos de investimento e operacionais;</li> <li>✓ Menor custo de construção, operação e manutenção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Redução da área ocupada;</li> <li>✓ Disposição final do lodo com segurança;</li> <li>✓ Controle de odores;</li> <li>✓ Redução dos impactos ambientais;</li> <li>✓ Aceitação pelo público;</li> <li>✓ Melhoria da qualidade do corpo receptor;</li> <li>✓ Melhoria nas condições de saúde.</li> </ul>

Considerando as características dos efluentes locais, a demanda populacional e a necessidade de atender aos padrões de lançamento preconizados na legislação ambiental vigente, conforme apresentado neste trabalho, foram estudadas 03 (três) alternativas de tratamento de efluente.

Tendo o Rio Tapacurá como corpo hídrico para o lançamento dos efluentes, para atendimento à legislação ambiental vigente, considerando a intermitência do rio e sua classificação como Classe 2, assim como o fato de ser um reservatório para abastecimento, o tratamento de esgotos da cidade de Vitória de Santo Antão deverá contemplar tanto a remoção de carga orgânica, DBO, e sólidos como também uma etapa de desinfecção, para remoção de patógenos, e uma etapa de remoção de nutrientes.

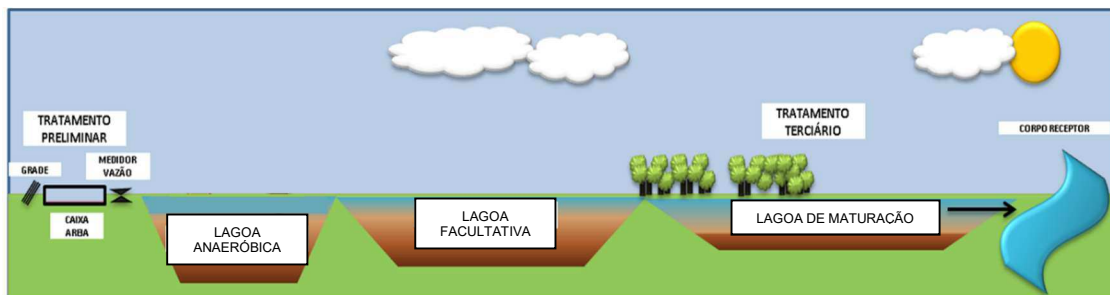
As alternativas foram formuladas a partir das considerações necessárias para atendimento à vazão de 149,65 L/s, disponibilidade de área, remoção de matéria orgânica de 90% e remoção de fósforo e nitrogênio.

Para garantir a eficiência do tratamento, bem como o devido funcionamento dos dispositivos da ETE, é considerado em todas as alternativas um tratamento preliminar composto por Grade de Barras, seguido de Desarenador/Caixa de Areia e a Calha Parshall, como dispositivo medidor de vazão.

#### 4.2.2 Alternativa 01

Essa alternativa consiste em um sistema de lagoas de estabilização. É proposto uma sequência de lagoas que compõem a utilização de uma Lagoa Anaeróbica, seguido de uma Lagoa Facultativa e, depois, uma de Maturação.

Figura 0.9 Esquema Alternativa 01



De acordo com Jordão e Pessoa (2009, p. 702), as lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica e/ou redução fotossintética das algas.

As lagoas anaeróbicas devem ser profundas permitindo o consumo de oxigênio seja maior que a produção, caracterizando o ambiente anaeróbio. Nesse sentido, a estabilização da matéria orgânica se dá pela ação das bactérias anaeróbicas. O processo é responsável por produzir uma espuma, capaz de causar maus odores e que evita a entrada de luz solar na lagoa, bem como funciona como um isolador térmico. Sua utilização é normalmente indicada para locais afastados de áreas residenciais (VON SPERLING, 2009).

Na Lagoa Facultativa Secundária os processos biológicos acontecem, em ciclo contínuo, de acordo com as zonas de profundidade da unidade. Na zona superior, as bactérias aeróbicas são responsáveis pela oxidação e nitrificação da matéria orgânica, onde também acontece a redução fotossintética. Na zona intermediária, prevalecem os processos de oxigenação aeróbica e fotossintética. E, por fim, no fundo da lagoa, ocorre a redução da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbicas (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Também, segundo Jordão e Pessoa (2009, p. 722), diversos são os fatores que influenciam o funcionamento da lagoa facultativa, podendo ser caracterizados como controláveis e incontroláveis. Sendo estes:

Controláveis: tipo de esgoto, vazão afluente, concentração de DBO e DQO, concentração de sólidos, concentração de coliformes fecais, concentração de nutrientes, toxicidade e substâncias com cor.

Incontroláveis: evaporação, comportamento dos ventos, precipitação pluviométrica, mistura e estratificação térmica, temperatura, nuvens e radiação solar.

Usualmente dispostas ao final dos sistemas, as lagoas de maturação possibilitam o polimento desse efluente. Seu principal objetivo é a remoção de organismos patogênicos, mais especificamente coliformes fecais. As profundidades são menores do que 1 metro e são projetadas em sequência, três ou quatro lagoas em série sendo também apresentada em uma única lagoa com chicanas (JORDÃO. PESSÔA, 2005).

O sistema de lagoas de estabilização, bem implantado e bem operado, atinge os valores estabelecidos pela Organização mundial de Saúde para a utilização na irrigação de vegetais consumidos crus, em campos esportivos e de recreação. Estes valores atendem também o preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 que estabelece, para águas de classe 2, irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, 80% ou mais de 5 amostras mensais com valores de 1.000 CF/100mL e 5.000 CF/100mL. Em termos de tratamento terciário, as lagoas de maturação, apresentam razoável remoção de nitrogênio amoniacal. Conforme o quadro resumo da estimativa de eficiência abaixo.

Tabela 0.13 Estimativa da eficiência para a Alternativa 01

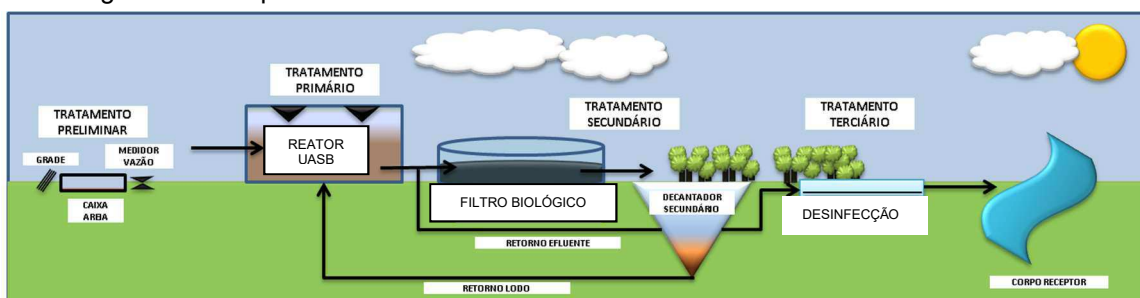
<b>Faixas de eficiência do tratamento: Alternativa 01 (em Remoção, %)</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Lagoa Anaeróbica + facultativa + maturação</b>
DBO	80 – 85
DQO	70 – 83
Sólidos Suspensos	70 – 80
Coliformes fecais	99,9 – 99,999999
Nitrogênio	40 – 65
Fósforo	> 40

Fonte: Jordão; Pessoa, 2005, p. 706, tabela 21.1 – adaptado.

### 4.2.3 Alternativa 02

Esta alternativa consiste na utilização de uma tecnologia bastante difundida no Brasil, inclusive no estado de Pernambuco, combinando o tratamento biológico anaeróbico e o aeróbico, bem como processos físicos. Nesta alternativa é proposto para o tratamento primário a utilização do Reator UASB, seguido de um Filtro Biológico Percolador e de um Decantador Secundário. Por fim, a remoção de patógenos, a Desinfecção com Cloro, conforme esquema abaixo.

Figura 0.10 Esquema Alternativa 02



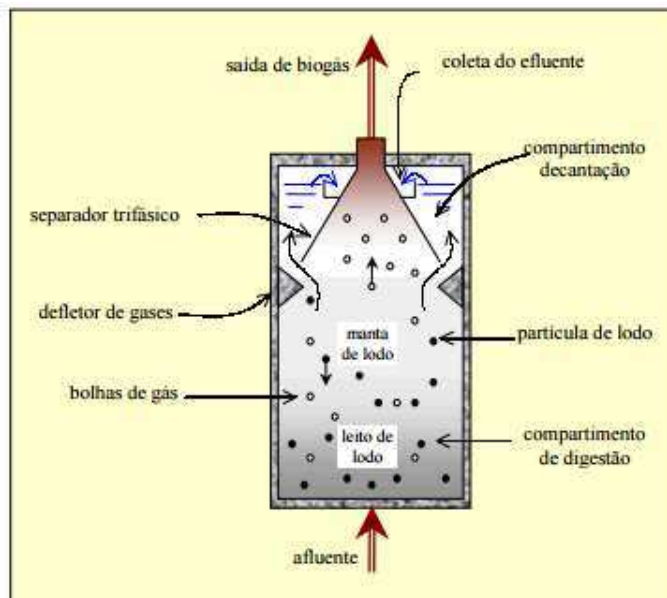
Sendo uma tecnologia bastante difundida em Pernambuco, inclusive nas ETE Peixinhos, na Região Metropolitana de Recife, e ETE Surubim, no agreste do Estado, por exemplo. Os reatores anaeróbicos de manta de lodo ficaram conhecidos mundialmente como UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Este sistema tem sido empregado no Brasil desde 1980. É um sistema compacto e econômico, com baixa demanda de área, baixo custo de implantação e de operação. Possui, também, baixo consumo de energia, uma vez que não exige equipamentos eletromecânicos (CHERNICHARO et al., 2001).

Nessa unidade, a biomassa cresce dispersa no meio e não aderida a um meio suporte, formando um lodo bastante concentrado. O sistema é ascendente, com o afluente entrando pela parte inferior do reator. As reações anaeróbicas geram gases responsáveis por encaminhar o fluxo para cima e promovem a mistura do afluente com o lodo. Na parte superior do reator existe uma estrutura denominada separador trifásico, que promove a separação do gás, do líquido e dos sólidos que acabam subindo com o fluxo (CHERNICHARO et al. 2001).

Os sólidos ficam retidos no reator, garantindo que o lodo permaneça com alta concentração e, dessa forma, elevada capacidade de retenção de biomassa. O gás é coletado na parte superior do reator. A eficiência para o efluente que sai

do reator é em torno de 60% de remoção de DBO e 70% de remoção de sólidos suspensos (JORDÃO; VOLSCHAN JUNIOR, 2009).

Figura 0.11 Ilustração do funcionamento do Reator UASB.



Fonte: Adaptado de CAMPOS (1998).

Aisse, Jurgensen e Alem Sobrinho (2001), estudaram a utilização do Reator UASB seguido do Filtro Biológico em Estações de Tratamento de Esgotos no estado do Pará, concluindo que o sistema tem uma eficiência de média de 80% e 85% na remoção de DQO e DBO, respectivamente.

Filtros biológicos percoladores são dispositivos muito utilizados como pós-tratamento de sistema anaeróbio. Ao contrário do que o nome sugere, o filtro biológico não possui a função de remover material particulado ou em suspensão da água através do elemento filtrante, como em uma filtração convencional. Os filtros biológicos percoladores são sistemas de tratamento de esgotos baseados no princípio da oxidação bioquímica aeróbia do substrato orgânico presente nos esgotos. Por meio da transformação de substâncias coloidais e dissolvidas, em sólidos estáveis, a película que se desgarra do meio suporte sedimenta-se facilmente e é removida em uma unidade de decantação secundária (METCALF & EDDY, 2003).

Assim, a matéria orgânica presente no esgoto é degradada pela ação de organismos aeróbios que apresentam capacidade de aderência a um meio suporte inerte. O sistema é descendente, o efluente é lançado a partir da

superfície do filtro biológico através de distribuidores hidráulicos e escoam através dos espaços vazios existentes no meio suporte. O FBP funciona em fluxo contínuo e sem inundação da unidade. Segundo a trajetória percorrida, os esgotos entram em contato com a biomassa aderida, de forma que o biofilme aderido ao meio suporte cresce à medida que o oxigênio e o substrato orgânico são disponibilizados.

Durante o processo, as placas de biofilme se desprendem do meio suporte devido ao grau de estabilização, à tensão de cisalhamento causada pelo gradiente de velocidade de escoamento do líquido entre os vazios, e à indisponibilidade de oxigênio para os microrganismos aeróbios mais próximos ao meio suporte, causando a formação do floco biológico posteriormente removido no Decantador Secundário. Obtém-se assim um efluente final clarificado com baixas concentrações de matéria orgânica e sólidos em suspensão (METCALF & EDDY, 2003).

Para CHERNICHARO e colaboradores (2001, p. 16), os Decantadores Secundários utilizados a jusante dos filtros biológicos percoladores são normalmente do tipo convencional e são dimensionados pela taxa de escoamento superficial, uma vez que a concentração de sólidos suspensos no efluente do FBP é relativamente baixa. Portanto, a principal função dessa unidade é a remoção de sólidos.

Com o objetivo de remover os organismos patogênicos em atendimento às exigências da legislação ambiental, será utilizado a desinfecção química do efluente, através do uso de cloro gasoso.

O cloro é o produto mais utilizado em todo o mundo para desinfecção de águas e esgotos. Uma vez em contato com as bactérias presentes no esgoto sanitário, o cloro induz uma série de eventos associados à atividade da membrana celular, como alteração da permeabilidade, e modifica os ácidos nucleicos, causando mutações. A inativação dos vírus ocorre por modificações nos ácidos nucleicos e na envoltória proteica (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Tabela 0.14 Estimativa da eficiência para a Alternativa 02

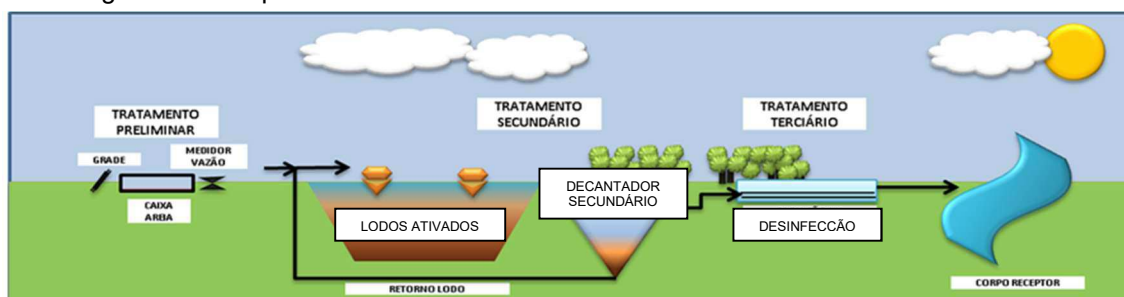
Faixas de eficiência do tratamento: Alternativa 02 (em Remoção, %)	
Parâmetros	Reator UASB + FBP + Decantador Secundário
DBO	70 – 80
DQO	88
Sólidos Suspensos	70 – 80
Coliformes fecais	99,999
Nitrogênio	< 30
Fósforo	< 30

Fonte: Jordão; Pessoa, 2005, p. 833 – adaptado; Pedro Alem Sobrinho, Eduardo Pacheco Jordão, 2001. <sup>3</sup> Jordão; Pessoa, 2005, p. 626 – adaptado.

#### 4.2.4 Alternativa 03

Nesta alternativa propõe-se um reator biológico de lodo ativado para a remoção da matéria carbonácea e nitrogenada. Esta última é alcançada por meio dos processos de nitrificação e desnitrificação.

Figura 0.12 Esquema Alternativa 03

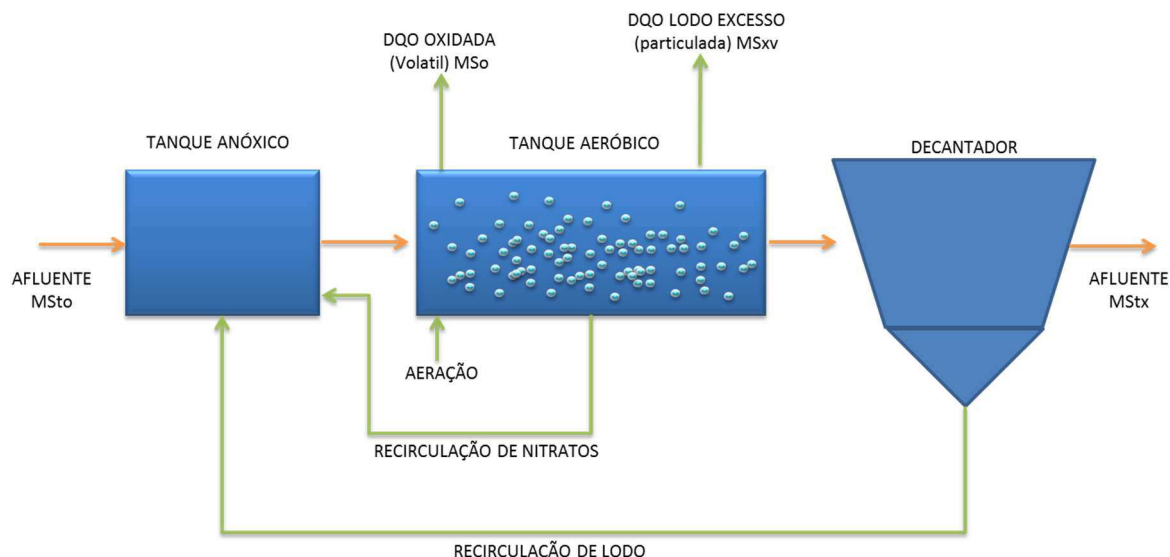


No Brasil é relativamente pouco difundida, atualmente, está em funcionamento na RMR a ETE Janga, utilizando esta tecnologia de tratamento. O sistema de Lodos Ativados é formado por um reator aerado e um decantador secundário. No reator aerado o esgoto e o lodo são intensamente misturados e aerados, permitindo que a biomassa metabolize praticamente toda a matéria orgânica.

Em seguida, a parte líquida é separada da parte sólida por sedimentação no decantador. Grande parte do lodo ativado sedimentado é encaminhado de volta para o reator aerado, através de uma elevatória de recirculação, e uma pequena parcela é retirada para tratamento específico. A função do lodo é misturar-se com o esgoto afluente no tanque de aeração, inoculando o meio e acelerando o processo de estabilização da matéria orgânica pela ação dos microrganismos que constituem o floco, assim, é fundamental que se mantenha uma

concentração elevada de flocos para o processo ser efetivo (VON SPERLING, 2005).

Figura 0.13 Desenho esquemático da configuração proposta por Ludzack e Ettinger.



Fonte: Jordão; Pessoa, 2005, p. 603, figura 20.29 – adaptado.

A configuração proposta por Ludzack e Ettinger é basicamente composta por dois reatores em série. No primeiro, prevalecem condições anóxicas decorrentes da presença de matéria carbonácea do esgoto afluente à unidade, ausência de aeração (apenas mistura) e recirculação interna de nitratos formados no segundo reator. O segundo reator conta com sistema de aeração para que ocorra a oxidação da matéria carbonácea remanescente e do nitrogênio amoniacal presente no esgoto (VON SPERLING, 2005).

O interesse na desinfecção dos esgotos é cada vez maior, tendo em vista a crescente deterioração das fontes de abastecimento de água para consumo humano. O principal objetivo da desinfecção de esgotos é destruir os patogênicos entéricos, que podem estar presentes no efluente tratado, para tornar a água receptora segura para o uso posterior.

A desinfecção com radiação ultravioleta promove a inativação dos microrganismos patogênicos. Através da energia ultravioleta que é absorvida pelos microrganismos causando alterações estruturais em seu DNA, impedindo a reprodução. O método é totalmente físico, e a fonte da energia UV é

tipicamente atribuída a lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (JORDÃO, 2009).

Tabela 0.15 Estimativa da eficiência para a Alternativa 03

<b>Faixas de eficiência do tratamento: Alternativa 03 (em Remoção, %)</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Lodos Ativados + Decantador Secundário</b>
DBO	85 – 95
DQO	88 <sup>2</sup>
Sólidos Suspensos	85 – 95
Coliformes fecais	90 – 96
Nitrogênio	60% <sup>3</sup>
Fósforo	35% <sup>3</sup>

Fonte: Jordão; Pessôa, 2005, p. 833 – adaptado; Pedro Alem Sobrinho, Eduardo Pacheco Jordão, 2001. <sup>3</sup> Moravia et al (2011). Chernicharo, C. A. L. (1996); <sup>2</sup>Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Volume 5. Reatores Anaeróbios. DESA-UFMG.

#### 4.2.5 Aplicação de questionário à especialistas

De acordo com Hunt (2013), a seleção de tecnologias de tratamento de esgoto é uma decisão intrinsecamente complexa, pois envolve incertezas, múltiplos objetivos e critérios, e a participação de muitos atores. Sendo recomendado a utilização de um sistema para auxiliar a seleção de processos de tratamento de esgoto utilizando o AMD (Apoio Multicritério à Decisão), particularmente a teoria da utilidade multiatributo (na língua inglesa, *Multi-attribute Utilit. Theory - MAUT*).

Neste trabalho, a partir da literatura acadêmica foram formuladas 03 (três) alternativas atendendo aos objetivos de tratamento, as restrições da localidade, bem como a legislação ambiental vigente. Para comparar as alternativas, utilizou-se o método MAUT, considerando 16 (dezesesseis) critérios de caráter econômicos, ambientais, sociais e técnicos.

Tabela 0.16 Critérios para avaliação das alternativas de tratamento

<b>Técnicos</b>	<b>Econômicos</b>	<b>Ambientais</b>	<b>Sociais</b>
Atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação	Demanda de área para implantação da ETE	Danos ambientais	Geração de odores

<b>Técnicos</b>	<b>Econômicos</b>	<b>Ambientais</b>	<b>Sociais</b>
Nível de tecnologia utilizada	Demanda de energia elétrica	Remoção de patógenos	Riscos à saúde pública
Complexidade da operação e manutenção	Custo de instalação/implantação	Remoção de nitrogênio	Reuso dos subprodutos gerados na ETE
Geração de lodo	Custo de manutenção/operação	Remoção de matéria orgânica	Aceitação da população

As alternativas são avaliadas de maneira a receber nota máxima quando mais favoráveis ao atendimento do critério de forma positiva. Ou seja, por exemplo, a alternativa com nota máxima no critério Custo de instalação/implantação será aquela que exigir menor investimento financeiro.

Assim como sugerido por Cornelli (2014), a atribuição de pesos a cada um dos critérios será realizada por especialistas em saneamento, indicando o seu respectivo nível de relevância para a definição da escolha da tecnologia de tratamento.

Os critérios serão avaliados em uma escala de menos favorável, favorável ou mais favorável, onde uma alternativa avaliada com nota máxima em um critério avaliado como mais favorável obtém a pontuação máxima. A pontuação para a relevância dos critérios ocorre da seguinte forma:

Tabela 0.17 Escala de relevância para avaliação dos critérios

<b>Mínima</b>	<b>Média</b>	<b>Máxima</b>
1	2	3

Dessa forma, a relevância do critério terá a função de peso a ser aplicado a cada nota atribuída para cada uma das alternativas. Para cada questionário respondido, é possível observar a análise do respectivo especialista sobre as perspectivas técnicas, ambientais, sociais e econômicas de cada alternativa.

Onde, no final no processo, é possível identificar qual a tendência de escolha dos especialistas para a alternativa de tratamento mais adequada.

A pesquisa quantitativa necessita de indicadores numéricos confiáveis para poder retornar resultados confiáveis, nesse sentido são definidos critérios estatísticos, como a população, erro padrão e um intervalo de confiança, de forma a ser indicada a amostra para a pesquisa.

Tabela 0.18 Critérios estatísticos para delimitação da pesquisa

<b>Parâmetro</b>	<b>Atribuição</b>	<b>Referência</b>
População	10	Especialistas
Margem de erro	5	%
Nível de confiança	95	%
N amostral calculado	10	Especialistas

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, a pesquisa bibliográfica foi escolhida com o objetivo de fornecer fundamento teórico ao trabalho. A partir do estudo da literatura acadêmica é elencado as vantagens e desvantagens técnicas referentes a cada alternativa. De forma que, relacionando com a delimitação das características do efluente gerado em Vitória de Santo Antão e em atendimento à legislação identificada para o corpo receptor escolhido, seja possível indicar a alternativa mais adequada para o tratamento do efluente.

Em paralelo, no sentido de dar suporte à tomada de decisão, é avaliado os resultados obtidos a partir dos questionários aplicados à especialistas em saneamento. Assim, um olhar empírico sobre a relevância dos critérios elencados, bem como sobre o desempenho das alternativas formuladas, irá refinar a escolha do tratamento indicado.

### 5.1 Análise Técnica

De acordo com o levantamento bibliográfico é observado uma vantagem da Alternativa 03 sobre as demais, caracterizada por oferecer uma maior possibilidade de atendimento ao padrão de lançamento exigido para Vitória de Santo Antão. A alternativa 01 também apresenta vantagens nessa avaliação, devido sua simplicidade na operação.

Tabela 0.19 Análise Técnica: vantagens e desvantagens

Alternativa	Vantagens	Desvantagens
<b>Alternativa 01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ausência de equipamentos mecânicos;</li> <li>✓ Baixa demanda por remoção de lodo;</li> <li>✓ Alternativa mais simples de operar;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção;</li> <li>✓ Desempenho variável de acordo com as condições climáticas;</li> <li>✓ Baixa remoção de nutrientes;</li> </ul>
<b>Alternativa 02</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Simplicidade operacional;</li> <li>✓ Baixa produção de sólidos<sup>1</sup>;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baixa remoção de nutrientes;</li> </ul>
<b>Alternativa 03</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Possibilidade de remoção de carga orgânica e de nutrientes no mesmo processo;</li> <li>✓ Tecnologia mais moderna que as outras alternativas;</li> <li>✓ O lodo produzido no sistema não precisa de pós tratamento;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Operação e manutenção mais complexas;</li> <li>✓ Grande necessidade de controle do processo;</li> <li>✓ Maior geração de lodo;</li> </ul>

Fonte: <sup>1</sup>CHERNICHARO (2008, p.25);

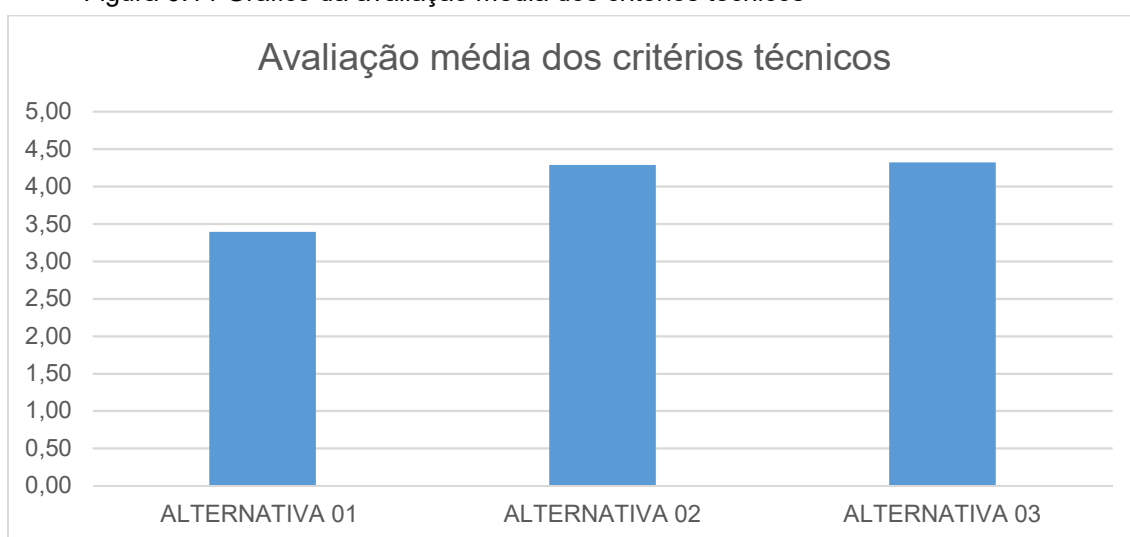
Como parte dos objetivos específicos deste trabalho, nos questionários, cada especialista foi responsável por atribuir uma nota de 1 a 3 para cada um dos critérios elencados, de forma que ao final da pesquisa foi possível calcular a média das notas atribuídas a cada critério. Assim, o critério 1.1 Atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação foi avaliado como o mais relevante, enquanto o critério 1.2 Nível de tecnologia utilizada foi o menos relevante à escolha do tratamento, ou seja, para os especialistas o nível de tecnologia utilizado tem relevância mínima, desde que seja garantido o atendimento ao parâmetros pertinentes.

Tabela 0.20 Avaliação dos critérios técnicos

Item	Critérios técnicos	Média
1.1	Atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação	3
1.2	Nível de tecnologia utilizada	1,14
1.3	Complexidade da operação e manutenção	2,14
1.4	Geração de lodo	1,71

Através dos questionários, para o item 1 Critérios Técnicos, ficou estabelecido uma diferença de 1% entre a Alternativa 03 e a Alternativa 02. Para tal, a Alternativa 01 ficou com a menor média neste item.

Figura 0.14 Gráfico da avaliação média dos critérios técnicos



Do ponto de vista da análise técnica, a Alternativa 01 – Sistema de Lagoas de Estabilização seria inicialmente descartada, apesar da simplicidade operacional e da menor capacidade de gerar lodos, uma vez que não seria capaz de atender

ao nível de exigências de tratamento necessário em Vitória de Santo Antão. A Alternativa 02 – Reator UASB e Filtro Biológico Percolador, apesar de bem avaliada pelos especialistas seria descartada em função da baixa possibilidade de remoção de nutrientes. Assim, a Alternativa 03 é a mais adequada do ponto de vista técnico.

## 5.2 Análise Ambiental

A partir da literatura de referência, é observado uma evidente vantagem da Alternativa 03 sobre as demais, caracterizada por sua maior eficiência na remoção de nutrientes e matéria orgânica ao mesmo tempo, tendo em vista as necessidades para o atendimento aos padrões do corpo receptor em questão identificado como classe 2 pela Resolução CONAMA nº 357/2005. A alternativa 02, por sua vez, também é destacada por sua capacidade de até 90% de eficiência em remoção de cargas orgânicas. Em contrapartida, indica baixa possibilidade de remoção de nutrientes.

Tabela 0.21 Análise Ambiental: vantagens e desvantagens

Alternativa	Vantagens	Desvantagens
<b>Alternativa 01</b>	✓ Eficiência elevada na remoção de patógenos de forma natural na lagoa de maturação;	✓ Necessita grandes áreas para implantação implicando em remoção de vegetação natural;
<b>Alternativa 02</b>	✓ Redução de cargas orgânica poluidoras, com registros de até 90% de eficiência;	✓ Remoção de nitrogênio e fósforo insatisfatória;
<b>Alternativa 03</b>	✓ Garantida remoção de Nitrogênio e Fósforo; ✓ Maior taxa de remoção de matéria orgânica;	✓ Necessita de maior controle nas atividades de laboratório;

Fonte: <sup>1</sup>CHERNICHARO (2008, p.25);

De acordo com a avaliação realizada através dos questionários, o critério 2.4 Remoção de matéria orgânica foi avaliado como o mais relevante, recebendo a média máxima de nota 3,0. Seguido pelo item 2.2 Remoção de patógenos com média 2,57, na escala de relevância de critérios nesta avaliação.

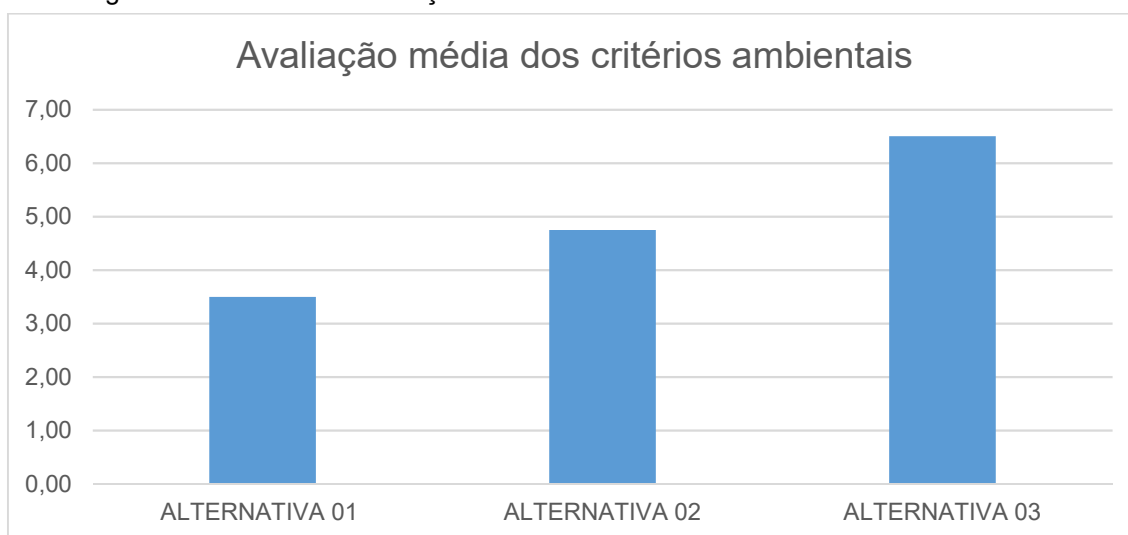
Tabela 0.22 Avaliação dos critérios ambientais

Item	Crítérios ambientais	Média
2.1	Danos ambientais	2,00

Item	Critérios ambientais	Média
2.2	Remoção de patógenos	2,57
2.3	Remoção de nitrogênio	2,00
2.4	Remoção de matéria orgânica	3,00

Para essa avaliação, é notável uma clara vantagem da Alternativa 03 sobre as demais, do ponto de vista da análise dos especialistas. Uma vez que esta foi atribuída com média 6,5, seguido pelas Alternativas 02 e 01, com médias 4,75 e 3,50, respectivamente. Esta conclusão é justificada a partir da combinação de dois fatores: a relevância atribuída aos critérios 2.2 e 2.4 e ao fato da Alternativa 03 ser a mais bem avaliada nestes itens.

Figura 0.15 Gráfico da avaliação média dos critérios ambientais



Para atender a remoção de patógenos, remoção de nutrientes e principalmente a remoção de matéria orgânica, critério que todos os especialistas indicaram relevância máxima, é mais indicado a utilização da Alternativa 03-Lodos Ativados.

### 5.3 Análise Econômica

Os custos inerentes a uma Estação de Tratamento de Esgoto são basicamente a compra ou desapropriação da área a ser utilizada, os custos com implantação, operação e manutenção, e a demanda energética ao longo dos anos, caso haja. Uma vez que em Vitória de Santo Antão existe a possibilidade de utilizar o

terreno de propriedade da companhia de saneamento não há necessidade de se considerar custos com aquisição de área.

Tabela 0.23 Análise Econômica: vantagens e desvantagens

Alternativa	Vantagens	Desvantagens
<b>Alternativa 01</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Menores custos para implantação e operação;</li> <li>✓ Requisitos energéticos praticamente nulos para a lagoa de decantação e maturação;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Necessidade de áreas maiores, principalmente devido a lagoa de maturação;</li> </ul>
<b>Alternativa 02</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baixo consumo de energia<sup>1</sup></li> <li>✓ Baixa demanda de área<sup>1</sup>;</li> <li>✓ Baixo custo de implantação<sup>1</sup>;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Precisa de operadores capacitados;</li> </ul>
<b>Alternativa 03</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Baixa demanda de área<sup>1</sup>;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Maiores custos de implantação e de operação;</li> <li>✓ Maiores custos com energia elétrica;</li> </ul>

Fonte: <sup>1</sup>CHERNICHARO (2008, p.25);

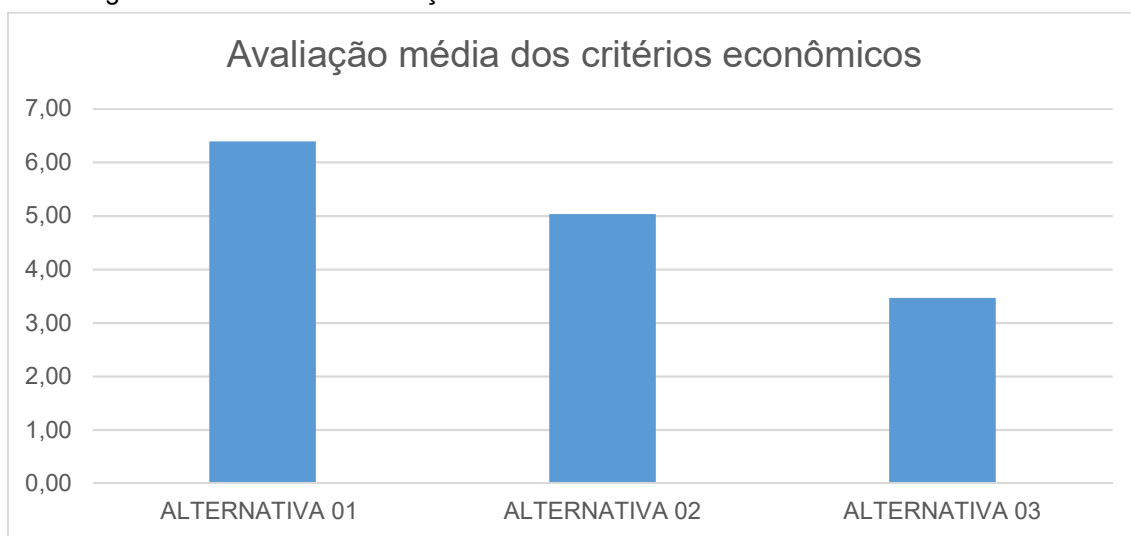
Dentre os grupos de critérios técnicos, ambientais, econômicos e sociais, os econômicos obtiveram a maior média por grupo. Indicando a importância atribuída pelos especialistas à mobilização de recursos financeiros quando da implantação e seguinte funcionamento de uma ETE. De forma que a alternativa sendo mais bem avaliada nesses itens recebe destaque maior em comparação aos outros grupos de critérios.

Tabela 0.24 Avaliação dos critérios econômicos

Item	Crítérios econômicos	Média
3.1	Demanda de área para implantação da ETE	2,14
3.2	Demanda de energia elétrica	2,71
3.3	Custo de instalação/implantação	2,29
3.4	Custo de manutenção/operação	2,71

Pela avaliação dos especialistas, a Alternativa 01 é a opção mais favorável quando a questão é alcançar o menor custo com grande vantagem sobre as demais opções, atingindo média 6,40. A Alternativa 02 também obteve bom desempenho nessa avaliação com média 5,0.

Figura 0.16 Gráfico da avaliação média dos critérios econômicos



Diante da não necessidade de aquisição de terreno para implantação da Estação, a Alternativa 01 – Sistema de Lagoas de Estabilização torna-se claramente a mais vantajosa do ponto de vista econômico, uma vez que demanda custos de manutenção e operação mínimos e custos energéticos com iluminação e prédio de apoio apenas, ou seja, praticamente nulos.

#### 5.4 Análise Social

No que se refere aos impactos sociais, não é de se estranhar a rejeição da população próxima a uma futura ETE a ser implantada, devido ao cunho negativo atribuído culturalmente ao esgoto, seja pela geração de odores ou pela proliferação de doenças de veiculação hídrica. Assim, as alternativas também foram estudadas de acordo com seu desempenho nessa categoria.

Tabela 0.25 Análise Social: vantagens e desvantagens

Alternativa	Vantagens	Desvantagens
<b>Alternativa 01</b>	✓ Remoção de lodo necessária apenas após períodos superiores a 10 anos;	✓ Maior possibilidade de geração de odores; ✓ Pode atrair animais;
<b>Alternativa 02</b>	✓ Baixo risco a saúde pública;	✓ Possíveis problemas com moscas na unidade do filtro biológico; ✓ Problemas de odor;
<b>Alternativa 03</b>	✓ Maior possibilidade de reuso dos lodos gerados na ETE;	✓ Alto índice de geração de lodo;

Fonte: <sup>1</sup>CHERNICHARO (2008, p.25);

Dentre os itens do grupo de critérios sociais, foi avaliado como mais relevante o 4.1 Geração de odores, apesar de ser uma característica inerente aos processos bioquímicos que acontecem em uma estação de tratamento de esgotos, estes devem ser monitorados e controlados frequentemente para não se tornar um incômodo a população.

Tabela 0.26 Avaliação dos critérios sociais

Item	Crítérios sociais	Média
4.1	Geração de odores	2,57
4.2	Riscos à saúde pública	2,43
4.3	Reuso dos subprodutos gerados na ETE	1,29
4.4	Aceitação da população	1,86

Através da atribuição de pesos com base na relevância dos critérios e da nota atribuída a cada alternativa, assim como nos outros grupos de critérios, é observado no gráfico a seguir a média de notas recebidas de cada alternativa. Então, indicando a preferência dos especialistas na hora de atender à esfera social quando da escolha de um modelo de tratamento de efluentes, onde a Alternativa 03 é a mais adequada e a Alternativa 01 a menos adequada.

Figura 0.17 Gráfico da avaliação média dos critérios sociais



Em Vitória de Santo Antão existe a viabilidade de se utilizar da área de propriedade da Companhia de Saneamento onde já existe uma Estação de

Tratamento em desuso. Nesse sentido, a população local está familiarizada com a ETE, tornando o processo de implantação de um novo sistema mais fluído. Assim, apesar do alto índice de geração de lodo, subproduto inerente à ETEs, a Alternativa 03 é a mais viável em uma abordagem social.

### 5.5 Seleção e Justificativa da alternativa escolhida

No sentido de garantir a preservação dos recursos hídricos, a implantação de uma Estação de Tratamento de Esgotos exerce fundamental papel ao tratar os efluentes antes de seu lançamento no corpo receptor. As substâncias presentes nos esgotos, se despejadas *in natura*, sem tratamento, provocam impactos devastadores nos corpos de água: a matéria orgânica pode causar a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido na água provocando a morte de peixes, organismos aquáticos, o escurecimento da água e a exalação de odores desagradáveis. Há ainda a possibilidade de que os nutrientes presentes nos efluentes provoquem a eutrofização dos corpos de água, promovendo o crescimento acelerado de algas que conferem odor, gosto e biotoxinas à água e retiram o oxigênio destas, causando desequilíbrio no ecossistema aquático.

Em relação ao corpo receptor para o lançamento dos efluentes tratados, devido as imposições legais e ambientais, identifica-se o Rio Tapacurá como corpo receptor. A alternativa de encaminhar os esgotos para o rio Goitá foi descartada uma vez que o enquadramento como para este é Classe 1 e a legislação Estadual, através do Decreto Estadual nº 7.269/1981 no Artigo 25 decreta que não são permitidos lançamentos de efluentes, nem mesmo tratado, em corpos hídricos classificados como Classe 1.

Por sua vez, a proposta de enquadramento do Rio Tapacurá é de Classe 2. Então, em atendimento à legislação Estadual (Decreto Estadual nº 7.269/1981) e Federal (Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011), há que se considerar tanto a remoção da carga orgânica, quanto a remoção de nutrientes e realizar a desinfecção, para manter o corpo receptor com as características físico-químicas preconizadas.

Conforme os objetivos específicos do presente trabalho, foi utilizado uma ferramenta de apoio à tomada de decisão baseado na teoria da utilidade multiatributo. Onde foi constatado que a decisão se apoia mais fortemente em critérios econômicos, como custos de implantação e operação; e critérios ambientais, como capacidade de remoção de matéria orgânica e de remoção de patógenos. Também foi constatado que, em uma abordagem multicritério, a Alternativa 03 – Lodos Ativados é mais indicada pelos especialistas, seguido da

Alternativa 02 – Reator UASB e Filtro Biológico e pela Alternativa 01 – Sistema de Lagoas de Estabilização.

Tabela 0.27 Resultado geral dos questionários

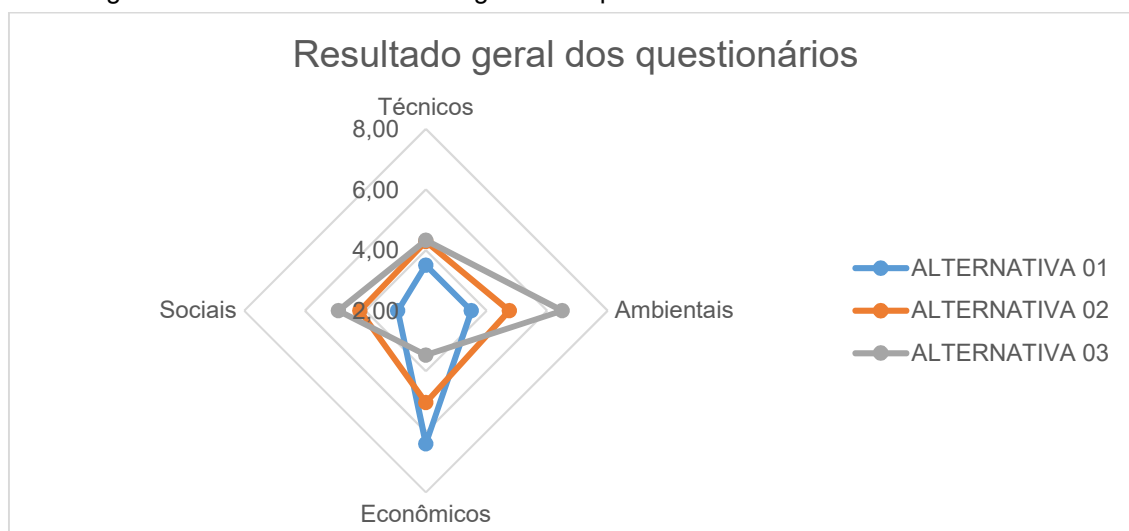
Alternativa	Alternativa 01	Alternativa02	Alternativa 03
<b>Técnicos</b>	3,50	4,29	<b>4,32</b>
<b>Ambientais</b>	3,50	4,75	<b>6,50</b>
<b>Econômicos</b>	<b>6,39</b>	5,04	3,46
<b>Sociais</b>	2,93	4,18	<b>4,89</b>
<b>Média Geral</b>	4,08	4,56	<b>4,79</b>

Concluindo, a Alternativa 01 é mais indicada para efluentes a serem lançados em corpos que não possuem altos índices de exigências ambientais e possuem uma legislação mais flexível. Sendo também a mais vantajosa do ponto de vista econômico, conforme apresentado na Figura 0.18. Assim, descartada para o caso de Vitória de Santo Antão.

A alternativa 02 recebeu a segunda melhor avaliação dos especialistas e é indicada pela literatura com capacidade de 90% de remoção da carga orgânica dos efluentes. Entretanto, não atende no quesito remoção de nutrientes, sendo então descartada para o caso do município em questão.

O gráfico a seguir ilustra o desempenho de cada alternativa em atendimento aos critérios técnicos, ambientais, econômicos e sociais.

Figura 0.18 Gráfico do resultado geral dos questionários



Finalmente, no Sistema de Lodos Ativados há uma maior necessidade de Oxigênio, o que implica num aumento dos custos. Para monitoramento e controle do processo há a necessidade de análises físico-químicas e bacteriológicas frequentes e os operadores tem que ter um conhecimento técnico do processo e um treinamento específico. É a alternativa de tecnologia mais avançada e que, bem implementada, garante o atendimento ao padrão de lançamento do Rio Tapacurá e parâmetros padronizados em sua legislação.

Em virtude de suas características técnicas e, uma vez que, do ponto de vista ambiental é alternativa mais adequada, a proposta final de tratamento de efluentes de Vitória de Santo Antão é a Alternativa 03 – Lodos Ativados.

## **6 CONCLUSÕES**

### **6.1 Avaliação de impactos relacionados à ETE**

No estudo de caso realizado para o presente trabalho, considerou-se como área destinada a implantação da nova ETE o terreno de propriedade da Companhia Pernambucana de Saneamento. Onde, atualmente, existe um sistema de lagoas de estabilização fora de operação.

A proposta de tratamento escolhida deve ser implantada de forma a causar o mínimo de impacto negativo ambiental, financeiro e social ao município. Para tanto, é considerado a utilização da área não utilizada do terreno, de forma a não interferir na estrutura das lagoas existentes de imediato. Uma vez que, o processo de avaliação do estado da lagoa e do seu solo deve ser minucioso e as tratativas para demolição ou recuperação deste, pode vir a ser bastante oneroso.

Assim, evitando repetir casos como o de Petrolina, onde o sistema de esgotamento era constituído por 11 (onze) estações de tratamento e, através de uma reformulação no escoamento dos esgotos, 04 estações foram desativadas. Tais estações eram do tipo de lagoas de estabilização e sua desativação trouxe uma série de problemas para a população local, conforme publicações em mídias digitais este ano.

Caracterizado pela alta produção de lodo em relação às outras alternativas propostas como de sistemas mistos anaeróbios/aeróbios, de acordo com Jordão (2009), os lodos produzidos nesse modelo são oxidados no próprio tanque de aeração em consequência da longa idade característica da modalidade de aeração prolongada. O lodo estabilizado pode assim ser desaguado e descartado em aterro sanitário, ou também pode ser transformado em adubo para a agricultura através de um processo de compostagem.

## 6.2 Considerações Finais

Este trabalho pretendeu propor uma concepção de tecnologia de tratamento de efluentes para o município de Vitória de Santo Antão, através da utilização de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que é baseada em uma avaliação de multicritérios realizada por especialistas em saneamento. A pesquisa conclui que:

- O sistema de lodos ativados é indicado para casos onde o corpo receptor possui padrão de exigências de lançamento de Classe 2 no CONAMA 430/2011.
- A garantia de atendimento aos padrões de lançamento é o critério mais relevante quando da escolha de uma tecnologia de tratamento.
- A tomada de decisão para escolha de uma tecnologia de tratamento é complexa e circunstancial, envolvendo diversos atores, deve ser estudada pelas óticas técnica, ambiental, econômica e social.

No sentido de fomentar outras discussões e pesquisas acadêmicas nessa área e que venham a acrescentar conteúdo a proposta escolhida, a pesquisa sugere:

- Pesquisar formas de desativar ou de aproveitar, se possível, o sistema de lagoas de estabilização existentes em Vitória de Santo Antão.
- Avaliar o grau de eficiência e nível de operação de estações de tratamento com tecnologia semelhante em Pernambuco.
- Estudar a capacidade da nova ETE em gerar lodos e os possíveis usos destes.

## REFERÊNCIAS

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

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C.A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 3. Ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1994.

REES, P. H. *Population projection for development planning*. In: UNITED NATIONS. Population and development planning. New York: Department of Economic and Social Development, 1993.

TEIXEIRA, J. C.; GOMES, M. H. R. e SOUZA, J. A. (2011). Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros - estudo comparativo entre 2001 e 2006. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 2, p. 197-204.

VARGAS, R. *Gerenciamento de projetos – Estabelecendo diferenciais competitivos*. 7ª ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

CHIARA, I. D. et al. *Normas de documentação aplicadas à área de Saúde*. Rio de Janeiro: Editora E-papers, 2008.

AISSE, M. M.; LOBATO, M. B.; BONA, A.; GARBOSSA, L. H. P.; JÜRGENSEN, D.; ALÉM SOBRINHO, P. *Avaliação do Sistema Reator UASB e Filtro Biológico para o Tratamento de Esgoto Sanitário*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, João Pessoa, 2001. *Anais*. Rio de Janeiro, ABES, 2001.

TCHOBANOGLOUS, George. FRANKLIN, Burton L. STENSEL, H. David. Metcalf & Eddy, Inc. *Wastwater Engineering. Treatment and Reuse*. 4ª Edition. China: McGraw-Hill Companies, Inc. 2003.

VON SPERLING, M. *Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 3ª ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2005.

WAGNER, A. G.; BELLOTTO, V.R. *Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário: Análise Econômica de Alternativas para Municípios Litorâneos – Estudo de Caso – Balneário Camboriú e Itajai (SC), Brasil*. Revista Gestão Costeira Integrada, Blumenau, Maio, 2008.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A - QUESTIONÁRIO APLICADO À ESPECIALISTAS**

## Questionário

### Proposta de Tratamento de Efluentes para o Município de Vitória De Santo Antão - Método MAUT

**Alternativa 1:** Lagoa Anaeróbica + facultativa + maturação

**Alternativa 2:** Reator UASB + FBP + Decantador Secundário + Desinf. c/ Cloro

**Alternativa 3:** Lodos Ativados + Decantador Secundário + Desinf. c/ UV

\*Nas colunas relativas às alternativas deverá ser preenchido com nota de 1 a 3

1 = menos favorável; 2 = favorável; 3 = mais favorável

\*\*Os critérios devem ser avaliados de acordo com a sua relevância, inserindo um preenchimento na célula de mín ou méd ou máx;

Item	Critérios	Relevância			Alternativa		
		Mín	Med	Máx	1	2	3
	1 Técnicos						
	1.1 Atendimento aos parâmetros exigidos pela legislação						
	1.2 Nível de tecnologia utilizada						
	1.3 Complexidade da operação e manutenção						
	1.4 Geração de lodo						
	2 Ambientais						
	2.1 Danos ambientais						
	2.2 Remoção de patógenos						
	2.3 Remoção de nitrogênio						
	2.4 Remoção de matéria orgânica						
	3 Econômicos						
	3.1 Demanda de área para implantação da ETE						
	3.2 Demanda de energia elétrica						
	3.3 Custo de instalação/implantação						
	3.4 Custo de manutenção/operação						
	4 Sociais						
	4.1 Geração de odores						
	4.2 Riscos à saúde pública						
	4.3 Reuso dos subprodutos gerados na ETE						
	4.4 Aceitação da população						

## ANEXO B - ESTUDO DE DEMANDA

Esse item visa estabelecer os parâmetros iniciais para a definição das alternativas técnicas a serem avaliadas para a concepção da tecnologia de tratamento para o sistema de esgotamento sanitário. Neste sentido, foi realizada a projeção da população residente para um alcance de 15 anos, de acordo com os dados censitários do IBGE do Município Vitória de Santo Antão, Estado de Pernambuco.

Analizando a Tabela 0.1, é possível observar que, no município de Vitória de Santo Antão, ocorreu um crescimento da população total (1,11 vezes, em dez anos, entre 2000 e 2010) e da população urbana (1,14 vezes, no mesmo período) e um decréscimo da população rural no mesmo período.

Tabela 0.1 Censo populacional município de Vitória de Santo Antão.

Situação do Domicílio	Ano			
	1980	1991	2000	2010
Total	93.198	106.848	117.609	129.974
Urbana	63.611	85.363	99.342	113.429
Total	93.198	106.848	117.609	129.974

Fonte: Censos de população de 1980 a 2010, IBGE.

Após o levantamento dos dados históricos das populações, foi realizada uma projeção geométrica da série histórica do IBGE. De modo a ser definida a população de final de plano a ser atendida pela Estação de Tratamento de Esgotos.

Tabela 0.2 Taxas de crescimento populacional do município

Ano	População Total (hab)	Taxa de Cresc. da Pop. Total (% a.a)	População Urbana (hab)	População Urbana (%)	Taxa de Cresc. da Pop. Urbana (% a.a)
1980	93.198	-	63.611	68,25%	-
1991	106.848	1,25%	85.363	79,89%	2,71%
2000	117.609	1,07%	99.342	84,47%	1,70%

<b>Ano</b>	<b>População Total (hab)</b>	<b>Taxa de Cresc. da Pop. Total (% a.a)</b>	<b>População Urbana (hab)</b>	<b>População Urbana (%)</b>	<b>Taxa de Cresc. da Pop. Urbana (% a.a)</b>
2010	129.974	1,00%	113.429	87,27%	1,33%

Com o apoio do software Excel, foi possível projetar a população através de uma função geométrica até o ano final de alcance da ETE, 2033. O método de crescimento geométrico foi escolhido para estimar a população futura da cidade porque era a linha de tendência que mais se ajustava à reta da série histórica. Esse método estima o crescimento populacional proporcionalmente à população, em um ano qualquer, a partir da seguinte equação:

$$P_f = P_i \times (1 + Tx)^{(f-i)}$$

- $P_f$  = população no ano final;
- $P_i$  = população no ano inicial;
- $T_x$  = taxa de crescimento populacional anual;
- $F$  = ano final; e
- $I$  = ano inicial.

Tabela 0.3 Projeção Populacional – Vitória de Santo Antão

<b>Ano</b>	<b>População Total (hab)</b>	<b>População Urbana (hab)</b>
2011	131.280	114.943
2012	132.599	116.478
2013	133.931	118.032
2014	135.277	119.608
2015	136.636	121.205
2016	138.009	122.823
2017	139.395	124.462
2018	140.796	126.124
2019	142.210	127.807

Ano	População Total (hab)	População Urbana (hab)
2020	143.639	129.514
2021	145.082	131.242
2022	146.540	132.994
2023	148.012	134.770
2024	149.499	136.569
2025	151.001	138.392
2026	152.518	140.239
2027	154.051	142.111
2028	155.598	144.009
2029	157.162	145.931
2030	158.741	147.879
2031	160.336	149.853
2032	161.946	151.853
<b>2033</b>	<b>163.574</b>	<b>153.881</b>

Assim, a demanda a ser atendida pela ETE será representada pela vazão média de final de plano. De acordo com Jordão e Pessoa (2009), a vazão de projeto média é usada para cálculo de carga orgânica, bem como para o dimensionamento de unidades da ETE.

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades divulga periodicamente o “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos”, com base em dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. O documento mais recente é a 19ª edição do Diagnóstico, ano de 2013.

Na Tabela 0.4 são apresentados os valores de *per capita* médios, contemplados no Diagnóstico, para o Brasil, estado de Pernambuco e região do Nordeste.

Tabela 0.4 Consumo per capita médio por localidades

Região/Estado/País	Ano de 2013 (L/hab.dia)
Pernambuco	105,3
Nordeste	125,8
Brasil	166,3

Fonte: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, 2013.

Neste trabalho, será desconsiderada a vazão de infiltração ao longo da rede, devido à ausência de informações acerca da tubulação necessária para escoamento dos efluentes no município. Para o valor de *per capita* será usado o dado médio apresentado pelo SNIS (2013) e a população urbana correspondente ao ano de 2033, conforme detalhado na equação abaixo.

$$Q_{med} = \frac{População \cdot C \cdot Q_{PC}}{86400}$$

- Vazão doméstica média de esgotos ( $Q_{méd}$ ): L/s;
- População: 153.881 habitantes
- Coeficiente de retorno (C): 0,80;
- Quota *per capita* ( $Q_{PC}$ ): 105,3 L/hab.dia.

Finalmente, a vazão média adota é de 149,65 L/s.