

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



Trabalho de Conclusão de Curso

**Estudo de Viabilidade Técnica e Econômico-financeira do Tratamento de
Esgoto no município de Arroio Grande/RS**

Cauana Schumann

Pelotas, 2016

CAUANA SCHUMANN

**Estudo de Viabilidade Técnica e Econômico-financeira do Tratamento de
Esgoto no município de Arroio Grande/RS**

Trabalho acadêmico apresentado no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Profº. Drº. Maurizio Silveira Quadro

Pelotas, 2016

Banca Examinadora

Profº. Drº. Alejandro Martins Rodriguez – Centro de Engenharias/UFPeI

Profª. Drª. Diuliana Leandro – Centro de Engenharias/UFPeI

Profº. Drº. Maurizio Silveira Quadro – Centro de Engenharias/UFPeI

AGREDICIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Elvira e Itamar, e minhas irmãs, Pamela e Luiza, por todo o amor e incentivo durante a minha formação acadêmica.

Agradeço ao meu namorado Matheus pelo seu apoio e companheirismo.

Agradeço aos meus amigos por todos os momentos compartilhados, em especial, à Pamela e Paula.

Agradeço à professora Diuliana Leandro por sua disponibilidade e aprendizado acadêmico.

Agradeço ao professor Alejandro Martins Rodriguez pelo seu ensino, auxílio e disponibilidade.

Agradeço ao meu orientador, professor Maurizio Silveira Quadro, pela colaboração, aprendizado e incentivo na realização deste trabalho.

Agradeço à todas as pessoas que, de certa forma, contribuíram para a minha formação acadêmica.

RESUMO

SCHUMANN, Cauana. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômico-financeira do Tratamento de Esgoto no município de Arroio Grande/RS**. 2016. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Frente ao cenário atual de saneamento básico do Brasil, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e econômico-financeira do tratamento de esgoto para um município com população inferior a 20 mil habitantes. Foi realizado o dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com o sistema de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB) seguido de lodo ativado com aeração prolongada. Diante do dimensionamento, foi realizada uma análise da viabilidade econômico-financeira deste sistema de tratamento para o município, estipulando uma estimativa de investimento, custo de operação, financiamento e fluxo de caixa. De posse dos valores estimados, foram projetados 3 diferentes cenários, no primeiro foi considerado que a população pagará 100% dos custos com a ETE, no segundo 75% e no terceiro, 50%. A partir dos 3 diferentes cenários, foi indicado o custo da Prefeitura Municipal com a ETE. Por fim, foi realizada a avaliação do fluxo de caixa após o término do financiamento, onde a tarifa do 10º ano será fixada e, estabelecido um aumento de 10% ao ano, avaliando assim, o tempo de retorno do investimento. A ETE dimensionada é caracterizada como uma unidade de tratamento de esgoto de pequeno porte, na qual, o processo de tratamento escolhido é viável tecnicamente. Devido ao fácil acesso e aquisição dos equipamentos citados tanto para a implantação, quanto para a operação da estação e, também, a disponibilidade de diversos profissionais da área e empresas especializadas em projetos deste porte. O tratamento de esgoto apresentou uma viabilidade econômico-financeira clara no cenário 1 e, no cenário 2 e 3, sua viabilidade dependerá exclusivamente, dos recursos financeiros municipais e incentivos estaduais/federais. Já, o tempo de retorno do investimento, no primeiro cenário será imediato, no segundo será de 21 anos e, no terceiro de 32 anos. Além de apresentar viabilidade técnica e econômico-financeira, a solução proposta evidencia que a situação de esgotamento sanitário no país poderia estar muito mais avançada. Ademais, o tratamento de esgoto poderá gerar uma série de benefícios para a comunidade e para o ambiente como um todo, melhorando a qualidade da água consumida pela população, reduzindo a ocorrência de doenças de veiculação hídrica e, por consequência, melhorando a qualidade de vida.

Palavras-chave: Saneamento básico, Esgoto sanitário, Tratamento de esgoto, Viabilidade técnica, Viabilidade econômico-financeira.

ABSTRACT

SCHUMANN, Cauana. **A study of the technical, economic and financial feasibility of sewage treatment for the city of Arroio Grande/RS.** 2016. 70f. Course Conclusion Paper (TCC). Graduation in Environmental and Sanitary Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Facing Brazil's present scenario of basic sanitation, the purpose of this paper is to evaluate the technical, economic and financial feasibility of sewage treatment for a town with less than 20 thousand inhabitants. The sizing of a wastewater treatment plant (WWTP) was done with upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) type followed by extended aeration activated sludge process. In the face of this sizing, an economic and financial analysis of this wastewater treatment plant was done for the town, providing an estimation of investment, operational costs, financing and cash flow. With this estimated figures, three different scenarios were projected. In the first was taken into account the full payment of the WWTP coming from the population, in the second 75% and in the third 50%. From these three different scenarios, the municipal administration costs with the WWTP were indicated. Finally, after the end of the funding was done a cash flow evaluation, in it, the 10th year's fee will be set and a raise of 10% a year will be established, assessing this way the investment payback time. The WWTP is characterized as a small treatment unit, so the treatment process is technically feasible due to its easy access and acquisition of the required equipment. Concerning the deployment, the station management, and the availability of required professionals and specialized companies for a project this size. The project displayed a noticeable financial economic feasibility in all three scenarios projected, depending only on the town's resources and state/federal stimulus. The investment payback in the first scenario would be immediate, but for the second would take 21 years and the third 32 years. Besides displaying the technical and financial economic feasibility, the proposed solution shows the situation of municipal wastewater could be much more advanced countrywide. In addition, sewage treatment could create countless benefits for the community and the environment as a whole, increasing the quality of the water consumed by the population, reducing the incidence of waterborne diseases and consequently making the quality of life better.

Keywords: Basic sanitation, Wastewater, Wastewater treatment, Technical feasibility, Economic and financial feasibility.

SUMÁRIO

1. Introdução	11
2. Objetivos	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. Revisão Bibliográfica	14
3.1 Conceito de Esgotos Sanitários	14
3.2 Conceito de Sistemas de Esgotamento Sanitários e Tratamento de Esgotos	15
3.3 Situação do Esgotamento Sanitário e Tratamento de Esgoto no Brasil	16
3.4 Problemática do gerenciamento inadequado de esgotos	18
3.5 Sistemas de Tratamento de Esgoto	19
3.5.1 Sistema de Reatores UASB	20
3.5.2 Sistema de Lodo Ativado	21
3.6 Avaliação Econômico-financeira de Projetos	22
4. Metodologia	24
4.1 Local	24
4.2 Dimensionamento dos Sistemas de Tratamento de Esgoto	25
4.2.1 Projeção da população	25
4.2.2 Dimensionamento dos Sistemas de Tratamento de Esgoto	25
4.2.2.1 Tratamento Preliminar	26
4.2.2.2 Tratamento Primário	34
4.2.2.3 Tratamento Secundário	36
4.3 Avaliação Econômico-financeira	42
4.3.1 Investimento	42
4.3.2 Custo de Operação	43
4.3.3 Financiamento	44

4.3.4 Fluxo de Caixa	44
5. Resultados e Discussão	45
5.1 Dimensionamento dos Sistemas de Tratamento de Esgoto	45
5.1.1 Tratamento Preliminar	46
5.1.2 Tratamento Primário	49
5.1.3 Tratamento Secundário	50
5.2 Avaliação Econômico-financeira	54
5.2.1 Investimento	54
5.3.2 Custo de Operação.....	56
5.3.3 Financiamento	57
5.3.4 Fluxo de Caixa	57
6. Conclusões.....	61
7. Bibliografia.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do crescimento populacional no Brasil	17
Figura 2 - Funcionamento do Reator UASB	20
Figura 3 - Sistema de tratamento com reator UASB e lodo ativado	22
Figura 4 - Custos e benefícios sociais e privados	23
Figura 5 - Localização do Município de Arroio Grande	24
Figura 6 – Ilustração da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos esgotos domésticos brutos	14
Tabela 2 - Nível de atendimento de esgoto no Brasil	18
Tabela 3 - Informações sobre esgotamento do Brasil e Rio Grande do Sul	18
Tabela 4 – População Urbana Projetada pelo Método Geométrico	45
Tabela 5 - Vazões de projeto	45
Tabela 6 – Dimensionamento do sistema de gradeamento	46
Tabela 7 - Dimensionamento da caixa de areia	47
Tabela 8 - Dimensionamento da calha Parshall	47
Tabela 9 - Dimensionamento do tanque de equalização	47
Tabela 10 - Diâmetros equivalentes e perdas localizadas das peças especiais consideradas	48
Tabela 11 - Perda de carga do sistema de sucção e recalque	48
Tabela 12 - Critérios para determinação da bomba	48
Tabela 13 - Características iniciais do efluente	49
Tabela 14 - Dimensionamento do decantador primário	49
Tabela 15 - Dimensionamento da parte inferior do reator UASB	50
Tabela 16 - Dimensionamento da parte superior do reator UASB	50
Tabela 17 - Eficiência de remoção no reator UASB	51
Tabela 18 - Dimensionamento do tanque de aeração	51
Tabela 19 - Dimensionamento do decantador secundário	52
Tabela 20 - Dimensionamento do leito de secagem do lodo	52
Tabela 21 - Valor de Investimento da ETE	54
Tabela 22 - Custos de Operação da ETE	56
Tabela 23 - Custo de Operação durante os anos	56
Tabela 24 - Financiamento da ETE	57
Tabela 25 - Fluxo de Caixa com Tarifa 100%	57
Tabela 26 - Fluxo de Caixa com Tarifa 75%	58
Tabela 27 - Fluxo de Caixa com Tarifa 50%	59
Tabela 28 - Sistema Tarifário por metro cúbico e por residência	60

1. Introdução

A existência humana associa-se diretamente à geração de resíduos e consequentemente, à poluição. A partir do momento em que sociedade notou que essa poluição oferece riscos à vida em comunidade, passou a adotar medidas para minimizar esses impactos, dando origem ao saneamento básico (POLIDO, 2013).

No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Lei 11.445/2007, a qual estabelece as diretrizes para os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais (BRASIL, 2007).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (2016), mais de 100 milhões de brasileiros não possuem acesso a rede coletora de esgoto. No estado do Rio Grande do Sul aproximadamente 9 milhões de habitantes não dispõem de sistema de esgotamento sanitário em suas residências (BRASIL, 2016). Além disso, verifica-se uma enorme disparidade entre os municípios, enquanto em cidades com população superior a 1 milhão de habitantes, a relação entre o esgoto tratado e o esgoto coletado é superior a 90%, em pequenos municípios os índices de cobertura são muito inferiores. Diante disso, percebe-se que há um déficit de investimento no país, em zonas de médio e pequeno porte afetando diretamente na qualidade de vida dessa população.

Conforme a Fundação Nacional da Saúde (2015) a falta de esgotamento sanitário reflete diretamente na saúde da população, no ambiente em que ela vive e no seu desenvolvimento econômico e social. Jordão e Pessoa (2009) citam que o lançamento de esgoto domésticos sem o devido tratamento em corpos receptores, contribuem para o aumento significativo de organismos patogênicos, acarretando um risco de transmissão quando em contato grupos populacionais.

Deste modo, o destino adequado dos esgotos sanitários além de proporcionar um aumento na qualidade ambiental e o desenvolvimento econômico de uma região, também, se torna uma forma preventiva para o surgimento de doenças. Frente a este cenário, a criação de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's) vem como propósito de uma solução coletiva, para tratar o volume de esgotos gerados em áreas urbanas ou em aglomerados.

O fornecimento de verbas por meio da hierarquia estatal pode ser prejudicado pela falta de responsabilidade do município, assim, a escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto deve sempre buscar a minimização do consumo de energia e outros insumos, minimização de resíduos gerados, minimização de custos de implantação, operação e manutenção, com garantia de eficiência de remoção de poluentes e matéria orgânica, uma vez que deverá atender aos requisitos do local a ser implantado (OLIVEIRA, 2004).

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômico-financeira da implantação de uma Estação de Tratamento de Esgoto para um município com uma população inferior à 20 mil habitantes, para tal utilizou-se como exemplo a cidade de Arroio Grande, localizada no interior do Rio Grande do Sul.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômico-financeira da implantação de uma Estação de Tratamento de Esgoto para um município com uma população inferior à 20 mil habitantes, tomando como exemplo a cidade de Arroio Grande, localizada no interior do Rio Grande do Sul.

2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar um sistema de reator UASB, seguido de lodo ativado com aeração prolongada para a cidade de Arroio Grande/RS.
- Avaliar a viabilidade econômico-financeira do projeto diante da realidade econômica de um município;
- Determinar o tempo de retorno do investimento.

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Conceito de Esgotos Sanitários

Os esgotos sanitários são constituídos essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais e, eventualmente, uma parcela não significativa de despejos industriais. Sua composição é, normalmente, de 99% de água e apenas 1% de material sólido. Podem conter concentrações elevadas dos mais variados organismos patogênicos, acarretando um risco de transmissão quando em contato grupos populacionais (BASTOS; BEVILACQUA, 2006). A Tabela 1 apresenta as características encontradas nos esgotos brutos domésticos.

Tabela 1 - Características dos esgotos domésticos brutos

Parâmetro	Concentração (mg.L ⁻¹)	
	Faixa	Típico
Sólidos Totais	700 – 1350	1000
DBO ₅	200 – 500	350
DQO	400 – 800	700
Nitrogênio Total	35 – 70	50
Fósforo	5 – 25	14
pH	6,7 – 7,5	7
Alcalinidade	20 – 50	35
Cloreto	20 – 50	35
Óleos e graxas	55 – 170	110

Fonte: Von Sperling (2005)

Jordão e Pessôa (2009) citam que o lançamento de esgoto domésticos sem o devido tratamento em corpos receptores, contribuem para o aumento significativo de organismos patogênicos, acarretando um risco de transmissão quando em contato grupos populacionais.

O propósito de um Sistema de Tratamento de Esgoto é retirar a maior parte do material sólido da água, e devolvê-la de forma mais limpa à natureza, de modo, a atender aos padrões de qualidade de lançamento de efluentes, conforme legislação vigente. A escolha do sistema de tratamento de esgoto deve levar em consideração a situação do corpo receptor e sua capacidade de autodepuração (BRASIL, 2009).

3.2 Conceito de Sistemas de Esgotamento Sanitários e Tratamento de Esgotos

Segundo a constituição brasileira, o esgotamento sanitário é constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte e tratamento e disposição final adequada dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente (BRASIL, 2007).

Para um tratamento final adequado de esgotos é necessário realizar uma construção de um Sistema de Esgotamento Sanitário apropriado. Segundo Ministério do Meio Ambiente (2009), os Sistemas de Esgotamento Sanitário podem ser classificados em:

- Sistema de esgotamento unitário ou sistema combinado: em que o esgoto, as águas de infiltração e as águas pluviais veiculam por um único sistema;
- Sistema de esgotamento separador parcial: em que parcela das águas de chuva proveniente de telhados e pátios dos domicílios é encaminhada juntamente com o esgoto e as águas de infiltração para um único sistema de esgoto;
- Sistema separador absoluto: em que o esgoto e as águas de infiltração, que constituem o esgoto doméstico, veiculam em um sistema independente. No Brasil, basicamente, utiliza-se o sistema de separador absoluto, que diminui significativamente os custos de implantação do sistema ao diminuir o volume de efluente destinado para tratamento.

O Sistema de Esgotamento Sanitário é composto pelas seguintes partes principais (BRASIL, 2009):

- a) Rede Coletora: conjuntos de canalizações destinadas a receber e conduzir o esgoto.
- b) Interceptor: canalização que recebe coletores ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas.
- c) Estação Elevatória de Esgoto Bruto (EEEB): conjunto de instalações destinadas a transferir o esgoto de uma cota mais baixa para outra mais alta.
- d) Emissário: canalização destinada a conduzir o esgoto a uma Estação de Tratamento de Esgoto, sem receber contribuições em marcha.

- e) Estação de Tratamento de Esgoto (ETE): conjunto de instalações destinadas ao tratamento do esgoto antes de seu lançamento.
- f) Corpo receptor: corpo de água onde é lançado o esgoto tratado.

E o tratamento de esgoto consiste na remoção de poluentes encontrado nas águas após o uso, através de métodos que devem considerar as características físicas, químicas e biológicas desses despejos. Segundo Metcalf e Eddy (2003) o tratamento pode ser classificado em:

- Tratamento Preliminar: ocorre a remoção de sólidos grosseiros e areia presentes no esgoto afluente com o objetivo de evitar problemas operacionais nas unidades de operação e sistemas auxiliares.
- Tratamento Primário: envolve unidades de tratamento que adotam decantadores primários que promovem a sedimentação das partículas em suspensão, ou lagoas anaeróbias/reactores anaeróbios, que se utilizam das bactérias que proliferam em ambiente anaeróbio para a decomposição de matéria orgânica presente no esgoto.
- Tratamento secundário: ocorre a remoção da matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio e fósforo) por microrganismos.
- Tratamento Terciário: é utilizado quando o tratamento secundário não remove os percentuais exigidos pelo órgão ambiental, para remoção de organismos patogênicos e poluentes que não foram totalmente retirados.
- Tratamento Avançado: responsável pela remoção de materiais solúveis e suspensos remanescentes após o tratamento convencional quando o reuso da água se fizer necessário.

3.3 Situação do Esgotamento Sanitário e Tratamento de Esgoto no Brasil

O crescimento acelerado no processo de urbanização nas últimas décadas fez com que a maioria da população brasileira residente na zona rural, com o avanço da industrialização, migrasse para os grandes centros urbanos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2010, Figura 1, a população urbana no Brasil chegou a 80,6% da população total. Essa rápida inversão populacional provocou um enorme déficit no setor de saneamento no país, tornando-se um dos principais problemas ambientais brasileiro (BRASIL, 2010).

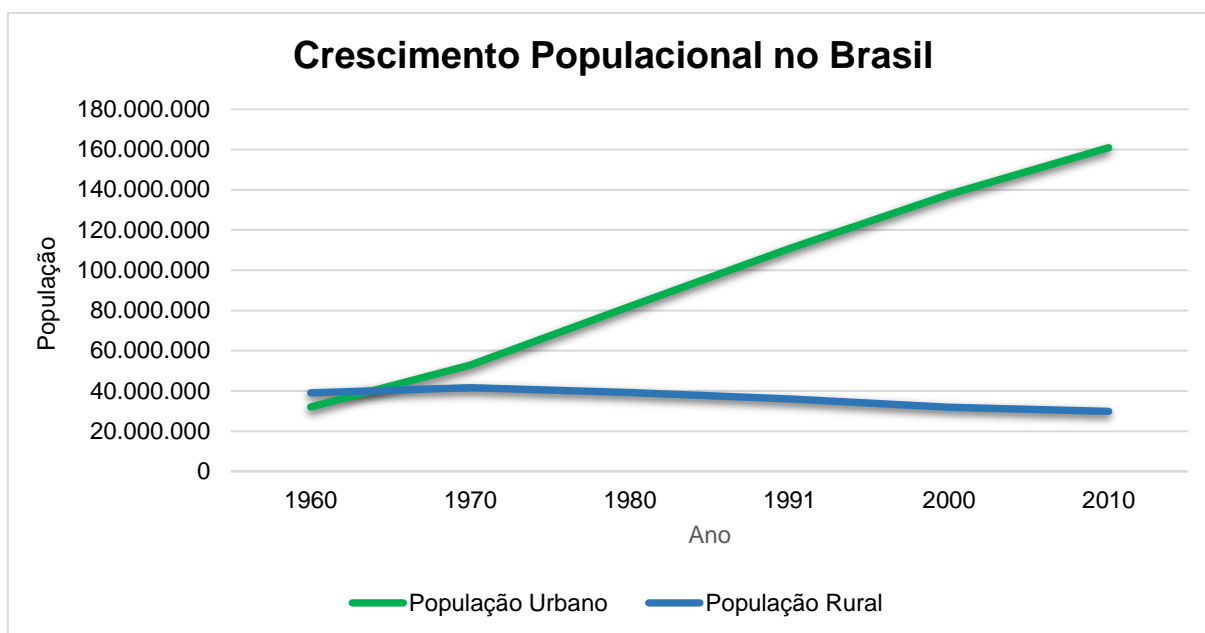


Figura 1 - Evolução do crescimento populacional no Brasil

Fonte: Adaptado Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010)

A oferta de saneamento básico é fundamental em termos de qualidade de vida da população (BRASIL, 2008). Segundo o Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto – 2014 realizado pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (2016) apenas 49,8% dos brasileiros têm acesso à coleta de esgoto e, 40,8% deste esgoto coletado é tratado.

O percentual de esgotos coletados e tratados nas regiões do Brasil é mostrado na Tabela 2. Os dados revelam a grande deficiência do acesso ao sistema de esgotamento sanitário das populações residentes nas regiões norte e nordeste do país com, 7,9% e 23,8% respectivamente, de atendimento de coleta de esgoto. Em contrapartida, a região Sudeste encontra-se como a mais desenvolvida no país nessa área, com 78,3% da população com acesso à rede de coleta de esgoto, superior à média nacional.

Tabela 2 - Nível de atendimento de esgoto no Brasil

Região	Esgoto coletado (%)	Esgoto tratado (%)
Norte	7,9	14,4
Nordeste	23,8	31,4
Sudeste	78,3	45,7
Sul	38,1	36,9
Centro-Oeste	46,9	46,4
Brasil	49,8	40,8

Fonte: Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (2016).

Já no estado do Rio Grande do Sul, os índices são muito inferiores quando comparados à média nacional. Apenas 28,17% da população do estado possui acesso ao sistema de coleta de esgoto sanitário e deste esgoto coletado, somente 49,57% é tratado.

Tabela 3 - Informações sobre esgotamento do Brasil e Rio Grande do Sul

Local	População Total no ano segundo IBGE	População Total atendida com esgotamento	Coletado de esgoto (1.000 m³/ano)	Tratado de esgoto (1.000 m³/ano)
Rio Grande do Sul	11.207.274	3.157.432	169.193,06	83.871,97
Brasil	202.768.562	98.006.500	5.357.050,68	3.763.850,68

Fonte: Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento (2016).

3.4 Problemática do gerenciamento inadequado de esgotos

A garantia do acesso universal e da qualidade ao saneamento é um grande desafio e, atrasos na garantia dos direitos básicos evidenciam a exclusão e a desigualdade. A baixa qualidade dos serviços de esgotamento é o produto de um modelo de desenvolvimento vinculado ao modo de produção capitalista e, como tal, promotor de contradições, antagonismo e iniquidades (BORJA, 2014).

Restrições do planejamento setorial; a falta de estrutura na regulação; deficiências na gestão das companhias de saneamento; dificuldade de financiamento; baixa qualidade dos projetos de engenharia e lentidão nas obras; excesso de tributação caracterizam a problemática do setor de esgotamento (CNI, 2015).

Segundo Heller (1998), a ausência de estruturas sanitária adequadas tem um efeito dominó, prejudicando a busca e desfrute de outros direitos humanos, como o direito à saúde, à vida e à educação. Heller (1998) ainda complementa que, a falta de saneamento favorece a transmissão de doenças infecciosas, aumentando a mortalidade infantil e diminuindo expectativa de vida da população.

Além do problema social envolvendo a falta de saneamento, a redução da qualidade ambiental é diretamente afetada pela ausência desses sistemas, afetando principalmente recursos hídricos e agravando problemas de escassez de água (BRASIL, 2015).

3.5 Sistemas de Tratamento de Esgoto

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009), os principais sistemas de tratamento de esgotos sanitários utilizados no Brasil são os Sistemas de Lagoas de Estabilização e os Sistemas de Lodo Ativado.

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples para o tratamento de esgoto, existindo diversas variantes dos sistemas com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de áreas (VON SPERLING, 2005). De modo geral, esses sistemas são indicados para regiões quentes e com grande disponibilidade de área (VON SPERLING, 2005).

Já o processo de Lodo Ativado é um sistema amplamente utilizado em nível mundial, em situações em que são necessários uma elevada qualidade do efluente e reduzidos requisitos de área (VON SPERLING, 2012).

Porém, nas últimas décadas o sistema de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, conhecido pela sigla UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors), é uma tecnologia que passou a ter um grande destaque no cenário mundial e brasileiro (BRASIL, 2015).

3.5.1 Sistema de Reatores UASB

O reator UASB é uma unidade que pode operar sem a necessidade de qualquer equipamento móvel ou fonte externa (BRASIL, 2009). O sistema de tratamento funciona da seguinte maneira, no interior do reator é gerado uma manta de lodo formado pelos resíduos da digestão anaeróbia e pela biomassa anaeróbia ativa que permanece crescendo, esse manto, em suspensão atua como um biofiltro anaeróbio no reator. O reator UASB resulta em intensa produção de biogás que, ao se deslocar para a superfície, cria uma turbulência no interior do manto, auxiliando a mistura do efluente com a biomassa existente. O biogás pode ser utilizado como aproveitamento energético, porém, quando isso não ocorre, deve ser coletado e queimado, para evitar a possibilidade da propagação de maus odores liberados pelo reator. Os sólidos mobilizados pela turbulência causada pela liberação do gás são, em grande parte, retidos no reator pela ação dos coletores de gás, que impedem a passagem dos sólidos para a região de coleta do efluente e os retornam à câmara de digestão. Os coletores de gás formam parte da câmara de decantação, última etapa de tratamento no interior do reator anaeróbio (CHERNICHARO, 2006).

O excesso de lodo formado no interior do reator deve ser periodicamente descartado e encaminhado para desidratação, ou então higienização para o aproveitamento agrícola. O efluente gerado pelo reator UASB deve passar por pós tratamento, antes de ser lançado nos corpos hídricos, pois, ainda não está de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação. (BRASIL, 2015)

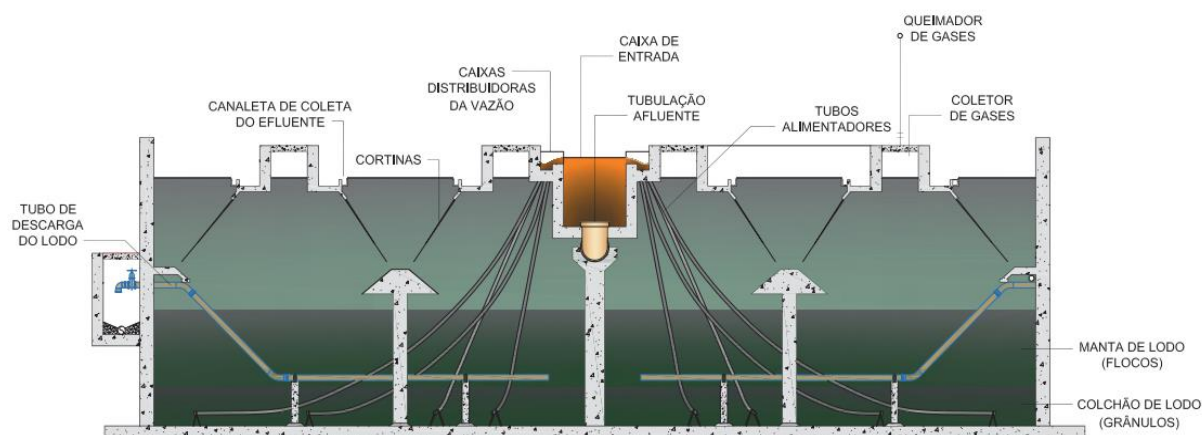


Figura 2 - Funcionamento do Reator UASB

Fonte: Fundação Nacional da Saúde (2015)

A maioria dos processos para o tratamento dos esgotos pode ser utilizada como pós-tratamento dos efluentes vindos do reator UASB. Não há uma melhora na eficiência do tratamento, porém, a energia, área e volume necessários são menores, como também, uma menor produção de lodo (CHERNICHARO, 2006).

3.5.2 Sistema de Lodo Ativado

O sistema de lodo ativado apresenta uma elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão e, sua principal limitação é o elevado grau de mecanização o consumo de energia, necessários para a degradação aeróbia de matéria orgânica afluyente (BRASIL, 2009).

O processo de lodo ativado convencional ocorre da seguinte forma, após a passagem pelo tratamento preliminar, o esgoto é encaminhado ao decantador primário, onde a parcela sedimentável dos sólidos em suspensão é removida. O lodo decantado é recolhido e encaminhado para estabilização em digestores anaeróbios. Na fase seguinte, o afluyente é encaminhado ao sistema de lodos ativados. Em um reator, estabelecem-se as condições ambientais que permitem o crescimento de biomassa capaz de degradar a matéria orgânica presente no esgoto bruto. O tanque de aeração é alimentado continuamente com esgoto primário. O regime de mistura completa leva ao arraste da biomassa em suspensão juntamente com líquido efluente. A separação sólido/líquido, com a consequente recuperação da biomassa, é obtida em unidade conhecida como clarificador ou decantador secundário. A concentração de biomassa no tanque de aeração é assegurada pela recirculação, via recalque, do lodo decantado no clarificador para o tanque de aeração. O excesso do lodo ativado é encaminhado para estabilização (VON SPERLING, 2012).

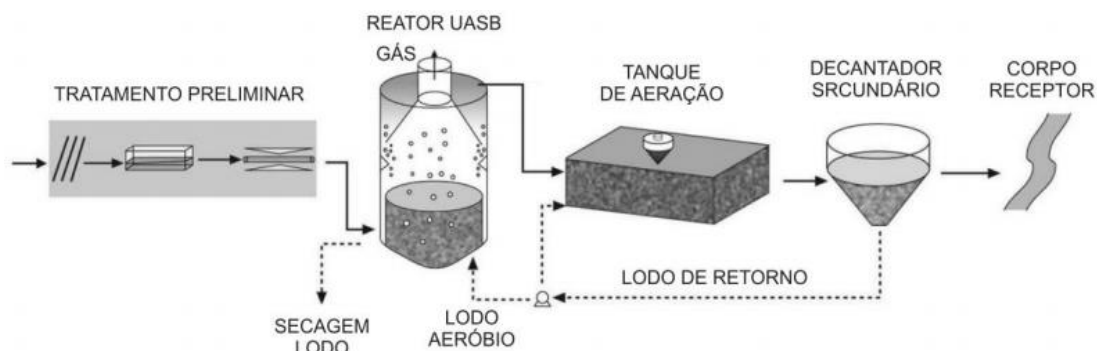


Figura 3 - Sistema de tratamento com reator UASB e lodo ativado

Fonte: Von Sperling (2012)

Já processo de lodo ativado de aeração prolongada, que será o utilizado no trabalho, apresenta as mesmas características do sistema de lodo ativado convencional, com a diferença que o tempo de detenção do lodo (idade do lodo) e a concentração de biomassa mantida no tanque de aeração são significativamente maiores, permitindo assim, a estabilização aeróbia do lodo no próprio tanque de lodos ativados (VON SPERLING, 2012).

3.6 Avaliação Econômico-financeira de Projetos

Os métodos econômicos e financeiros de avaliação de projetos, em geral visam determinar a viabilidade dos investimentos através do uso de critérios que permitam, através do cálculo de indicadores, a comparação de resultados e tomada de decisões sobre investimentos, de forma científica. A rentabilidade global de projetos pode ser medida através de vários indicadores, dentre os quais, um dos principais procedimentos utilizados é o fluxo de caixa que avalia as entradas e as saídas de recursos financeiros de um determinado projeto, indicando como será o saldo de caixa para o período projetado (SALAZAR, 2010).

A análise de cenários também é método bem utilizado para se avaliar os riscos de um determinado projeto, pois considera os efeitos de diferentes situações hipotéticas e complexas possíveis de ocorrer no futuro. De acordo com Correia Neto (2009) a análise de cenários avalia diferentes contextos com que o projeto pode se deparar, considerando as relações entre as variáveis e suas mudanças simultâneas.

A avaliação econômica e financeira de projetos que visam o desenvolvimento social de uma determinada região, como o saneamento básico, deve ser vista de modo diferente de um empreendimento privado. Para Benakouche e Cruz (1994) há uma diferença na avaliação de projetos sob o ponto de vista social e privado. Em geral, os benefícios e custos privados não apresentam a mesma proporcionalidade aos custos e benefícios sociais e ainda, os benefícios privados excedem os custos privados, enquanto o custo social excede o benefício social (BENAKOUCHE e CRUZ, 1994), como pode ser observado na Figura 4.

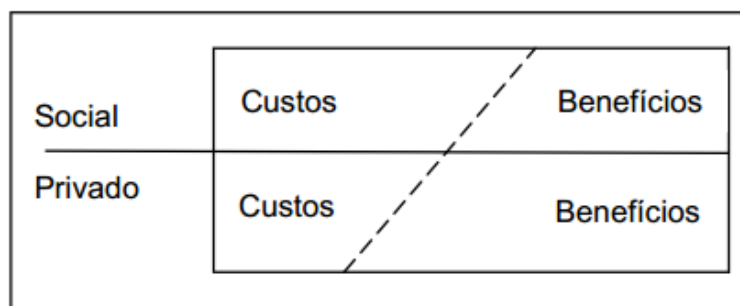


Figura 4 - Custos e benefícios sociais e privados

Fonte: Salazar (2010)

4. Metodologia

4.1 Local

O município de Arroio Grande pertence ao Escudo Sul-Riograndense do Estado do Rio Grande do Sul, na Bacia Mirim - São Gonçalo está localizado na Microrregião Jaguarão e Mesorregião Sudeste Rio-Grandense. O município possui 3.047,16Km² de território, localiza-se entre os paralelos 31°53'46" e 32°30'11" de latitude sul e entre os meridianos de 52° 24'22.3" e 53°18'42.5" de longitude oeste, tendo como limites ao Norte (N) com o município de Pedro Osório, à Nordeste (NE) com o município de Capão do Leão e Rio Grande, à Este (E) e Sudeste (SE) com a Lagoa Mirim, à Sul (S) e Sudoeste (SO) com Jaguarão, e à Noroeste (NO) com o município de Herval. A população do município é de 18.470 habitantes, destes, 16.084 residem na área urbana e 2.386 na área rural (IBGE, 2010). A Figura 5 apresenta o mapa de localização do município de Arroio Grande.

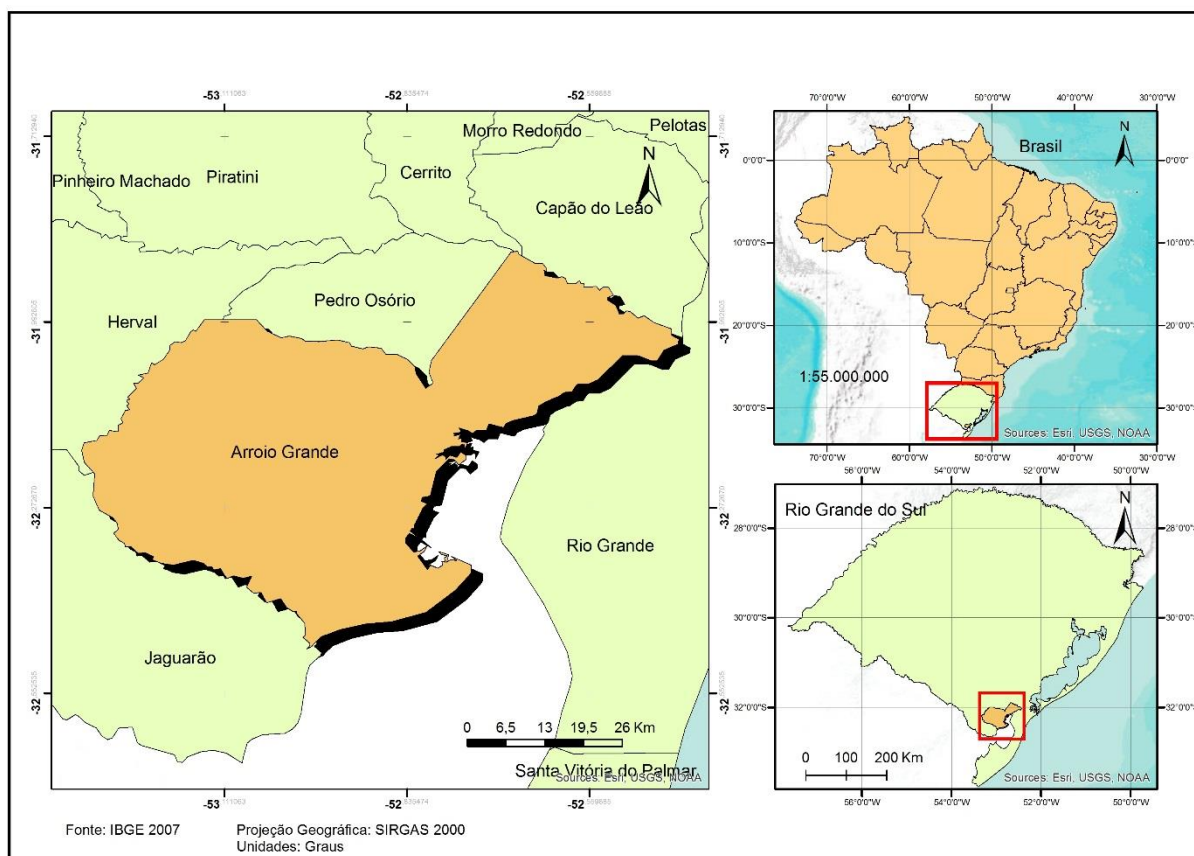


Figura 5 - Localização do Município de Arroio Grande

4.2 Dimensionamento dos Sistemas de Tratamento de Esgoto

4.2.1 Projeção da população

Para o projeto da estação de tratamento, optou-se por atender somente a população residente na área urbana do município. Foi realizado uma projeção populacional do município pelo método geométrico no qual adotou-se o valor da população encontrada no ano de 2016. A projeção geométrica populacional foi realizada através da Equação 1.

$$A = P_{2010} * T^q \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

q: taxa de crescimento (habitante.ano⁻¹);

P₂₀₁₀: população urbana de 2010 segundo IBGE (habitantes);

T: tempo (anos).

4.2.2 Dimensionamento dos Sistemas de Tratamento de Esgoto

De posse ao número de habitantes previsto para o ano de 2016, é necessário verificar a vazão máxima, média e mínima de geração de efluente. Para tanto, foram adotados os critérios estabelecidos pela Norma ABNT NBR 12.1209/2011, conforme descritos abaixo:

- Geração de efluente por habitante por dia (q): 160 L.hab⁻¹.dia⁻¹;
- Coeficiente de dia de maior consumo (K1): 1,2;
- Coeficiente de hora de menor consumo (K3): 0,5;

Utilizando a Equação 2 para o cálculo de vazão máxima.

$$Q_{\text{máx}} = \frac{P * q * K1}{86400000} \quad \text{Equação 2}$$

Para o cálculo da vazão média, foi usada a Equação 3.

$$Q_{\text{méd}} = \frac{P * q}{86400000} \quad \text{Equação 3}$$

E para a calcular a vazão mínima a Equação 4.

$$Q_{\text{mín}} = \frac{P * K3}{86400000} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

$Q_{\text{máx}}$: Vazão máxima (m^3s^{-1});

$Q_{\text{méd}}$: Vazão média (m^3s^{-1});

$Q_{\text{mín}}$: Vazão mínima (m^3s^{-1});

$K1$: Coeficiente de dia de maior consumo (adimensional);

$K3$: Coeficiente de hora de menor consumo (adimensional);

q : Geração de efluente por dia ($\text{Litro.habitante}^{-1}.\text{dia}^{-1}$).

P : Projeção populacional.

4.2.2.1 Tratamento Preliminar

O efluente, ao chegar na ETE, passará por um tratamento preliminar optou-se pela instalação de um sistema de gradeamento e caixa de areia.

a) Gradeamento

O sistema de gradeamento tem por objetivo barrar os sólidos grosseiros a fim de não danificar as estruturas subsequentes do sistema de tratamento.

Para dimensionar o gradeamento, foram considerados as seguintes características:

- Eficiência do Sistema (%) calculada pela Equação 5:

$$E = \frac{a}{a + t} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo:

E: Eficiência do sistema (%);

a: Espaçamento entre barras (cm);

t: Espessura da barra (cm).

- Área útil da seção transversal (m^2), calculada pela Equação 6:

$$A_u = \frac{Q_{\text{méd}}}{V_{\text{máx}}} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo:

A_u : Área útil (m^2);

$Q_{\text{méd}}$: Vazão média efluente ($m^3.s^{-1}$);

$V_{\text{máx}}$: Velocidade máxima ($m.s^{-1}$).

- Área da seção transversal do canal até o nível da água (m^2), calculado pela Equação 7:

$$A_t = \frac{A_u}{E} \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

A_t : Área da seção transversal do canal até nível da água (m^2);

A_u : Área útil (m^2);

E: Eficiência do sistema (%).

- Velocidade do efluente ao passar pelo gradeamento, calculada pela Equação 8:

$$V_{\text{máx}} = Q_{\text{méd}} * A_u \quad \text{Equação 8}$$

Sendo:

$V_{\text{máx}}$: velocidade afluente ao passar pelo gradeamento ($m.s^{-1}$);

$Q_{\text{méd}}$: vazão média efluente ($m^3.s^{-1}$);

Au: Área útil (m²).

Segundo a NBR 12.209/2011 a velocidade do efluente deve estar entre 0,6 a 0,9 m.s⁻¹ para realização de limpeza manual e entre 0,6 a 1,2 m.s⁻¹ para realização de limpeza mecanizada.

- Velocidade do efluente ao passar pelo canal, calculada pela Equação 9:

$$V_{\text{canal}} = V_{\text{grade}} * E \quad \text{Equação 9}$$

Sendo:

V_{grade}: Velocidade da grade (m.s⁻¹);

V_{canal}: Velocidade do canal (m.s⁻¹);

E: Eficiência do sistema (%).

A velocidade efluente á montante da grade não pode ser maior que 0,4 m.s⁻¹.

- Perda de carga com 50% de gradeamento, calculada pela Equação 10:

$$\Delta H = \frac{1}{0,7} * \left(\frac{2V_{\text{grade}}^2 - V_{\text{canal}}^2}{2g} \right) \quad \text{Equação 10}$$

Sendo:

ΔH: Perda de carga (m);

V_{grade}: Velocidade da grade (m.s⁻¹);

V_{canal}: Velocidade do canal (m.s⁻¹);

g: gravidade (m.s⁻²).

A perda de carga (ΔH) não pode ser superior a 0,15m para limpeza mecanizada da grade e superior a 0,10 m quando da limpeza mecanizada.

- Largura da grade (m), calculada pela Equação 11:

$$b = \frac{At}{h} \quad \text{Equação 11}$$

Sendo:

b: largura da grade (m);

At: Área da seção transversal do canal até nível da água (m²);

h: altura lâmina d'água (m).

- Número de barras no canal, calculado pela Equação 12:

$$N = \frac{b}{t + a} \quad \text{Equação 12}$$

Sendo:

N: Número de barras;

b: largura da grade (m);

a: Espaçamento entre barras (m);

t: Espessura da barra (m).

b) Caixa de Areia

A caixa de areia será instalada objetivando evitar a obstrução das tubulações e dos sistemas secundários, e também para facilitar o transporte do efluente. O dimensionamento da caixa segue conforme critérios e fórmulas apresentadas abaixo.

- Comprimento da caixa de areia, calculado conforme a Equação 13:

$$L = 22,5 * h \quad \text{Equação 13}$$

Sendo:

L: Comprimento da caixa de areia (m);

h: Altura da lâmina d'água (m).

- Largura da caixa de areia, calculada pela Equação 14:

$$B = \frac{Q_{\text{méd}}}{h * V_h} \quad \text{Equação 14}$$

Sendo:

B: Largura da caixa (m);

Q_{méd}: Vazão média (m³.s⁻¹);

h: Altura da lâmina d'água (m);

Vh: Velocidade de escoamento (m.s⁻¹).

- Taxa de escoamento superficial, calculada pela Equação 15:

$$T_x = \frac{Q_{\text{méd}}}{B * L} \quad \text{Equação 15}$$

Sendo:

Tx: Taxa de escoamento (m³.m⁻².dia⁻¹);

Qméd: Vazão média (m³.s⁻¹);

L: Comprimento da caixa de areia (m);

B: Largura da caixa (m).

- Volume da caixa de retenção de areia, calculado pela Equação 16:

$$V = Q_{\text{méd}} * 86400 * a * [ss] \quad \text{Equação 16}$$

Sendo:

V: Volume da caixa de retenção de areia (m³);

Qméd: Vazão média (m³.s⁻¹);

a: Autonomia da caixa (dias);

[ss]: Concentração de sólidos em suspensão no efluente.

- Altura da caixa de retenção de sólidos, calculada pela Equação 17:

$$Y = \frac{V}{B * L} \quad \text{Equação 17}$$

Sendo:

Y: Altura da caixa de retenção (m);

V: Volume da caixa (m³);

L: Comprimento da caixa de areia (m);

B: Largura da caixa (m).

Após passar pela caixa de areia, o efluente entra na calha Pashall com o intuito de controlar a vazão de entrada para as demais estruturas do tratamento e também por ser instrumento legal para a aprovação do licenciamento da ETE.

A altura régua da água é calculada pela Equação 18, sendo aplicada para as 3 vazões de projeto.

$$Q = K * H^n \quad \text{Equação 18}$$

Sendo:

H: Altura da lâmina d'água (m);

Q: Vazão máxima, média e mínima (m³.s⁻¹);

K: (adimensional);

n: (adimensional).

De posse aos resultados da altura da régua d'água, calcula-se o rebaixamento hidráulico (Z), expresso pela Equação 19.

$$\frac{Q_{mín}}{Q_{máx}} = \frac{H_{mín} - Z}{H_{máx} - Z} \quad \text{Equação 19}$$

Para calcular a lâmina d'água, efetua-se o cálculo pela Equação 20.

$$h = H - Z \quad \text{Equação 20}$$

Após o tratamento preliminar, o efluente será armazenado no tanque de equalização, o qual está localizado abaixo do nível do solo. Para a dimensão do tanque foi considera a vazão máxima do efluente na chegada e a vazão média como a de saída, ele terá um formato retangular.

Conforme NBR 12.209/2001, recomenda-se a inserção de um sistema *by-pass* como uma passagem secundária e alternativa para fins de segurança do sistema. Este será ligado ao corpo hídrico receptor mais próximo.

Na sequência, o efluente é bombeado para as estruturas do tratamento primário. De posse da vazão média (Q_{méd}), foi possível calcular o dimensionamento para esta etapa do processo.

O diâmetro da tubulação de recalque será calculado através da Equação 21.

$$D_R = K * \sqrt[3]{Q_{\text{méd}}} \quad \text{Equação 21}$$

Sendo:

D_R : Diâmetro de recalque (mm);

$Q_{\text{méd}}$: Vazão de projeto ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

K: Coeficiente econômico.

De acordo com a fórmula de Bresse o valor de K pode variar de 0,75 até 1,4. O valor adotado para K foi de 1.

O diâmetro da tubulação de sucção será o imediatamente superior, conforme diâmetro de recalque comercial. A canalização de sucção ficará apoiada sobre o fundo do tanque e recalcará o efluente até as estruturas de tratamento primário.

De posse ao comprimento da tubulação e das peças especiais, calculou-se a perda de carga do sistema, conforme Equação 22, considerando o coeficiente de atrito para a tubulação aplicada de $C=140$.

$$H_f = 10,643 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,85} * \frac{L}{D^{4,87}} \quad \text{Equação 22}$$

Para escolha a bomba para o sistema foi calculada a altura através da Equação 23. E a altura manométrica é calculada pela Equação 24.

$$H_g = H_{gs} + H_{gr} \quad \text{Equação 23}$$

Sendo:

H_g : Altura geométrica (m);

H_{gs} : Altura geométrica de sucção (m);

H_{gr} : Altura geométrica de recalque (m).

$$H_{\text{man}} = H_g + H_f \quad \text{Equação 24}$$

Sendo:

H_{man}: Altura manométrica (m);

H_g: Altura geométrica (m);

H_f: Perda de carga (m).

A potência da bomba foi calculada pela Equação 25.

$$P = \frac{\gamma * Q * H_{man}}{75 * n} \quad \text{Equação 25}$$

Sendo:

P: potência (cv);

γ : Peso específico do esgoto (kg.m⁻³);

Q: Nova vazão da bomba (m³.s⁻¹);

H_{man}: Altura manométrica (m);

N: rendimento.

Foi considerado, segundo a NBR 12.209/2011, que a concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) será de 325 mg.L⁻¹, a concentração da demanda química de oxigênio (DQO) de 975 mg.L⁻¹ e concentração sólidos suspensos totais (SST) será de 230 L⁻¹. Assim, através da equação 26, 27 e 28 foi calculado a carga desse efluente.

$$C_{DBO} = Q_{méd} * [DBO] \quad \text{Equação 26}$$

$$C_{DQO} = Q_{méd} * [DQO] \quad \text{Equação 27}$$

$$C_{SST} = Q_{méd} * [SST] \quad \text{Equação 28}$$

Sendo:

C_{DBO}: Carga de DBO (kg.d⁻¹);

[DBO]: concentração de DBO (mg.L⁻¹);

C_{DQO}: Carga de DQO (kg.d⁻¹);

[DQO]: concentração de DQO (mg.L⁻¹);

C_{SST}: Carga de SST (kg.d⁻¹);

[SST]: concentração de SST (mg.L^{-1});

$Q_{\text{méd}}$: Vazão média (L.d^{-1}).

A temperatura média do município foi baseada no Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 139 da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Clima Temperado (2011).

4.2.2.2 Tratamento Primário

a) Decantador Primário

Devido à existência do tanque de equalização, a vazão de projeto que será considerada será a vazão média. De acordo com a NBR 12.209 a taxa de escoamento superficial no decantador primário quando este preceder o processo de lodo ativado deve ser de $90\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}$. Assim, pode-se calcular a área através da Equação 29:

$$A = \frac{Q_{\text{projeto}}}{TAH} \quad \text{Equação 29}$$

Através da área do decantador primário, encontra o diâmetro através da Equação 30.

$$A = \pi * R^2 \quad \text{Equação 30}$$

Sendo:

A: Área do decantador primário (m^2);

Q_{projeto} : vazão média efluente ($\text{m}^3.\text{d}^{-1}$);

TAH: Taxa de escoamento superficial ($\text{m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$);

R: Raio do decantador (m).

A inclinação de fundo adota será, de acordo a NBR 12.209, 1:12, pela Equação 31, foi calculada a altura do centro ao pé da parede fundo (h).

$$h = \frac{R}{12} \quad \text{Equação 31}$$

A partir desses valores pode-se calcular o volume do tanque, através da Equação 32.

$$V = (\text{Área da base} * H) + (1/3 * \text{Área da base} * h) \quad \text{Equação 32}$$

Sendo:

A: Volume do decantador (m³);

Qprojeto: vazão média efluente (m³.d⁻¹);

H: Altura da parte cilíndrica do decantador (m);

h: Altura da fundação do decantador (m).

E posteriormente, o volume útil do decantador, que corresponde somente a parte cilíndrica, excluindo o poço de acumulado de lodo, pela Equação 33.

$$\text{Volume útil} = (\text{Área da base} * H) \quad \text{Equação 33}$$

A seguir calcula-se a quantidade de lodo a ser descartado a partir da remoção do SST. De acordo com Jordão e Pessoa (2009), a eficiência de remoção de SS (η_{SS}) típica em decantadores primários é de 50%. O teor de sólidos típico (TS) do lodo primário resultante é de 4%. A massa de lodo removido (MSST removida) em cada decantador é calculada a partir da vazão de projeto, a concentração de SST afluente e a eficiência de remoção de SST, conforme a Equação 34.

$$M_{SST \text{ removida}} = Q_{projeto} * SST * \eta_{SS} \quad \text{Equação 34}$$

A partir disso é possível calcular pela Equação 35 a vazão de lodo a ser coletada em cada decantador, para um teor de sólidos (TS) de 4%, densidade (γ) igual a 1 e a massa específica (ρ) igual a 1000 kg.m⁻³.

$$Q_{lodo} = \frac{M}{TS * \rho * \gamma} \quad \text{Equação 35}$$

Também é possível calcular a concentração de DBO e SS que seguirá para a próxima unidade da ETE. Adota-se que a eficiência de remoção de DBO e DQO é de 30% e a eficiência de remoção de SST é de 50%, pela Equação 36, 37 e 38 obtém-se o valor de DQO, DBO e SST efluente.

$$DQO_{efluente} = DQO_{afluente} - DQO_{removida} \quad \text{Equação 36}$$

$$DBO_{efluente} = DBO_{afluente} - DBO_{removida} \quad \text{Equação 37}$$

$$SST_{efluente} = SST_{afluente} - SST_{removida} \quad \text{Equação 38}$$

4.2.2.3 Tratamento Secundário

A opção pelo sistema de tratamento de esgoto secundário ser constituído por reator UASB seguido de lodo ativado com aeração prolongada, deve-se ao fato de: o município estar localizado em região de clima ameno, onde não há aceitação para sistemas de lagoas de tratamento; o reator UASB necessitar de pós-tratamento; o sistema de lodo ativado apresentar reduzidos requisitos de área e grande eficiência.

a) Reator UASB

Pela Equação 39, foi calculado o volume da parte inferior do reator do reator UASB.

$$V = TDH * Q \quad \text{Equação 39}$$

Sendo:

V: Volume do reator (m³);

TDH: Tempo de detenção hidráulica (dia);

Q: Vazão de cada reator (m³.dia⁻¹).

Em seguida, pela Equação 40, foi calculada a área do reator.

$$A = \frac{V}{h} \quad \text{Equação 40}$$

Sendo:

A: Área do reator (m²);

h: altura do reator (m).

A carga hidráulica foi calculada pela Equação 41, e a carga volumétrica pela Equação 42.

$$CHV = \frac{Q}{V} \quad \text{Equação 41}$$

$$COV = \frac{C_{DQO}}{V}$$
Equação 42

Sendo:

CHV: Carga hidráulica volumétrica ($m^3.m^{-3}.dia^{-1}$);

COV: Carga orgânica volumétrica ($kg\ DQO.m^{-3}.d^{-1}$);

C_{DQO} : Carga orgânica DQO ($kg\ DQO.d^{-1}$)

A Velocidade ascendente do fluxo foi calculada pela Equação 43.

$$\text{Velocidade ascendente} = \frac{Q}{A}$$
Equação 43

O Dimensionamento do sistema de distribuição de efluente no reator foi calculado pela Equação 44.

$$N = \frac{AT}{2}$$
Equação 44

Sendo:

N: N° de saídas

At: Área total do reator (m^2)

O dimensionamento da área da parte inferior do reator foi calculado pela Equação 30, na qual a área de abertura é a diferença entre a área superior e inferior. A velocidade de passagem do efluente é obtida pela Equação 43 e altura do cone pela Equação 40.

As eficiências de remoções do reator foram calculadas pelas Equações 45, e 47. Segundo Chernicharo (2001), a taxa de produção de sólidos para esse processo é de 75%.

$$E_{DBO} = 100 * (1 - (0,70 * TDH^{-5}))$$
Equação 45

$$E_{DQO} = 100 * (1 - (0,68 * TDH^{-0,35}))$$
Equação 46

$$P_L = (C_{DQO\ i} - C_{DQO\ f}) * 75\%$$
Equação 47

Sendo:

E_{DBO} : Eficiência de remoção DBO (%);

TDH: Tempo de detenção hidráulica (h).

E_{DQO} : Eficiência de remoção DBO (%);

P_L : Produção de lodo (kg.dia^{-1});

C_{DQO} : Carga DQO inicial e final do processo (kg.dia^{-1}).

b) Tanque de Aeração

O dimensionamento do tanque de aeração parte do cálculo da produção esperada de lodo, assim, a produção esperada (Y_{obs}), através da Equação 48.

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + f_b * k_d * \Theta_c} \quad \text{Equação 48}$$

Onde:

$$F_b = \frac{f_b'}{(1 + (1 - f_b') * k_d * \Theta_c)} \quad \text{Equação 49}$$

Sendo:

k_d : 0,06 ($\text{mgSSV/mgSST.d}^{-1}$);

$Y = (0,55 \text{ g.g}^{-1})$;

f_b' : 80%;

Θ_c : idade do lodo de 30 dias.

O cálculo de remoção de DBO foi realizado através das Equações 50 e 51, onde adotou-se que a concentração efluente esperada tanto de DBO quanto de SST será de 20 mg.L^{-1} .

$$DBO_{\text{efluente}} = DBO_{\text{particulada}} + DBO_{\text{sólúvel}} \quad \text{Equação 50}$$

$$DBO_{\text{particulada}} = SST_{\text{efluente}} * F_b \quad \text{Equação 51}$$

De acordo com Von Sperling (2012), adotou-se um valor de 0,65 como a relação de gSSV/gSST e assim, calculado a produção de lodo esperada pela Equação 52.

$$\text{Produção de Lodo esperada} = \frac{Y_{\text{obs}} * (S_0 - S_e) * Q}{0,65} \quad \text{Equação 52}$$

Sendo:

S_0 : DBO afluente (mg.L^{-1});

S_e : DBO efluente (mg.L^{-1});

Q : Vazão de projeto ($\text{m}^3.\text{d}^{-1}$).

Assim, é possível calcular a vazão de lodo a ser descartada pela Equação 35. Adotou-se que a concentração de sólidos no reator (X_a) para esta ETE será de $X_a = 4.000 \text{ mg.L}^{-1}$. Sabe-se que a concentração de sólidos suspenso voláteis (X_{av}) corresponde a 65% de X_a .

Assim, calcula-se pela Equação 53 o volume necessário para o tanque de aeração.

$$\text{Volume do Tanque} = \frac{\Theta_c * Y * Q (S_0 - S_e)}{X_{av} * (1 + f_b * k_d * \Theta_c)} \quad \text{Equação 53}$$

A relação comprimento/largura do tanque de aeração deve ser aproximadamente 3:1. A partir disso, calcula-se o tempo de retenção hidráulico através da Equação 54.

$$TRH = \frac{\text{Volume do Tanque}}{Q} \quad \text{Equação 54}$$

Também é possível calcular a relação alimento/micro-organismo (A/M) existente, através da Equação 55.

$$A/M = \frac{Q (S_0 - S_e)}{X_{av} * \text{Volume do Tanque}} \quad \text{Equação 55}$$

Adotando a concentração de sólidos do lodo recirculado (X_u) como $X_u = 8000 \text{ mg.L}^{-1}$, pode-se calcular a vazão de recirculação requerida (r) pela Equação 56.

$$r = \frac{X_a}{X_u - X_a} \quad \text{Equação 56}$$

Com base nesses parâmetros, é possível calcular pela Equação 57 a produção do lodo em função do volume do tanque.

$$\text{Produção de lodo em função do volume} = \frac{X_{av} * V_{tanque}}{\Theta_c} \quad \text{Equação 57}$$

A Norma ABNT NBR 12.209/2011 recomenda que a massa de oxigênio a ser disponibilizada para o processo seja, no mínimo, uma vez e meia a carga de DBO aplicada ao tanque de aeração quando não se tem nitrificação. Assim, pela Equação 58 calcula-se a carga de DBO.

$$\text{Carga de DBO} = Q * S_0 \quad \text{Equação 58}$$

Será adotado um sistema de aeração mecânica superficial, onde a capacidade de transferência de oxigênio proporcionada pelo equipamento é informada pelo próprio fabricante do equipamento (PELETEIRO e ALMEIDA, 2014).

c) Decantador Secundário

A última unidade de tratamento da fase líquida é o decantador secundário. De acordo com Norma ABNT NBR 12.209/2011, para o sistema de lodos ativados com aeração prolongada, com idade do lodo com relação A/M superior a 0,15 kgDBO/kgSST.d, a taxa de aplicação hidráulica (TAH) deve ser igual ou inferior a 16 m³.m⁻².d. A vazão afluyente ao decantador secundário é igual à vazão efluente do tanque de aeração, que por sua vez é igual à vazão afluyente do decantador primário. Através da Equação 28 é possível calcular, diâmetro e área real usada.

A NBR 12.209 estabelece também que a taxa de aplicação de sólidos deve ser igual ou inferior a 120 kg.m⁻².d⁻¹ para sistema de lodo ativados com aeração prolongada. Esta taxa é dada pela relação entre a massa de sólidos afluyente ao decantador e sua área superficial, calculada pela Equação 59.

$$\text{TASS} = \frac{M_{\text{SST}}}{A} \quad \text{Equação 59}$$

Sendo:

TASS: Taxa de Aplicação de sólidos (kg.m⁻².d⁻¹)

A: Área do decantador (m²)

MSST: Massa de sólidos afluente

A inclinação de fundo adota será, de acordo a NBR 12.209, 1:12, pela Equação 31, foi calculada a altura do centro ao pé da parede fundo (h).

O tempo de retenção hidráulico pode ser calculado pela Equação 54, considerando o volume útil do decantador, que corresponde à sua parte cilíndrica. Adotando a altura do decantador, o volume pode ser calculado através da Equação 32.

Por fim, a Norma ABNT NBR 12.209/2011 estabelece também que a taxa de escoamento através do vertedor de saída do decantador tem que ser menor ou igual a $290\text{m}^3.\text{d}^{-1}.\text{m}^{-1}$. A Taxa de aplicação hidráulica pode ser obtida pela Equação 60.

$$q = \frac{Q_{\text{projeto}}}{\pi * D} \quad \text{Equação 60}$$

Sendo:

q: Taxa de aplicação hidráulica ($\text{m}^3.\text{d}^{-1}.\text{m}^{-1}$)

Q_{projeto} : vazão média efluente ($\text{m}^3.\text{d}^{-1}$);

D: Diâmetro do decantador (m).

Assume-se que a eficiência de remoção do decantador secundário é a mesma do primário, de 30% para DBO e DQO e 50% para SST.

d) Leito de Secagem de Lodo

O lodo resultante dos processos de decantação, deverão ser descartados periodicamente para que não ocorra o arraste de sólidos no efluente, não desejados. Para o processo de secagem do lodo, foi realizada a soma das vazões resultantes dos decantadores primário, reator UASB e decantador secundário.

Diante da temperatura média do município, foi considerado um período de secagem de 30 dias. Os critérios de dimensionamento do leito foram realizados conforme proposto por Ferreira (2011).

4.3 Avaliação Econômico-financeira

4.3.1 Investimento

Para avaliar o valor de investimento aplicado na ETE foi, primeiramente, quantificado o volume de concreto requerido para cada unidade da estação, sendo adotados os seguintes critérios:

Tratamento Preliminar, Tanque de Equalização e Leito de Secagem:

- Espessura da parede lateral: 0,2 metros;
- Espessura da base: 0,2 metros.

Tratamento Primário e Secundário:

- Espessura da parede lateral: 0,3 metros;
- Espessura da base: 0,3 metros;
- No caso de unidades circulares, a fundação rasa em Radier terá diâmetro igual ao diâmetro da unidade;
- No caso das unidades retangulares, a fundação rasa em Radier terá comprimento e largura iguais ao comprimento e a largura da unidade;
- No caso de unidades circulares ou retangulares, a espessura da fundação rasa em Radier será igual a 1 metro.

Em seguida, foi quantificado o volume escavado nas unidades de tratamento de esgoto, foi considerado que somente o decantador primário e o reator UASB não encontram-se enterrado.

O custo de concreto e de escavação, incluindo a mãe de obra, foi calculado baseado no valor fornecido pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (2016). Os preços de aquisição e montagem de cada equipamento utilizados, foram obtidos através de consulta telefônica e via e-mail com empresas fabricantes. Para a quantificação de valores pagos pela mão de obra foi considerado o levantamento estatísticos realizado pelo Piso Salarial (2016) levando em consideração o salário médio para Mestre de Obra, Servente de Obra e Pedreiro, estimando que o período da obra será de 6 meses.

Para o custo de licenças para o empreendimento, foi consultado os valores disponíveis pela FEPAM (2016) para o processo de licenciamento ambiental da Estação de Tratamento de Esgoto de pequeno porte. Também, foi estabelecido um

custo para projetos, capacitação e cursos pré-operacionais e, por fim, estipulado um valor para possíveis imprevistos. No investimento não foi considerado a aquisição da área para a construção da ETE, pois, a prefeitura pode já ter acesso a este local. Caso isso não aconteça, é necessário que seja acrescido este valor no investimento.

4.3.2 Custo de Operação

Foi estabelecido o custo de operação do sistema dimensionado, para qual foram avaliados os custos fixos e variáveis empregados. Os custos fixos incluem a mão de obra e a demanda de energia requerida. Já os custos variáveis incluem a energia elétrica variável, análises laboratoriais, manutenção e destinação final do lodo.

Em relação a mão de obra de operação, foram considerados 4 funcionários nessa função, já a demanda de energia requerida, que foi obtida através dos equipamentos que irão solicitar energia elétrica para sua operação. O valor empregado no custo de quilowatt-hora foi obtido através da tabela de preço da Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul.

A energia elétrica variável foi calculada considerando 20% do valor obtido no cálculo da demanda de energia. As análises laboratoriais incluem 15 análises comumente solicitadas pelo órgão licenciador, que são: cor, turbidez, temperatura, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, óleos e graxas, fósforo total, nitrogênio kjeldahl, cloretos, pH, DBO, DQO, OD, coliforme fecais e coliformes totais. Foi considerado que essas análises serão realizadas em cada processo do ETE, totalizando 5 análises mensais de cada parâmetro. O custo para obtenção destas análises foi obtido através de consulta com 3 diferentes agências licenciadas de análises. Para contabilizar o custo de manutenção da ETE, foi considerado depreciação de obra civil de 4% e uma depreciação de equipamentos de 10%.

Por fim, o lodo gerado na ETE será destinado para a central de compostagem do município, foi considerado que o custo será de R\$ 50,00 por metro cúbico, visto que, o valor empregado para destinar esse lodo para local privado é de R\$ 200,00 por metro cúbico.

4.3.3 Financiamento

Para o financiamento do valor investido na ETE, foi considerado que será subsidiado 100% do valor requerido, com a taxa de juros será de 2% ao ano, devido a obra ser pública, com um prazo de quitação da dívida de 10 anos.

4.3.4 Fluxo de Caixa

Posteriormente, foi realizado um fluxo de caixa, avaliando as entradas e as saídas de recursos financeiros da estação, indicando como será o saldo de caixa para o período projetado. Os recursos financeiros considerados foram o custo de operação, financiamento e tarifa média cobrado à população pela prestação de serviço.

Para a determinação da tarifa média paga pelo consumidor, foram projetados 3 diferentes cenários, sendo que no primeiro foi considerado que a população pagará 100% dos custos com a ETE, no segundo 75% e no terceiro, 50%. A partir dos 3 diferentes cenários, foi indicado o custo da Prefeitura Municipal com a ETE.

Segundo o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (IPCA), a inflação média de 2005 à 2015 no país foi de 5,89%. Assim, foi considerado um acréscimo de 5% ao ano nos custos de operação da ETE.

Por fim, foi realizada a avaliação do fluxo de caixa após o término do financiamento. A tarifa do 10º ano foi fixada e, estabelecido um aumento de 10% ao ano, avaliando assim, o tempo de retorno do investimento. O valor de aumento estabelecido foi baseado no aumento médio da Companhia Riograndense de Saneamento nos últimos anos.

5. Resultados e Discussão

5.1 Dimensionamento dos Sistemas de Tratamento de Esgoto

A Tabela 4 apresenta os valores encontrados na projeção da população de Arroio Grande pelo método geométrico.

Tabela 4 – População Urbana Projetada pelo Método Geométrico

Ano	População Urbana Projetada pelo
	Método Geométrico
2010 (IBGE)	16.084
2011	16.124
2012	16.164
2013	16.204
2014	16.244
2015	16.284
2016	16.324

A projeção populacional apresentou uma taxa crescimento anual para o município de Arroio Grande de 0,25%. Esse crescimento é inferior à taxa de crescimento anual nacional, de 1,17%, e da região Sul, de 0,87% (BRASIL, 2010). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), pequenos municípios apresentam em média, menores taxas de crescimento.

Em função da população municipal, obteve-se os valores de vazões efluentes. A Tabela 5 apresenta os valores encontrados para as vazões de projeto da Estação de Tratamento de Esgoto.

Tabela 5 - Vazões de projeto

$Q_{\max} (m^3.s^{-1})$	$Q_{\text{méd}} (m^3.s^{-1})$	$Q_{\min} (m^3.s^{-1})$
0,03628	0,0302	0,015115

As vazões caracterizam, segundo a Resolução CONAMA nº 377/2006, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Arroio Grande como unidade de tratamento de pequeno porte devido a sua vazão ser inferior a 50 L.d⁻¹.

5.1.1 Tratamento Preliminar

a) Gradeamento

As barras adotadas para o sistema de gradeamento serão do tipo grossa, onde o espaçamento entre elas será de 6 cm. A Tabela 6 descreve os resultados obtidos do dimensionamento do gradeamento para a ETE.

Tabela 6 – Dimensionamento do sistema de gradeamento

Descrição	Unidade	Valor
Espaçamento entre barras	cm	6
Espessura barras	cm	1
Nº de barras	-	3
Comprimento do canal	m	2
Altura do canal	m	1
Largura do canal	m	0,2
Altura lâmina d'água	m	0,3
Vazão média do efluente	m ³ .s ⁻¹	0,0302
Eficiência	%	86
Área total da grade	m ²	0,06
Área útil da grade	m ²	0,051
Velocidade ao passar pela grade	m.s ⁻¹	0,588
Velocidade do efluente a montante	m.s ⁻¹	0,504
Perda de carga com 50% da grade obstruída	m	0,0817

A grade ficará disposta no ângulo de 60° para favorecer a limpeza manual a qual será realizada com periodicidade diária. A largura total do canal é de 20 cm, com distância de 6 cm entre as barras, sendo que cada barra possui espessura de 1 cm. As laterais possuirão distância de 2 cm entre a barra e a parede do canal. O sistema de gradeamento ficará disposto na entrada da caixa de areia.

b) Caixa de Areia

A autonomia de limpeza adota para a caixa de areia será de 30 dias, sendo que: a velocidade de escoamento do efluente será de ,25 m.s⁻¹; sólidos em suspensão será de 0,00003 m³.m⁻³; a vazão do efluente 0,03628m³.s⁻¹; a velocidade do efluente na entrada da caixa: 0,504 m.s⁻¹; a altura da lâmina d'água: 0,2 m e ; a largura da

entrada da caixa de areia: 0,2 m. Para o projeto, será construída duas caixas de areia em paralelo devido a manutenção e limpeza necessária nesta etapa do tratamento. A Tabela 7 descreve os resultados do dimensionamento da caixa de areia para a ETE.

Tabela 7 - Dimensionamento da caixa de areia

Descrição	Unidade	Valor
Comprimento da caixa	m	4,5
Largura da caixa	m	1
Taxa de escoamento superficial	m ³ .m ⁻² .dia ⁻¹	960
Volume da caixa de retenção de areia	m ³	2,35
Altura da caixa de retenção de areia	m ²	0,8

De acordo com a vazão máxima do projeto, é necessário instalar uma calha Parshall de 6", sendo que os valores de n e k para dimensioná-la correspondem a 1,580 e 1371,60 respectivamente. Os resultados do dimensionamento da calha Parshall são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Dimensionamento da calha Parshall

Descrição	Unidade	Q _{máx}	Q _{méd}	Q _{mín}
Altura régua	m	0,2257	0,2011	0,1287
Rebaixamento Hidráulico	m		0,07	
Lâmina d'água	m	0,1557	0,1311	0,0597

Para trabalhar com uma vazão de projeto média nas unidades subsequentes, optou-se pela construção do tanque de equalização, que irá garantir uma vazão de saída constante. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos no dimensionamento do tanque de equalização.

Tabela 9 - Dimensionamento do tanque de equalização

Descrição	Unidade	Valor
Vazão de entrada	m ³ .h ⁻¹	130,59
Vazão de saída	m ³ .h ⁻¹	108,72
Área	m ²	12,25
Profundidade	M	2
Largura	M	3,5
Comprimento	M	3,5
Volume do tanque	m ³	24,5

Através da fórmula de Bresse obteve-se que a velocidade gerada será 1,2 m.s⁻¹.
 1. O diâmetro comercial de recalque resultou em 200 mm e o de sucção em 250 mm.

As peças especiais utilizadas tanto para a sucção como para o recalque e os respectivos diâmetros equivalentes podem ser observadas na Tabela 10 e, os resultados obtidos na perda de carga do sistema estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 10 - Diâmetros equivalentes e perdas localizadas das peças especiais consideradas

SUCÇÃO (250 mm)	m	RECALQUE (200 mm)	m
Entrada normal	4,5	Ampliação concêntrica	4,8
Curva de 90° (2 curvas)	15	Curva de 90° (2 curvas)	12
Redução excêntrica	3	Válvula de retenção	20
Tê passagem direta	5	Tê saída de lado	10
Tê saída de lado	12,5	Registro de gaveta	1,6
Válvula de gaveta	4	Saída simples	7
Total	43,75		55,4

Tabela 11 - Perda de carga do sistema de sucção e recalque

Perda de carga	m
Recalque	0,27
Sucção	0,08
Total	0,34

De posse aos dados de altura manométrica e vazão de projeto, não foi possível encontrar uma bomba para a vazão necessária, desta forma, optou-se pela divisão da vazão e a inserção de duas bombas em paralelo que comportassem tal necessidade, sendo que uma terceira bomba foi considerada para fins de segurança. A potência de cada bomba resultou em 5,5 cv. A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para a escolha da bomba.

Tabela 12 - Critérios para determinação da bomba

	Valores (m)
Perda de carga total	0,34
Altura geométrica	11
Altura manométrica	11,34

Através dos valores de concentração de DBO, DQO e SST adotados, foi possível calcular a carga efluente. A Tabela 13 apresenta as características iniciais do efluente encontradas para o município em função de sua população.

Tabela 13 - Características iniciais do efluente

INICIAL	Unidade	Valor
Carga DBO	kg.d ⁻¹	848,016
Concentração DBO	mg.L ⁻¹	325
Carga DQO	kg.d ⁻¹	2544,048
Concentração DQO	mg.L ⁻¹	975
Carga SST	kg.d ⁻¹	600,1344
Concentração SST	mg.L ⁻¹	230

Segundo o Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 139 da Embrapa Clima Temperado, a temperatura média do município de Arroio Grande é de 17,3 °C (BRASIL, 2011).

5.1.2 Tratamento Primário

a) Decantador Primário

A profundidade adotada 3 metros e a borda adotada será de 0,3 m, a altura do centro ao pé da parede fundo (h) igual 0,3 m. A Tabela 14 são os resultados obtidos no dimensionamento do decantador primário.

Tabela 14 - Dimensionamento do decantador primário

Descrição	Unidade	Valor
Área	m ²	38,5
Diâmetro	m	7
Volume	m ³	119,2
Altura	m	3,3
Volume útil	m ³	115,45
Remoção de SST	kg.d ⁻¹	300,07
Vazão do Lodo coletado	m ³ .d ⁻¹	7,5
Concentração DBOefluente	mg.L ⁻¹	227,5
Concentração SSTefluente	mg.L ⁻¹	115
Concentração DQOefluente	mg.L ⁻¹	682,5

5.1.3 Tratamento Secundário

a) Reator UASB

Para o dimensionamento da parte inferior do reator foi considerado um tempo de detenção hidráulica: 10 horas ou 0,41 dia, conforme recomendado pela NBR 12.209 (2011). O dimensionamento do sistema de distribuição de efluente de cada reator resultou com a distribuição de 10 pás, sendo que cada pá contempla 8 saídas. A Tabela 15 apresenta os valores obtidos no dimensionamento da parte inferior do reator.

Tabela 15 - Dimensionamento da parte inferior do reator UASB

Descrição	Unidade	Valor
Vazão de entrada	m ³ .d ⁻¹	1304,64
Volume	m ³	1086,31
Área	m ²	271,58
Diâmetro	m	18,6
Altura	m	4
CHV	m ³ .m ⁻³ .dia ⁻¹	2,4
COV	m ³ .dia ⁻¹	1,64
Vasc	m.h ⁻¹	0,40

No dimensionamento da parte superior do reator foi considerado um tempo de detenção hidráulico 1,5 h conforme recomendado pela NBR 12.209 (2011). A Tabela 16 apresenta os valores encontrados no dimensionamento da parte superior do reator UASB.

Tabela 16 - Dimensionamento da parte superior do reator UASB

Descrição	Unidade	Valor
Área base superior do cone	m ²	176,63
Diâmetro da base superior do cone	m	15
Área de abertura do cone	m ²	94,95
Diâmetro de abertura do cone	m	11
Área saída do gás do cone	m ²	3,14
Diâmetro saída do gás do cone	m	2
Velocidade de passagem	m.h ⁻¹	1,14
Volume espaço efluente superior	m ³	163,08
Volume do cone	m ³	165,66
Altura cone	m	0,61

A Tabela 17 apresenta os resultados obtidos em relação a eficiência de remoção desse processo. Segundo Jordão e Pessoa (2009), a eficiência de remoção de DBO e DQO para sistemas de reatores UASB variam de 60 a 75%. A eficiência de calculada está de acordo com o esperado.

Tabela 17 - Eficiência de remoção no reator UASB

Concentrações resultantes	Unidade	Valor
Taxa de produção de SST	%	75
Produção SST no reator	kg.d ⁻¹	464,97
Carga DBO resultante	kg.d ⁻¹	65,7
Concentração DBO	mg.L ⁻¹	50,36
Eficiência de remoção DBO	%	77,86
Carga DQO resultante	kg.d ⁻¹	270,46
Concentração DQO	mg.L ⁻¹	207,31
Eficiência de remoção DQO	%	69,63
Vazão de lodo do reator	m ³ .d ⁻¹	0,46

b) Tanque de Aeração

O tanque de aeração apresentou, dentro do sistema de tratamento de esgoto, a maior área empregada, característica de sistemas de lodos ativados. A Tabela 18 apresenta os valores encontrados no dimensionamento do tanque.

Tabela 18 - Dimensionamento do tanque de aeração

Descrição	Unidade	Valor
Remoção de DBO	%	70
Produção de lodo esperada	kg.d ⁻¹	132,08
Vazão de lodo descartado no decantador secundário	m ³ .d ⁻¹	16,5
Volume do Tanque de Aeração	m ³	1.728
Área do Tanque de Aeração	m ²	432
Altura	m	4
Largura	m	12
Comprimento	m	36
Tempo de Retenção Hidráulica	h	16
Relação A/M	kg DBO/kg SST.d ⁻¹	0,07
Vazão de recirculação requerida	%	100

Produção de lodo em função do volume do tanque	kg.d ⁻¹	230,4
Massa mínima de oxigênio fornecida	kgO ₂ .d ⁻¹	514,29

c) Decantador Secundário

A profundidade adotada 3 metros e a borda adotada será de 0,3 m, a altura do centro ao pé da parede fundo (h) igual 0,6 m. Tabela 19 apresenta os resultados obtidos no dimensionamento do decantador.

Tabela 19 - Dimensionamento do decantador secundário

Descrição	Unidade	Valor
Área	m ²	176,63
Diâmetro	m	15
Altura	m	3,6
Volume	m ³	566,67
Volume útil	m ³	529,88
Taxa de aplicação dos sólidos	kg.m ⁻² .d ⁻¹	94,55
Tempo de retenção hidráulica	h	4,9
Taxa de aplicação hidráulica	m ³ .m ⁻² .d ⁻¹	14,7
Concentração DBO efluente	kg.d ⁻¹	5,28
Concentração DQO efluente	kg.d ⁻¹	21,76
Concentração SST efluente	kg.d ⁻¹	5,03

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, a DBO de lançamento oriunda de sistema de tratamento de esgoto sanitário deve ser no máximo de 120 mg.d⁻¹. Nos resultados obtidos, esse padrão é atendido. As demais condições e padrões de lançamentos ficam a critério do órgão ambiental competente pela licenciamento da estação.

d) Leito de Secagem de Lodo

Os valores encontrados no dimensionamento do leito de secagem do lodo estão dispostos na Tabela 20.

Tabela 20 - Dimensionamento do leito de secagem do lodo

Dimensionamento	Unidade	Valor
Vazão de sólidos	m ³ .d ⁻¹	24,9
Área	m ²	84,27

Volume	m ³	25,28
Período de disposição do lodo	d	30
Altura	m	0,3
Relação L/C		1:3
Largura	m	5,3
Comprimento	m	15,9
Teor de Sólidos	%	70

A Figura 6 apresenta uma ilustração da ETE, onde: 1.Gradeamento; 2.Caixa de Areia; 3.Calha Parshall; 4.Tanque de Equalização; 5.Decantador Primário; 6.Reator UASB; 7.Tanque de Aeração; 8.Decantador Secundário; 9.Leito de Secagem do Lodo.

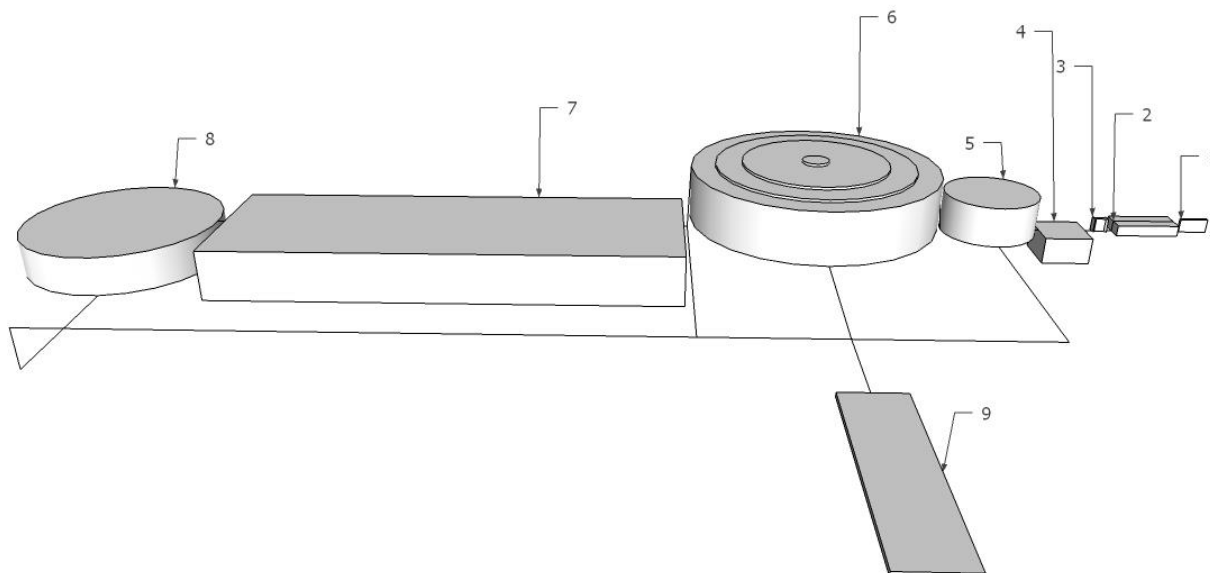


Figura 6 – Ilustração da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

O sistema de tratamento de esgoto constituído por reator UASB seguido de lodo ativado com aeração prolongada apresenta grande aceitação para municípios que estão localizados em regiões de clima ameno, onde não há aceitação para sistemas de lagoas de tratamento e, necessitem de áreas limitadas para implantação de projetos.

5.2 Avaliação Econômico-financeira

5.2.1 Investimento

A Tabela 21 apresenta o valor de investimento para a construção da Estação de Tratamento de Esgoto, descrevendo os valores empregados em cada processo de tratamento e as características deste investimento.

Tabela 21 - Valor de Investimento da ETE

Processo	Características	Valor (R\$)
Gradeamento	Total investido	751,45
	Concreto	664,45
	Escavação	49,75
	Barras de Aço	37,35
Caixa de Areia	Total Investido	6.850,25
	Concreto	6.524,44
	Escavação	325,81
Calha Parshal	Total Investido	1.215,00
Tanque de Equalização	Total Investido	4.786,20
	Concreto	4.484,05
	Escavação	302,15
Decantador Primário	Total Investido	40.973,52
	Concreto	40.973,52
Reator UASB	Total Investido	267.662,39
	Concreto	267.662,39
Tanque de Aeração	Total Investido	395.699,92
	Concreto	358.317,49
	Escavação	15.502,43
	Aeradores	21.880,00
Decantador Secundário	Total Investido	154.420,79
	Concreto	148.007,70
	Escavação	6.413,09

Leito de Secagem	Total Investido	9.889,72
	Concreto	9.889,72
Materiais/Equipamentos	Total Investido	72.931,00
	Tubulação	9.955,90
	Bombas	62.975,10
Mão de Obra	Total Investido	153.346,20
	Mestre de Obra	37.705,20
	Pedreiros	43.485,00
	Serventes	72.156,00
Licenciamento	Total Investido	7.920,16
	Licença Prévia	1.303,98
	Licença de Instalação	3.558,31
	Licença de Operação	3.057,87
Projetos/Ajustes/Capacitação	Total Investido	100.000,00
Imprevistos	Total Investido	100.000,00
TOTAL		1.316.446,59

O investimento para realização da obra será de R\$ 1.316.446,59, gerando um custo de implantação por habitante de R\$ 80,64. De acordo com Jordão e Pessoa (2009) o custo de implantação de reatores UASB seguidos de pós tratamento varia de R\$ 40,00 à 90,00 por habitante, assim, o valor encontrado está dentro do esperado na literatura.

Também, é possível observar que o maior valor empregado nas estruturas dimensionadas encontra-se no tanque de aeração, que requer 30% do valor total investido na obra. Segundo Metcalf e Eddy (2003), o tanque de aeração é caracterizado por possuir o maior valor empregado em sistemas de lodos ativados.

5.3.2 Custo de Operação

Os custos fixos e variáveis não diferem muito entre si, onde, o maior custo empregado encontra na demanda de energia para a ETE. Isso ocorre, devido ao fato de que o sistema de lodo ativado requer grande demanda de energia para sua operação. A Tabela 22 apresenta os custos fixos e variáveis do empreendimento.

Tabela 22 - Custos de Operação da ETE

Custos Fixos	Valor Mensal (R\$)	Total Anual (R\$)
Mão de Obra	8.918,32	
Demanda de Energia	12.165,45	253.005,21
Custos Variáveis	Valor Mensal (R\$)	Total Anual (R\$)
Energia Elétrica	2.433,09	
Análises	2.815,00	
Manutenção	4.308,92	
Destinação Final Lodo	10.233,00	237.480,13
Total		490.485,34

No primeiro ano a prefeitura terá um custo mensal de operação de R\$ 490.485,34 e, realizando o acréscimo de 5% ao ano, temos na Tabela 23 o custo de operação da ETE nos próximo 10 anos.

Tabela 23 - Custo de Operação durante os anos

Ano	Custo de Operação (R\$)
1	490.485,34
2	515.009,61
3	540.760,09
4	567.798,09
5	596.188,00
6	625.997,40
7	657.297,27
8	690.162,13
9	724.670,24
10	760.903,75

5.3.3 Financiamento

A Tabela 24 apresenta os resultados obtidos no financiamento do valor investido na ETE.

Tabela 24 - Financiamento da ETE

Ano	Juros do Período (R\$)	Amortização (R\$)	Prestação (R\$)	Saldo devedor (R\$)
1	26.328,93	131.644,66	157.973,59	1.316.446,59
2	23.696,04	131.644,66	155.340,70	1.184.801,94
3	21.063,15	131.644,66	152.707,80	1.053.157,28
4	18.430,25	131.644,66	150.074,91	921.512,62
5	15.797,36	131.644,66	147.442,02	789.867,96
6	13.164,47	131.644,66	144.809,13	658.223,30
7	10.531,57	131.644,66	142.176,23	526.578,64
8	7.898,68	131.644,66	139.543,34	394.933,98
9	5.265,79	131.644,66	136.910,45	263.289,32
10	2.632,89	131.644,66	134.277,55	131.644,66

É possível observar que a prestação mensal paga pela prefeitura no primeiro ano será de R\$ 13.164,47, e este valor irá diminuir com o tempo, chegando ao último no valor de R\$ 11.189,80.

5.3.4 Fluxo de Caixa

A Tabela 25 apresenta o cenário 1. Um fluxo de caixa onde, a população, irá pagar 100% dos custos com a ETE.

Tabela 25 - Fluxo de Caixa com Tarifa 100%

Ano	Custo de Operação (R\$)	Financiamento (R\$)	Tarifa (R\$/hab/mês)	Fluxo de Caixa (R\$)
1	490.485,34	157.973,59	3,31	0,00
2	515.009,61	155.340,70	3,42	0,00
3	540.760,09	152.707,80	3,54	0,00
4	567.798,09	150.074,91	3,66	0,00
5	596.188,00	147.442,02	3,80	0,00

6	625.997,40	144.809,13	3,93	0,00
7	657.297,27	142.176,23	4,08	0,00
8	690.162,13	139.543,34	4,24	0,00
9	724.670,24	136.910,45	4,40	0,00
10	760.903,75	134.277,55	4,57	0,00

Este fluxo de caixa resultou em um valor R\$ 0,00, representando que a prefeitura não terá um custo com a operação e financiamento da ETE. A tarifa terá um valor mínimo de R\$ 3,31 hab/mês no seu primeiro ano e, no último, um valor de R\$ 4,57 hab/mês. Este cenário apresenta grande aceitação para prefeituras que não possuem grandes orçamentos, pois, a prefeitura não precisará custear a ETE e, repassará esse valor para o consumidor.

Já a Tabela 26 apresenta o cenário 2, no qual o fluxo de caixa considera que a população irá arcar com 75% dos custos com a ETE.

Tabela 26 - Fluxo de Caixa com Tarifa 75%

Ano	Custo de Operação (R\$)	Financiamento (R\$)	Tarifa (R\$/hab/mês)	Fluxo de Caixa (R\$)
1	490.485,34	157.973,59	2,48	-162.114,73
2	515.009,61	155.340,70	2,57	-329.702,31
3	540.760,09	152.707,80	2,66	-503.069,28
4	567.798,09	150.074,91	2,75	-682.537,53
5	596.188,00	147.442,02	2,85	-868.445,04
6	625.997,40	144.809,13	2,95	-1.061.146,67
7	657.297,27	142.176,23	3,06	-1.261.015,05
8	690.162,13	139.543,34	3,18	-1.468.441,41
9	724.670,24	136.910,45	3,30	-1.683.836,58
10	760.903,75	134.277,55	3,43	-1.907.631,91

O fluxo de caixa resultou, no valor repassado para a prefeitura, de 25% dos custos com a ETE. No primeiro ano a prefeitura terá que destinar R\$ 13.509,56 do seu orçamento para a ETE. Este valor, irá aumentar no decorrer dos anos, chegando a um valor máximo mensal custeado de R\$ 151.241,16. Já a tarifa paga pela população será menor que a do cenário 1, de R\$ 2,48 hab/mês no primeiro ano e, no

último ano de financiamento de R\$ 3,43 hab/mês. Este cenário depende exclusivamente dos recursos financeiros da prefeitura, considerando que o município é de pequeno porte, o valor custeado poderá requerer acessos a recursos financeiros estaduais e/ou federais que incentivam a melhora do saneamento básico no país. Além disso, é possível a criação de leis municipais orçamentárias voltadas ao saneamento básico, que visam a destinação de recursos financeiros da prefeitura para esse fim.

A Tabela 27 apresenta o cenário 3, onde o fluxo de caixa considera que a população irá assumir 50% dos custos com a ETE.

Tabela 27 - Fluxo de Caixa com Tarifa 50%

Ano	Custo de Operação (R\$)	Financiamento (R\$)	Tarifa (R\$/hab/mês)	Fluxo de Caixa (R\$)
1	490.485,34	157.973,59	1,66	-324.229,47
2	515.009,61	155.340,70	1,71	-659.404,62
3	540.760,09	152.707,80	1,77	-1.006.138,57
4	567.798,09	150.074,91	1,83	-1.365.075,07
5	596.188,00	147.442,02	1,90	-1.736.890,08
6	625.997,40	144.809,13	1,97	-2.122.293,34
7	657.297,27	142.176,23	2,04	-2.522.030,09
8	690.162,13	139.543,34	2,12	-2.936.882,83
9	724.670,24	136.910,45	2,20	-3.367.673,17
10	760.903,75	134.277,55	2,28	-3.815.263,82

Neste cenário, a prefeitura irá assumir 50% dos custos com a ETE e, consequentemente, a tarifa paga pela poluição será menor ainda, variando de R\$ 1,66 à 2,28 hab/mês durante os 10 primeiros anos e, os custos mensais da prefeitura, irão variar de R\$ 27.019,12 até R\$ 317.938,65, neste mesmo período. O cenário 3, apresenta um grande valor empregado no tratamento de esgoto para a prefeitura nos últimos anos de financiamento, assim, há necessidade de planejamento no orçamento municipal, onde a prefeitura terá que “reservar” recursos financeiros. O acesso a esses recursos poderá ser feito como citado anteriormente, através de incentivos estaduais e/ou federais, além de, leis municipais orçamentárias voltadas ao saneamento básico.

Segundo o relatório de estrutura tarifária disponível pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), em julho de 2016, a taxa base cobrada pela prestação de serviços de tratamento de esgoto sanitário é de R\$ 1,39 por metro cúbico gerado. Porém, há também casos, em que a companhia realiza a cobrança de tarifa por residência. Assim, para fator de comparação, foi calculado o valor mensal por metro cúbico (m³/mês) nesses três cenários.

Tabela 28 - Sistema Tarifário por metro cúbico e por residência

Ano	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
	m ³ /mês		
1	R\$ 0,69	R\$ 0,52	R\$ 0,34
2	R\$ 0,71	R\$ 0,53	R\$ 0,36
3	R\$ 0,74	R\$ 0,55	R\$ 0,37
4	R\$ 0,76	R\$ 0,57	R\$ 0,38
5	R\$ 0,79	R\$ 0,59	R\$ 0,40
6	R\$ 0,82	R\$ 0,61	R\$ 0,41
7	R\$ 0,85	R\$ 0,64	R\$ 0,43
8	R\$ 0,88	R\$ 0,66	R\$ 0,44
9	R\$ 0,92	R\$ 0,69	R\$ 0,46
10	R\$ 0,95	R\$ 0,71	R\$ 0,48

É possível observar, que mesmo no cenário em que a população irá assumir 100% dos custos com a ETE, o valor máximo pago será de R\$ 0,95, muito inferior ao valor base cobrado pela CORSAN atualmente, que é de R\$ 1,39, isso evidencia, grande benefício ao consumidor municipal e, também, um possível aumento da tarifa nos 3 cenários projetados sem que a tarifa se torne abusiva.

A partir do 11º a tarifa irá aumentar 10% ao ano, sendo possível avaliar o retorno do investimento, demonstrados nos Apêndices A, B e C. No cenário 1 o retorno será imediato, visto que seu fluxo de caixa inicial é de R\$ 0,00. No cenário 2, o retorno do investimento será de em 21 anos e, no cenário 3, em 32 anos. O tempo de retorno ideal para um empreendimento irá depender exclusivamente das possibilidades financeiras do investidor, levando em consideração que na análise realizada o investidor é um órgão público, os benefícios sociais sobressaem o lucro do empreendimento.

6. Conclusões

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) dimensionada é caracterizada como uma unidade de tratamento de esgoto de pequeno porte, onde o processo de tratamento escolhido é viável tecnicamente para o município. Pois, há fácil acesso a aquisição dos equipamentos citados tanto para a implantação, quanto para a operação da estação e, também, o município está localizado próxima à cidade de Pelotas, que conta com diversos profissionais da área e empresas especializadas em projetos deste porte.

Em relação à viabilidade econômico-financeira do projeto, foi possível observar, que nos 3 cenários projetados o custo da tarifa paga pela população é inferior ao valor base atual cobrado pela CORSAN nos demais municípios gaúchos, evidenciando grande benefício ao consumidor e, também, um possível aumento desta tarifa. No primeiro cenário, a viabilidade é clara, pois a Prefeitura Municipal, não teria nenhum custo com a ETE, repassando este valor para a população. Já no segundo e terceiro caso, a prefeitura terá que assumir parte dos custos com a ETE, necessitando valor máximo mensal de R\$ 302.482,33. Diante da realidade municipal e, dos diversos incentivos ao tratamento de esgoto proposto no país, pode-se concluir que há possibilidade da Prefeitura Municipal custear por este valor, porém, em especial o cenário 3, há necessidade de um planejamento no orçamento municipal.

Avaliando o tempo de retorno de investimento, temos que: o primeiro cenário apresenta o menor tempo de retorno de investimento, que será imediato; no segundo este tempo de retorno será de 21 anos e; no terceiro de 32 anos. Após o tempo de retorno para cada cenário, é possível identificar que a Prefeitura Municipal terá capacidade de construir e/ou ampliar uma estação de tratamento de esgoto, sem que haja necessidade de financiamento, beneficiando-se, assim, economicamente do tratamento de esgoto.

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que a situação de cobertura e tratamento de esgoto no país poderia estar muito mais avançada, pois, o sistema de tratamento de efluentes municipal, apesar de possuir um alto valor de implementação, torna os custos diluídos quando aplicáveis nas tarifas da população. Assim, um órgão público possui total capacidade de melhorar seus índices de atendimento e tratamento

de esgoto, sem comprometer o seu orçamento. Investir em saneamento básico, jamais, poderá ser visto como algo desvantajoso para o setor público, uma vez que, o acesso universal e a qualidade dos serviços de saneamento proporcionam inúmeros benefícios sociais para os cidadãos.

Além da viabilidade técnica e econômico-financeira encontrada, a solução proposta poderá gerar uma série de benefícios para a comunidade e para o ambiente como um todo, melhorando a qualidade de água consumida pela população, reduzindo a ocorrência de doenças de veiculação hídrica e, por consequência, melhorando a qualidade de vida desta região.

7. Bibliografia

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

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

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

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Clima Temperado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 139**. Pelotas, Embrapa, p.12, 2011.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília: Funasa, p. 173-278, 2015.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de Saneamento 2011**. Brasília: IBGE, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Brasília: IBGE, 2010.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**. Brasília: IBGE, 2008.

BRASIL. Instituto Nacional de Preços ao Consumidor. **Inflação**. Brasília: IPCA, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Módulo Específico: Licenciamento Ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários**. MMA. Brasília, p. 7-33, 2009.

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. **Resolução CONAMA no 377, de 9 de outubro de 2006. Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário.** Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Brasília: Diário Oficial da União, 2006.

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

BRASIL. Ministério do meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA.** Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União. Brasília, 2011.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.445**, de 05 de dezembro de 2007.

BRASIL. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto - 2014.** Brasília: SNIS, 2016.

BENAKOUCHE, Rabah; CRUZ, René Santa. **Avaliação monetária do meio ambiente.** São Paulo: Makron Books, 1994.

BORJA, P. C. **Política pública de saneamento básico:** uma análise da recente experiência brasileira. Rev. Saúde Soc. São Paulo. v. 23, n. 2, p. 432-447, 2014.

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

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.** Brasília: SIAPE, 2016.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG. v. 5. p. 249-337, 2006.

CHERNICHARO, C, A, L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: FINEP. 2001.

Confederação Nacional da Indústria – CNI. **Burocracia e entraves ao setor de saneamento**. p. 1-36. 2015.

CORREIA NETO, Jocildo Figueiredo. **Elaboração e avaliação de projetos de investimento**: considerando o risco. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

CORSAN. Companhia Riograndense de Saneamento. **Relatório de estrutura tarifária sintética Julho/16**. Disponível em: <http://www.corsan.com.br/upload/arquivos/201606/01155443-tabela-tarifaria-e-precos-servicos-municipios-regulados-pela-agergs-jul-2016.pdf>. Acesso em 17 de novembro de 2016.

FEPAM. **Tabela de valores para serviços de licenciamento ambiental em reais**. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/licenciamento/area4/14.asp>. Acesso em 13 de setembro de 2016.

FERREIRA, A. C. **Monitoramento da Secagem e Desinfecção de Lodo Anaeróbio em Leito de Secagem com Uso de Estufa Plástica e Biogás**. 2001. 97f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo) - Pós-Graduação em Agronomia, Departamento de Solos do Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

HELLER, L. **Relação de saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento**. Rev. Ciência e Saúde Coletiva, v.3, n.2, p. 73-84, 1998.

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

METCALF, A.; EDDY, M. S. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 197f. Tese (Doutorado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PELETEIRO, C. S.; ALMEIDA, M. L. R. **Dimensionamento, análise e comparação da viabilidade econômica de estação de tratamento de esgotos utilizando processos de lodos ativados convencional e aeração prolongada**. 2014. 112f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

PISO SALARIAL. **Tabela Salarial 2016 da Construção Civil**. Disponível em: <http://www.pisosalarial.com.br/construcao-civil/tabela-salarial-2016-construcao-civil/>. Acesso em 13 de setembro de 2016.

POLIDO, L. H. **Proposta de projeto e estimativa de custos de uma estação de tratamento de esgoto para o campus Ecoville da UTFPR**. 2013. 88f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Produção Civil) - Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SALAZAR, R. B. **Métodos de Avaliação Econômica Aplicáveis em Projetos de Infraestrutura Urbana**. 2010. 162f. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento Regional) – Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional, Faculdades Alves Faria, Goiânia, 2010.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG. v.1. p. 283, 2005.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG. 2012.

APÊNDICES

Apêndice A – Fluxo de caixa cenário 1.

Ano	Tarifa		Fluxo de caixa (R\$)
	habitante/mês	m³/mês	
11	R\$ 5,03	R\$ 0,85	185.750,50
12	R\$ 5,53	R\$ 0,89	430.023,49
13	R\$ 6,08	R\$ 0,94	554.918,10
14	R\$ 6,69	R\$ 0,98	696.396,79
15	R\$ 7,36	R\$ 1,03	856.322,69
16	R\$ 8,10	R\$ 1,08	1.036.755,50
17	R\$ 8,91	R\$ 1,14	1.239.971,61
18	R\$ 9,80	R\$ 1,20	1.468.486,36
19	R\$ 10,78	R\$ 1,26	1.725.078,46
20	R\$ 11,85	R\$ 1,32	2.012.816,95
21	R\$ 13,04	R\$ 1,38	2.335.090,82
22	R\$ 14,34	R\$ 1,45	2.695.641,69
23	R\$ 15,78	R\$ 1,53	3.098.599,73
24	R\$ 17,35	R\$ 1,60	3.548.523,27
25	R\$ 19,09	R\$ 1,68	4.050.442,34
26	R\$ 21,00	R\$ 1,77	4.609.906,65
27	R\$ 23,10	R\$ 1,85	5.233.038,41
28	R\$ 25,41	R\$ 1,95	5.926.590,39
29	R\$ 27,95	R\$ 2,04	6.698.009,97
30	R\$ 30,74	R\$ 2,15	7.555.509,54
31	R\$ 33,82	R\$ 2,25	8.508.144,00
32	R\$ 37,20	R\$ 2,37	9.565.896,08
33	R\$ 40,92	R\$ 2,49	10.739.770,25
34	R\$ 45,01	R\$ 2,61	12.041.896,06
35	R\$ 49,51	R\$ 2,74	13.485.641,90

Apêndice B – Fluxo de caixa cenário 2.

Ano	Tarifa		Fluxo de caixa (R\$)
	habitante/mês	m³/mês	
11	R\$ 3,77	R\$ 0,93	-1.968.056,27
12	R\$ 4,15	R\$ 0,98	-1.994.575,62
13	R\$ 4,56	R\$ 1,03	-1.981.802,09
14	R\$ 5,02	R\$ 1,08	-1.923.709,15
15	R\$ 5,52	R\$ 1,14	-1.813.562,75
16	R\$ 6,07	R\$ 1,19	-1.643.845,33
17	R\$ 6,68	R\$ 1,25	-1.406.171,99
18	R\$ 7,35	R\$ 1,32	-1.091.197,91
19	R\$ 8,08	R\$ 1,38	-688.516,35
20	R\$ 8,89	R\$ 1,45	-186.546,06
21	R\$ 9,78	R\$ 1,52	427.592,85
22	R\$ 10,76	R\$ 1,60	1.168.215,84
23	R\$ 11,83	R\$ 1,68	2.051.224,82
24	R\$ 13,02	R\$ 1,76	3.094.274,57
25	R\$ 14,32	R\$ 1,85	4.316.956,17
26	R\$ 15,75	R\$ 1,94	5.740.999,14
27	R\$ 17,32	R\$ 2,04	7.390.494,27
28	R\$ 19,06	R\$ 2,14	9.292.139,19
29	R\$ 20,96	R\$ 2,25	11.475.508,88
30	R\$ 23,06	R\$ 2,36	13.973.353,84
31	R\$ 25,36	R\$ 2,48	16.821.928,49
32	R\$ 27,90	R\$ 2,60	20.061.353,08
33	R\$ 30,69	R\$ 2,73	23.736.012,23
34	R\$ 33,76	R\$ 2,87	27.894.993,98
35	R\$ 37,13	R\$ 3,01	32.592.573,45

Apêndice C – Fluxo de caixa cenário 3.

Ano	Tarifa		Fluxo de caixa (R\$)
	Habitante/mês	m³/mês	
11	R\$ 2,51	R\$ 0,93	-4.121.863,04
12	R\$ 2,76	R\$ 0,98	-4.419.174,74
13	R\$ 3,04	R\$ 1,03	-4.704.272,78
14	R\$ 3,35	R\$ 1,08	-4.973.838,58
15	R\$ 3,68	R\$ 1,14	-5.224.116,78
16	R\$ 4,05	R\$ 1,19	-5.450.866,44
17	R\$ 4,45	R\$ 1,25	-5.649.306,87
18	R\$ 4,90	R\$ 1,32	-5.814.057,95
19	R\$ 5,39	R\$ 1,38	-5.939.074,06
20	R\$ 5,93	R\$ 1,45	-6.017.571,21
21	R\$ 6,52	R\$ 1,52	-6.041.946,48
22	R\$ 7,17	R\$ 1,60	-6.003.689,09
23	R\$ 7,89	R\$ 1,68	-5.893.282,28
24	R\$ 8,68	R\$ 1,76	-5.700.094,90
25	R\$ 9,54	R\$ 1,85	-5.412.261,92
26	R\$ 10,50	R\$ 1,94	-5.016.552,43
27	R\$ 11,55	R\$ 2,04	-4.498.224,11
28	R\$ 12,70	R\$ 2,14	-3.840.862,70
29	R\$ 13,97	R\$ 2,25	-3.026.204,87
30	R\$ 15,37	R\$ 2,36	-2.033.942,96
31	R\$ 16,91	R\$ 2,48	-841.509,65
32	R\$ 18,60	R\$ 2,60	576.159,46
33	R\$ 20,46	R\$ 2,73	2.246.887,58
34	R\$ 22,51	R\$ 2,87	4.201.545,20
35	R\$ 24,76	R\$ 3,01	6.474.368,12