



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL  
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



JOSÉ VITOR RIBEIRO ROCHA

**TECNOLOGIAS UTILIZADAS NOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Maceió - AL

2021

JOSÉ VITOR RIBEIRO ROCHA

**TECNOLOGIAS UTILIZADAS NOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL,**

Trabalho de Conclusão de Curso parcial  
apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária, como requisito parcial para  
a obtenção do título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Orientador: Professor Doutor Marcio Gomes Barboza

Coorientadora: Professora Doutora Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

Maceió - AL

2021

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade – CRB-4 - 1251

R672t Rocha, José Vitor Ribeiro.

Tecnologias utilizadas nos sistemas descentralizados de tratamento de esgoto sanitário no Brasil / José Vitor Ribeiro Rocha. – 2021.

59 f. : il.

Orientador: Marcio Gomes Barboza.

Coorientadora: Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, 2021.

Bibliografia: f. 56-59.

1. Tratamento de esgoto. 2. Esgoto sanitário - Brasil. 3. Sistema descentralizado – Tratamento de esgoto. I. Título.

CDU: 628.32

## Folha de Aprovação

AUTOR: JOSÉ VITOR RIBEIRO ROCHA

### **TECNOLOGIAS UTILIZADAS NOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso parcial apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

---

Orientador: Professor Doutor Marcio Gomes Barboza – Universidade Federal de Alagoas

---

Coorientadora: Professora Doutora Ivete Vasconcelos L. Ferreira – Universidade Federal de Alagoas

#### **Banca Examinadora:**

---

Professora Doutora Daniele Vital Vich – Universidade Federal de Alagoas

---

Engenheiro Lucas Virgens dos Santos – Teia Serviços Ambientais

*“O segredo da mudança é focar toda a nossa energia  
não em lutar contra o antigo, mas em construir o novo”*

*Sócrates*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sem ele nada disso teria sido possível. Agradeço por jamais ter desistido de mim e principalmente por me abençoar todos os dias, nas alegrias e principalmente nas dificuldades. Sempre foi a minha maior força, a minha fé, para não ter desistido.

Em segundo, agradeço de forma incondicional por tudo que meu pai e minha mãe fizeram por mim ao longo dessa caminhada. Por terem sempre depositado a confiança e a segurança para jamais eu esquecer do meu maior objetivo. Por todo o amor, os conselhos, os sacrifícios e incentivos. Meus pais são meu mundo e com a maior certeza que eu possuo sei o quanto eles estão orgulhosos por esse momento.

À minha namorada, Marília Pessoa, que sempre me entendeu e apoiou por todo esse tempo. Que sempre esteve ao meu lado, e principalmente na reta final para minha conclusão sempre foi bastante compreensiva.

Ao meu orientador Marcio Barboza Gomes e coorientadora Ivete Vasconcelos L. Ferreira, só tenho a agradecer pelo apoio, conselhos, paciência, incentivo e principalmente pelos conhecimentos. Deixo aqui minha eterna admiração e respeito pela referência que são na área de saneamento.

À composição da banca examinadora, professora Daniele Vital Vich e o engenheiro Lucas Virgens dos Santos, por toda a contribuição para meu crescimento profissional, principalmente na melhoria do trabalho, e por toda paciência e compreensão.

E por fim, e não menos importantes, quero agradecer muito a todos meus amigos que adquiri em meio a essa jornada na universidade e no curso. Quero agradecer pelas gargalhadas no Centro Acadêmico, no PET, no Bira e por todas as brincadeiras e momentos de distrações antes das aulas começarem. As angustias vividas antes das provas, os momentos de estudo em grupo até as 22h na sala do PET, as raivas divididas e principalmente quero agradecer por sempre estarem ao meu lado. Em especial, gostaria de agradecer ao Grupo PET, no qual fiz parte por quase dois anos e tenho levado comigo até hoje muitos ensinamentos e aos meus amigos que estiveram presentes no meu dia a dia. Mas principalmente gostaria de agradecer aos meus grandes amigos que sem eles tudo isso teria sido mais difícil de acontecer: Leandro Monteiro, Marcus Yuri, Flávia Fernanda e Heverton Henrique, muito obrigado!

## RESUMO

O tratamento do esgoto sanitário no Brasil, ainda é predominantemente realizado por sistemas de tratamento centralizados, nos quais por meio de extensas redes, os esgotos são coletados e transportados para uma única Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), geralmente de grande porte. Entretanto, a descentralização representa uma abordagem mais holística, que considera os benefícios da redução da quantidade de resíduos na fonte e a possibilidade de maximizar o reúso de água no local. Porém, um grande desafio para a implantação desse tipo de sistema está associado ao elevado número de alternativas, somado aos diversos aspectos que nem sempre são ponderados para tomada de decisão sobre o sistema de tratamento de esgoto. Dessa forma, o principal objetivo deste trabalho foi realizar a descrição e análise crítica dos principais processos de tratamento de esgotos sanitário utilizados em ETE descentralizadas no Brasil. A ênfase especial foi dada à utilização desses processos considerando os principais aspectos ambientais, sociais e econômico, com base em dados secundários disponíveis na literatura técnica. Para a avaliação ambiental foram considerados os critérios de impacto ambiental, aquecimento global, produção de lodo, bem como a comparação de dados de eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes dos sistemas. Da mesma forma, foram determinados como os critérios econômicos: custo do ciclo de vida, custo operacional /manutenção, custo de investimento e área de terreno necessária. Já para o aspecto social foram considerados os critérios de impacto visual, participação/aceitação da população, maus odores, confiabilidade e replicabilidade. Por fim, foi possível concluir que para o critério da sustentabilidade, o estudo proposto por Coury (2020) destacou com maior viabilidade a utilização da tecnologia de Bacia de Evapotranspiração. Já para o critério de confiabilidade, destaca-se o uso de Filtro de Areia. Pereira e Souza (2020) para o critério de área exigida e impacto ambiental, a tecnologia mais viável seria o Tanque Séptico ou Tanque Séptico seguido do Filtro Anaeróbio por possuir menor custo. Para a utilização do efluente para reúso a melhor opção para tratamento, segundo Pereira e Souza (2020), seria o Tanque Séptico seguido por MBR e o Tanque Séptico seguido por BAS. O sistema UASB é o mais utilizado país, representando 40% das pequenas ETES inventariadas, por possuir características positivas para os critérios de custos operacionais e remoção de matéria orgânica. Schroeder (2020) indicou que a alternativa mais viável seria o Wetlands Construído Horizontal – WCH, com 25 % para um cenário de 150 habitantes.

**Palavras-chave:** Sistema descentralizado; Esgoto sanitário; Multicritérios, Eficiências de Tratamento de Esgoto.

## ABSTRACT

The treatment of sanitary sewage in Brazil is still predominantly carried out by centralized treatment systems, in which through extensive networks, sewage is collected and transported to a single Sewage Treatment Station (ETE), usually of large size. However, decentralization represents a more holistic approach, which considers the benefits of reducing the amount of waste at the source and the possibility of maximizing on-site water reuse. However, a major challenge for the implementation of this type of system is associated with the large number of alternatives, in addition to the various aspects that are not always considered when making decisions about the sewage treatment system. Therefore, the main objective of this work was to carry out the description and critical analysis of the main sanitary sewage treatment processes used in decentralized ETEs in Brazil. Special emphasis was given to the use of these processes considering the main environmental, social and economic aspects, based on secondary data available in the technical literature. For the environmental assessment, the criteria of environmental impact, global warming, sludge production, as well as the comparison of data on the efficiency of removal of organic matter and nutrients from the systems were considered. Likewise, the following economic criteria were determined: life cycle cost, operating/maintenance cost, investment cost and required land area. For the social aspect, the criteria of visual impact, participation/acceptance of the population, bad odors, reliability and replicability were considered. Finally, it was possible to conclude that for the criterion of sustainability, the study proposed by Coury (2020) highlighted with greater feasibility the use of the Evapotranspiration Basin technology. As for the reliability criterion, the use of a Sand Filter stands out. Pereira e Souza (2020) for the required area and environmental impact criteria, the most viable technology would be the Septic Tank or Septic Tank, followed by the Anaerobic Filter, as it has a lower cost. For the use of effluent for reuse, the best treatment option, according to Pereira and Souza (2020), would be the Septic Tank followed by MBR and the Septic Tank followed by BAS. The UASB system is the most used in the country, representing 40% of the small ETEs inventoried, as it has positive characteristics for the criteria of operating costs and removal of organic matter. Schroeder (2020) indicated that the most viable alternative would be the Horizontal Constructed Wetlands – WCH, with 25% for a scenario of 150 inhabitants.

**Keywords:** Decentralized system, Sanitary sewage, Multicriteria, Sewage Treatment Efficiency.



## SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
- AHP – *Analytic Hierarchy Process*
- ANA – Agência Nacional de Águas
- BAS – Biofiltro Aerado Submerso
- CAPEX – Custo de Construção
- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CTEC – Centro de Tecnologia
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO – Demanda Química de Oxigênio
- ELECTRE – *ELimination Et Choix Traduisant la REalité*
- EPA – *Environmental Protection Agency*
- ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
- EUA – Estados Unidos da América
- FAN – Filtro Anaeróbio
- GESAD – Grupo de Estudo em Saneamento Descentralizado
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ISO – Organização Internacional de Normalização
- LAB – Lodo Ativado em Batelada
- MAUT – *Multi-Attribute Utility Theory*
- MBR – Reator Biológico com Membrana
- MCDM – Método de decisão multi-critério
- NBR – Norma Brasileira
- OPEX - Custo de manutenção/operação
- PROMETHEE – *Preference ranking organization method for enrichment evaluation*
- PSBR – Programa Saneamento Brasil Rural
- RBS – Reator em Batelada Sequencial
- RPD – Reúso Potável Direto
- RPI – Reúso Potável Indireto

SABESP – Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo

SH – Sistema Híbrido

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SS – Sólidos Suspensos

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

TOPSIS – Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade com a Solução Ideal

TS – Tanque Séptico

UASB – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

USEPA – Agência Americana de Proteção Ambiental

UV – Radiação Ultravioleta

WCH – *Wetlands* Construídos Horizontal

WCFV – *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Definição de sistemas descentralizados de coleta, tratamento e reutilização de esgoto.....	26
<b>Figura 2</b> . Principais fatores para a seleção das tecnologias de tratamento .....	27
<b>Figura 3</b> . Distribuição de 306 trabalhos relacionados a ferramenta MCM aplicada ao saneamento. ..	34
<b>Figura 4</b> . Descrição da metodologia utilizada.....	441
<b>Figura 5</b> . Critérios apresentados no aspecto técnico. ....	44
<b>Figura 6</b> . Critérios apresentados no aspecto econômico. ....	44
<b>Figura 7</b> . Critérios apresentados no aspecto social. ....	45
<b>Figura 8</b> . Critérios apresentados no aspecto ambiental. ....	45
<b>Figura 9</b> . Distribuição dos principais aspectos.....	46
<b>Figura 10</b> . Aspectos ambientais .....	46
<b>Figura 11</b> . Aspectos Técnicos .....	47
<b>Figura 12</b> . Aspectos Sociais .....	47
<b>Figura 13</b> . Aspecto Econômicos .....	47
<b>Figura 14</b> . Custo de construção (CAPEX) para um cenário de 150 hab. ....	51
<b>Figura 15</b> . Custo de operação/manutenção (OPEX) para um cenário de 150 hab. ....	52
<b>Figura 16</b> . Escala de prioridade para escolha da tecnologia.....	5353

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> . Volume de esgoto tratado das Grandes Regiões do Brasil - 2019.....	17
<b>Tabela 2</b> . Volume de esgoto tratado por dia, por tipo de tratamento, segundo as Grandes Regiões - 2017.....	18
<b>Tabela 3</b> - Processos de tratamento de água residuária: exemplos de tecnologias de interesse. ....	18
<b>Tabela 4</b> . Estimativas de eficiências esperada nos diversos níveis de tratamento.....	19
<b>Tabela 5</b> . Volume de esgoto tratado por dia, por tipo de tratamento, segundo as Grandes Regiões - 2017.....	21
<b>Tabela 6</b> - Tipos de sistemas de tratamento utilizados no Nordeste e no Brasil. ....	21
<b>Tabela 7</b> . Classificação das tecnologias de tratamento .....	27
<b>Tabela 8</b> . Referências para critérios de tomada de decisão aplicados ao saneamento. ....	35
<b>Tabela 9</b> . Principais considerações para os métodos utilizados. ....	38
<b>Tabela 10</b> . Critérios para seleção sistema de tratamentos avaliados em pequenas comunidades. ....	41
<b>Tabela 11</b> . Critérios para seleção sistema de tratamentos avaliados em centros urbanos. ....	43
<b>Tabela 12</b> . Critérios apresentados no aspecto econômico. ....	44
<b>Tabela 13</b> . Resultados de estudo sobre tratamento de esgotos em residência unifamiliares.....	49

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	Objetivo Geral .....	15
2.2	Objetivos específicos .....	15
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
3.1	Histórico da implantação das Estações de Tratamento de Esgoto .....	16
3.1.1	Histórico mundial .....	16
3.1.2	Histórico no Brasil .....	16
3.2	Processos de Tratamento de Esgotos .....	18
3.3	Sistema Descentralizado de Tratamento de Esgoto .....	22
3.4	Tecnologias no tratamento descentralizados de esgotos sanitários .....	26
3.5	Experiências do uso de tecnologias descentralizados .....	28
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
4.1	Critérios e aspectos de projetos para os processos de tratamento descentralizados no Brasil.....	32
4.2	Levantamento das tecnologias de ETEs descentralizadas no Brasil.....	32
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>34</b>
5.1	Metodologia utilizados pelos autores .....	34
5.2	Importância dos critérios adotados .....	40
5.3	Análise comparativa dos sistemas utilizados no Brasil.....	48
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A industrialização acarretou o desenvolvimento das cidades e no conseqüente fenômeno de urbanização, em especial a partir da década de 1960. O seu aumento pode ser evidenciado na distribuição percentual da população entre a zona urbana e rural que era respectivamente 20/80, e passou a representar uma proporcionalidade inversa de 80/20 em muitos países (SANTOS, 2019). Dessa forma, são pertinentes até os dias atuais os estudos e discussões sobre o planejamento do espaço urbano, devendo atender principalmente as condições de transporte, saúde, ensino, assim como o saneamento.

Mesmo nas grandes cidades, onde existe maior infraestrutura e poder econômico, faltam redes coletoras, tratamento e disposição adequada dos esgotos sanitários. Os principais atingidos pela poluição decorrente dessas carências são as pessoas mais pobres que vivem nas periferias das cidades, próximas das áreas de destino do esgoto não tratado, onde ocorre a deterioração do meio ambiente. Nesses lugares, a incidência de doenças de veiculação hídrica, principalmente diarreias e gastroenterites, é elevada. (TEIXEIRA E BENETTI, 2011).

A forma de tratamento do esgoto sanitário no Brasil, ainda é predominantemente realizada por sistema de tratamento centralizados, no qual através de extensas redes, os esgotos são coletados e transportados para uma única Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), geralmente de grande porte. No entanto em função da elevada distância entre os pontos de geração e de tratamento dos esgotos, a maior parte dos custos advindos dessa concepção está associada à implantação de redes coletoras, o que por vezes tornar o investimento inacessível em algumas regiões (SANTOS, 2018).

Segundo Pereira (2016), os sistemas de tratamento de esgotos no Brasil ainda possuem tecnologias inadequadas e com pouca eficiência, sobretudo quando é levado em consideração as condições locais meteorológicas e físicas, as limitações de recursos financeiros e de trabalho, e o reconhecimento sociocultural da importância implantação de estações de tratamento de efluentes. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, no ano de 2019, cerca de apenas 54,1% da população total brasileira era atendida por rede coletora de esgoto. Do volume total de esgoto coletado, 78,5% recebeu algum tipo de tratamento (BRASIL, 2020).

Diante desse cenário, é notório a carência de sistemas de tratamento de esgotos no Brasil, de modo que se faz necessário a busca por tecnologias que proporcione melhores eficiências para obtenção de efluentes de qualidade.

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), os sistemas descentralizados de águas residuais são apropriados para comunidades de baixa densidade e diferentes condições do local e são mais econômicas do que sistemas centralizados. Eles podem incluir o uso de convencionais sistemas sépticos, projetos avançados de sistemas no local e cluster, que são sistemas destinados para locais com solo em condições inadequadas para atendimento de um grupo de residências. No entanto, a eficácia da descentralização depende do estabelecimento de um programa de gestão que garanta a inspeção regular e manutenção do sistema. Embora o desenvolvimento sustentável inclua uma ampla gama de critérios, incluindo ambientais, técnicos e fatores socioculturais; economia é de fato o critério mais importante na decisão para a maioria dos países em desenvolvimento. Concepções de sistemas descentralizado estão sendo progressivamente considerada por ser uma forma menos intensiva da necessidade de recursos econômicos e mais ecologicamente sustentável de saneamento (MASSOUD *et al.*, 2009)

Para esse tipo de sistema, é geralmente utilizado combinações entre os processos de tratamento anaeróbio e aeróbio. O tratamento por tecnologias anaeróbias tem a premissa de possuir certa facilidade e o baixo custo operacional, entretanto possui uma desvantagem por não atender, em alguns casos, aos requisitos da legislação ambiental, devido à baixa capacidade de remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos. Todavia, o uso de processos aeróbios no polimento de efluente anaeróbio, demanda uma operação qualificada, além de elevado custo energético. Portanto, a combinação desses tipos processos, tendem a ser uma opção ambiental e operacionalmente viável, de modo que apresente operação simplificada e menor consumo de energia (SANTOS, 2018).

O processo de avaliação e seleção de sistemas centralizados ou descentralizados para o tratamento de esgotos em uma localidade envolve diversos fatores, tais como: a concepção do sistema de tratamento, nível de tratamento exigido, características da população atendida, custos relativos à construção, operação e manutenção dos sistemas, bem como dos custos advindos da reparação e substituição do sistema (MASSOUD *et al.*, 2009).

A escolha da tecnologia desse tipo de sistema de ETE é condicionada apenas ao atendimento dos requisitos para a disposição final do efluente. Isso implica desconsiderar diversos critérios e aspectos para sua implantação. Nesse sentido, o presente trabalho visa apresentar resultados e analisar principais tecnologias de tratamento descentralizados presente no Brasil associados aos aspectos ambiental, econômico e social, como forma de contribuir no processo de decisão.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Identificar as principais tecnologias utilizadas para os sistemas descentralizados de tratamento de esgoto sanitário no Brasil, através de dados levantados na literatura, com a finalidade de contribuir para uma escolha mais apropriada, ponderando sobre os principais aspectos ambientais, econômicos e sociais.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Apresentar os principais critérios a serem levados em consideração para a escolha da tecnologia de tratamento descentralizados de esgotos sanitários;
- Apresentar alternativas de sistemas descentralizados considerando os critérios determinados.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Histórico da implantação das Estações de Tratamento de Esgoto

##### 3.1.1 Histórico mundial

Em 3.750 A.C., já havia a preocupação com os serviços de coleta e disposição do esgoto gerado pelas civilizações habitadas na época, como exemplo, a construção de galerias de esgoto em Nipur, atual Índia, e na Babilônia. Mesmo que de forma individual de uma parcela da população, na Roma Imperial também já se usava ligações diretas das casas até seus locais de disposição final (METCALF e EDDY,2007).

Um aspecto marcante no período da Revolução Industrial, foi a disseminação de doenças de vinculação hídrica que levou a uma crescente taxa de mortalidade. De modo que o surgimento de sistemas de tratamento se deu primeiro na Inglaterra justamente por causa da epidemia da cólera em 1848, com mais de 25.000 mortes.

Seguindo o exemplo da Inglaterra, outros países também começaram a se preocupar com a qualidade do seu efluente tratado. Nos Estados Unidos, em 1887, foi construída a Estação Experimental Lawrence, em Massachusetts. Já em meados de 1914, os pesquisadores Arden e Lockett, iniciaram um novo processo de tratamento biológico, revolucionando as tecnologias já existentes até aquele momento, de modo a utilizar biomassa suspensa, chamado Lodos Ativados. Tal tecnologia era capaz de produzir efluentes claros, límpidos, sem odor e de alta qualidade. Porém, a partir de 1950 houve um grande desenvolvimento tecnológico (aeradores, metodologias de projeto) e de pesquisas (estudos cinéticos de crescimento microbiano, cálculos de dimensionamento) (LINS, 2010).

As primeiras Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) são datadas de 1914 em Salford, Inglaterra, com uma vazão média de 303 m<sup>3</sup>/dia. No ano de 1915 foi também construída a Estação de Tratamento de Esgotos de Davyhulme com vazão média de 378 m<sup>3</sup>/dia (METCALF e EDDY,2007).

##### 3.1.2 Histórico no Brasil

No Brasil, desde 1813 já havia a preocupação de se pensar e planejar a questão do esgotamento sanitário das cidades. Apesar de atualmente o país não buscar sua excelência em tratamento do esgoto bruto, buscou-se a implantação da sua primeira estação de tratamento secundário por filtração biológica, na Ilha de Paquetá, no Rio de Janeiro, após pouco tempo do surgimento desse processo na Inglaterra (JORDÃO, 2015).

Com o crescimento industrial de forma desenfreada e, conseqüentemente, o aumento da população nas áreas urbanas trouxe consigo a diminuição da qualidade da água potável, devido à alta demanda e a poluição de seus mananciais. Desse modo, a implantação de serviços de saneamento se faz necessária até os dias atuais para suprir a necessidade de abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto.

Se tratando dos serviços de tratamento de esgoto, a grande ascensão ocorrida sobre os efluentes industriais ocorreu em meados da década de 80, de modo que as pequenas e médias indústrias começaram a ter acesso as tecnologias já disponíveis nos países desenvolvidos. As empresas começaram a ter suas ETEs instaladas por incentivos dos órgãos ambientais, perante suas fiscalizações e a necessidade de garantir que o empreendimento pudesse produzir sem agredir o meio ambiente. Além disso, com a necessidade de adequação às normas ISO, também houve uma conscientização ecológica (LINS, 2010).

Em países desenvolvidos já é estabelecido de forma clara e eficaz a gestão de efluentes tratados, entretanto não se pode afirmar o mesmo de países em desenvolvimento. Dentre os serviços de saneamento da maioria dos países em desenvolvimento, o sistema de coleta de esgoto ainda se encontra de forma precária. Se tratando do Brasil, o cenário se torna ainda mais agravante quando levado em consideração o seu tratamento, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, no ano de 2019, cerca de apenas 54,1% da população total brasileira era atendida por rede coletora de esgoto. Do volume total de esgoto coletado, 78,5% recebeu algum tipo de tratamento (BRASIL, 2020).

**Tabela 1.** Volume de esgoto tratado das Grandes Regiões do Brasil - 2019

Grandes Regiões	Índice de tratamento dos esgotos (%)	
	Esgoto gerado (%)	Esgoto coletado (%)
<b>Brasil</b>	<b>49,1</b>	<b>78,5</b>
Norte	22	82,8
Nordeste	33,7	82,7
Sudeste	55,5	73,4
Sul	47,0	94,6
Centro-Oeste	56,8	93,2

**Fonte:** (SNIS, 2019).

No Brasil, o nível de tratamento predominante é o secundário (Tabela 2), entretanto sua predominância está associada ao uso da tecnologia das lagoas de estabilização, com alto

potencial de remoção de patógenos (lagoas de maturação) e matéria orgânica (lagoas facultativas), mas de pouca eficiência na eliminação de nutrientes, sais, orgânicos, que, em elevadas concentrações, comprometem a qualidade das culturas e do solo (FERREIRA *et al.*, 2020).

**Tabela 2.** Volume de esgoto tratado por dia, por tipo de tratamento, segundo as Grandes Regiões - 2017

Grandes Regiões	Volume do esgoto tratado por dia (m <sup>3</sup> )				
	Total	Tipo de tratamento			
		Preliminar	Primário	Secundário	Terciário
<b>Brasil</b>	<b>10 983 179</b>	<b>262 665</b>	<b>640 380</b>	<b>7 600 732</b>	<b>2 387 181</b>
Norte	163 261	11 324	9 982	59 076	82 879
Nordeste	1 500 585	159 475	109 801	501 466	675 649
Sudeste	6 647 151	78 219	347 093	5 306 218	881 470
Sul	1 623 678	3 313	34 031	1 239 313	343 146
Centro-Oeste	1 048 504	10 334	139 473	494 659	404 037
Mato Grosso do Sul	151 667	...	1 536	145 897	4 234

Fonte: IBGE, 2017.

### 3.2 Processos de Tratamento de Esgotos

Os sistemas tratamento de esgoto podem realizar processos físicos, químicos ou biológicos de modo a garantir sua disposição final de forma segura. Para a remoção de contaminantes através de reações biológicas ou químicas estes métodos de tratamento são denominados como processos unitários. A Tabela 3 apresenta os principais níveis de tratamento, assim como sua finalidade e as convencionais tecnologias utilizadas no seu tratamento (METCALF e EDDY, 2007).

**Tabela 3 -** Processos de tratamento de água residuária: exemplos de tecnologias de interesse.

Nível de tratamento	Finalidade	Tecnologia de tratamento
Preliminar	Remoção de constituintes de águas residuais, como panos, paus, flutuadores, areia e graxa que podem causar problemas operacionais ou de manutenção nas operações de tratamento, processos e sistemas auxiliares.	Gradeamento; peneiramento; decantação; remoção de gorduras
Primário	Remoção de uma porção dos sólidos em suspensão e da matéria orgânica das águas residuais.	Peneiramento; decantação

Secundário	Tratamento biológico e remoção de matéria orgânica biodegradável (em solução ou suspensão) e sólidos suspensos.	Percolação ou filtro biológico percolador, lodos ativados, Tratamento anaeróbio, lagoa de estabilização/oxidação.
Terciário ou avançado	Remoção dos sólidos residuais em suspensão e poluentes específicos, tais como nitrogênio ou fósforo, cor, odor, etc. A desinfecção e a remoção de nutrientes são frequentemente incluídas.	Filtro de areia; biorreator com membrana; osmose reversa; tratamento de ozônio; coagulação química; carvão ativado.

**Fonte:** Adaptado de (METCALF e EDDY, 2007).

Para a determinação do tipo de tratamento deve-se considerar as características dos esgotos aos usos em que a água foi submetida, variando com o clima, com a situação social e econômica, com a cultura e com os hábitos da população. Para traduzir o caráter ou potencial poluidor dos esgotos, são utilizados parâmetros físicos, químicos e biológicos (NUCASE, 2008).

As estimativas de eficiência do tipo de tratamento podem ser observadas na Tabela 4 abaixo.

**Tabela 4.** Estimativas de eficiências esperada nos diversos níveis de tratamento.

Tipo de Tratamento	Matéria Orgânica (% remoção de DBO)	Sólido em suspensão (% remoção SS)	Nutrientes (% remoção)	Bactérias (% remoção)
Preliminar	5-10	5-20	Não remove	10-20
Primária	25-50	40-70	Não remove	25-75
Secundário	80-95	65-95	Pode remover	70-99
Terciário	40-99	80-99	Até 99	Até 99,999

**Fonte:** (NUCASE, 2008).

- **Tratamento Preliminar**

O tratamento preliminar é uma etapa de grande importância em qualquer sistema de tratamento de esgotos, sendo responsável pela retenção de materiais de maiores dimensões, sólidos em suspensão mais grosseiros, dentre outros elementos que poderiam comprometer a eficiência esperada para o tratamento caso adentrassem no sistema. Suas principais unidades são:

- Grades ou peneiras;
- Caixas de areia ou desarenadores;

- **Tratamento Primário e Secundário**

Os Tratamentos Primários e Secundários possuem finalidades semelhantes no tratamento de esgoto. São essas etapas que ocorre a remoção da matéria orgânica, de modo que o tratamento primário se caracteriza por uma remoção através do processo físico-químico, já o tratamento secundário ele complementa a eficiência de remoção da matéria orgânica ainda presente, através de um tratamento biológico com tecnologias apresentadas abaixo (SPERLING, 2005).

O tratamento biológico pode ser subdividido em dois grandes grupos: processos aeróbios e anaeróbios. Nos processos anaeróbios é muito usada a tecnologia de reatores UASB, que apresenta vantagens como a possibilidade de aplicação de altas cargas orgânicas volumétricas, o menor volume de trabalho, a não necessidade de sistema de agitação ou tanque de sedimentação e a operação contínua (LETTINGA *et al.*, 1980). Para os processos aeróbios, um sistema muito utilizado é o de lodos ativados, que consiste em um reator com lodo floculado, com uma população mista de micro-organismos que está em contato constante com a água residuária e oxigênio (MONTROYA, 2015).

Esses sistemas são adquiridos para atender vazões menores, com aplicações em indústrias, hospitais, condomínios e pequenas comunidades.

No Brasil, o nível de tratamento predominante é o secundário (Tabela 5), entretanto sua predominância está associada ao uso da tecnologia das lagoas de estabilização, com alto potencial de remoção de patógenos (lagoas de maturação) e matéria orgânica (lagoas facultativas), mas de pouca eficiência na eliminação de nutrientes, sais, orgânicos, que, em elevadas concentrações, comprometem a qualidade das culturas e do solo (Ferreira *et al.*, 2020).

**Tabela 5.** Volume de esgoto tratado por dia, por tipo de tratamento, segundo as Grandes Regiões - 2017

Grandes Regiões	Volume do esgoto tratado por dia (m <sup>3</sup> )				
	Total	Tipo de tratamento			
		Preliminar	Primário	Secundário	Terciário
<b>Brasil</b>	<b>10 983 179</b>	<b>262 665</b>	<b>640 380</b>	<b>7 600 732</b>	<b>2 387 181</b>
Norte	163 261	11 324	9 982	59 076	82 879
Nordeste	1 500 585	159 475	109 801	501 466	675 649
Sudeste	6 647 151	78 219	347 093	5 306 218	881 470
Sul	1 623 678	3 313	34 031	1 239 313	343 146
Centro-Oeste	1 048 504	10 334	139 473	494 659	404 037
Mato Grosso do Sul	151 667	...	1 536	145 897	4 234

**Fonte:** (IBGE, 2017).

Os sistemas de tratamento de esgotos mais utilizados no Brasil e no Nordeste estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 -** Tipos de sistemas de tratamento utilizados no Nordeste e no Brasil.

Sistema	Nordeste		Brasil	
	Unid.	%	Unid.	%
<b>Total geral de municípios</b>	1793	100	5564	100
<b>Filtro biológico</b>	67	3,7	317	5,7
<b>Lodo ativado</b>	20	1,1	188	3,4
<b>Reator anaeróbio</b>	84	4,7	565	10,2
<b>Valo de oxidação</b>	4	0,2	27	0,5
<b>Lagoa anaeróbia</b>	68	3,8	431	7,8
<b>Lagoa aeróbia</b>	29	1,6	131	2,4
<b>Lagoa aerada</b>	26	1,5	93	1,7
<b>Lagoa facultativa</b>	130	7,3	672	12,1
<b>Lagoa mista</b>	25	1,4	65	1,2
<b>Lagoa de maturação</b>	90	5,0	238	4,3
<b>Wetland/aplicação no solo, plantas aquáticas</b>	5	0,3	20	0,4
<b>Fossa séptica</b>	33	1,8	109	2
<b>Outros sistemas</b>	43	2,4	129	2,3
<b>Total</b>	308	17,2	1513	27,2

**Fonte:** (IBGE, 2017).

- **Tratamento Terciário**

Tratamento terciário utiliza-se de produtos químicos para a remoção de organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescente. Os principais processos utilizados são: desinfecção, adsorção por carvão ativado, processo oxidativo avançado.

Também denominado tanque de contato, funciona como tratamento terciário, tendo como intuito promover a remoção dos microrganismos presentes no efluente clarificado nas etapas anteriores. O processo de desinfecção é realizado a partir da ação oxidante do cloro, sendo este utilizado na forma líquida de hipoclorito de sódio. Muito mais do que ser um ponto de dosagem de cloro, o tanque de contato tem a função de homogeneizar a ação do cloro no esgoto tratado.

### **3.3 Sistema Descentralizado de Tratamento de Esgoto**

A necessidade de se estabelecer uma abordagem descentralizada com relação à concepção dos sistemas de esgoto já vem sendo observada há algum tempo no mundo como estratégia para melhorar os índices relativos à prestação do serviço de esgotamento sanitário e, assim, ter soluções intermediárias e complementares capazes de garantir uma maior sustentabilidade sanitária e ambiental das áreas urbanas desprovidas desse serviço (SANTOS, *et al.*, 2019). O princípio do tratamento *in situ* é um dos pilares para a escolha destes sistemas, sua concepção se sustenta na necessidade de que, para um potencial reúso, a coleta, tratamento e a disposição final devem ocorrer próximo a sua geração. (QUEIROZ *et al.*, 2019).

Segundo Larsen *et al.*, pode-se definir os sistemas de tratamento de esgoto descentralizados como:

“[...] como sistemas autônomos utilizados para tratamento de pequenas vazões, tais como, residências, condomínios, construções isoladas e pequenas comunidades, nas quais, os resíduos podem ser processados no local ou tratados em outras unidades. O esgoto é coletado, tratado e descartado (ou reutilizado) próximo ao local da geração.”

Segundo Libralato *et al.* (2012), a descentralização no tratamento de águas residuais pode consistir em vários sistemas descentralizados: de sistema individual no local, para uma série de clusters maiores ou plantas semicentralizadas, indo para uma gama de várias alternativas potenciais que são resumidos em:

- Centralizado - Composto por um sistema de esgoto coletando águas residuais que é transportado para uma estação de tratamento de águas residuais geralmente localizado fora dos limites da cidade
- Satélites – ETE descentralizadas para disposição dos sólidos provenientes do esgoto tratado em ETE centralizadas.
- Grande Bloco – ETE para tratamento de efluente individuais, por exemplo, instalações comerciais, institucionais e industriais, em quem podem ser gerenciados com sistemas de reúso completos.
- Cluster – ETE destinada geralmente para áreas populosas ou solo com condições inadequadas, atendendo entre 4 a 12 casas para seu tratamento de esgoto.
- Individual ou on-site – ETE composta geralmente por tanque séptico, são utilizadas predominantemente em residências unifamiliares.

No Brasil, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 377 de 2006, em seu artigo 2º define-se o licenciamento simplificado de esgoto sanitário, conforme seu porte:

- I. Para unidades de pequeno porte, são projetadas para atender uma vazão menor ou igual a 50 L/s ou com capacidade para atendimento de até 30.000 habitantes, a critério do órgão ambiental competente (BRASIL, 2006); e
- II. Para unidades de médio porte, deve contemplar a vazão nominal de projeto maior que 50 L/s e menor ou igual a 400 L/s ou com capacidade para atendimento superior a 30.000 e inferior a 250.000 habitantes, a critério do órgão ambiental competente

As pequenas estações de tratamento desempenham papel importante na gestão da qualidade da água dos mananciais. Na verdade, já se pode observar que em alguns países, as pequenas fábricas já possuem uma qualidade em seu tratamento, diferenciando um volume maior de águas residuais tratadas do que as centralizadas existentes.

Na Itália, por razões morfológicas, 73% das ETEs existentes são descentralizadas. Além disso, Veneza por ser uma cidade construída ao redor de cerca de 119 ilhas inseridas em uma lagoa com uma extensão de 540 km<sup>2</sup> com uma profundidade de 0,5m, não possui um sistema central de coleta e tratamento de esgoto. Entretanto, a região possui um grande número de sistemas de tratamentos descentralizados – 4.493 de ETEs descentralizadas locais. Sua instalação, sustentada por políticos e legisladores, vem reduzindo a carga total de contaminação



inorgânica e orgânica, melhorando a saúde e a qualidade ambiental da lagoa de Veneza (LIBRALATO *et al.*, 2012).

Outro exemplo se aplica aos EUA, em que 25% da sua população é servida por pequenas ETEs descentralizadas. Localizadas principalmente em locais onde não há esgotamento sanitário por questões de inviabilidade econômica ou nas áreas rurais (UNEP, 2002).

Já o Japão está na vanguarda dos processos de descentralização, onde Kimura *et al.* (2007) relatou a presença de 2.500 sistemas descentralizados, principalmente dedicadas ao tratamento e reutilização de águas residuais em grandes blocos de edifícios comerciais e residenciais. Tem sido estimado que os sistemas descentralizados são instalados por 26% da população de escritórios, 13% dos edifícios privados e outros 15% nas escolas, hospitais e centros esportivos (LIBRALATO *et al.*, 2012).

Desse modo, a descentralização representa uma abordagem mais holística, que considera os benefícios da redução da quantidade de resíduos na fonte e a possibilidade de maximizar o reúso de água no local. Além disso, sistemas descentralizados são concebidos principalmente em função da necessidade de tratamento e, por estarem perto da fonte, possuem uma infraestrutura de coleta e transporte bastante reduzida. Dentre os três componentes básicos de qualquer sistema de esgotos: a coleta, o tratamento e a disposição, a coleta é responsável por mais de 60 % do orçamento total, particularmente em pequenas comunidades com pequena densidade populacional (MASSOUD *et al.*, 2009).

Esses sistemas possuem inúmeros benefícios, dentre os quais se destacam (LIBRALATO *et al.*, 2012).

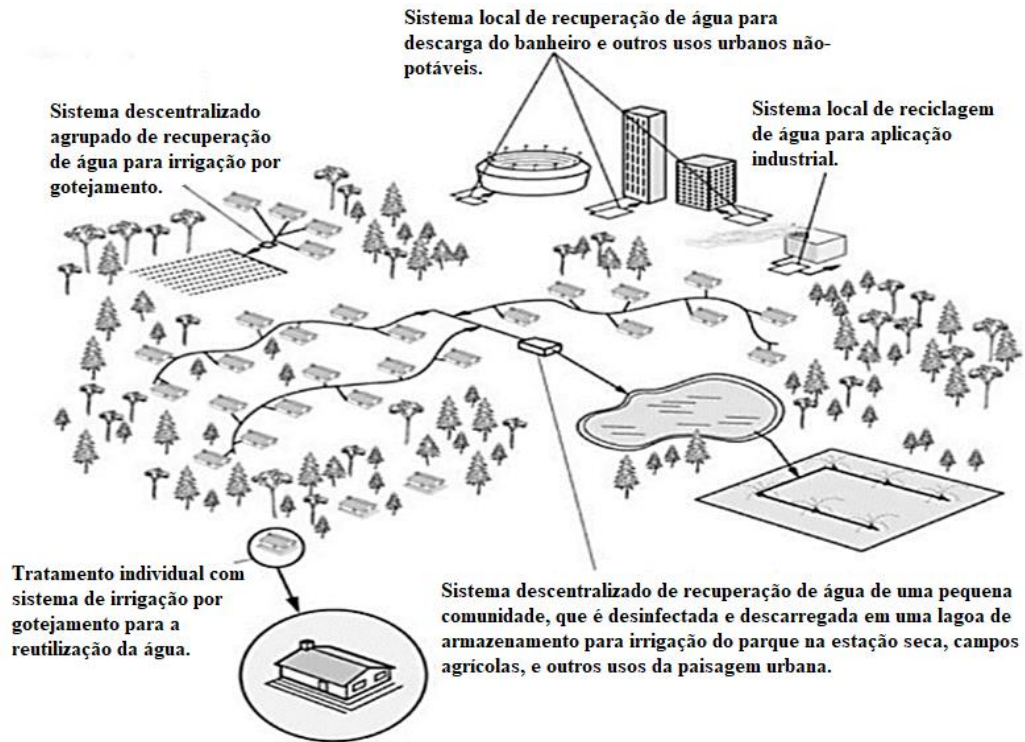
- Pode responder a áreas suburbanas e centros rurais, industriais, desenvolvimento de áreas comerciais e residenciais, bem como ao crescimento populacional em áreas rurais e países em desenvolvimento;
- Minimiza os impactos da qualidade das águas superficiais;
- Contribui para a reutilização de efluentes tratados;
- Diminui o aparecimento de possíveis inconvenientes relacionados às descargas em grande volume, através da substituição de tubulações com diâmetros menores e comprimentos mais curtos quando comparado com os sistemas centralizados;
- Se adequa ao nível do esgoto, podendo apresentar sistemas individuais até comunitário;

- Pequenas ETEs podem ser facilmente controladas remotamente facilitando sua gestão;
- É possível reduzir os eventos de eutrofização;
- É possível reduzir consideravelmente o risco de saúde para a população, também evitando eventos catastróficos
- Pequenas ETEs são geralmente compactas, com alta flexibilidade condições operacionais e impacto estético reduzido.

Existem muitas variáveis que podem influenciar a decisão da implantação de sistemas descentralizados, como o crescimento populacional em áreas rurais e países em desenvolvimento, a diminuição da qualidade das águas superficiais, construção de grandes blocos de edifícios em áreas metropolitanas, locais com topografia mais acidentadas, o desenvolvimento planejado de comunidades isoladas, a crescente escassez de recursos hídricos também como a atenção dada à recuperação e reutilização da água (LIBRALATO *et al.*, 2012 )

Para complementar, o conceito de descentralização proporciona maior flexibilidade na escolha e localização dos tipos de instalações para o tratamento de águas urbanas. Assim, o risco é compartilhado entre os diversos sistemas tornando a infraestrutura descentralizada mais confiável e menos suscetível a falhas e mais resistente às alterações climáticas. De fato, os sistemas descentralizados podem oferecer uma opção sustentável em longo prazo para garantir a saúde pública e os objetivos de qualidade da água, conforme ilustra a Figura 1 (SUBTIL *et al.*, 2016).

**Figura 1** - Definição de sistemas descentralizados de coleta, tratamento e reutilização de esgoto.

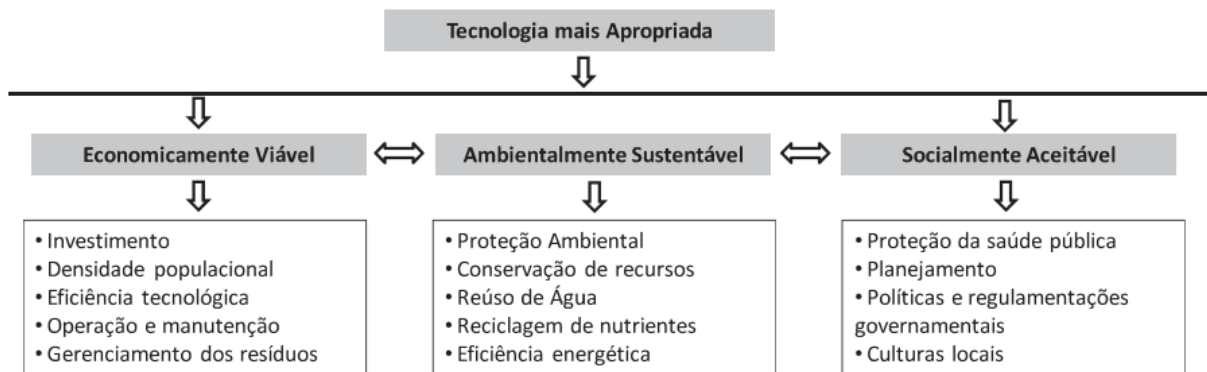


Fonte: (METCALF e EDDY, 2007).

### 3.4 Tecnologias no tratamento descentralizados de esgotos sanitários

O grande desafio para a elaboração do projeto de sistemas descentralizados está associado a escolha da tecnologia mais apropriada para tratamento, de tal maneira que agregue ao fato de reduzir possíveis problemas futuros. Deve-se levar em consideração principalmente os aspectos da acessibilidade e adequação do local para sua tomada de decisão. Ambas estão associadas as questões econômicas e socioambientais, respectivamente. Dessa forma, a tecnologia que consiga atender os aspectos da economia viável, do ambiente sustentável e do meio social aceitável de fato será a melhor escolha, conforme ilustra a Figura 2 (MASSOUD *et al.*, 2009).

Para um sistema ser ambientalmente sustentável, deve garantir a proteção da qualidade ambiental, a conservação de recursos, e a reutilização de água. Compreender o ambiente receptor é crucial para a seleção de tecnologia e deve ser realizado por conduzindo um processo abrangente de avaliação do local. Essa avaliação determina a capacidade de carga do ambiente receptor.

**Figura 2.** Principais fatores para a seleção das tecnologias de tratamento

**Fonte:** Adaptado de (MASSOUD, TARHINI E NARS, 2009).

Portanto, a seleção da tecnologia do sistema de tratamento descentralizado, além de atender os aspectos supracitados também é necessário prover do nível de eficiência para a alta variação da vazão e das concentrações do esgoto. Em geral, as tecnologias usadas para sistemas descentralizados devem ser aptas para operar por períodos prolongados de tempo, com baixa manutenção, simplicidade operacional e com capacidade adequada para absorver as oscilações de vazão e qualidade do efluente. Na Tabela 7 abaixo é apresentada a classificação das tecnologias de tratamento em função dos constituintes removidos em cada uma delas (SUBTIL *et al.*, 2017).

**Tabela 7.** Classificação das tecnologias de tratamento

CLASSIFICAÇÃO	EFICIÊNCIA	TECNOLOGIA
<b>TRATAMENTO PRELIMINAR</b>	Remoção de Sólidos grosseiros Remoção de óleos e graxas Remoção de areia	Separador sólido-líquido Separador de óleo Filtro para remoção de constituinte específico
<b>TRATAMENTO PRIMÁRIO</b>	Remoção de sólidos em suspensão	Fossa Séptica Tanque Imhoff
<b>TRATAMENTO SECUNDÁRIO</b>	Remoção de matéria orgânica dissolvida	Filtro Biológico Percolador Wetlands Reator Anaeróbio Sistema Combinado Anaeróbio – Aeróbio Reator em batelada de crescimento suspenso Sistemas de crescimento híbrido
<b>TRATAMENTO TERCIÁRIO</b>	Remoção de nutrientes	Biorreator com membranas Osmose reversa

Remoção de organismos patogênicos	Coagulação e Sedimentação, Flotação ou Filtração
Remoção de contaminantes específicos (metais, sólidos dissolvidos, etc.)	Adsorção em Carvão Ativado Desinfecção (hipoclorito de sódio, UV)

**Fonte:** Adaptado de (SUBTIL, SANCHEZ E CAVALHERO, 2017).

### 3.5 Experiências do uso de tecnologias descentralizados

Embora com o baixo número de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, a alternativa de descentralização ainda é algo que precisa de incentivos para seu desenvolvimento e aplicação em diversos países, principalmente no Brasil. Entretanto, existem algumas práticas que vêm sendo desenvolvidas considerando as condições ambientais e culturais da região

Na Zona Oeste da Região Metropolitana de São Paulo, no Loteamento Residencial Valville I, localizado no município de Santana do Parnaíba, foi proposto um sistema de constituído por: tratamento preliminar; tratamento secundário (Tanque tipo RAFA, Tanque Anóxico, dois Filtros Biológicos Aeróbios de Alta Taxa e Decantador) e Tratamento Terciário (Desinfecção com lâmpadas luz ultravioleta – UV) devido o córrego Jaguary ser o único corpo d’água presente na região e apresentar algumas restrições de qualidade e volume dos efluentes a serem lançados no córrego afluente. Apresentando, assim, com sua rede independente para reúso uma economia de 50% no consumo das residências. (SOUSA, 2008).

Na cidade de Manaus também foi realizado um estudo analisando a eficiência de uma Estação de Tratamento de Esgoto Descentralizada. Segundo Teixeira et al. (2017), a ETE Allego Residencial, localizada em um condomínio na Av. Torquato Tapajós, Zona Norte da cidade, é constituída por uma tecnologia de tratamento composta por um Reatores Anaeróbios de Fluxo ascendente seguida de um pós-tratamento através dos Lodos ativados. Como resultado sobre a eficiência, mostrou-se satisfatório sobretudo a remoção de DBO que foi em torno de 87,40%. No tocante a qualidade do efluente final o qual é lançado para os corpos hídricos receptores obteve todos os parâmetros abaixo do limite.

Através do projeto de pesquisa: “Avaliação de filtros plantados com macrófitas (wetlands construídos) na promoção do tratamento descentralizado de esgotos”, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, o Grupo de Estudo em Saneamento Descentralizada – GESAD realizou uma pesquisa em duas ETES descentralizadas na região metropolitana de Florianópolis. O sistema de tratamento compreende

a um tratamento primário, constituído por um decanto-digestor, seguido por um pós tratamento por meio de Wetland Construída de Fluxo Vertical (WCFV) instalado em uma empresa de embalagens e um condomínio residencial nas cidades de Biguaçu e Palhoça, respectivamente. Obtendo como resultado, eficiências de remoção da matéria orgânica, em torno de 85% para ETE de Biguaçu e de 94% para ETE de Palhoça.

### **3.6. Métodos de Apoio Multicritério à Decisão**

A utilização de modelos e técnicas de apoio à tomada de decisão permite que as organizações testem os resultados de suas decisões antes mesmo de colocá-las em prática, podendo maximizar benefícios e minimizar possíveis impactos negativos decorrentes de decisões não planejadas (GOFFI, 2017).

Segundo Gomes e Gomes (2012), a AMD têm sido cada vez mais utilizada na busca de soluções para problemas complexos, os quais geralmente apresentam pelo menos algumas das características a seguir: critérios de resolução do problema são no mínimo dois e conflitam entre si; a solução do problema depende de um conjunto de pessoas com pontos de vista diferentes e conflitantes; restrições do problema não são bem definidas a respeito do que é critério e o que é restrição; alguns critérios são quantificáveis e outros só são por meio de julgamento de valor efetuados sobre uma escala; as escalas dos critérios se apresentam de formas diferentes, dependendo dos dados disponíveis e da natureza dos critérios; e critérios e alternativas de solução não são claramente definidas.

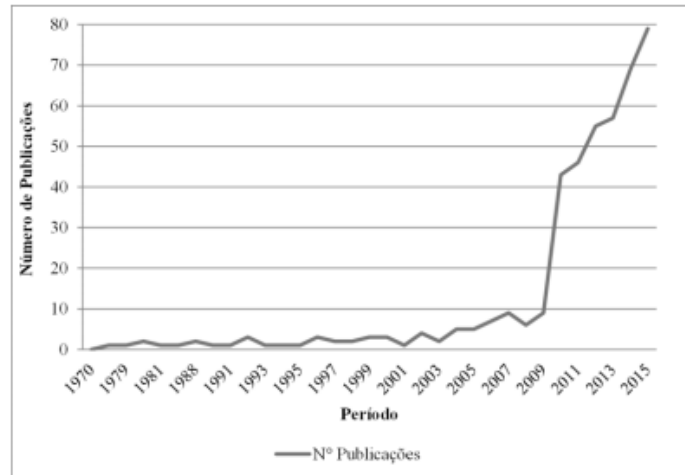
Muitas abordagens MCDM foram desenvolvidas para ajudar tomadores de decisão em diferentes ambientes. Dentre os métodos mais utilizadas na base bibliográfica decorrente do estudo proposto, destacam-se:

- Método de Análise Hierárquica (AHP, *Analytic Hierarchy Process*);
- ELECTRE (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*);
- PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*);
- TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*);
- MAUT (*Multiple Attribute Utility Theory*).

Goffi (2017) apresentou em seu trabalho realizado um levantamento da distribuição de 306 trabalhos relacionados a ferramenta MCDM aplicada ao saneamento, durante o período de 1970 a 2015, obtidos pela análise sistemática da literatura. Como resultado foi possível

identificar uma curva crescente a partir de 2005, destacando-se um expressivo aumento na taxa de crescimento marginal a partir de 2013, no qual mais de 80% dos artigos foram publicados.

**Figura 3.** Distribuição de 306 trabalhos relacionados a ferramenta MCM aplicada ao saneamento.

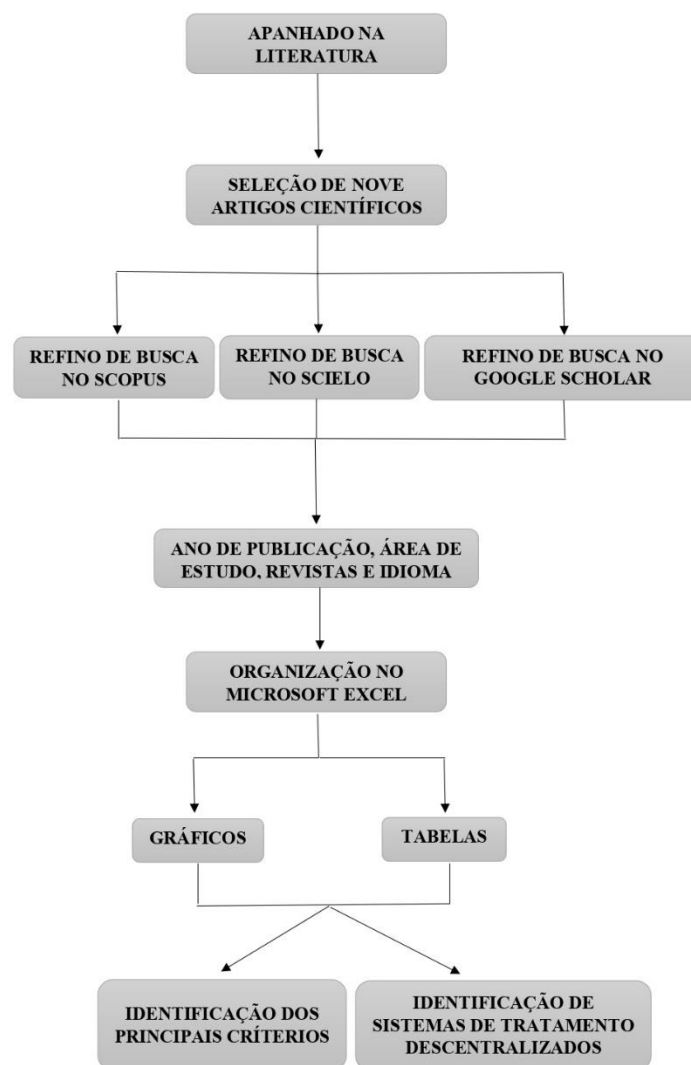


**Fonte:** (GOFFI, 2017).

#### 4 METODOLOGIA

A elaboração do presente estudo decorreu da demanda por sistemas de tratamento de esgotos domésticos em locais que não possuem uma rede de coleta e tratamento de esgoto, que sofrem com a escassez hídrica, embarcações ou comunidades rurais. A metodologia aplicada ao trabalho se baseia em uma revisão de leitura sistematizada com base na literatura técnica, nacional e internacional de livros, revistas, teses e dissertações, assim como normas e diretrizes a respeito do assunto proposto.

**Figura 4.** Descrição da metodologia utilizada.



**Fonte:** Autor, 2021.



#### **4.1 Critérios e aspectos de projetos para os processos de tratamento descentralizados no Brasil**

A base metodológica para a execução dessa etapa ocorreu por meio de um levantamento bibliográfico s bases de busca de periódicos técnico-científicos Scielo, Scopus e Google Scholar. As palavras-chaves utilizadas na busca foram “Tecnologia tratamento esgoto”, “Multicritérios”, “Critérios projeto”, “Esgoto sanitário”, “*Decentralized wastewater*”, “*Methodology*”, “*Wastewater treatment*” e “*Multi-criteria*”. De modo que as palavras-chaves foram pesquisadas de maneira combinada entre elas, considerando sempre o mesmo idioma na sua pesquisa, utilizando a ferramenta “E” ou “OU”. Dessa forma, os artigos selecionados eram relacionados a métodos de apoio à tomada de decisão para o uso de tecnologias para sistemas descentralizados levando em consideração as condições ambientais, sociais e financeiras.

A busca aplicada contemplou a elaboração de uma planilha de uma biblioteca com os principais modelos aplicados para análise de multicritérios para seleção de tecnologias descentralizadas, desenvolvida com o auxílio do software MS-Excel®. A escolha do MS-Excel® se deve, principalmente, ao fato de este software ser amplamente disseminado, o qual foi utilizado para a definição das funções matemáticas.

A presente pesquisa restringiu-se ao período de interesse entre 2004 até a 2021, por atender a uma literatura mais atualizada a respeito do assunto proposto. Tendo como base de dados 143 artigos, foi então realizado o reconhecimento científico. Nesta fase, foram selecionados os artigos com maior reconhecimento científico, 47 através do levantamento do número de citações e sua relevância, de acordo com o Google Acadêmico, Scielo e Scopus, a pesquisa realizada entre os dias 10 e 20 de abril de 2021.

Portanto, ao final de toda leitura aprofundada, 47 artigos foram identificados com temas alinhado aos interesses da pesquisa. Entretanto, apenas 9 destes apresentam aplicações diretas de métodos multicritérios para seleção da tecnologia de tratamento de efluentes sanitários.

#### **4.2 Levantamento das tecnologias de ETEs descentralizadas no Brasil**

Esta etapa teve o intuito de verificar com base na metodologia de levantamento bibliográfico a representatividade das alternativas tecnológicas levantadas no setor de saneamento brasileiro, a premissa partiu dos dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017) e artigos e dissertações relacionados ao assunto sobre

as ETEs descentralizadas em operação no país. Somado a esta etapa está a caracterização desses sistemas e as análises comparativas entre elas.

A seleção realizada baseou-se na existência, em seus conteúdos, de informações referentes às definições e características de tais sistemas, bem como de vantagens e desvantagens associadas ao uso de cada um deles. Dessa forma, através do apanhado geral da literatura foi possível a elaboração de gráficos e tabelas utilizando o software Excel, a respeito das principais alternativas tecnológicas para o tratamento descentralizado de esgotos no Brasil, levando em consideração as eficiências para os critérios adotados.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Metodologia utilizada pelos autores**

A escolha da metodologia de multicritérios para a determinação dos principais critérios relacionados as tecnologias descentralizadas de tratamento de esgoto sanitário se devem ao fato de que para a determinação de um sistema de tratamento é necessário levar em consideração uma série de variáveis e incertezas, sendo estas de elevada complexidade. Estudos de modelos tem objetivado auxiliar no processo de tomada de decisão, permitindo maior confiabilidade na escolha do sistema e gerenciamento de recursos, sejam eles, econômicos, sociais ou ambientais.

A análise multicritério mostrou-se bastante indicada para o estudo proposto, pois após a leitura das referências escolhidas foi perceptível a eficiência da ferramenta como avaliação de performance de unidades de tratamento de esgoto sanitários, além de alcançar a viabilidade econômica, ambiental e social e seus subgrupos. Por isso, a busca por métodos para tomar uma decisão ideal nunca foi abandonada por acadêmicos e praticantes.

Para Schroeder (2020) o método de decisão multicritério (MCDM) possuem dois eixos de suma importância para tomada de decisão, sendo um caráter científico e, ao mesmo tempo, subjetivo. Esses eixos trazem consigo a capacidade de agregar todas as características consideradas importantes, inclusive as não quantitativas, com a finalidade de possibilitar a transparência e a sistematização do processo referente aos problemas de tomada de decisões.

Com base na revisão sistematizada da literatura, a Tabela 8 apresenta os trabalhos selecionados com aplicações específicas da metodologia proposta nesta etapa, ou seja, o uso da metodologia de decisão multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento. Dessa forma, foi possível identificar o modelo/método aplicado, bem como os objetivos determinado pelos autores.

**Tabela 8.** Referências para critérios de tomada de decisão aplicados ao saneamento.

Trabalho	Título	Método aplicado	Objetivo
Campos (2011)	Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento	PROMETHEE II e ELECTRE IV	Foi propor um modelo multicritério de decisão para apoiar decisões de hierarquia de projetos de abastecimento de água e esgotamento sanitário.
Pereira e Souza (2020)	Análise comparativa das alternativas para tratamento de esgotos de residências unifamiliares	ELECTRE III e TOPSIS	Analisar, comparativamente, a aplicabilidade dos principais processos para tratamento de esgotos sanitários provenientes de unidades residenciais unifamiliares, no Brasil, e as condições em que esses processos seriam recomendados através da aplicação do MCDM, considerando também a utilização da tecnologia MBR para tratamento.
Coury (2020)	Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto em assentamentos precários urbanos: proposta de um modelo multicritério de apoio à decisão	AHP e MAUT	Desenvolver um modelo para auxiliar a seleção de tecnologias descentralizadas de tratamento de esgotos em assentamentos precários urbanos, utilizando métodos multicritérios MCDM considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.
Kalbar <i>et al.</i> (2012)	Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach	TOPSIS	Desenvolver uma metodologia baseada em cenários de atribuição de múltiplos atributos (MADM) e aplicado à seleção de alternativas de tratamento de águas residuais.
Goffi (2017)	Uso da análise multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes	PROMETHEE II	Desenvolver um modelo para auxiliar na seleção de tecnologias para tratamento de esgoto doméstico no Brasil, por meio da ordenação de alternativas, considerando os aspectos sociais, ambientais, técnicos e econômicos.

Schroeder (2020)	Avaliação de tecnologias normatizadas e wetlands construídos empregados no tratamento descentralizado de esgoto por meio de análise multicriterial	AHP	Empregar uma análise multicriterial para avaliar os aspectos sociais, ambientais e social, na tomada de decisão para tecnologias normatizadas e wetlands como alternativas ao tratamento descentralizado.
Kalbar <i>et al.</i> (2013)	The influence of expert opinions on the selection of wastewater treatment alternatives: A group decision making approach	AHP	Apresentar uma nova abordagem para incorporar opiniões de especialistas no processo de tomada de decisão baseada em cenários, uma vez que os pareceres de especialistas desempenham um papel importante na seleção de tecnologias de tratamento.
Molinos <i>et al.</i> (2014)	Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach	AHP	Propôs uma metodologia inovadora para avaliar a sustentabilidade dos sistemas de ETEs com base no desenvolvimento de um modelo abrangendo os aspectos econômicos, ambientais e sociais.
Lizot <i>et al.</i> (2020)	Multi-criteria methodology for selection of wastewater treatment systems with economic, social, technical and environmental aspects	AHP E ELECTRE II	Estruturar uma metodologia para a seleção de ETE descentralizadas, selecionando os critérios relevantes. Esta estrutura é baseada na metodologia MCDA combinando os métodos, (AHP) e ELECTRE II.

**Fonte:** Autor, 2021.

Dentre os trabalhos levantados, os autores Coury (2020), Kalbar *et al.* (2014), Lizot *et al.* (2020), Schroeder (2020) e Molinos *et al.* (2014) buscaram a mesma linha de trabalho utilizando como método de tomada de decisão o modelo AHP. Para Schroeder (2020) a escolha desse modelo se deve a sua ampla aplicação em problemas de tomada de decisão, visto ser uns primeiros métodos e um dos mais utilizados no mundo, e pelo motivo de considerar simultaneamente dados reais e escolhas subjetivas para a avaliação. Já para Molinos *et al.* (2014) a importância desse método está associada ao fato de poder atribuir pesos a cada critério, permitindo determinar as preferências dos especialistas e garantir sua confiabilidade na escolha.

Já os autores Campos (2011), Golffi (2017), Kalbar *et al.* (2012), Lizot *et al.* (2020) e Pereira e Souza (2020), possuem ao menos um método MCDM similar em seus trabalhos, seja PROMETHEE, ELECTRE ou TOPSIS. Segundo Campos (2011) a utilização de métodos da família ELECTRE fundamenta-se no conceito de concordância para mensurar a vantagem de uma alternativa sobre as demais, sendo bem aceitos na solução de problemas complexos. Ainda Campos (2011) aponta que o método PROMETHEE é uma ramificação da família ELECTRE, entretanto o PROMETHEE demonstra maior resistência para variações nos parâmetros, estabelecendo maior solidez nos resultados. Para o método TOPSIS, Kalbar *et al.* (2012) aplica esse modelo pelo fato de que TOPSIS é um utilitário baseado em abordagem compensatória para MCDM. Este método usa uma abordagem baseada para quantificar e comparar as preferências das alternativas sobre o conjunto de atributos. Algoritmo matemático lógico-ritmo usado pelo TOPSIS resulta em uma classificação direta que pode ser representado graficamente.

A Tabela 9 apresenta as principais considerações para a utilização de cada método proposto por cada autor selecionado para o presente estudo.

**Tabela 9.** Principais considerações para os métodos utilizados.

Trabalho	Método aplicado	Objetivo
Campos (2011)	PROMETHEE II e ELECTRE IV	Os modelos propiciam uma análise bem detalhada sobre as potencialidades das alternativas, estruturando o processo de decisão no saneamento. PROMETHEE II manifestou-se como compreensível aos tomadores de decisão. O ELECTRE IV mostrou-se bastante eficiente no tratamento de informações imprecisas.
Pereira e Souza (2020)	ELECTRE III e TOPSIS	A metodologia de análise desenvolvida pode ser utilizada para incluir maiores detalhamentos e aprimoramentos para o caso proposto, ou mesmo para o saneamento em geral (sistemas de esgotos descentralizados plurifamiliares, ou sistemas de esgotos prediais com segregação, por exemplo). Outras dimensões, outros critérios de análise e outra problemática decisória podem ser inseridos.
Coury (2020)	AHP e MAUT	Modelo proposto conseguiu diminuir o grau de subjetividade atrelado às metodologias de apoio a tomada de decisão, atribuindo as importâncias (pesos) dos critérios par a par com a metodologia da AHP. Dessa forma, contribui para a indicação da tecnologia descentralizada mais sustentável nos aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos, de acordo com os pesos atribuídos pelos especialistas, para um assentamento precário em meio urbano.
Kalbar <i>et al.</i> (2012)	TOPSIS	TOPSIS demonstrou-se bastante eficiente na resolução deste tipo de problema de tomada de decisão ambiental, sendo altamente eficiente na identificação da melhor alternativa para cada um dos cenários.
Goffi (2017)	PROMETHEE II	Método PROMETHEE II é preferido quando os pesos de critérios são definidos e a ordenação de desempenho das alternativas é requerida, portanto este foi utilizado para a ordenação final das tecnologias
Schroeder (2020)	AHP	O AHP é uma das ferramentas válida para selecionar a melhor alternativa, considerando múltiplos fatores, bem como agregando a opinião de todos os envolvidos na tomada de decisão.

Kalbar <i>et al.</i> (2013)	AHP	O AHP foi eficientemente aplicado para reconciliar atributos qualitativos múltiplos, onde os julgamentos de especialistas foram quantificados utilizando matrizes de comparação de pares com base na escala de Saaty.
Molinos <i>et al.</i> (2014)	AHP	A aplicação do AHP para atribuir pesos a cada indicador permite a incorporação das preferências dos especialistas e garantiu a confiabilidade da análise comparativa.
Lizot <i>et al.</i> (2020)	AHP E ELECTRE II	ELECTRE II é um método não compensatório, que estabelece os tomadores de decisão 'preferências avaliando os critérios em pares e usando pesos derivados de cálculos ou julgamentos de valor para determinar a importância de cada critério. Já o AHP foi atribuído ao estudo para distribuir pesos os critérios analisados.

**Fonte:** Autor, 2021.



## **5.2 Importância dos critérios adotados**

O caráter multidisciplinar de fundamental importância para a determinação da escolha de qual tecnologia deve-se enquadrar para tratamentos descentralizados de esgotos sanitários. Dessa maneira, através do apanhado bibliográfico realizado, para os 47 artigos a grande maioria demonstrava grande interesse de se analisar os critérios envolvendo o meio econômico, social, técnico e ambiental.

Estes critérios foram exaltados no presente estudo através da leitura mais aprofundada das nove referências selecionadas, haja vista a notória preocupação de levar em consideração esses critérios para a tomada de decisão.

As Tabelas 10 e 11 apresentam os critérios apontados por cada autor, assim como a ponderação dos seus respectivos pesos, destacando-se que cada autor ponderou conforme os cenários proposto pelos mesmos. Entretanto os cenários analisados convergiram para o atendimento nos dois eixos, seja pequenas comunidades ou centros urbanos. Dessa forma, foi possível observar quais critérios são mais avaliados através da frequência para melhor decisão, bem como quais possuem maior relevância de acordo com os aspectos econômicos, técnicos, sociais e ambientais

Tabela 10. Critérios para seleção sistema de tratamentos avaliados em pequenas comunidades.

	Critério	Pereira e Souza (2020)			Coury (2020)	Goffi (2017)		Schroeder (2020)	Kalbar <i>et al.</i> (2012)	Kalbar <i>et al.</i> (2013)	Molinos <i>et al.</i> (2014)	Lizot <i>et al.</i> (2020)	Frequência
		Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3		Pequenas comunidades	Centros Urbanos						
AMBIENTAL	Remoção de matéria orgânica							18%			3%	4%	3
	Remoção de sólidos suspensos							13%			3%		2
	Remoção de Nitrogênio										2%		1
	Remoção de fósforo										3%		1
	Produção de lodo				10%	3%	-	8%			2%	5%	5
	Consumo de energia							4%			2%		2
	Potencial de recuperação de produtos										1%		1
	Potencial de recuperação de água										2%		1
	Eutrofização								10%	10%			2
	Aquecimento global							12%	6%	3%	3%	6%	5
	Comportamentos sustentáveis							-	7%	10%	10%		3
	Eficiência de remoção de nutriente								3%				1
	Área requerida (AR)				4%				10%				2
	Impacto Ambiental	8%	15%	13%									3
Conformidade com a política e legislação ambiental	8%	15%	20%									3	
<b>Total</b>	<b>16%</b>	<b>30%</b>	<b>33%</b>	<b>14%</b>	<b>15%</b>	<b>13%</b>	<b>56%</b>	<b>23%</b>	<b>23%</b>	<b>18%</b>	<b>15%</b>		
SOCIAL	Maus odores				23%						17%		2
	Impacto visual				3%						4%		2
	Ruídos				3%								1
	Insetos				6%								1
	Característica do tratamento e efluente final (CTE)							3%					1
	Complexidade de construção e operação (CCO)							9%					1
	Participação								10%	10%			2
	Aceitação pública	8%	8%	13%				12%	-	10%	10%	10%	7%

	Barulho										8%		1
	<b>Total</b>	<b>8%</b>	<b>8%</b>	<b>13%</b>	<b>35%</b>	<b>12%</b>	<b>0%</b>	<b>12%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>7%</b>	
<b>TÉCNICO</b>	Consumo de energia	8%	8%	7%									3
	Área exigida	8%	8%	7%									3
	Quantidade de lodo produzido	8%	8%	7%									3
	Confiabilidade	17%	15%	13%		6%	15%		5%	5%	4%	8%	9
	Complexidade operacional	17%	8%	7%	11%	6%	-				1%	4%	7
	Estabilidade do Sistema				3%								1
	Eficiência de Tratamento				7%	12%	-						2
	Replicabilidade					-	5%		10%	11%		7%	4
	Durabilidade								5%	5%			2
	Flexibilidade								5%	5%			2
	<b>Total</b>	<b>58%</b>	<b>46%</b>	<b>40%</b>	<b>21%</b>	<b>24%</b>	<b>19%</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>27%</b>	<b>6%</b>	<b>19%</b>	
<b>ECONÔMICO</b>	Custo operacional/manutenção	8%	8%	7%	6%	12%	9%	26%			22%	11%	9
	Custo do ciclo de vida					34%	10%		11%	12%		10%	5
	Custo de investimento	8%	8%	7%	23%	8%	22%	6%			11%	11%	9
	Área de terreno necessária					9%	26%		10%	11%	2%	17%	6
	Necessidade de mão de obra								10%	11%		9%	3
		<b>Total</b>	<b>17%</b>	<b>15%</b>	<b>13%</b>	<b>29%</b>	<b>63%</b>	<b>68%</b>	<b>32%</b>	<b>32%</b>	<b>34%</b>	<b>34%</b>	<b>59%</b>

Fonte: Autor, 2021.

**Tabela 11.** Critérios para seleção sistema de tratamentos avaliados em centros urbanos.

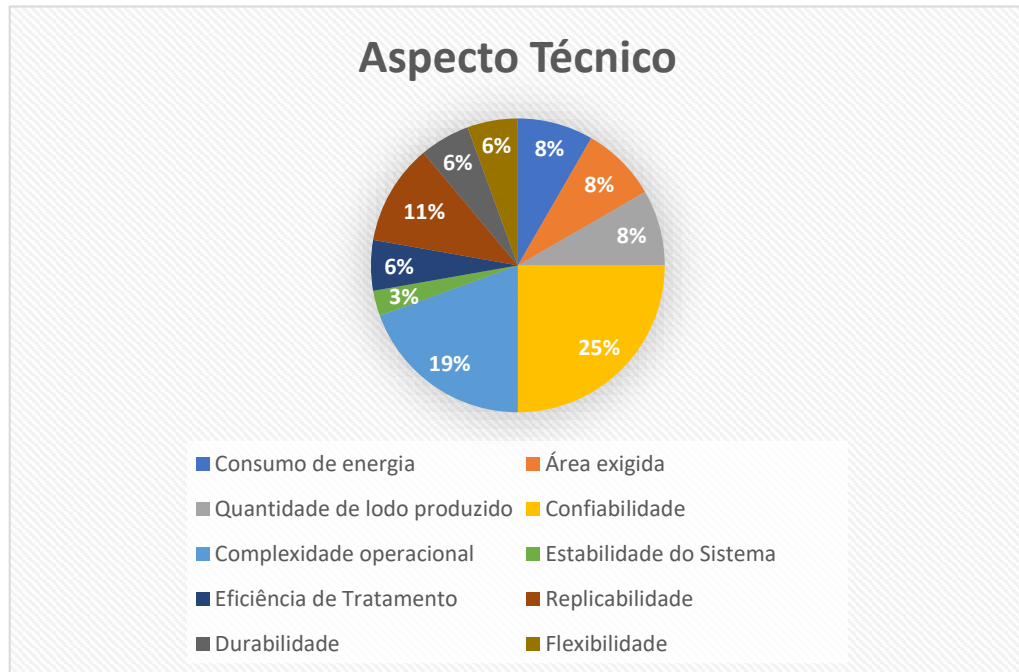
	<b>Critério</b>	<b>Goffi (2017)</b>	<b>Kalbar <i>et al.</i> (2012)</b>	<b>Kalbar <i>et al.</i> (2013)</b>	<b>Molinos <i>et al.</i> (2014)</b>	<b>Frequência</b>
<b>AMBIENTAL</b>	Remoção de matéria orgânica				3.10%	1
	Remoção de sólidos suspensos				2.63%	1
	Remoção de Nitrogênio				2.27%	1
	Remoção de fósforo				2.63%	1
	Produção de lodo	-			2.06%	1
	Consumo de energia				1.87%	1
	Potencial de recuperação de produtos				1.38%	1
	Potencial de recuperação de água				2.00%	1
	Eutrofização		6.25%	21.05%		2
	Aquecimento global	6.10%	6.25%	5.26%		3
	Comportamentos sustentáveis	6.72%	3.12%	2.63%		3
	<b>Total</b>	<b>12.82%</b>	<b>15.62%</b>	<b>28.94%</b>	<b>17.94%</b>	
<b>SOCIAL</b>	Maus odores				16.83%	1
	Impacto visual		3.12%	2.63%	4.16%	3
	Ruídos				8.24%	1
	Participação		3.12%	2.63%		2
	Aceitação pública	-			10.41%	1
<b>Total</b>	<b>0.00%</b>	<b>6.24%</b>	<b>5.26%</b>	<b>39.64%</b>		
<b>TÉCNICO</b>	Confiabilidade	14.69%	12.50%	10.52%	1.66%	4
	Complexidade operacional	-			5.61%	1
	Replicabilidade	4.66%	6.25%	5.26%		3
	Durabilidade		12.50%	10.52%		2
	Flexibilidade		12.50%	10.52%		2
<b>Total</b>	<b>19.35%</b>	<b>43.75%</b>	<b>36.82%</b>	<b>7.27%</b>		
<b>ECONÔMICO</b>	Custo operacional/manutenção	9.28%			21.56%	2
	Custo do ciclo de vida	10.40%	6.25%	5.26%		3
	Custo de investimento	22.16%			10.91%	2
	Área de terreno necessária	25.97%	25.00%	21.05%	1.66%	4
	Necessidade de mão de obra		3.12%	2.63%		2
<b>Total</b>	<b>67.81%</b>	<b>34.37%</b>	<b>28.94%</b>	<b>34.13%</b>		

**Fonte:** Autor, 2021.

Para pequenas comunidades a produção de lodo, o aquecimento global e o comportamento sustentáveis foram os critérios com maior número de votos se tratando do meio ambiente, já nos aspectos sociais a aceitação pública foi destacada como critério com maior relevância. Os critérios da confiabilidade, complexidade operacional e a replicabilidade foram os que mais escolhidos para ponderar na escolha do tratamento do esgoto sanitário avaliando o aspecto técnico. E por fim, a respeito do aspecto econômico deve-se destacar a predominância

com os critérios do custo operacional/manutenção, custo com investimento, área de terreno necessária e custo do ciclo de vida para decisão da tecnologia mais apropriada.

**Figura 5.** Critérios apresentados no aspecto técnico.



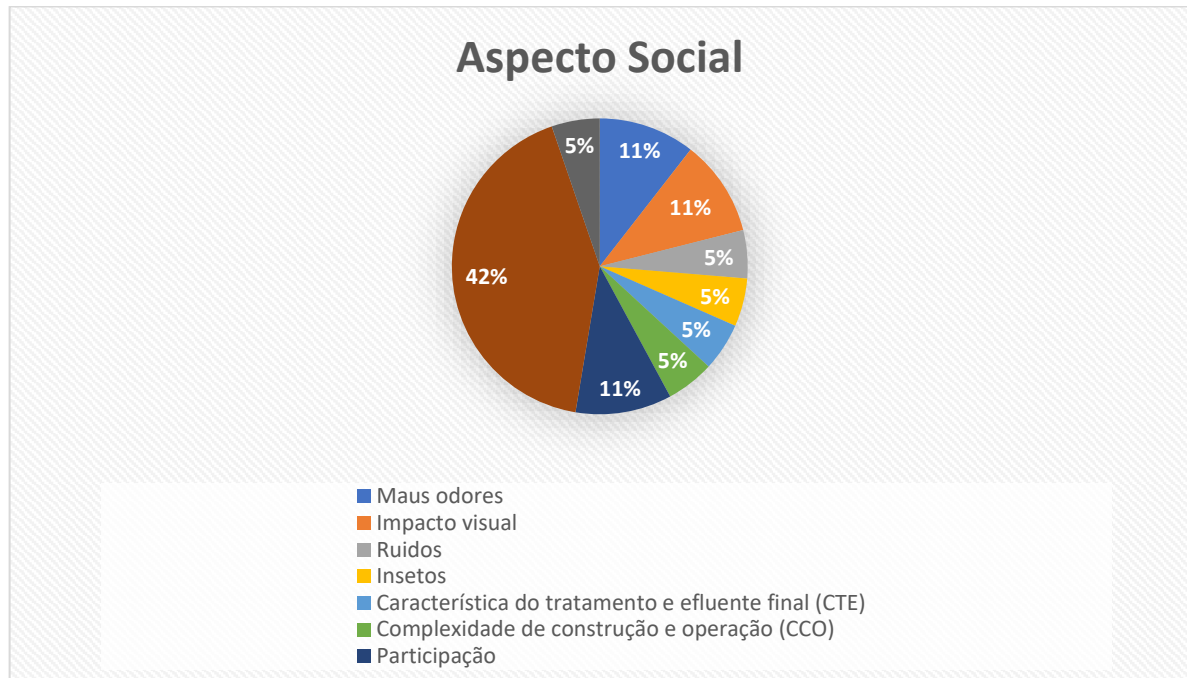
**Fonte:** Autor, 2021.

**Figura 6.** Critérios apresentados no aspecto econômico.



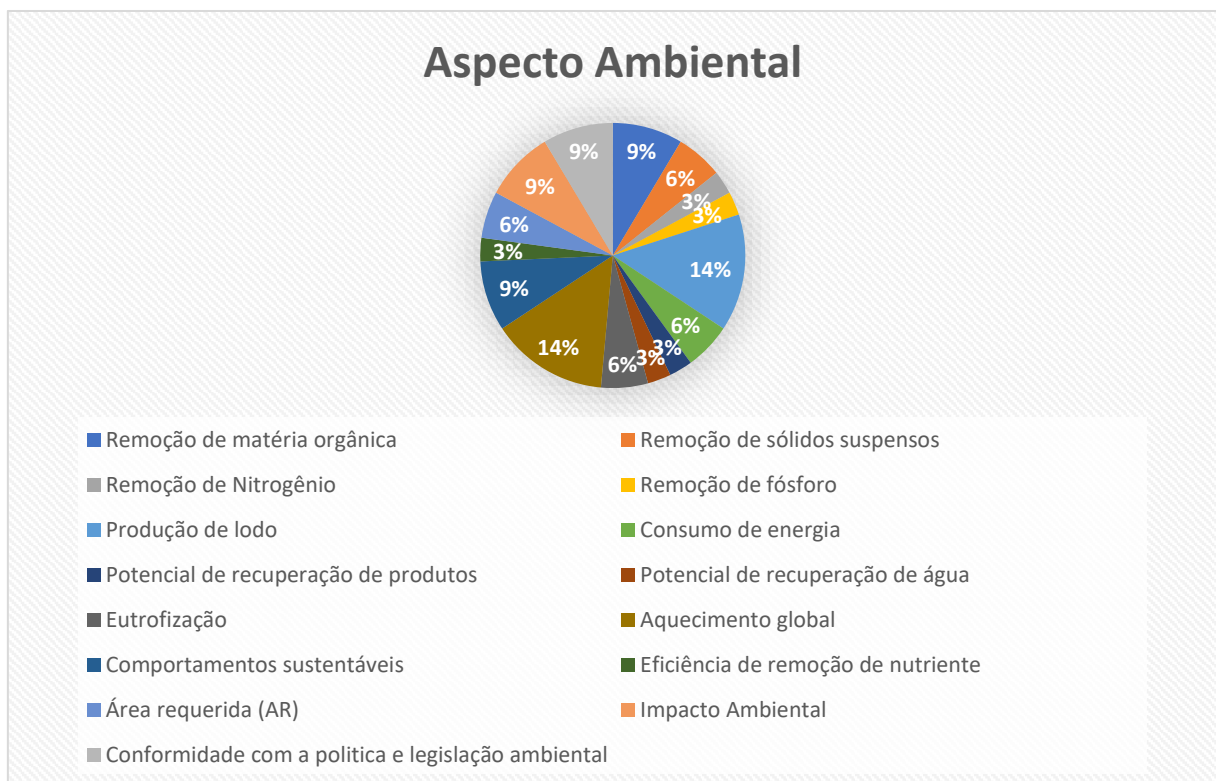
**Fonte:** Autor, 2021.

**Figura 7.** Critérios apresentados no aspecto social.



**Fonte:** Autor, 2021.

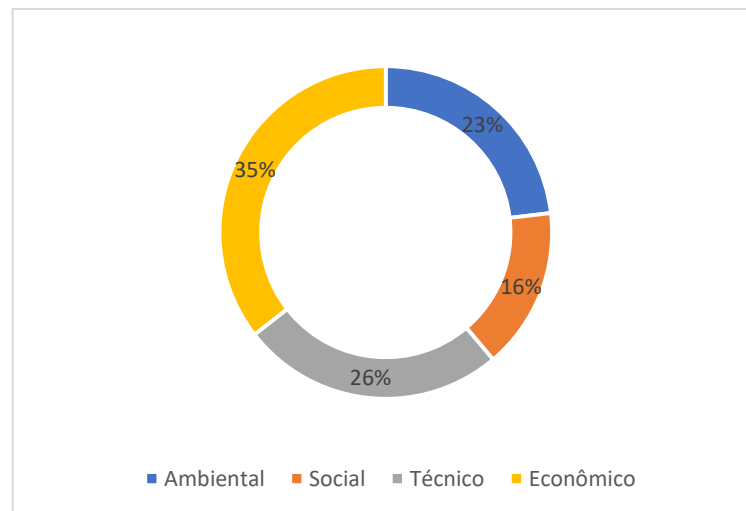
**Figura 8.** Critérios apresentados no aspecto ambiental.



**Fonte:** Autor, 2021.

Dessa forma, foi possível observar que apenas Schroeder (2020) considera o aspecto ambiental como o mais importante a ser analisado para a tomada de decisão da alternativa mais conveniente para tratamento de esgotos sanitários. Para os demais especialistas no assunto prevaleceu a preocupação maior com a questão econômica para pequenas comunidades.

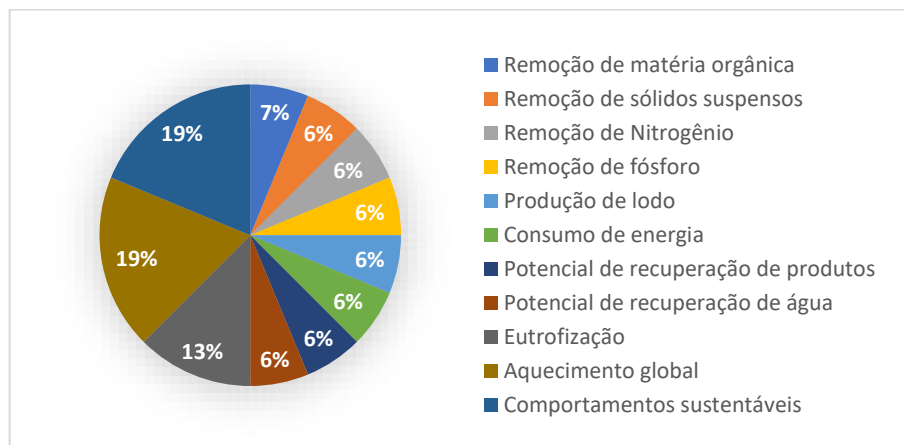
**Figura 9.** Distribuição dos principais aspectos.



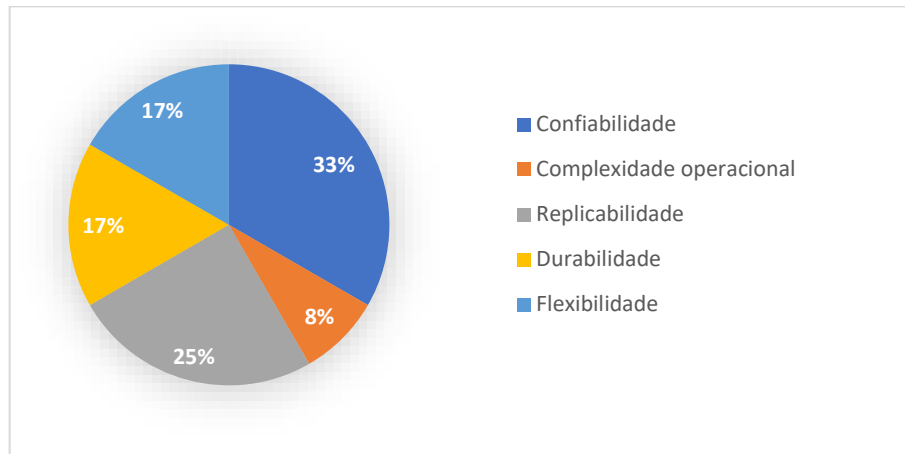
**Fonte:** Autor, 2021.

Já para grandes centros urbanos, através do apanhado geral das referências estudadas obteve-se como resultado para o aspecto ambiental, a preocupação com o aquecimento global e os comportamentos sustentáveis. Já os critérios da aceitação pública e o impacto visual para a decisão da melhor alternativas foram os de maiores destaques para os especialistas. Se tratando dos aspectos técnico e econômico, destacam-se a confiabilidade, replicabilidade, área de terreno necessária e o custo do ciclo de vida.

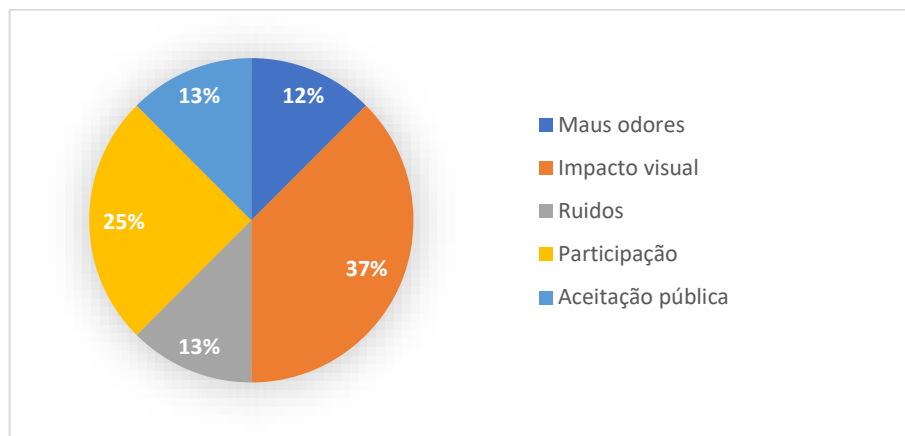
**Figura 10.** Aspectos ambientais



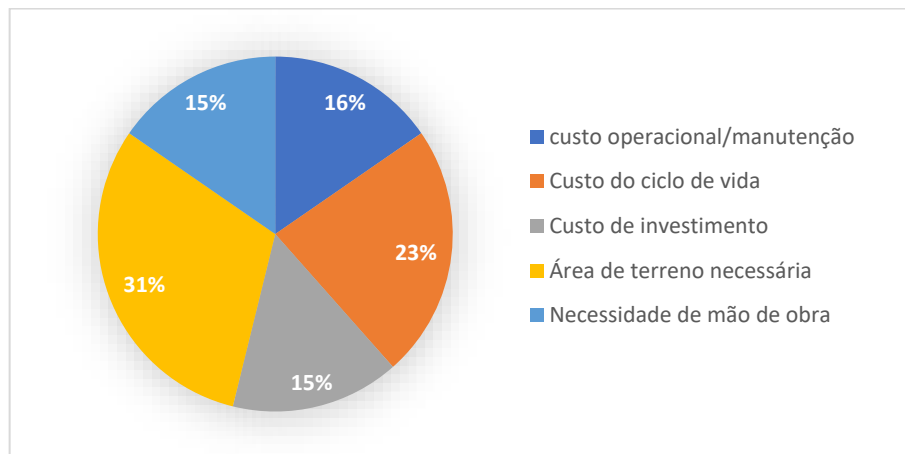
**Fonte:** Autor, 2021.

**Figura 11. Aspectos Técnicos**

**Fonte:** Autor, 2021.

**Figura 12. Aspectos Sociais**

**Fonte:** Autor, 2021.

**Figura 13. Aspecto Econômicos**

**Fonte:** Autor, 2021.



Dessa forma, foi possível identificar uma maior diversidade na prioridade do aspecto para tomada de decisão sobre a melhor tecnologia para tratamento descentralizado de esgoto sanitário. Para grandes centros, apenas Goffi (2017) foi o único autor que destacou o aspecto Econômico como mais relevante. Já Kalbar *et al.* (2012) e Kalbar *et al.* (2013) consideraram o aspecto Técnico e Molinos *et al.* (2014) o aspecto Social como os mais importantes.

### **5.3 Análise comparativa dos sistemas utilizados no Brasil**

Libralato *et al.* (2011) apontaram uma visão geral das tendências mais recentes na gestão e águas residuárias, destacando o papel da centralização e descentralização dos sistemas de tratamento de efluentes. Os autores apontaram que a aplicação de sistemas descentralizados já é uma tendência em grandes blocos, como hospitais, centro comerciais, aeroportos e escolas, e em áreas urbanas recuperadas, especialmente em relação às novas tendências de recuperação e reutilização de águas residuais tratadas. Além disso, sugeriram que sistemas descentralizados podem ser uma alternativa futura para sistemas centralizados que necessitam ser substituídos ou renovados. Contudo, foi ressaltado que uma abordagem unicamente descentralizada em áreas densamente povoadas e com sistema de coleta de esgoto já existente não poderia ser uma alternativa viável ao tratamento centralizado.

Diante da dificuldade em se estabelecer o melhor sistema descentralizado para cada caso, alguns trabalhos buscaram elaborar modelos de toma de decisão. Coury (2020) desenvolveu um modelo para auxiliar na seleção de tecnologias descentralizadas de tratamento de em assentamentos precários urbanos, logo, as tecnologias analisadas neste estudo foram: *Wetland*, Bacia de Evapotranspiração, Filtro de Areia, Filtro Anaeróbio, UASB Compacto. A autora enfatizou a dificuldade na seleção de alternativas descentralizadas, pois para cada sistema necessitou-se de dois ou mais critérios para análise, além disso, alguns dos critérios são quantificáveis e outros são resultantes de julgamento de valor, que não possuem parâmetros iguais de avaliação. Logo, a autora utilizou de forma conjunta duas metodologias (AHP e MAUT), o que diminuiu o grau de subjetividade dessas. Os resultados deste estudo indicaram que para o local de estudo (assentamento em Santa Luzia – DF), a alternativa tecnológica que teve o melhor desempenho na análise dos critérios de sustentabilidade, foi a Bacia de Evapotranspiração. Em relação aos critérios de confiabilidade, a única tecnologia com desempenho satisfatório foi Filtro de Areia.

Considerando uma análise econômica, Wagner e Bellotto (2008) elaboraram alternativas de solução para o tratamento de esgoto nos municípios de Balneário Camboriú e

Itajaí no estado de Santa Catarina. Este estudo teve como base o aspecto urbanístico e o fluxo turístico destes municípios e foram analisados três tipos de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE): individual (*Wetland* construída), condominial e convencional. Neste estudo, a seleção se baseou na aplicação dos critérios econômicos Valor Presente Líquido (VLP) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Após analisar três cenários para cada um dos municípios, os autores chegaram na conclusão que a ociosidade encontrada em grandes ETES tende a anular este benefício econômico, que muitas vezes determinam a escolha do sistema, contudo, sistemas menores, quando bem administrados e operacionalizados, podem gerar outras vantagens, compensando a economia de escala.

Pereira e Souza (2020) analisaram a aplicabilidade dos processos de tratamento de esgotos em residências unifamiliares no Brasil considerando as condições que estes seriam recomendados. Foram avaliados seis sistemas de tratamento: Tanque séptico; Tanque séptico e filtro anaeróbico; Tanque séptico e *Wetland*; UASB e biofiltro aerado submerso (BAS); Reator UASB e lodo ativado convencional; e Tanque séptico e Reator Biológico de Membrana (MBR). Para isso, foi utilizado neste trabalho uma metodologia que utilizou uma abordagem de análise de decisão multiobjetivo e multicritério com variável discreta e construindo o problema para obter uma solução por hierarquização. Para isto, os autores determinaram três cenários muito comuns e possíveis de existir em condições brasileiras. Por fim, aplicou o método e determinou-se a tecnologia mais viável para cada cenário. Os resultados deste estudo podem ser visualizados na Tabela 13.

**Tabela 13.** Resultados de estudo sobre tratamento de esgotos em residência unifamiliares

CENÁRIO	DESCRIÇÃO	RESULTADO
I	Nível do lençol freático baixo e solo com alta permeabilidade, e risco epidemiológico e ambiental pequeno (o efluente poderá ser infiltrado no solo).	<b>Tanque séptico e Tanque séptico seguido de filtro anaeróbico</b> , por serem tecnologias com baixo custo e de fácil implantação
II	Nível do lençol freático alto e/ou solo com capacidade de infiltração baixa, e risco epidemiológico e ambiental grande (o efluente deverá ser lançado ao corpo receptor), ou quando é necessário fazer a descarga direta em corpo de água superficial (caso de embarcações, palafitas etc.).	<b>Tanque séptico seguido de filtro anaeróbico e Tanque séptico seguido de <i>Wetland</i></b> , por atenderem aos requisitos ambientais e serem técnica e economicamente viáveis.
III	Realização de reúso direto não-potável da água em área urbana que sofre com a escassez hídrica (lavagem de roupas e de	<b>Tanque séptico seguido por MBR</b> (acrescida de desinfecção) foi considerado a tecnologia ideal, por ser a

	veículos, descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais, chafarizes, espelhos de água etc.) ou reúso direto não-potável da água em irrigação para locais rurais.	que atende aos padrões restritivos de reúso da ANA. No entanto, a alternativa ótima para este cenário seria o <b>Tanque séptico seguido por BAS</b> (acrescida de desinfecção), caso fossem relaxados alguns padrões de qualidade organoléptica da água.
--	---	--

**Fonte:** Pereira e Souza (2020).

Observa-se que o cenário III está diretamente relacionado com as tendências apontadas por Libralato *et al.* (2011). Pereira e Souza (2020) destacaram que a metodologia de análise proposta pode ser utilizada para incluir maiores detalhamento para o caso proposto, ou ainda, aplicada para sistema de esgoto descentralizados plurifamiliar ou sistema de esgotamento prediais com segregação.

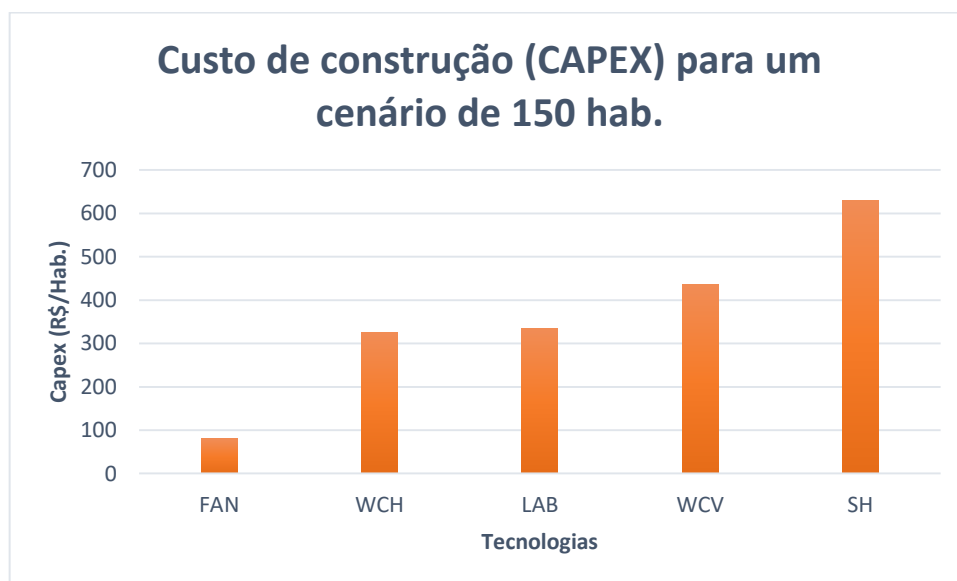
Mesquita *et al.* (2021) elaboraram um amplo estudo dos aspectos conceituais relacionados à utilização de sistemas descentralizados no Brasil, também, foram realizadas discussões acerca da gestão destes sistemas levando em consideração o marco legal e institucional da área de saneamento. Este estudo concluiu que sistemas descentralizados na matriz tecnológica de tratamento de esgoto podem contribuir para a elevação dos índices de tratamento dos esgotos gerados no Brasil. No entanto, o Brasil carece de uma regulamentação bem definida, principalmente em relação às responsabilidades de manutenção e operação desses sistemas. Logo, a garantia do bom funcionamento de sistemas descentralizados é um desafio para proteção da saúde pública no país. A partir de dados inventariados pela ANA, os autores conseguiram identificar as principais tecnologias utilizadas em pequenas ETEs. De acordo com o levantamento realizado neste estudo, o sistema UASB é o mais utilizado país, representando 40% das pequenas ETEs inventariadas, seguido do sistema constituído por Tanques Sépticos seguidos por Filtros Anaeróbios (TS+FAN), representando 31% das ETEs inventariadas, as lagoas de estabilização são o terceiro sistema mais utilizado nas ETEs brasileiras de pequeno porte, representando 20%. Os autores observaram que a disseminação em todo o país do sistema TS+FAN é atribuído ao custo reduzido, à simplicidade de dimensionamento e construção. No entanto, a preferência pelo uso de reatores UASB é resultado da busca por soluções capazes de substituir os TS, a fim de produzir um efluente de melhor qualidade, mantendo os custos operacionais baixos. Por fim, este estudo indica que quando submetidos às práticas apropriadas de operação e manutenção, os sistemas simplificados e descentralizados devem ser vistos como sistemas que a manutenção, possibilitam a obtenção de efluentes com qualidade compatível com a exigida em legislação.

Montoya (2015) avaliou em seu estudo a combinação de dois reatores UASB em série seguido de um reator em batelada sequencial (RBS), para o tratamento de águas residuárias do processamento de café. Verificou-se no efluente uma característica naturalmente ácida, proveniente principalmente da presença de açúcares. Esta característica pode ser desejável para a digestão anaeróbia, contudo, é necessária uma maior atenção no controle operacional, pois o acúmulo do ácido pode inviabilizar um reator biológico. Os resultados demonstraram que os reatores UASB em série seguido de um pós-tratamento RBS, promoveu uma redução de DQO em até 94% e obteve uma conversão de até 50% da matéria orgânica em metano, além disso, ao aplicar um TDH de 90h, se constatou uma melhoria nesta tecnologia, o que permitiu um aumento no volume de resíduo tratado.

Schroeder (2020) após a determinação dos critérios econômicos, ambientais e sociais, através do método de tomada de decisão com multicritérios, AHP, foi possível realizar uma análise comparativa entre as alternativas de tratamento descentralizado de esgoto sanitário, para cerca de 150 habitantes. Os sistemas propostos para o estudo foram: Filtro Anaeróbio – FAN; Lodo Ativado em Batelada – LAB; Wetlands Construído de Fluxo Vertical – WCV; Wetlands Construído de Fluxo Horizontal – WCH; e o Sistema Híbrido – SH, formado por WCH e WCV.

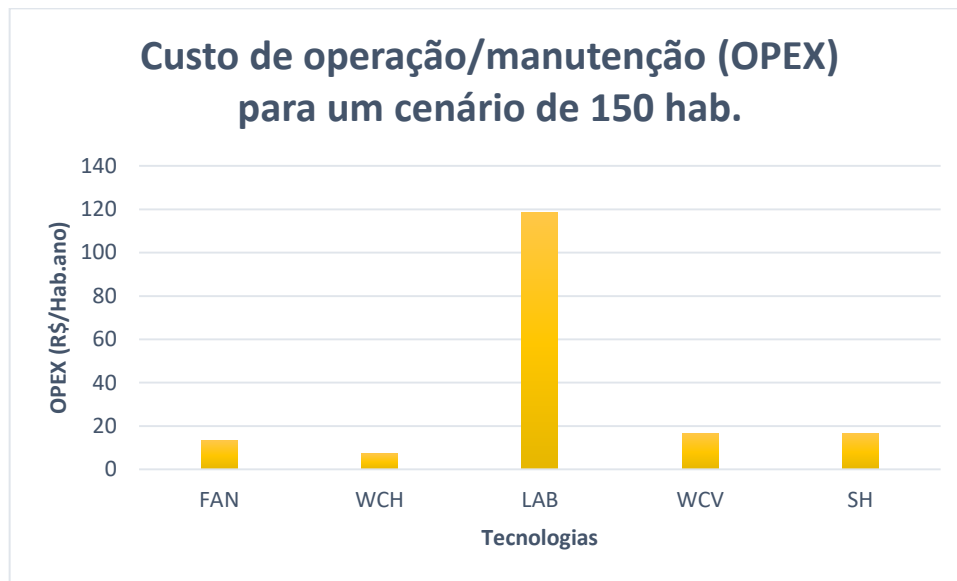
Sobre o aspecto econômico foram considerados como de maior relevância os critérios de custo de construção (CAPEX) e custo de manutenção (OPEX), no qual as Figuras 14 e 15 apresentam os resultados obtidos, respectivamente.

**Figura 14.** Custo de construção (CAPEX) para um cenário de 150 hab.



**Fonte:** Autor, 2021.

**Figura 15.** Custo de operação/manutenção (OPEX) para um cenário de 150 hab.



**Fonte:** Autor, 2021.

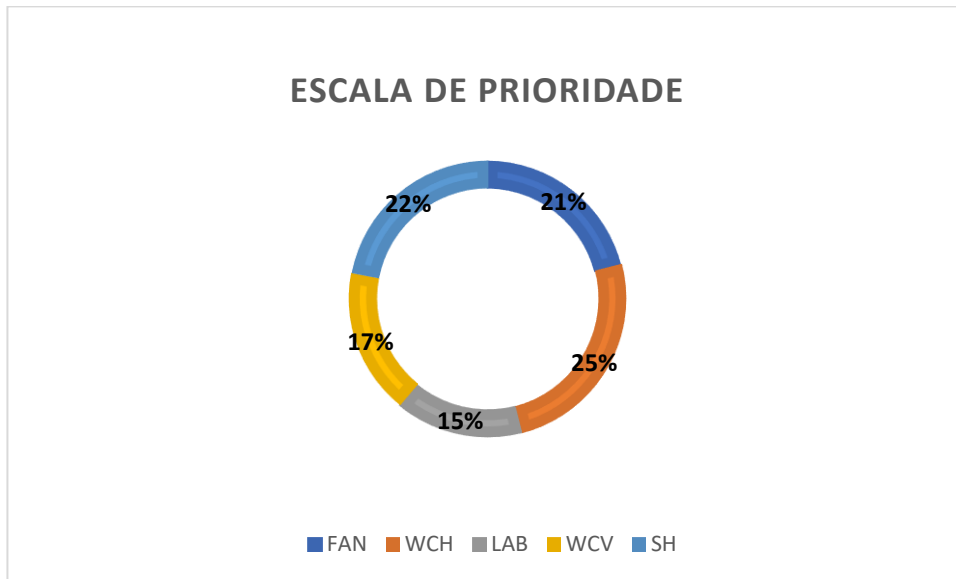
Para as questões econômicas tratadas no CAPEX, Schroeder (2020) pontuou que os custos mais altos encontrados nas tecnologias WC estão relacionados à grande quantidade de materiais e uso de máquinas. Ainda sobre o CAPEX, foi considerado para esses levantamentos, um único tanque reator para o LAB. Já para o OPEX, a tecnologia de tratamento por Filtro Anaeróbico ter como característica a reduzida necessidade operacional, seu OPEX se equivale com valores próximos aos WC.

Quanto ao aspecto ambiental, foram determinados a eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes, consumo de energia, lodo produzido e área necessária.

Segundo Schroeder (2020), em locais com problemas de lançamento restritivos a utilização das tecnologias como, o WCV, SH e LAB apresentam considerável vantagem quando comparados aos demais por apresentarem uma boa remoção de poluentes, visto que o FAN e o WCH apresentam, principalmente, uma deficiência para remoção de nutrientes. Para o quesito do consumo de energia e produção de lodo, destaca-se de forma positiva a utilização de WCH e WCV, pois não há a geração de lodo e o consumo de energia é considerado baixo ou até nenhum. Por fim, para o critério da área necessário a maior exigência foi para o sistema híbrido com 3,73 m<sup>2</sup>/hab.

Dessa forma, o trabalho realizado por Schroeder (2020) indicou que a alternativa mais viável seria o Wetlands Construído Horizontal – WCH, com 25 % de prioridade de escolha. Tendo como base a opinião do grupo de decisores, a Figura 16 apresenta a escala de prioridade.

**Figura 16.** Escala de prioridade para escolha da tecnologia.



**Fonte:** Autor, 2021.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho se propôs a identificar as principais tecnologias utilizadas para os sistemas descentralizados de tratamento de esgoto sanitário no Brasil, com a finalidade de contribuir para uma escolha mais apropriada, ponderando os principais aspectos ambientais, econômicos e sociais. Dessa forma, foi possível concluir que:

Quanto aos aspectos ambientais é válido destacar a importância que foi levantada através da revisão bibliográfica com a preocupação da remoção de matéria orgânica e nutrientes, produção de lodo e aquecimento global.

Quanto aos aspectos econômicos destacam-se a preocupação com o custo operacional/manutenção e os custos de investimento, além dos custos associados a área do terreno necessária.

Quanto aos aspectos sociais foi possível identificar a preocupação da população quanto ao sistema utilizado sobre a garantia de funcionamento com eficiência, acarretando na preocupação com os critérios do impacto visual e possíveis maus odores que possam ocorrer na região.

Dessa forma, através da revisão bibliográfica foi possível levantar as alternativas mais utilizadas no Brasil que possam se enquadrar nos aspectos mencionados.

Para o critério da sustentabilidade, o estudo proposto por Coury (2020) destacou com maior viabilidade a utilização da tecnologia de Bacia de Evapotranspiração. Já para o critério de confiabilidade, destaca-se o uso de Filtro de Areia.

Pereira e Souza (2020) dividiu em três níveis para o critério de área exigida e impacto ambiental, para o nível do lençol freático baixo a tecnologia mais viável seria o Tanque Séptico ou Tanque Séptico seguido do Filtro Anaeróbio por possuir menor custo. Já para o nível do lençol freático alto o Tanque Séptico seguido por Wetlands se torna a melhor opção. Por fim, para a utilização do efluente para reúso a melhor opção para tratamento, segundo Pereira e Souza (2020), seria o Tanque Séptico seguido por MBR e o Tanque Séptico seguido por BAS.

De acordo com o levantamento através da ANA realizado por Mesquita et al. (2021), o sistema UASB é o mais utilizado país, representando 40% das pequenas ETEs inventariadas, por possuir características positivas para os critérios de custos operacionais e remoção de

matéria orgânica. Em segundo, o sistema constituído por Tanques Sépticos seguidos por Filtros Anaeróbios (TS+FAN), representando 31% das ETEs inventariadas, as lagoas de estabilização são o terceiro sistema mais utilizado nas ETEs brasileiras de pequeno porte, representando 20%.

Schroeder (2020) indicou que a alternativa mais viável seria o Wetlands Construído Horizontal – WCH, com 25 % para um cenário de 150 habitantes. Seguido por uma escala de prioridade de SH (22%), FAN (21%), WCV (17%) e LAB (15%).

Em suma, sugere-se que os estudos nesse sentido sejam continuados, já que foi identificado a importância do aprofundamento nos critérios necessários para a escolha da melhor tecnologia de tratamento descentralizado no Brasil. Entretanto, o presente trabalho limitou-se apenas a uma parcela dos sistemas existentes no país. Dessa forma, acrescenta-se a importância na busca de outras tecnologias que se enquadrem em critérios estabelecidos para determinados locais, pois as vantagens de sistemas descentralizados para tratamento do esgoto sanitário já demonstra ser uma excelente alternativa para o tratamento dos esgotos gerados.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969/1997. Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, p. 21-22.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas/Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.
- BRASIL. Resolução nº 377, de 09 de outubro de 2006. Dispõe Sobre Licenciamento Ambiental Simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário. Diário Oficial da União nº 195, de 10 out. de 2006, Seção 1, página 56, Brasília, DF.
- BRASIL.SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2020. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/agua>>. Acesso em: 29 de abril de 2021.
- CAMPOS, V. R. (2011). Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. Tese (doutorado). São Carlos: EESC/USP
- COURY, Gabriela Cerqueira. SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS URBANOS: PROPOSTA DE UM MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO. 2020. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Política e Gestão da Sustentabilidade, O Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Universidade de Brasília, Brasília – Df, 2020.
- EPA – United States Environmental Protection Agency – USEPA. Wastewater management fact sheet. Membrane bioreactors. Setembro. 2007. Disponível em: <[http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2008\\_01\\_23\\_mtb\\_etfs\\_membranebioreactors.pdf](http://water.epa.gov/scitech/wastetech/upload/2008_01_23_mtb_etfs_membranebioreactors.pdf)>. Acessado em: 07/02/2021.
- EUA. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Environment for Development. Eua: Stationary Office Books, 2003. 64 p.
- FERREIRA, Douglisnilson de Moraes; NAVONI, Julio Alejandro; ARAËJO, André Luis Calado; AMARAL, Viviane Souza do. Risk perception of populations in Northeastern Brazil about domestic sewage treatment and reuse. Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 23, n. 0, p. 1-19, ago. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180098r1vu202014ao>.
- GOFFI, A. dos S. (2017). Uso da análise multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Pato Branco, PR, 2017.113 f.
- IBGE. Atlas Saneamento 2017: saneamento básico melhora em todas as regiões do país, mas diferenças ainda existem. Outubro, 2017. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas\\_saneamento/default\\_zip.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm)>. Acessado em: 05/01/2021.

- JORDÃO, Eduardo Pacheco. O Tratamento de Esgoto e a Crise Hídrica no Brasil. Espírito Santos: Abes Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015. 15 p.
- JORDÃO, E. P. e PESSOA, C. A. 'Tratamento de Esgotos Domésticos'. 4ª Edição. Rio de Janeiro, 2005.
- KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: a scenario-based multiple-attribute decision-making approach. *Journal of Environmental Management*, v. 113, p. 158-169, 2012.
- KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R.; The influence of expert opinions on the selection of wastewater treatment alternatives: A group decision-making approach. *Journal of Environmental Management*, v. 128, n. 15, p. 844–851, 2013.
- Kimura, K., Mikami, D., Funamizu, N., 2007. On-site wastewater reclamation and reuse in individual buildings in Japan. In: Il monitoraggio della qualità delle acque con stazioni fisse e i sistemi di trattamento decentralizzati. Analisi delle soluzioni internazionali e l'approccio in Laguna di Venezia. Magistrato alle Acque di Venezia Congress 3rd-5th October, Palazzo Franchetti, Venice, Italy.
- LARSEN T. A.; UDERT. K. M.; LIENERT, J. Source separation and decentralization for wastewater management. London, IWA Publishing, 2013.
- LETTINGA, G.; VELSEN, A.F.M. van; HOBMA, S.W.; ZEEUW, W; KLAPWIJK, A. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, New York, v.22, n.4, p.699-734, 1980.
- Libralato, G., Volpi Ghirardini, A., & Avezzù, F. (2012). Para centralizar ou descentralizar: Uma visão geral das tendências mais recentes na gestão de tratamento de águas residuais. *Journal of Environmental Management*, 94 (1), 61-68. doi: 10.1016 / j.jenvman.2011.07.010
- LINS, Gustavo Aveiro. IMPACTOS AMBIENTAIS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS (ETEs). 2010. 286 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- Lizot, M., Goffi, AS, Thesari, SS, Trojan, F., Afonso, PSLP, & Ferreira, PFV (2020). Metodologia multicritério para seleção de sistemas de tratamento de efluentes com aspectos econômicos, sociais, técnicos e ambientais. *Meio Ambiente, Desenvolvimento e Sustentabilidade*. doi: 10.1007 / s10668-020-00906-8
- MASSOUD, M. A., TARHINI, A., NARS, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. Elsevier: *Journal of Environmental management*. v. 90, p. 640-659, 2009.
- MESQUITA, Tayane Cristiele Rodrigues; ROSA, André Pereira; GOMES, Uende Aparecida Figueiredo; BORGES, Alisson Carraro. Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: aspectos conceituais, normativos e alternativas

tecnológicas. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, [S.L.], v. 56, p. 46-66, 26 mar. 2021. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v56i0.72908>.

Metcalf e Eddy. *Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications*. 5ª Edição. McGraw-Hill Book Company, New York, EUA. 2007.

MOLINOS-SENANTE, M.; GÓMEZ, T.; GARRIDO-BASERBA, M.; CABALLERO, R.; SALA-GARRIDO, R. Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach. *Science of The Total Environment*, v. 497-498, p. 607-617, 2014.

MONTOYA, Alejandra Carolina Villa. *TRATAMENTO ANAERÓBIO – AERÓBIO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO PROCESSAMENTO DE FRUTOS DE CAFEIEIRO EM REATORES BIOLÓGICOS*. 2015. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Microbiologia Agropecuária, Câmpus de Jaboticaba, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal - Sp, 2015.

NUCASE – Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. *Processos de tratamento de esgotos: guia do profissional em tratamento: nível 1 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org)*. Brasília, 2008. Pag. 72.

PEREIRA, Anne Relvas; SOUZA, Marco Antônio Almeida de. *ANÁLISE COMPARATIVA DAS ALTERNATIVAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS DE RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES*. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 160-179, 21 jul. 2020. Universidade Federal da Bahia. <http://dx.doi.org/10.9771/gesta.v8i1.35431>.

PEREIRA, A. R. *Reator Biológico com Membrana (MBR) aplicado ao tratamento de esgotos gerados por unidades residenciais unifamiliares*. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

PSBR – Programa Saneamento Brasil Rural. Brasília: Funasa, 2019.

QUEIROZ, L. M.; MENDONÇA, N. M.; SOUSA, J. T.; BARBOZA, M. G.; FERREIRA, I. V. L.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P. Aspectos quantitativos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas. In: QUEIROZ, Luciano M. et al. *Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais*. Fortaleza: Gráfica e Editora Imprece, 2019. p. 48-117.

SANTOS, A. B.; CHERNICHARO, C. A. L.; LAPOLLI, F. R.; VON SPERLING, M.; KATO, M. T.; PIVELI, R. P.; RIBEIRO, T. B. *Tecnologias de tratamento de correntes de esgotos não segregadas aplicadas a empreendimentos habitacionais*. In: *Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais*. Fortaleza: Gráfica e Editora Imprece, 2019. p. 219-391.

- SANTOS, Lucas Virgens dos. Desempenho ambiental de Estação de Tratamento de Esgoto implantada em uma unidade de ensino. 2018. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.
- SCHROEDER, Amanda Kempt. Avaliação de tecnologias normatizadas e wetlands construídos empregados no tratamento descentralizado de esgoto por meio de análise multicriterial. 2020. 139 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- SOUSA, A.F.S.de. Diretrizes para implantação de sistemas e reúso de água em condomínios residenciais baseados no método APPCC – Análise de perigos e pontos críticos de controle – Estudo de caso residencial Valville I. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- SUBTIL, E. L.; SANCHEZ, A. A.; CAVALHERO, A. Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reúso de água. Santo André: Universidade Federal do ABC – UFABC, 2016, 19 p.
- TEIXEIRA, R. M.; PEREIRA, I. N. A.; ARAÚJO, V. S. Análise da eficiência das estações de tratamento de esgoto (ETES) em residenciais multifamiliares na cidade de Manaus que possuem sistemas combinados anaeróbios – aeróbios. In: CONGRESSO BRASIL NORTE DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1, 2017, Belém.
- TREIN, Camila Maria. MONITORAMENTO DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL APLICADOS NO TRATAMENTO AVANÇADO DE ESGOTOS. 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
- VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005. p. 15 - 48.
- WAGNER, Andresa G.; BELLOTTO, Valeria R. Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário: Análise Econômica de Alternativas para Municípios Litorâneos - Estudo de Caso - Balneário Camboriú e Itajaí (SC), Brasil. Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal Of Integrated Coastal Zone Managemen, Lisboa, Portugal, v. 8, n. 1, p. 93-108, 23 maio 2008.