



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVA VIÁVEL PARA TRATAMENTO DE ESGOTO  
EM ZONA RURAL**

**Brena Reis Silva**

**Belo Horizonte**

**2021**

**BRENA REIS SILVA**

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVA VIÁVEL PARA TRATAMENTO DE ESGOTO  
EM ZONA RURAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Guadagnin Moravia

**Belo Horizonte**

**2021**

**BRENA REIS SILVA**

**AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVA VIÁVEL PARA TRATAMENTO DE ESGOTO  
EM ZONA RURAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 03 de setembro de 2021.

Banca examinadora:

---

Presidente da Banca Examinadora  
Prof. Wagner Guadagnin Moravia / Doutor / CEFET-MG – Orientador

---

2º Examinador  
Profª Gisele Vidal Vimieiro / Doutora / CEFET-MG

---

3º Examinador  
Prof. André Luiz Marques Rocha / Mestre / CEFET-MG



Emitido em 10/09/2021

FORMULÁRIO DE CURSOS E EVENTOS Nº 33/2021 - DCTA (11.55.03)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 13/09/2021 09:39 )

ANDRÉ LUIZ MARQUES ROCHA  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: 2143906

(Assinado digitalmente em 13/09/2021 09:45 )

GISELE VIDAL VIMIEIRO  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: 1905026

(Assinado digitalmente em 12/09/2021 21:53 )

WAGNER GUADAGNIN MORAVIA  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
DCTA (11.55.03)  
Matrícula: 1533005

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/documentos/> informando seu número:  
33, ano: 2021, tipo: FORMULÁRIO DE CURSOS E EVENTOS, data de emissão: 12/09/2021 e o código de  
verificação: ae911c93f2

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de praticar o bem e ajudar a proteger a natureza e proporcionar melhor qualidade de vida à população rural, pois foi o lugar em que passei toda minha infância e tenho grande carinho!

Sou grata aos meus pais, por terem se sacrificado para me educar e me proporcionar condições para cursar o ensino superior!

Agradeço a minha irmã, que me incentivou nos momentos difíceis e me apoiou sempre que precisei!

Ao meu filho, serei eternamente grata, por ser minha maior motivação e compreender a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Minha gratidão ao CEFET-MG e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

Agradeço a coordenação de política estudantil do CEFET-MG por todo apoio durante todos os anos de curso.

Gratidão ao meu orientador Prof. Dr. Wagner Guadagnin Moravia que apesar da intensa rotina de sua vida acadêmica aceitou me orientar nesta monografia. As suas valiosas indicações fizeram a diferença!

## RESUMO

SILVA, BRENA REIS. 2021. **AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVA VIÁVEL PARA TRATAMENTO DE ESGOTO EM ZONA RURAL**. 89 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

A água é um bem comum utilizada em diversas atividades cotidianas e econômicas, se tornando assim essencial para a sobrevivência de todos os seres vivos da terra, inclusive para o desenvolvimento econômico. O acesso à água potável e limpa é um direito universal, entretanto no Brasil há déficit no fornecimento de água potável em diversas regiões, principalmente na zona rural brasileira. No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição Federal de 1988, contudo, apenas 83,7% da população têm acesso a serviços de abastecimento de água e 54,1% têm acesso a serviços de coleta de esgoto. A situação ainda é mais crítica quando se trata da população residente no campo, onde 30,6% da população tem acesso a água tratada e apenas 9% têm rede de esgoto em suas residências. Diante o exposto, este estudo avalia alternativas viáveis para a correta destinação do esgoto gerado em domicílios rurais. Inicialmente foi realizada a caracterização da população residente na zona rural no intuito de compreender, em maior magnitude, seus aspectos sociais e econômicos. Posteriormente, foram levantadas as soluções usuais para o abastecimento de água e tratamento de esgoto em zonas rurais no cenário nacional. Por fim, foi selecionada a tecnologia com melhor custo-benefício considerando aspectos técnicos, econômicos e sociais. Desta forma, constatou-se grande necessidade de investimento em políticas públicas para proporcionar aos moradores rurais acesso ao saneamento, sendo que a fossa biodigestora se apresentou como melhor alternativa para atender as necessidades dessa parcela da população, em função do seu baixo custo e da alta eficiência no tratamento de esgoto doméstico.

Palavras chaves: Saneamento Básico. Esgoto Sanitário. Água Doce. Saúde Pública.

## ABSTRACT

SILVA, BRENA REIS. 2021. **EVALUATION OF A FEASIBLE ALTERNATIVE FOR SEWAGE TREATMENT IN RURAL AREA**. 89 pages. Monograph (Graduate in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

The water is a common good used in various daily and economic activities, thus becoming essential for the survival of all living beings on earth, including economic development. Access to clean potable water is a universal right, however, in Brazil, there is a deficit in the supply of fresh water in several regions, mainly in rural area in Brazil. In Brazil, basic sanitation is a right guaranteed by the Federal Constitution of 1988, however, only 83.7% of the population has access to water supply services and 54.1% has access to sewage collection services. The situation is even more critical when it comes to the population residing in the countryside, where 30.6% of the population has access to treated water and only 9% have a sewage system in their homes. Given the above, it became necessary to study viable alternatives for the correct disposal of sewage generated in rural area. Initially, the characterization of the population residing in the rural area was carried out in order to better understand its social and economic aspects. Subsequently, alternative solutions used for water supply and sewage treatment were verified in the national context. Finally, the most cost-effective technology was selected considering the technical, economic and social aspects. Thus, there was a great need for investment in public policies to provide rural residents with access to sanitation, and the biodigester was identified as the best alternative to meet the needs of the population, due to its low cost and high efficiency in the treatment of domestic sewage.

Keywords: Basic Sanitation. Sanitary Sewage. Fresh Water. Public Health.

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>   | <b>13</b> |
| <b>2. OBJETIVO</b>   | <b>17</b> |
| <b>2.1. Objetivos Específicos</b> .....  | <b>17</b> |
| <b>4. REVISÃO DA LITERATURA</b>  | <b>18</b> |
| <b>4.1. Zona Rural e Urbana</b> .....  | <b>18</b> |
| <b>4.2. Histórico do Saneamento Básico no Brasil</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>4.3. Saneamento Básico</b> .....  | <b>20</b> |
| <b>4.4. Ciclo da Água</b> .....  | <b>22</b> |
| <b>4.5. Importância da Água de Boa Qualidade</b> .....   | <b>22</b> |
| <b>4.6. Sistema de Abastecimento de Água (SAA)</b> .....   | <b>23</b> |
| <b>4.7. Soluções Alternativas de Abastecimento de Água</b> .....                                     | <b>26</b> |
| <b>4.8. Definições de Esgoto Sanitário</b> .....   | <b>27</b> |
| <b>4.9. Sistema de Esgotamento Sanitário (SES)</b> .....   | <b>28</b> |
| <b>4.10. Técnicas de Tratamento de Esgoto</b> .....  | <b>29</b> |
| <i>4.10.1 Técnicas de Tratamento Preliminar</i>  | 30        |
| <i>4.10.2 Técnicas de Tratamento Primário</i>  | 30        |
| <i>4.10.3 Técnicas de Tratamento Secundário</i>  | 30        |
| <i>4.10.4 Técnicas de Tratamento Terciário</i>   | 31        |
| <b>4.11. Soluções Individuais de Tratamento de Esgoto</b> .....                                      | <b>31</b> |
| <b>4.12. Doenças Relacionadas ao Saneamento Básico Inadequado</b> .....                              | <b>34</b> |
| <b>4.13. Banco de Dados Sobre Saneamento Básico</b> .....  | <b>36</b> |
| <i>4.13.1 Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD)</i>                                      | 36        |
| <i>4.13.2 Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento (SNIS)</i>                              | 36        |
| <i>4.13.3 Censo Demográfico</i>  | 37        |
| <i>4.13.4 Cadastro Único (CadÚnico)</i>  | 37        |
| <i>4.13.5 Sig Cisternas</i>  | 37        |
| <i>4.13.6 Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS)</i>                        | 37        |
| <i>4.13.7 SISÁgua</i>  | 37        |
| <b>5. METODOLOGIA</b>  | <b>38</b> |
| <b>5.1. Caracterização da Zona Rural;</b> .....  | <b>38</b> |
| <b>5.2. Impactos na Saúde Pública e Economia Causados Por Saneamento Ambiental Inadequado;</b> ..... | <b>40</b> |
| <b>5.3. Formas de Disposição de Efluentes Domésticos Mais Usuais na Zona Rural;</b> .....            | <b>40</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| 5.4. Alternativa Viável Para o Tratamento de Esgoto.....                            | 40        |
| <b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>  | <b>45</b> |
| 6.1 Características Gerais da Zona Rural Brasileira .....                           | 45        |
| 6.2 Saneamento Básico na Área Rural.....  | 49        |
| 6.3 Impactos Sociais Associados à Falta de Saneamento Rural .....                   | 56        |
| 6.3.1 Doenças Relacionadas Ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)               | 56        |
| 6.3.2 Reflexo da Ausência de Saneamento Básico na Produtividade e Renda             | 61        |
| 6.4 Avaliação das Tecnologias de Disposição de Esgoto Utilizadas em Zona Rural..... | 64        |
| 6.5 Avaliação de Tecnologia de Tratamento de Esgoto Viável Para a Zona Rural.....   | 68        |
| 6.5.1 Fossa séptica   | 68        |
| 6.5.2 Fossa Biodigestora  | 71        |
| 6.5.3 Wetlands Construídos (WC)   | 73        |
| 6.5.4 Reator UASB   | 75        |
| 6.6. Escolha da Alternativa com Melhor Custo-Benefício .....                        | 77        |
| <b>7. CONCLUSÃO</b>   | <b>79</b> |
| <b>8. RECOMENDAÇÕES.....</b>  | <b>81</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>  | <b>82</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 4. 1 - Quadro das etapas do tratamento convencional de água para abastecimento público em uma ETA..... | 25 |
| Figura 4.2 – Fluxograma da filtração direta em linha.....   | 25 |
| Figura 4.3 – Fluxograma da filtração direta.....  | 25 |
| Figura 4.4 – Diagrama dos componentes do esgoto sanitário.....  | 29 |
| Figura 4.5- Funcionamento de tanque séptico.....  | 32 |
| Figura 4.6 – Modelo de uma fossa rudimentar.....  | 33 |
| Figura 4.7 – Vala negra do município de Santa Cecilia.....  | 34 |
| Figura 5.1 – Fluxograma de atividades da pesquisa.....  | 38 |
| Figura 5.2 – Quadro dos pesos específicos atribuídos aos aspectos específicos avaliados.....                  | 42 |
| Figura 6.1 –Distribuição percentual da utilização de terra no Brasil.....                                     | 45 |
| Figura 6.2 – Mapa da tipologia municipal rural urbano.....  | 46 |
| Figura 6.3 – Atendimento de rede de água e esgoto no Brasil.....  | 50 |
| Figura 6.4 – Tipo de tecnologia de tratamento de água empregada na zona rural.....                            | 51 |
| Figura 6.5 – Formas de abastecimento de água para famílias do CadÚnico.....                                   | 52 |
| Figura 6.6 - Tipo de tecnologia de tratamento de esgoto empregada na zona rural.....                          | 53 |
| Figura 6.7 – Formas de disposição de esgoto das famílias cadastradas no CadÚnico.....                         | 54 |
| Figura 6.8 - Mapa da quantidade de cisternas por estado.....  | 55 |
| Figura 6.9 - Quantidade de cisternas utilizadas para abastecimento doméstico.....                             | 55 |
| Figura 6.10 – Evolução do número das cisternas familiares de água para consumo.....                           | 56 |
| Figura 6.11 – Grupo de doenças infecciosas intestinais.....   | 57 |
| Figura 6.12 – Amostras contaminadas por bactérias na zona rural e urbana.....                                 | 61 |
| Figura 6.13 – Esquema de fossa rudimentar.....  | 65 |
| Figura 6.14 – Atribuição de pesos para os aspectos das tecnologias avaliadas.....                             | 70 |
| Figura 6.15 – Esquema da parte interior da fossa biodigestor.....   | 71 |
| Figura 6.16 – Atribuição de pesos para os aspectos das tecnologias avaliadas.....                             | 72 |
| Figura 6.17 – Camadas construídas dos WC.....   | 73 |
| Figura 6.18 – Atribuição de pesos para os aspectos das tecnologias avaliadas.....                             | 74 |
| Figura 6.19 – Características gerais do Reator UASB.....  | 75 |
| Figura 6.20 – Atribuição de pesos para os aspectos das tecnologias avaliadas.....                             | 76 |

**LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 6.1 – Distribuição da população rural.....  | 47 |
| Tabela 6.2 – Percentual da população do grupo de risco nas áreas rurais do Brasil .....  | 48 |
| Tabela 6.3 – Educação e Rendimentos da população rural brasileira.....   | 48 |
| Tabela 6.4 – Saneamento básico geral no Brasil.....  | 49 |
| Tabela 6.5 – Dados de morbidade de DRSAI em 2019 .....   | 58 |
| Tabela 6.6 – Óbitos por doenças diarreica aguda em crianças menores de cinco anos em 2011<br>.....   | 59 |
| Tabela 6.7 – Quadro da mortalidade por DRSAI no ano de 2019.....   | 60 |
| Tabela 6.8 - Domicílios Rurais: distribuição das pessoas entre ocupações não agrícolas e<br>agrícolas.....                                     | 62 |
| Tabela 6.9 - Domicílios Rurais: distribuição das pessoas ocupadas em atividades não agrícolas<br>entre as seções de atividades econômicas..... | 62 |
| Tabela 6.10 – Peso calculado para cada tecnologia.....   | 77 |

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CadÚnico – Cadastro Único

DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OMS- Organização Mundial de Saúde

PG - Peso geral

PE - Peso específico

P - Peso total

PNAD- Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios

PNADCA- Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios Contínua

SAA- Sistema de Abastecimento de Água

SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural

SES – Sistema de Esgotamento Sanitário

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento

## 1. INTRODUÇÃO

A água doce superficial é um recurso natural finito, indispensável ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social, além de ser essencial à sobrevivência de todos os seres vivos, apesar disso a população continua poluindo os rios e as suas nascentes, esquecendo o quanto ela é essencial para a permanência da vida do planeta. O saneamento básico é fundamental para a preservação da água doce, através dos sistemas de tratamento de água e esgoto é possível evitar contaminação de águas superficiais e subterrâneas (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011, pg 333).

O saneamento ambiental é um conjunto de ações socioeconômicas que tem como objetivo prevenir a ocorrência de endemias e epidemias veiculadas pelo meio ambiente, este é extremamente importante para a garantia da qualidade de vida englobando questões sociais e preservação ambiental (FUNASA, 2004). O saneamento básico é essencial para o bom desenvolvimento do saneamento ambiental, pois permite o acesso a serviços básicos como água tratada, esgoto coletado, destinação adequada de resíduos, entre outros.

No Brasil há muitos municípios que não são atendidos com saneamento básico. De acordo com o SNIS (2019), cerca de 50% dos municípios brasileiros ainda não têm serviço de esgotamento sanitário e 16,3% dos municípios não têm atendimento à água tratada, é preocupante o descuido com a seriedade das consequências ambientais e sociais causadas por falta de serviços básicos de saneamento.

Além disso, é palpável o descaso ainda maior quando se trata de áreas rurais, 75% das residências rurais não possuem sistema de tratamento de esgotos (IBGE, 2017). Do mesmo modo, é necessário destacar o déficit de sistemas de abastecimento de água nessas áreas, 65% das residências rurais captam a água em poços e nascentes, muitas vezes contaminados (SENAR, 2019).

Atualmente, o Brasil é um país que manifesta baixos índices de atendimento em saneamento básico principalmente em relação à disposição adequada de esgoto, isso se dá como reflexo ao moroso crescimento do investimento em serviços básicos de saneamento (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

De acordo com dados disponibilizados pelo Trata Brasil (2020), percebe-se que a evolução do investimento em sistemas de esgoto é lenta quando comparada com os dados de 2014 a 2020, sendo que as capitais avançaram, em média, apenas 9,24 pontos percentuais de pessoas atendidas com tratamento de esgoto em relação à população total. Além disso, o patamar nacional médio de investimentos anuais por habitante necessários para a universalização, de acordo com dados do PLANSAB citado por Trata Brasil (2020), é de R\$ 114,00 por habitante por ano de investimentos, para esse indicador, os destaques positivos nos últimos cinco anos foram apenas de três estados: Tocantins, São Paulo e Amapá. Segundo um estudo da Organização Mundial da Saúde citada por Leoneti, Prado e Oliveira (2011), o investimento na melhoria do saneamento gera benefício econômico significativo.

Há diversas vantagens econômicas no investimento em saneamento básico, Trata Brasil (2018) apresenta algumas vantagens, entre elas estão redução dos custos com a saúde, aumento da produtividade, ganho anual, valorização imobiliária, expansão do turismo, renda gerada pelo investimento, renda das operações e impostos. O estudo comprovou que em média com investimento em saneamento o Brasil tem um rendimento anual de R\$ 15,503 bilhões, além de caso houvesse a universalização do saneamento no Brasil teria um retorno de R\$ 1.125,737 bilhões no período de 2016 a 2036. Sendo assim, é verídico que o investimento em saneamento não traz apenas impactos positivos sobre o meio ambiente e saúde pública, mas também à economia.

No ponto de vista socioambiental, a falta de saneamento ambiental pode gerar impactos negativos à saúde pública e ao meio ambiente, por exemplo, doenças de transmissão feco-oralis que são causadas por ingestão de água contaminada por microrganismos presentes nas fezes humanas e de animais de sangue quente. Com intuito de evitar a disseminação de doenças causadas por saneamento básico inadequado é fundamental o tratamento dos esgotos gerados com intuito de evitar a contaminação da água. Visto que, cerca de 90% das mortes por diarreia em todo o mundo são atribuíveis à água insegura, saneamento inadequado e higiene precária (UNICEF/WHO, 2009).

A zona rural é afetada tanto quanto a zona urbana por falta de saneamento, porém nessas regiões a questão é mais grave, pois além da falta de tratamento de esgoto como se estas comunidades não produzissem o esgoto, em muitas residências não há rede de abastecimento de água, o que torna essencial a discussão acerca do saneamento rural (CASTANHETTI, 2017). Neste

contexto, percebe-se que é necessária maior cautela às zonas rurais, pois a população residente fica extremamente exposta a infecção por organismos patogênicos.

O saneamento rural é essencial para a garantia de qualidade de vida da comunidade rural, através do fornecimento de água tratada e tratamento dos esgotos gerados. Na grande maioria das residências são utilizadas tecnologias de disposição de esgoto individual, geralmente utilizam fossas sépticas para coleta do esgoto doméstico e lançam as águas residuárias no solo (SCALIZE; BEZERRA, 2020). Entretanto, muitas vezes os efluentes são dispostos *in natura* ou em fossas negras.

Segundo Silva & Nour (2005) apesar da baixa carga de contaminantes presentes no esgoto doméstico, a quantidade lançada de forma inadequada em regiões rurais é significativa, o que demonstra pouca atenção dada aos serviços básicos de disposição de esgoto sanitário.

Toneti *et al.* (2010) *apud* Silva (2014) salienta que entre as opções de disposição de efluentes em zonas rurais destacam-se o uso de tanques sépticos, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, entre outros. Para a escolha da melhor tecnologia a se usar deve-se avaliar as consequências que seu uso pode gerar, dando devida atenção às condições culturais e econômicas da comunidade rural.

Desta forma, pode-se afirmar que o tratamento de esgoto em zona rural é precário, os motivos vão desde a ausência de prioridade nas políticas públicas até a própria cultura do morador da área rural, que não vê o saneamento básico como uma necessidade (EMBRAPA, 2021?). Além disso, os custos de construção e manutenção do sistema de esgoto coletivo em áreas rurais são altos, pois possuem poucas unidades familiares em grande expansão de área, aumentando assim o preço de tubulação e acessórios do sistema de esgoto sanitário - SES.

Da mesma forma, o atendimento por água tratada é precário, há diversas razões para o déficit de atendimento na zona rural, a principal é o elevado custo para implementação e manutenção do sistema de abastecimento de água (EOS, 2019, pg 1). Em um cenário onde há fornecimento de água tratada, o atendimento é parcial ou instável, no geral quando há racionamento de água os primeiros locais a serem atingidos são áreas rurais, as quais utilizam quase sempre soluções alternativas de água. Portanto, destaque-se a necessidade de implementação de políticas públicas voltadas ao saneamento.

Além disso, quando se trata de impactos ambientais, a falta de saneamento na área rural causa muitas consequências negativas ao meio ambiente, por exemplo, o esgoto sanitário quando descartado de forma inadequada contamina os cursos d'água alterando a composição físico-química e biológica da água, impactando diretamente a vida aquática.

Do mesmo modo, os esgotos podem aumentar a quantidade de nutrientes na água gerando eutrofização, alterando assim todo o ecossistema do corpo d'água. Nessa circunstância, é fundamentado que a falta de saneamento rural causa diversos impactos socioambientais, ressalta-se a propagação de doenças por água contaminada capazes de conduzir ao óbito principalmente os idosos e as crianças.

Sendo assim, torna-se necessário pesquisar as possíveis contaminações geradas pelo déficit de tratamento de esgoto e sistemas de abastecimento de água em zonas rurais tanto ao meio ambiente quanto à saúde pública da comunidade para que seja possível evidenciar a necessidade da implantação de soluções alternativas de tratamento de esgoto adaptadas as condições econômicas e sociais da população rural.

## **2. OBJETIVO**

Avaliar impactos sociais, econômicos e ambientais causados pelo déficit no atendimento de serviços básicos de saneamento. Além de apresentar alternativa de tratamento de esgoto, com foco no menor impacto ao meio ambiente e à saúde pública, de acordo com o cenário econômico, cultural e social de comunidades rurais do Brasil.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Caracterizar zonas rurais no Brasil quanto à área territorial ocupada e aos dados sociais como educação, renda, saneamento básico, saúde e economia, utilizando dados indiretos de fontes oficiais;
- Constatar, através de publicações, as formas de tratamento de esgoto mais usuais em zonas rurais no cenário nacional;
- Levantar alternativas de abastecimento de água utilizadas em zonas rurais por meio de estudos publicados;
- Avaliar impactos ambientais e sociais associados ao não tratamento de efluentes e utilização de água não tratada em zonas rurais;
- Sugerir uma alternativa para tratamento de esgoto em zonas rurais, considerando o menor impacto ao sócio-econômico-ambiental.

## 4. REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1. Zona Rural e Urbana

De acordo com o Manual da Base Territorial do IBGE (2014) *apud* IBGE (2017, pg 38) a área urbana é definida como “aquela interna ao perímetro urbano, criada através de lei municipal, seja para fins tributários ou de planejamento urbano”. Já a área rural tem sua definição como “aquela que não foi incluída no perímetro urbano por lei municipal. Caracteriza-se por uso rústico do solo, com grandes extensões de terra e baixa densidade habitacional. Incluem campos, florestas, lavouras, pastos etc”.

As zonas rurais e urbanas ainda podem ser classificadas de acordo com o acesso dos municípios a bens e serviços mais complexos, esta é uma classificação realizada pelo IBGE (2017) a fim de traduzir entre os municípios diferenciação das oportunidades a partir do acesso a economias maiores – centros de informação, comunicação, comércio e finanças. Sendo assim os municípios brasileiros foram classificados como remotos e adjacentes.

Municípios remotos: “municípios que estão a uma distância relativa acima da média nacional, simultaneamente, em relação a maiores hierarquias das regiões de influência das cidades mais próximas” (IBGE, 2017, pg 54).

Municípios adjacentes: “municípios cuja distância for igual ou inferior à média nacional em relação a pelo menos uma das regiões de influência das cidades consideradas” (IBGE, 2017, pg 54).

Além disso, o IBGE (2017, pg 59) classifica os municípios como:

- a) Município predominantemente urbano:
  - a. Municípios em Unidades Populacionais com mais de 50.000 habitantes em área de ocupação densa;
  - b. Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 50%;
  - c. Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 75%.
- b) Município intermediário:
  - a. Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização entre 25 e 50%;

- b. Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização entre 50 e 75%;
  - c. Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 3.000 e 10.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização superior a 75%.
- c) Município predominantemente rural:
- a. Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 25.000 e 50.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 25%;
  - b. Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 10.000 e 25.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 50%;
  - c. Municípios em Unidades Populacionais que possuem entre 3.000 e 10.000 habitantes em área de ocupação densa com grau de urbanização inferior a 75%.

Desta forma, através do cruzamento de dados os municípios urbanos podem ser classificados como predominantemente urbano, intermediário adjacente e intermediário remoto. Os rurais são classificados como rural adjacente e rural remoto.

#### **4.2. Histórico do Saneamento Básico no Brasil**

Os povos indígenas que viviam no Brasil eram admirados pelos jesuítas pelo ótimo estado de saúde, entretanto com a chegada dos povos colonizadores começaram a surgir doenças infecciosas, para as quais o organismo dos índios não tinha defesa. Desta forma, começou-se a preocupação com a limpeza das ruas e com o transporte de água segura (CAVINNATO 1992, *apud* RIBEIRO; ROOKE, 2010).

Ainda de acordo com Cavinnato (1992) *apud* Ribeiro e Rooke (2010) com a vinda da família real para o Brasil começou-se a preocupação com a dispersão de doenças no país, desta forma foram criadas barreiras com o propósito de controlar a entrada das pessoas no Brasil. Contudo, os domicílios ainda eram construídos sem sanitários, as fezes eram descartadas nos rios e transportadas por escravos em uma bacia. As condições de saúde na área urbana naquela época eram piores que no campo e eram passíveis de transmissão de doenças. Com o fim da escravidão não havia mais escravos para transportar os dejetos, sendo assim foi necessário a busca por alternativas relacionadas ao saneamento básico.

Os primeiros índices de saneamento básico no Brasil surgiram no século XIV quando o fundador Estácio de Sá mandou escavar o primeiro poço para abastecer o Rio de Janeiro. Posteriormente Aires Saldanha teve a iniciativa da construção do aqueduto do Rio Carioca para o abastecimento do Estado, por volta de 1620. A obra foi entregue em 1973 à população, constituindo o primeiro sistema de abastecimento de água (TRATA BRASIL, 2020).

Segundo Cavinnato (1992) *apud* Ribeiro e Rooke (2010), no início do século XX, Oswaldo Cruz iniciou o processo de diminuir a evolução de epidemias, para isso realizou a limpeza de casas, ruas e terrenos com o intuito de acabar com os animais causadores de doenças. Posteriormente, surgiram várias obras civis voltadas para o saneamento, em 1930 já haviam diversas obras de sistema de esgoto e abastecimento de água.

Atualmente, o debate sobre o saneamento para todos ainda é muito discutido, há vários estudos que visam o atendimento de água tratada e coleta e tratamento de esgoto para toda população. Todavia, o saneamento ambiental ainda precisa de atenção, pois em muitas regiões brasileiras há falha no sistema de abastecimento de água e sistema de esgoto sanitário.

### **4.3. Saneamento Básico**

O saneamento básico é um item primordial para conservação das águas a fim de evitar a contaminação por descartes inadequados de efluentes domésticos e industriais. Segundo a Lei 14.026/2020, saneamento básico é definido como:

Conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de:

- a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição;
- b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente;
- c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana;
- d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes.

A saúde é fator relevante para o saneamento básico, o saneamento visa à prevenção de doenças e contaminações referentes a atitudes reativas da população. A maior parte dos problemas sanitários passíveis de afetar a saúde e bem estar da população está diretamente relacionado com o meio ambiente. A falta de saneamento básico vem causando várias consequências

negativas à população, um exemplo disso, são doenças como a diarreia, que é capaz de afetar principalmente as crianças (FUNASA, 2019).

O saneamento ambiental é imprescindível tanto na zona urbana quanto na zona rural, porém no Brasil há descuido maior nas zonas rurais, a porcentagem de atendimento de água tratada não chega à toda população residente, quando se trata de atendimento de esgotamento sanitário a realidade é ainda mais preocupante.

Saneamento rural é definido como “conjunto de ações de saneamento básico desenvolvidas para atender as comunidades rurais e populações tradicionais, mediante o emprego de soluções economicamente viáveis e com a participação social” (SCALIZE E BEZERRA, 2020, pg 11).

Segundo Brasil (1988) o saneamento básico é um direito universal. Castanhetti (2017) menciona que o esgotamento sanitário é uma exigência legal, disposto no Estatuto das Cidades na Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 e regulamentado na Lei 11.445, promulgada em 5 de janeiro de 2007. Sendo assim, nota-se a responsabilidade do estado sob o acesso ao saneamento básico pela população rural, para que seja possível de realização são necessárias implantação de políticas públicas voltadas para o saneamento rural.

Políticas públicas são definidas por SEBRAE (2008) como ações, metas e planos dispostos pelo governo em busca de melhor qualidade de vida e atendimento aos direitos humanos da sociedade. Os governantes escolhem as políticas públicas a serem implantadas de acordo com o que entendem serem as expectativas da população.

A FUNASA em 2014 começou a formulação do Plano Nacional de Saneamento Rural (PNSR) por meio do desempenho de diversas esferas como gestores federais, especialistas, pesquisadores, organizações comunitárias, movimentos sociais, órgãos municipais e estaduais que atuam diretamente no saneamento rural. O principal objetivo do programa é atender 40 milhões de pessoas das áreas rurais do Brasil até 2038. Em 03 de dezembro de 2020 foi assinada a Portaria nº 3.174, de 2 dezembro de 2019 que visa questões a respeito da garantia de equidade, integralidade, intersetorialidade, sustentabilidade dos serviços, participação e controle social de ações de saneamento nas áreas rurais (FUNASA, 2019).

O PNRS é fundamental para a expansão do saneamento no campo, através da implantação do programa e os investimentos necessários é possível alcançar a universalização do saneamento

rural no Brasil. Desta forma, irá proporcionar melhor qualidade de vida aos moradores rurais e garantia dos direitos humanos.

Portanto, visto que é falho o atendimento de saneamento básico nessas regiões, questões relacionadas a tratamento de água e esgoto, drenagem urbana e disposição adequada de resíduos sólidos devem ser discutidas.

#### **4.4. Ciclo da Água**

O ciclo hidrológico (ciclo da água) é um processo contínuo de transporte de massas de água do oceano para a atmosfera e da atmosfera para o oceano, isso acontece através de precipitações e escoamentos (ESTEVES, 1998). Esse movimento permanente da água deve-se a fatores como evaporação, que utiliza a energia do sol para elevar a água da superfície terrestre à atmosfera, a precipitação, que faz com que a água condensa e precipita em direção a terra através da gravidade, escoamento superficial, após o contato da água a superfície por precipitação, a água circula através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos, escoamento subterrâneos, infiltração da água precipitada no solo atingindo os reservatórios subterrâneos. Além disso, há o processo de evapotranspiração no qual a água infiltra no solo e é absorvida pela vegetação, através da transpiração a devolve para a atmosfera (UFJR, 2006).

Nota-se a importância do ciclo hidrológico para a manutenção da água no planeta, entretanto o ciclo da água é afetado por ações antrópicas, por exemplo, a urbanização, que diminui a quantidade de água que irá retornar a atmosfera através da impermeabilização de vias, casas e desmatamento da vegetação, impossibilitando assim o processo de evapotranspiração.

À medida que o desenvolvimento econômico avança, a sociedade tende a consumir mais água, devido ao crescimento das populações, o grau de urbanização e aumento das necessidades para irrigação, e produção de alimentos, aumentando assim a pressão sob os recursos hídricos. A disponibilidade de água doce para a população está sendo afetada devido as ações antrópicas capazes de gerar modificações no ciclo natural da água. Os impactos qualitativos da diminuição de água disponível são inúmeros e variáveis e têm consequências ecológicas, econômicas, sociais e na saúde humana (TUNDISI, 2021?).

#### **4.5. Importância da Água de Boa Qualidade**

A água é indispensável para a sobrevivência de todas as formas de vida da terra, devido às suas diversas características. É um recurso natural essencial para natureza, saúde, economia e

qualidade de vida humana. Quando se trata de cultura a água é um importante elemento para construção e crescimento das civilizações, além disso, no ponto de vista socioeconômico a água é fundamental na maior parte dos processos produtivos de diferentes produtos (SOUZA *et al.*, 2014).

De acordo com Morales *et al.* [2021?] a água é extremamente importante para os seres humanos e suas atividades fisiológicas, 70% do peso do corpo humano é composto por água, ou seja, o sistema fisiológico depende diretamente da água para manter os seres humanos vivos. A água é capaz de associar com diversas substâncias inclusive com compostos capazes de contaminá-la, por exemplo, no corpo humano a água contida nas células se associa aos compostos tóxicos ali presentes e os eliminam através da excreção, na forma de urina.

Da mesma forma que a água interage com compostos contaminantes no corpo humano e traz benefício, no meio ambiente ela também é capaz de interagir com poluentes, porém causando impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente. Sendo assim, é verídico que a água traz benefícios ao corpo humano, mas também pode ser nociva, dependendo da sua composição (MORALES, 2021?, pg 1). Diversas são as intoxicações que podem ser geradas no caso de consumo de água contaminada, ressalta-se assim a importância do consumo de água de boa qualidade.

#### **4.6. Sistema de Abastecimento de Água (SAA)**

A importância da qualidade e quantidade de água para população vai além de aspectos relacionados à preservação da saúde e meio ambiente, tendo em vista também o seu desenvolvimento econômico. Desta forma, é importante debater a respeito do sistema de abastecimento de água (SAA) que irá tratar aspectos sociais e econômicos (COSTA, 2015).

Sistema de abastecimento de água é definido como “conjunto de infraestruturas, equipamentos e serviços com objetivo de distribuir água potável para o consumo humano, bem como para o consumo industrial, comercial, dentre outros usos” (SNIS, 2019, pg 1). A água de boa qualidade é essencial para a sobrevivência de todos os indivíduos, além de ser primordial para o desenvolvimento econômico. O sistema de abastecimento de água possibilita o adequado tratamento e distribuição de água para fins de uso potável, em processos produtivos, irrigação, entre outros.

Desta forma, o SAA é composto por três etapas principais, as quais são captação, estação de tratamento de água e redes de distribuição (SNIS, 2019). A captação é o conjunto de estruturas e dispositivos, construídos ou montados junto ao manancial, para a retirada de água destinada ao sistema de abastecimento. A água bruta é captada em mananciais superficiais ou subterrâneos (COSTA, 2015). Manancial é a fonte de onde será retirada a água (RIBEIRO; ROOKE, 2010).

Na estação de tratamento de água (ETA) acontece o tratamento da água através de processos físicos e químicos nos quais são retiradas as impurezas da água bruta tornando-a própria para consumo. O tratamento de água é dividido em etapas as quais irão depender do tipo de tratamento adotado. As etapas viáveis para o tratamento da água convencional podem ser observadas na Figura 4.1.

**Figura 4.1** - Quadro das etapas do tratamento convencional de água para abastecimento público em uma ETA

| <b>Etapas da ETA</b> | <b>Descrição</b>  |
|----------------------|---|
| <b>Coagulação</b>    | Processo químico que atua principalmente nas partículas em suspensão a fim de eliminar ou reduzir as cargas elétricas dos coloides, de forma que estes possam se agregar formando flocos maiores que possam sedimentar.   |
| <b>Floculação</b>    | Produção efetiva de flocos.   |
| <b>Decantação</b>    | Processo de separação das partículas sólidas da água, através da ação da gravidade, no qual as partículas são sedimentadas.   |
| <b>Filtração</b>     | Retenção de partículas menores através de filtros constituídos de um meio poroso granular, normalmente areia, de uma ou mais camadas, instalado sobre um sistema de drenagem.   |
| <b>Desinfecção</b>   | Utilização de um agente físico (radiação UV) ou químico (agente desinfetante) para a destruição ou inativação de organismos patogênicos capazes de provocar doenças ou outros organismos indesejáveis. O cloro é quase sempre usado como agente desinfetante e por isso o termo desinfecção é comumente substituído por cloração. |

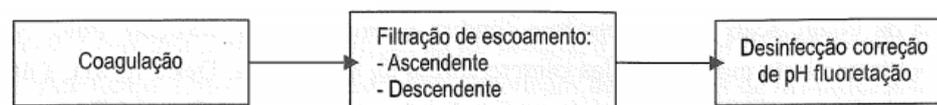
|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>Fluoretação</b>    | A fluoretação da água de abastecimento público é efetuada através da adição de compostos à base de flúor. A aplicação destes compostos na água de abastecimento público contribui para a redução da incidência de cárie dentária. |
| <b>Correção de pH</b> | O ajuste do pH é efetuado através da adição de produtos químicos para que a água não se torne excessivamente ácida  |

Fonte: Adaptado de SAAE (2006) e KONRADT-MORAES (2009)

As tecnologias utilizadas para o tratamento da água irão depender da finalidade de uso e qualidade da água bruta, em alguns casos é necessário apenas o tratamento por desinfecção. O modelo de tratamento empregado irá interferir diretamente no tipo de filtração que será utilizada. De acordo com Libânio (2010), quando não é aplicado o processo de coagulação química, é empregada a filtração lenta, na qual são utilizados filtros lentos a jusante de filtros rápidos com o intuito de maximizar a remoção de cistos e oocistos de protozoários.

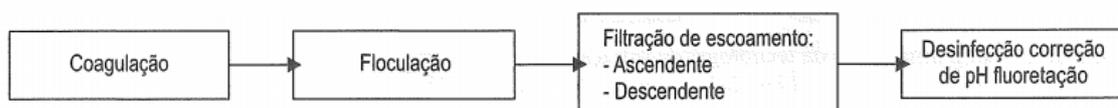
Se o processo de coagulação é empregado e não é adotada a decantação, utiliza-se usualmente a filtração direta, a qual é subdividida em razão da presença do processo de floculação. Quando há presença do processo de floculação utiliza-se a filtração direta, se não há floculação é utilizado à filtração em linha. As diferenças dos processos podem ser observadas nas Figuras 4.2 e 4.3.

**Figura 4. 2 - Fluxograma da filtração direta em linha**



Fonte: Libânio (2010)

**Figura 4. 3 - Fluxograma da filtração direta**



Fonte: Libânio (2010)

Sendo assim, é necessária a avaliação do uso e qualidade da água para determinar a tecnologia mais adequada para evitar gastos desnecessários com sistema de tratamento de água e ser possível fornecimento de água de boa qualidade.

#### **4.7. Soluções Alternativas de Abastecimento de Água**

São diversas as soluções alternativas para o abastecimento de água, principalmente em relação à utilização para fins potáveis. Em algumas regiões onde não há o abastecimento de água por rede pública, este é realizado através de soluções individuais. Principalmente no campo são utilizadas soluções alternativas de abastecimento que podem ser abastecidas por águas subterrâneas ou superficiais, as soluções alternativas mais usuais são as nascentes, os poços, cisternas e mananciais superficiais.

A nascente é uma das soluções alternativas de abastecimento utilizadas, de acordo com a Resolução CONAMA nº 303 de 20 de março de 2002 nascentes são “locais onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea”. As nascentes tem relação direta com a precipitação, evapotranspiração e infiltração, desta forma a vazão e o local em que se encontra uma nascente pode variar durante o ano hidrológico (PEREIRA *et al.*, 2011).

A cobertura vegetal implica diretamente na conservação das nascentes, esta é fundamental para a recarga do aquífero freático, permitindo que água percole e aflore nas nascentes e olhos d'água. A supressão vegetal irá diminuir a quantidade de água infiltrada e aumentar o escoamento superficial, conseqüentemente há o assoreamento no canal de drenagem e a diminuição da contribuição do fluxo de base no corpo de água superficial (PEREIRA *et al.*, 2011).

Outra solução alternativa utilizada é o poço, este é definido como uma perfuração profunda no solo geralmente vertical, usada para a captação, recarga ou observação das águas subterrâneas através de mecanismos artificiais ou naturais. Os poços captam água em profundidades não superiores a 15 m, porém, em alguns casos podem ter profundidades superiores a 50 m. São extremamente importantes em zonas rurais para o uso e consumo humano, principalmente nas residências que não são atendidas com água canalizada (VASCONCELOS, 2014, pg 9).

Os poços são divididos em dois grupos: poços escavados e poços tubulares. Poços escavados são aqueles que possuem diâmetros maiores que 0,5 m, contendo variação na profundidade, estes são divididos em cacimba, cambimbão e amazonas. Poços tubulares possuem um

revestimento tubular com diâmetro inferior a 1 m, podendo variar de acordo com a profundidade. Alguns modelos de poços tubulares são freático, artesiano e semi-artesiano (VASCONCELOS, 2014). A cisterna é uma espécie de poço profundo, sendo esta construída manualmente e não necessita de licença ou autorização de órgãos públicos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2021?).

Além disso, a cisterna também pode ser utilizada para o armazenamento de água de chuva. São construídas próximas as unidades familiares, onde ocorre o direcionamento da água de chuva que precipita sobre o telhado até para o seu interior. Essa tecnologia é muito utilizada em áreas com recursos hídricos escassos (ARAUJO, 2020).

O manancial superficial são os rios, lagos, córregos, represas e consiste no escoamento superficial da água, que pode ser advinda de chuva ou até mesmo de nascentes. Esses cursos d'água correm maior risco de contaminação por estar mais próximo a fontes contaminantes como esgoto, vazamentos de produtos contaminantes, etc. Desta forma, é necessário maior atenção, águas superficiais devem no mínimo ser submetidas ao tratamento por filtração e posteriormente desinfecção (BRASIL, 2020).

#### **4.8. Definições de Esgoto Sanitário**

O esgoto sanitário é o termo utilizado para águas que já foram utilizadas e precisam de correta destinação. Segundo a norma ABNT NBR 9648 (1986) *apud* Pires (2018, pg 10), esgoto sanitário é definido como “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”.

Esgoto doméstico é definido por Jordão e Pessoa (2009) *apud* Pires (2018, pg 10) como despejos líquidos de instalações de banhos, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo que utilize água para fins domésticos, ou seja, esgoto doméstico são fezes, urinas, água de banho, resto de comida, entre outros rejeitos que são descartados na linha de esgoto.

Os esgotos industriais divergem dos esgotos domésticos, pois são despejos líquidos provenientes de águas utilizadas em processos produtivos, os quais possuem características próprias de acordo com o processo pelo qual a água passou (PIRES, 2018).

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2011) são as águas subterrâneas que percolam e penetram nos sistemas pelas juntas e paredes das tubulações ou através de dispositivos de manutenção do sistema.

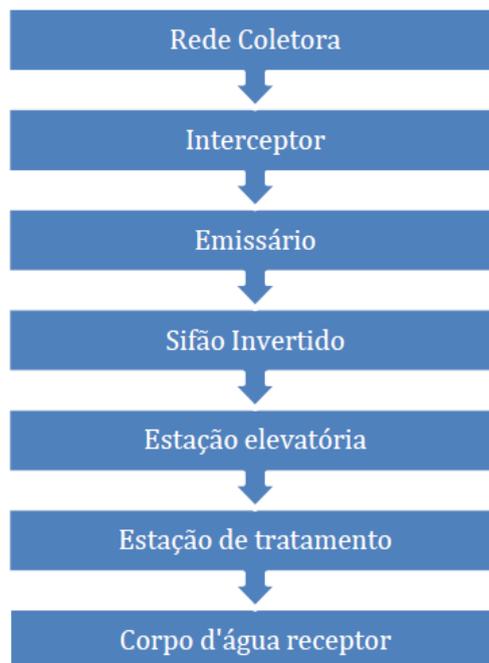
A ABNT NBR 9648 (1986) define contribuição parasitária como “parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário” (*apud* PIRES, 2018, pg 10).

#### **4.9. Sistema de Esgotamento Sanitário (SES)**

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011, pg 5) a concepção de um sistema de esgoto sanitário é “o conjunto de estudos e conclusões referentes ao estabelecimento de todas as diretrizes, parâmetros e definições necessárias e suficientes para a caracterização completa do sistema a projetar”. O sistema de esgoto sanitário é dividido em: rede coletora, interceptor, emissário, sifão invertido, corpo d'água receptor, estação elevatória e estação de tratamento.

Ainda de acordo com esse autor, a rede coletora tem como objetivo receber e conduzir os esgotos dos domicílios até os emissários ou interceptores, caso haja alguma transposição de obstáculos pela tubulação de esgoto é utilizado o sifão invertido. Além disso, a estação elevatória é muito utilizada com o objetivo de transferir os esgotos de uma cota mais baixa para outra mais alta. Ao fim do transporte o esgoto chega a uma estação de tratamento, onde ocorre o tratamento do esgoto para posterior descarte em um corpo d'água receptor. A Figura 4.4 apresenta os componentes do sistema de esgotamento sanitário.

**Figura 4.4 – Diagrama dos componentes do esgotamento sanitário**



Fonte: Autora (2021)

O SES pode ser feito de três modelos diferentes: sistema unitário, sistema misto e sistema separador. De acordo com o TRATA (2021) o sistema de esgoto unitário é a coleta de água pluvial, esgoto industrial e doméstico no mesmo coletor, já no sistema misto o coletor recebe o esgoto sanitário e uma parte das águas pluviais. O sistema separador é o mais utilizado no Brasil, neste sistema os efluentes domésticos e industriais são separados da água de chuva.

#### **4.10. Técnicas de Tratamento de Esgoto**

O tratamento de esgoto passa por diversas etapas: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário. De acordo com von Sperlig (1996) *apud* Mello (2007) os sólidos grosseiros são eliminados no tratamento preliminar. O tratamento primário por meio de mecanismos físicos faz a eliminação de uma parte da matéria orgânica e sólidos sedimentáveis. A remoção total da matéria orgânica e de nutrientes acontece no tratamento secundário onde predominam mecanismos biológicos. Os poluentes não removidos no tratamento secundário podem ser removidos através do tratamento terciário.

De acordo com Mello (2007), há diversas técnicas para serem aplicadas a todos os tipos de tratamento de esgoto. Tais técnicas são destacadas a seguir:

#### *4.10.1 Técnicas de Tratamento Preliminar*

Gradeamento: esta etapa é composta por barras separadas por certa distância e tem como objetivo a remoção de sólidos grosseiros como pedras, pedaços de madeira, brinquedos, animais mortos e outras partículas menores, que são retiradas de acordo com o tipo de grade adotada: grossa, média e fina (JUNIOR, 2001 *apud* MELLO, 2007).

Peneiramento: esta etapa visa a remoção de sólidos grosseiros com granulometria maior que 0,25 mm, usualmente o peneiramento é utilizado para tratamento de efluente industrial, pois o sólido pode ser reaproveitado (JUNIOR, 2001 *apud* MELLO, 2007).

Caixa de areia: esta etapa se resume a eliminação de areia presente no efluente, à remoção acontece pelo processo de sedimentação onde há a separação da parte sólida e líquida (VON SPERLING, 1996 *apud* MELLO, 2007).

#### *4.10.2 Técnicas de Tratamento Primário*

Decantador primário: esse processo tem como objetivo clarificar o esgoto removendo os sólidos em suspensão de maior densidade contidos nele. Além disso, é aproveitado para remoção de espuma, óleos e graxas acumulados na superfície (NUVOLARI, 2003 *apud* MELLO, 2007).

#### *4.10.3 Técnicas de Tratamento Secundário*

Lagoa de estabilização: de acordo com von Sperling (1996) *apud* Mello (2007) o objetivo desse processo é a remoção de matéria rica em carbono, além de remover organismos patogênicos em alguns casos. Existem diversos tipos de lagoas de estabilização, são identificadas de acordo com o grau de remoção de carga orgânica e patógenos.

Reatores anaeróbios: “sistema de tratamento fechado onde se processa a digestão do esgoto, sem a presença de oxigênio” (SAAE, 2006). Esta etapa divide o esgoto em três fases: sólida (lodo), líquida (efluente líquido) e gasosa (biogás) e objetiva a remoção da matéria orgânica, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (VON SPERLING, 1996 *apud* MELLO, 2007).

Lodos ativados: segundo Silva [2021?] é o processo biológico no qual o esgoto afluente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados ocorrendo a decomposição da matéria orgânica pelo metabolismo das bactérias presentes. “No sistema de lodos ativados há um reservatório de bactérias, ainda ativas e ávidas na unidade de decantação, caso parte destas

bactérias seja retornada à unidade de aeração, a concentração de bactérias sofrerá acréscimo nesta unidade” (VON SPERLING, 1996 *apud* MELLO, 2007, pg 31).

Filtros biológicos: “são unidades de tratamento de esgotos destinados à oxidação O efluente é aspergido continuamente sobre um leito de pedras justapostas entre as quais o ar pode circular” (SAAE, 2006, pg 13).

Tanques de sedimentação: “a sua função é promover a sedimentação de partículas sólidas, através da diferença de densidade e utilizando-se de um tempo de detenção hidráulico, evitando com que estas estejam presentes no efluente final” (MELLO, 2007, pg 35).

#### *4.10.4 Técnicas de Tratamento Terciário*

Tanque de desinfecção: é um sistema de tratamento químico, com função de desinfetar o efluente, geralmente o desinfetante utilizado é o cloro, o qual atua diretamente nos organismos patogênicos resultando na morte dos mesmos. Além do cloro podem ser utilizados ozônio, dióxido de cloro, entre outros (MELLO, 2007).

Radiação ultravioleta: esta etapa inativa os microrganismos através da absorção de luz, que causa uma reação fotoquímica, alterando componentes moleculares essenciais para as funções das células (MELLO, 2007).

Precipitação química: este método acontece por meio de adição de sais metálicos, por exemplo, ferro e alumínio, causando a precipitação de um fosfato de metal insolúvel, que é separado por sedimentação. Está técnica é eficiente na remoção de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo (REISMANN; VIEIRA; RODRIGUES, 2017).

Além das técnicas convencionais existem as técnicas de tratamento simplificadas, que são técnicas utilizadas para atender pequenas comunidades e unidades familiares, como as áreas rurais. A técnica mais utilizada no Brasil é o tanque séptico.

### **4.11. Soluções Individuais de Tratamento de Esgoto**

Além de técnicas coletivas de tratamento e disposição de esgoto, existem alternativas que são utilizadas em locais onde não há a rede de esgoto. Em geral, as áreas rurais não são atendidas com sistema de tratamento de esgoto coletivo, utilizando normalmente soluções alternativas para disposição de efluentes. Isso se dá devido à significativa distância entre o ponto de geração

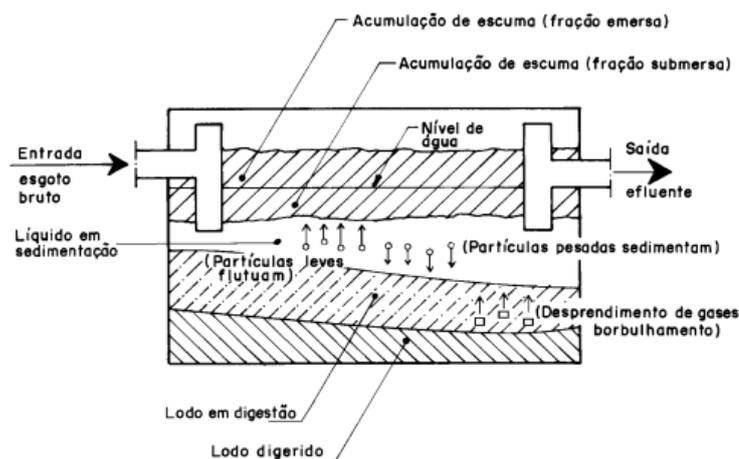
de esgoto e de sua disposição final, sendo inviável a implantação do sistema de esgoto devido ao alto custo de implantação.

Os domicílios presentes na zona rural Brasileira sofrem déficit na coleta e tratamento de esgoto, e para intensificar a situação alguns domicílios não têm sistema de abastecimento de água. Em domicílios onde há a rede de abastecimento de água é garantida a entrega de água potável e de boa qualidade. Já os domicílios que não são beneficiados com água tratada são mais susceptíveis a contaminação da água utilizada de acordo com a solução individual para tratamento de esgoto adotada.

Diversas são as soluções individuais adotadas quando não há sistema coletivo de esgoto, as mais usuais em zonas rurais são a fossa séptica, fossa rudimentar e vala a céu aberto.

A fossa séptica, também conhecida como tanque séptico, é uma das alternativas utilizadas no tratamento de esgoto, seu objetivo é reter os sólidos inorgânicos e orgânicos por sedimentação. Esta técnica é considerada como um sistema de tratamento primário, na qual os sólidos ficam retidos até que seja necessária a destinação destes a uma estação de tratamento de esgoto. Os mecanismos utilizados na fossa séptica são a sedimentação e digestão anaeróbia da matéria orgânica biodegradável do esgoto, esse tratamento não é viável para a disposição do efluente no meio ambiente, pois há remoção apenas de 50 a 60% de DBO, sendo necessário tratamento complementar. A Figura 4.5 exemplifica o funcionamento de uma fossa séptica (ÁVILA, 2005).

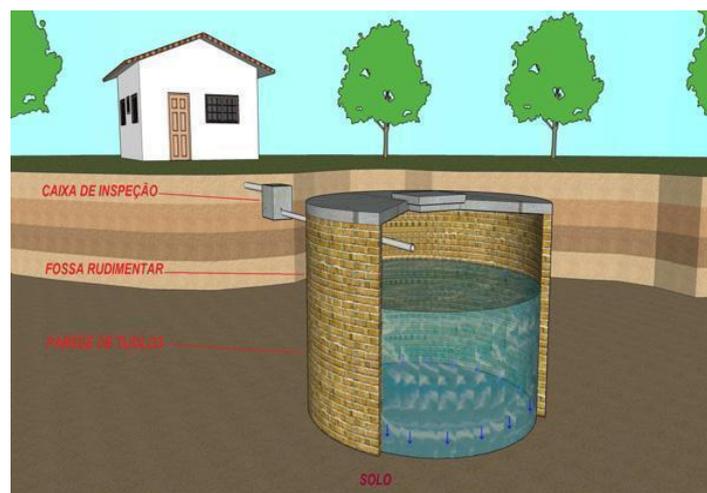
**Figura 4.5-** Funcionamento de tanque séptico



Fonte: ABNT (1993)

Já a fossa rudimentar é um sistema de disposição de esgoto sanitário diretamente no solo. A fossa rudimentar é um local sem impermeabilização onde efluentes domésticos são dispostos no solo sem nenhum tipo de tratamento. (FUNASA,2015 apud, FIGUEIREDO *et al.* 2019, pg 88). As fossas rudimentares também podem ser conhecidas como fossa absorvente, fossa negra ou fossa caipira. É definida por alguns autores como sistema inadequado de tratamento de esgoto, pois pode causar contaminação no solo, água subterrânea, geração de odor e trazer diversos malefícios a saúde pública. Essa tecnologia pode ser observada na Figura 4.6.

**Figura 4.6** – Modelo de uma fossa rudimentar



Fonte: Sotero (2010)

As valas são buracos feitos no solo, sem impermeabilização, onde as pessoas descartam o esgoto gerado em suas residências desprovido de tratamento. Essa técnica é empregada em muitos bairros brasileiros, sendo extremamente preocupante para saúde ambiental. De modo geral, estas são feitas próximas às residências a fim de diminuir os gastos com tubulação. A Figura 4.7 apresenta uma vala negra construída no município de Santa Cecília em Santa Catarina.

**Figura 4.7** – Vala negra do município de Santa Cecilia



Fonte: Prefeitura de Santa Cecilia (2017)

Além das soluções individuais mais usuais na zona rural, há diversas outras técnicas que podem ser implantadas nesta região para uma disposição adequada do esgoto. Entre as diversas técnicas existentes, a fossa biodigestora, os wetlands construídos e o reator UASB recebem destaque pelas vantagens econômicas e ecológicas que apresentam.

A fossa biodigestora é uma técnica que permite com eficácia a eliminação de patógenos do efluente, além disso, gera um aflente com alto potencial fertilizante para fertirrigação das plantas (SAVEGNAGO; FERRI, 2014 *apud* PEREIRA *et al.*, 2018). Os wetlands construídos são uma espécie de “jardim filtrante” capazes de remover poluentes por meio da filtração e da depuração da matéria orgânica (CORNELLI *et al.*, 2014). Já o funcionamento do reator UASB visa à decomposição anaeróbia da matéria orgânica, onde acontece por intermédio de uma coluna de escoamento ascendente, onde ocorre digestão, sedimentação e a separação das fases do efluente (CORNELLI *et al.*, 2014, pg 29).

#### **4.12. Doenças Relacionadas ao Saneamento Básico Inadequado**

A problemática ambiental quanto à garantia da qualidade da água está diretamente relacionada à eficácia dos sistemas de saúde pública, discussão que é realizada há muitos anos. Segundo Rosen (1958) *apud* Morales [2021?] os principais problemas relativos à saúde pública têm

relação com a vida em comunidade, o controle e a melhoria do ambiente físico (saneamento), o controle de doenças transmissíveis e a qualidade/quantidade de água disponível para a população.

Saúde pública é definida pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como “todo conjunto de medidas executadas pelo Estado para garantir o bem estar físico, mental e social da população”. O órgão responsável por coordenar a saúde pública é a Organização Mundial da Saúde, ela visa garantir prevenção e tratamento de doenças, além de melhorar a qualidade da água, do ar e dos alimentos (CDD, 2015). De acordo com o artigo 196 da Constituição Federal:

A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação (BRASIL, 1988).

O Meio Ambiente é definido pela Política Nacional de Meio Ambiente - PNMA (1981) como “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”. O termo utilizado para tratamento de questões relacionadas à saúde pública e meio ambiente é "saúde ambiental”.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS (1993) citada por Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2020, pg 1):

Saúde Ambiental são todos aqueles aspectos da saúde humana, incluindo a qualidade de vida, que estão determinados por fatores físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos no meio ambiente. Também se refere à teoria e prática de prevenir ou controlar tais fatores de risco que, potencialmente, possam prejudicar a saúde de gerações atuais e futuras.

Desta forma, saúde ambiental é definida como a interação do indivíduo com o meio ambiente, sendo que o resultado desta interação pode se dar de forma benéfica ou maléfica, resultando em doenças ou agravos à saúde (SECRETARIA DE SAÚDE DE GÓIAS, 2021?). A qualidade da água é um dos pontos de monitoramento da saúde ambiental, o intuito do monitoramento é evitar contaminação por organismos patogênicos que possam prejudicar a saúde humana.

A água contaminada por dejetos humanos e de animais de sangue quente apresenta em sua composição a presença de coliformes termotolerantes, o que a torna imprópria para consumo. Este recurso natural é capaz de gerar contaminação de diversas formas, ao ser ingerida diretamente e indiretamente (alimentos contaminados pela água), e ao praticar atividade em

contato com a água de recreação.” A água serve de veículo para transmissão de algumas doenças. As doenças transmitidas pela água são denominadas doenças de veiculação hídrica” (DEALESSANDRI, 2013, pg 57).

É verídico que a maior parte das doenças hídricas estão relacionadas à falta de saneamento básico, tal elemento que é fator imprescindível para evitar o aumento de enfermidades. É grande e preocupante a quantidade de doenças relacionadas ao descarte inadequado de esgoto, sendo assim tornam-se necessárias políticas públicas que tenham como intuito expandir o saneamento básico a toda população, principalmente a população residente em áreas rurais.

#### **4.13. Banco de Dados Sobre Saneamento Básico**

##### *4.13.1 Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD)*

A PNAD é uma pesquisa realizada pelo IBGE de periodicidade anual, é um banco de dados extremamente importante, entretanto foi encerrada em 2015, “ela pesquisava, de forma permanente, características gerais da população, educação, trabalho, rendimento e habitação, e, com periodicidade variável, outros temas, de acordo com as necessidades de informação para o País, tendo como unidade de investigação o domicílio” (IBGE, 2021?, pg 1).

Em 2012 foi realizada a primeira Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) na qual posteriormente foi utilizada como substituta da PNAD. A PNAD contínua é realizada mensalmente, trimestralmente, anualmente e pode variar quando for necessário. O objetivo dessa pesquisa é “acompanhar as flutuações trimestrais e a evolução, no curto, médio e longo prazos, da força de trabalho, e outras informações necessárias para o estudo do desenvolvimento socioeconômico do País” (IBGE, 2021?, pg 1).

##### *4.13.2 Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento (SNIS)*

SNIS é um sistema que compõe um banco de dados sobre o atendimento ao saneamento básico no Brasil. Esse sistema foi criado em 1996 e é vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) e do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR).

O SNIS visa apresentar indicadores “caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade da prestação de serviços de saneamento básico em áreas urbanas das quatro componentes do saneamento básico” (BRASIL, 2019, pg 1).

#### *4.13.3 Censo Demográfico*

O censo demográfico é um banco de dados publicado pelo IBGE, correspondendo a “principal fonte de referência para o conhecimento das condições de vida da população em todos os municípios do País e em seus recortes territoriais internos” (IBGE, 2021?, pg 1). O último censo publicado foi em 2010 e o próximo será realizado entre os meses de agosto a outubro de 2021.

#### *4.13.4 Cadastro Único (CadÚnico)*

O CadÚnico é um programa social do governo federal, capaz de identificar e caracterizar as famílias de baixa renda, possibilitando que o governo tenha maior conhecimento sobre a situação socioeconômica dessa parcela da população. As pessoas que são cadastradas no CadÚnico devem ter renda de até meio salário mínimo por pessoa ou até 3 salários mínimos de renda mensal total (BRASIL, 2019).

Os dados sobre o Cadastro Único estão disponíveis por meio de um conjunto de ferramentas informatizadas, construídas em parceria com a Secretaria de Avaliação e Gestão da Informação (Sagi) do Ministério da Cidadania, esses dados podem ser acessados de forma pública (BRASIL, 2019).

#### *4.13.5 Sig Cisternas*

O Sig Cisternas é fruto de um programa do governo federal que visa levar atendimento de água para famílias rurais de baixa renda atingidas pela seca, o banco de dados é utilizado como forma de garantia do controle e transparência do programa. Todas as cisternas entregues pelo ministério da economia são cadastradas no SIG Cisternas (BRASIL, 2021?).

#### *4.13.6 Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS)*

Em 1991 surgiu o DATASUS, que “tem como responsabilidade prover os órgãos do SUS de sistemas de informação e suporte de informática, necessários ao processo de planejamento, operação e controle”. O principal objetivo é o acompanhamento da implantação de políticas públicas e a influência na saúde da população Brasileira (BRASIL, 2021?).

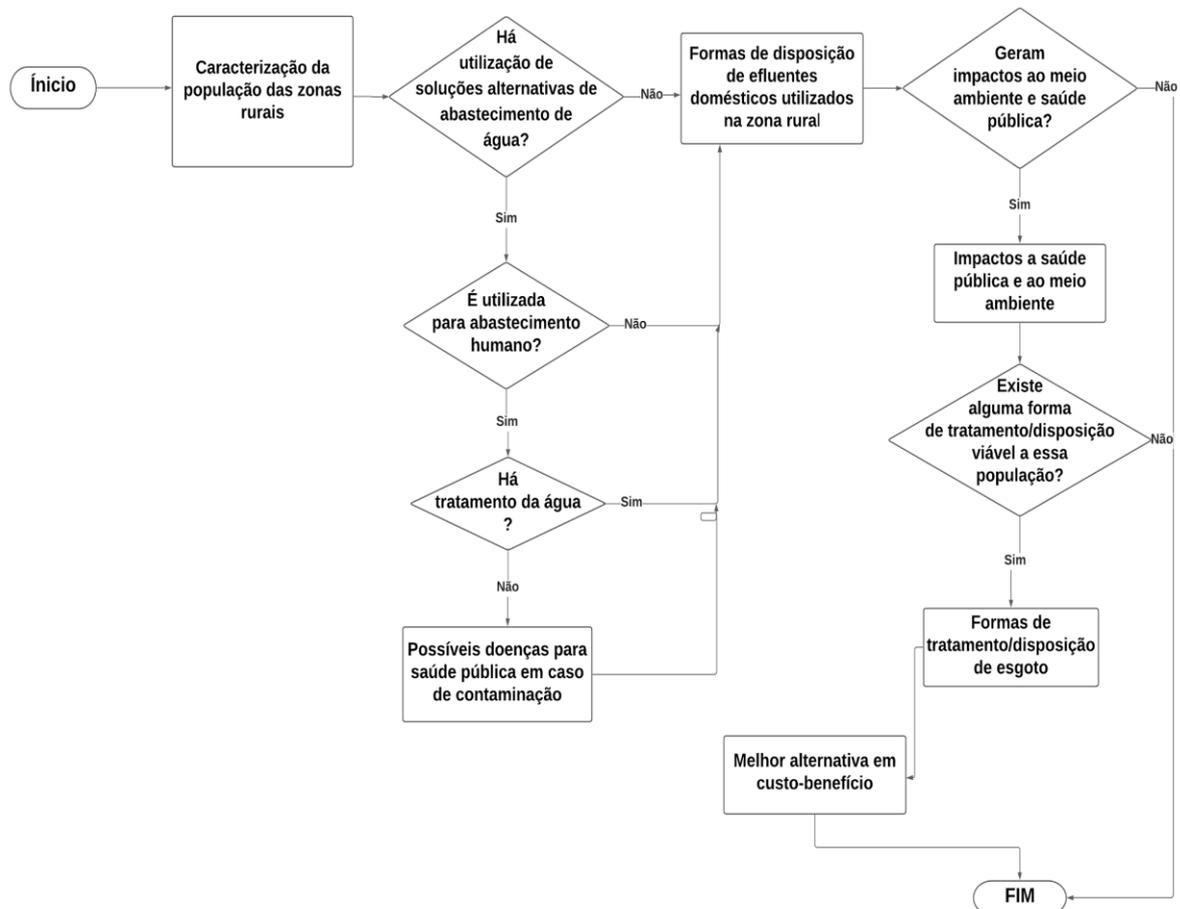
#### *4.13.7 SISÁgua*

O Sisagua “tem como finalidade auxiliar o gerenciamento de riscos à saúde a partir dos dados gerados rotineiramente pelos profissionais do setor saúde responsáveis pelos serviços de abastecimento de água” (BRASIL, 2021?, pg 1). O sistema é um banco de dados essencial, que auxilia o programa Vigiagua a controlar a qualidade da água consumida pela população.

## 5. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa proposta foi dividida em quatro etapas. O fluxograma construído para direcionamento das atividades pode ser visualizado na Figura 5.1.

**Figura 5.1** – Fluxograma de atividades da pesquisa



Fonte: Autora (2021)

### 5.1. Caracterização da Zona Rural;

Para a caracterização da população da zona rural, foram coletados dados de áreas rurais do Brasil e das regiões brasileiras.

Primeiramente, com intuito de correlacionar a extensão da área rural brasileira com a população residente, foi feita conferência do tamanho do trecho rural e urbano no Brasil com os dados disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Posteriormente, realizou-se o levantamento de dados como quantidade de habitantes, sexo, população indígena, quantidade de crianças até 10 anos de idade, quantidade de idosos a partir de 60 anos, alfabetização, renda e saneamento de cada região através de dados disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Tal levantamento foi realizado para que fosse possível identificar as necessidades da população e a escolha da melhor alternativa de tratamento de acordo com as características encontradas. Dessa forma, foi possível realizar a comparação das características de moradores rurais e urbanos para que seja possível perceber as diferenças econômicas e culturais da população residente no campo.

A fim de realizar o comparativo do atendimento de água canalizada e esgotamento sanitário, foram buscados dados no Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) acerca do atendimento a esgotamento sanitário e água tratada em área urbana, e dados na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do IBGE a respeito do saneamento em zona rural, foi utilizado como apoio nessa etapa o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), pois tem dados mais recentes do que a PNAD.

Apesar da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) ser a atualização mais recente sobre domicílios no âmbito nacional, ela foi utilizada apenas no sentido de avaliar o saneamento básico no Brasil em geral, pois na PNAD Contínua não há a separação dos dados de residências rurais e urbanas disponíveis no IBGE para acesso ao público.

O Censo Demográfico do IBGE foi aproveitado para aprofundamento do tipo de abastecimento de água e técnica de esgotamento sanitário utilizado pela população rural. Além disso, foram consultados dados do Cadastro Único (CadÚnico) com intuito de aprofundar o conhecimento sobre o saneamento básico da população considerada em situação de pobreza e extrema pobreza habitante no campo.

O SIGCisternas foi utilizado para análise do investimento por parte do governo em sistemas alternativos de armazenamento de água, no qual foi levantado a quantidade de cisternas familiares de água para consumo (1ª água) entregues pelo Ministério da Cidadania. Tal informação é de extrema importância, para a verificação do impacto em investimento de políticas públicas voltadas para o saneamento.

Ao longo de toda pesquisa realizou-se consulta a periódicos publicados a fim de melhor interpretação dos dados obtidos nos bancos de dados e realizar uma interface entre eles.

## **5.2. Impactos na Saúde Pública e Economia Causados Por Saneamento Ambiental Inadequado;**

Nesta etapa, foi realizado o mapeamento das doenças associadas à contaminação de corpos d'água através de leitura de publicações já existentes que versam sobre a destinação imprópria de efluentes e a contaminação da água em corpos hídricos.

Posteriormente, para o estudo da qualidade da água utilizada na zona rural, utilizou-se o SISÁgua para obter dados de amostras coletadas contaminadas por Escherichia e Coliformes. Do mesmo modo, a plataforma DATASUS foi aproveitada para o levantamento de óbitos causados por doenças relacionadas à água contaminada e disposição inadequada de efluentes sanitários.

Além disso, foram levantadas as atividades econômicas mais presentes no meio rural e os impactos causados a economia local por falta de saneamento básico, através de dados disponíveis na PNAD e estudos técnicos.

## **5.3. Formas de Disposição de Efluentes Domésticos Mais Usuais na Zona Rural;**

Foi realizado um mapeamento dos impactos negativos e positivo causado pelas soluções alternativas para disposição de esgoto empregadas na zona rural. Além dos dados disponibilizados pelos sistemas, os periódicos publicados foram utilizados como auxiliar para levantamento de todas as tecnologias de disposição de esgoto.

## **5.4. Alternativa Viável Para o Tratamento de Esgoto.**

Por fim, para a escolha da melhor alternativa para resolver a problemática socioambiental apresentada, foram realizadas pesquisas em artigos e livros publicados a respeito do assunto.

Primeiramente, foi realizada pesquisa em trabalhos já feitos sobre a disposição adequada de efluente e tratamento de água, com intuito de fazer o levantamento das melhores tecnologias passíveis de serem utilizadas na zona rural.

De acordo com os dados a respeito da situação socioeconômica da população rural, desenvolveu-se pesquisa em publicações, artigos e sites de venda, sobre os gastos médios para utilização de cada tecnologia com objetivo de apresentar a mais compatível com a renda da

população. Sendo assim, foram apresentadas quatro tecnologias que seriam passíveis de serem empregadas na zona rural de acordo com os benefícios sociais, técnicos e econômicos.

De acordo com von Sperling (1995) ao fazer um estudo técnico-econômico de uma alternativa tecnológica para tratamento de esgoto, deve-se buscar:

- Baixo custo de implantação;
- Elevada sustentabilidade do sistema;
- Simplicidade operacional;
- Baixos custos operacionais;
- Adequada eficiência na remoção de poluentes;
- Pouco problema na disposição do lodo gerado;
- Baixos requisitos de área;
- Existência da flexibilidade de expansão futura e melhoria na eficiência do tratamento;
- Possibilidade de aplicação em pequena escala;
- Elevada vida útil;
- Ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha;
- Possibilidade de recuperação de subprodutos úteis;
- Existência de experiência prática.

Além disso, segundo o mesmo autor, deve-se avaliar os méritos quantitativos e qualitativos de todas as alternativas de tratamento de esgoto com intenção de evitar subjetividade dos resultados. Desta forma, para que a escolha seja feita da forma adequada é necessário atribuir pesos para cada aspecto, vinculados essencialmente às condições econômicas e culturais da população rural. Os aspectos escolhidos para avaliação são: eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, requisitos de área, impactos ambientais, custo de operação, custo de implantação, sustentabilidade e simplicidade. Tais aspectos foram escolhidos conforme sugerido por von Sperling (1995) como os aspectos de importância fundamental na seleção dos sistemas de tratamento.

Sendo assim, a análise das alternativas é baseada na metodologia apresentada por von Sperling (1995) onde se atribui pesos para cada aspecto analisado. Os parâmetros foram divididos em críticos e importantes. Os críticos são: custo de operação, custo de implantação,

sustentabilidade e simplicidade. Os aspectos importantes são: eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, requisitos de área e impacto ambiental.

Para avaliação foi necessário aplicação de método quantitativo que associa valores aos aspectos qualitativos. Sendo assim foram atribuídos pesos aos aspectos gerais e específicos conforme apresentado a seguir:

- O peso atribuído a aspectos críticos gerais é 5.
- O peso atribuído a aspectos importantes gerais é 3.

Os pesos atribuídos para cada aspecto específico são apresentados na Figura 5.2.

**Figura 5.2** – Quadro dos pesos específicos atribuídos aos aspectos específicos avaliados

| Aspecto avaliado     | Peso  |  |   |
|----------------------|---|--|---|
|                      | 1   | 3  | 5   |
| Custo de operação    | Alto Custo operacional                                    | Tem custos operacionais                          | Não tem custos operacionais                                   |
| Custo de implantação | Alto Custo  | Médio Custo                                      | Baixo Custo   |
| Sustentabilidade     | Depende do fornecimento de energia, peças e equipamentos. | Depende do fornecimento de peças e equipamentos. | Não depende do fornecimento de energia, peças e equipamentos. |

|                    |  |  |   |
|--------------------|--|--|---|
| Simplicidade       | Depende de engenheiros e operadores altamente especializados | Depende de operadores que conheçam o sistema                               | Não depende de operadores especializados, controle e manutenção podem ser feito por moradores |
| Eficiência         | Baixa eficiência na remoção de patógenos e nutrientes        | Média eficiência na remoção de patógenos e nutrientes                      | Alta eficiência na remoção de patógenos e nutrientes  |
| Confiabilidade     | Tecnologia insegura - gera contaminação de água, ar ou solo. | Tecnologia segura, mas se não operada da forma correta, gera contaminação. | Tecnologia totalmente segura  |
| Disposição do lodo | Tratamento complexo do lodo                                  | Exige tratamento do lodo   | Não é necessário tratamento do lodo   |
| Requisitos da área | Necessidade de grandes áreas                                 | Necessidade de áreas médias  | Necessidade de áreas pequenas   |
| Impacto Ambiental  | Causa impactos ambientais significativos                     | Causa impactos ambientais de fácil mitigação                               | Não causa impactos ambientais   |

Fonte: Autora (2021)

Por fim, utilizou-se a seguinte equação para definição do peso final:

$$P = pg (1) \times pe (2) \quad (5.1)$$

na qual:

Pg = Peso aspectos gerais

Pe = Peso aspectos específicos

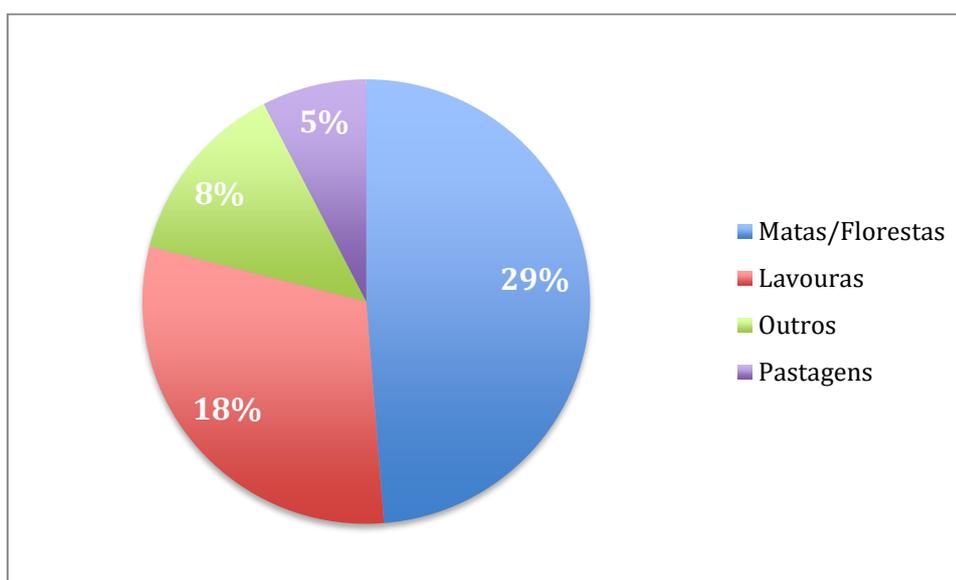
Desta forma, realizou-se uma análise comparativa de impactos sobre meio ambiente e saúde pública, definindo a técnica com melhor custo-benefício para ser utilizada na zona rural.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Características Gerais da Zona Rural Brasileira

A partir dos dados obtidos nos sistemas de informação foi possível o conhecimento de particularidades da área rural no Brasil. Segundo o IBGE (2017), a zona rural no Brasil ocupa uma área de 351.289.816 hectares, contando com 5.073.324 estabelecimentos. Essa área é distribuída de acordo com a Figura 6.1, predominando as matas/florestas em terras rurais.

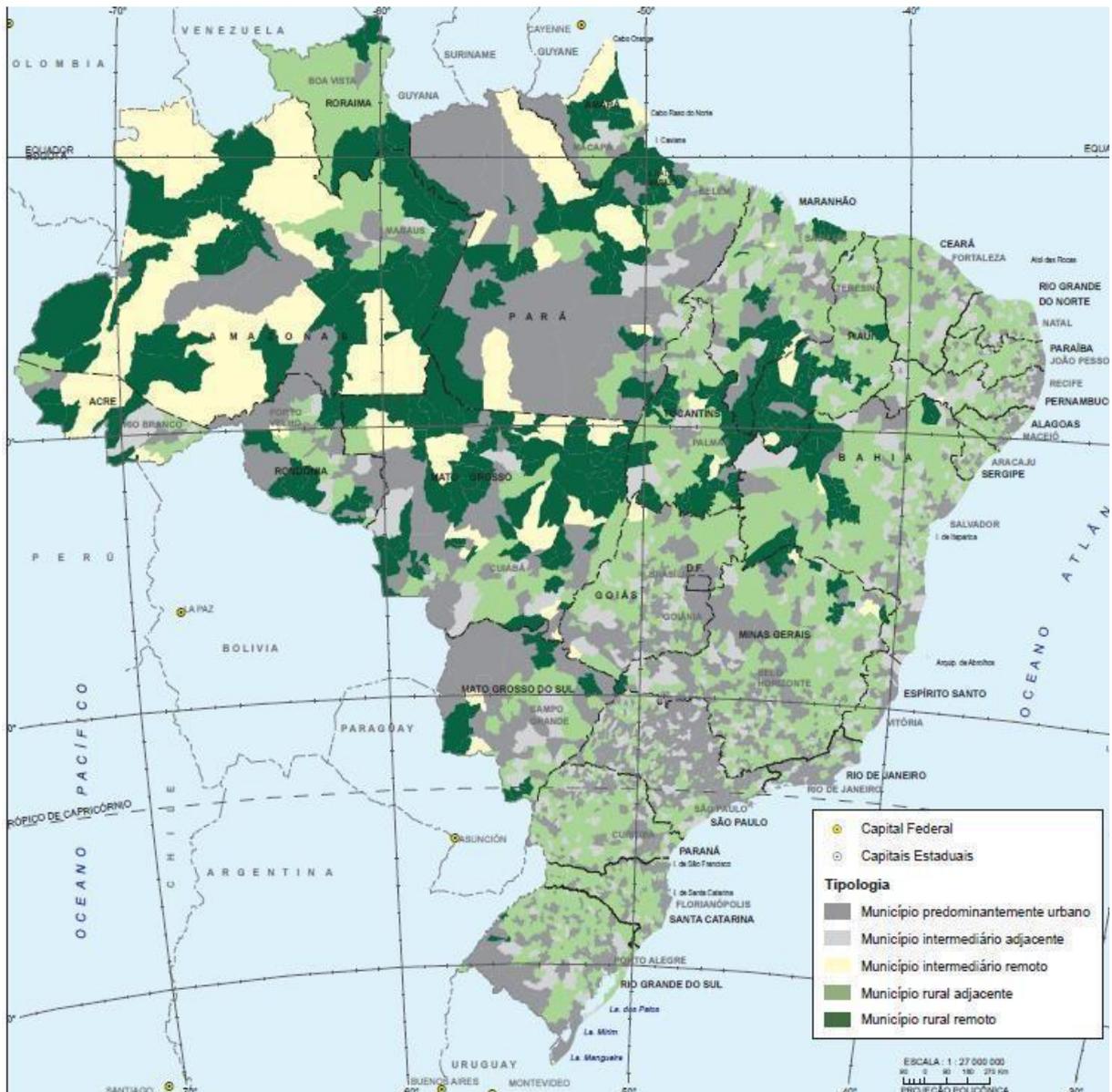
**Figura 6.1** – Distribuição percentual da utilização de terra no Brasil



Fonte: IBGE (2017)

A área rural ocupa cerca de 40% do total de área no Brasil, extensão que é muito significativa para o país e seu desenvolvimento. A Figura 6.2 é apresentada para melhor visualização da divisão do território brasileiro quanto à urbanização, de tal forma que demonstra a distribuição de áreas rurais e urbanas adjacentes e remoto.

**Figura 6.2 – Mapa da tipologia municipal rural urbano**



Fonte: IBGE (2017)

Diante do gráfico apresentado é possível perceber que os municípios rurais remotos se concentram em maior parte na região norte e nordeste, ou seja, a distância rodoviária percorrida aos centros de serviços mais próximos é maior nessas regiões do que nas outras do Brasil. Por isso, é possível prever que o saneamento rural nessas regiões é mais precário devido à extensão para concepção dos sistemas de água e esgoto, gerando altos gastos a prefeitura.

Quanto à população, são cerca de 29,8 milhões de pessoas vivendo em zona rural, o que corresponde a 15,3% da população Brasileira. A Tabela 6.1 apresenta os dados obtidos da distribuição da população rural nas regiões Brasileiras.

**Tabela 6.1** – Distribuição da população rural

| <b>Localidade</b>   | <b>Habitantes<br/>(un)</b> | <b>Habitantes<br/>(%)</b> | <b>Homens<br/>(%)</b> | <b>Mulheres<br/>(%)</b> |
|---------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>Norte</b>        | 4.199.945                  | 26,5                      | 54,0                  | 46,0                    |
| <b>Nordeste</b>     | 14.260.704                 | 26,9                      | 52,0                  | 48,0                    |
| <b>Sul</b>          | 4.125.995                  | 15,1                      | 52,4                  | 47,6                    |
| <b>Sudeste</b>      | 5.668.232                  | 7,0                       | 53,0                  | 47,0                    |
| <b>Centro-Oeste</b> | 1.575.131                  | 11,2                      | 55,0                  | 45,0                    |
| <b>Brasil</b>       | 29830007                   | 15,3                      | 52,2                  | 47,8                    |

Fonte: IBGE (2015)

Além disso, os dados sugerem que 1,1% da população residente na zona rural são indígenas, os indígenas estão em maior concentração na região norte do país, representando o percentual de 4% da população total. Nas outras regiões brasileiras como Sudeste e Nordeste, em torno de 1% dos habitantes são indígenas. Já na Sul e Centro-Oeste há uma fração ínfima de população indígena habitante. Além disso, de acordo com o CadÚnico 77% das famílias indígenas e 75% das famílias quilombolas cadastradas vivem em zona rural. Perante o exposto, nota-se que a maior parte da população indígena reside em áreas rurais.

Outro fator analisado foi à predominância do grupo de crianças e idosos morando na zona rural quando comparados aos outros grupos residentes na mesma região, isso é alarmante devido ao fato de crianças e idosos possui maior risco quando se trata de funcionamento do sistema imunológico. Grande parte da população são crianças de até dez anos de idade, como pode ser visto na Tabela 6.2.

**Tabela 6.2** – Percentual da população do grupo de risco nas áreas rurais do Brasil

| <b>Localidade</b>   | <b>Crianças até 10 anos de idade (%)</b> | <b>Idosos a partir de 60 anos de idade (%)</b> |
|---------------------|--|--|
| <b>Norte</b>        | 26,9                                     | 10,7   |
| <b>Nordeste</b>     | 22,2                                     | 14,1   |
| <b>Sul</b>          | 16,2                                     | 20,2   |
| <b>Sudeste</b>      | 18,4                                     | 15,9   |
| <b>Centro-Oeste</b> | 21,5                                     | 13,6   |
| <b>Brasil</b>       | 21,3                                     | 14,8   |

Fonte: IBGE (2015)

As regiões Norte e Nordeste são as que têm maior porcentagem de crianças vivendo em zona rural. Enquanto na Sul tem menor percentual de crianças e o maior em idosos.

Em relação aos dados de educação e rendimento dessa parcela da população, foram verificados que 46% da população brasileira que vive no campo recebe até um salário mínimo, além disso, há um déficit na alfabetização, 19,8% dos moradores não são alfabetizados. Na Tabela 6.3 é possível visualizar e fazer comparação entre os dados das cinco regiões do país.

**Tabela 6.3** – Educação e Rendimentos da população rural brasileira

| <b>Localidade</b>   | <b>Pessoas sem alfabetização (%)</b> | <b>População que recebe até um salário mínimo (%)</b> |
|---------------------|--------------------------------------|---|
| <b>Norte</b>        | 19,1                                 | 46,0  |
| <b>Nordeste</b>     | 27,0                                 | 57,0  |
| <b>Sul</b>          | 8,5                                  | 30,2  |
| <b>Sudeste</b>      | 13,0                                 | 37,5  |
| <b>Centro-Oeste</b> | 12,0                                 | 45,9  |
| <b>Brasil</b>       | 19,8                                 | 46,1  |

Fonte: IBGE (2015)

## 6.2 Saneamento Básico na Área Rural

De acordo com os dados obtidos no SNIS e na PNAD contínua foi possível avaliar e perceber a diferença do atendimento de água tratada e esgotamento da área rural e urbana. Primeiramente é necessário considerar o grande déficit de atendimento do saneamento básico no Brasil em geral, 16,3% da população não é abastecida com água tratada e 45,9% não é atendida com rede de esgoto. Quando se trata da região Norte e Nordeste a situação é ainda mais precária como pode ser observado na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4** – Saneamento básico geral no Brasil

| <b>Localidade</b>   | <b>Atendimento de água no Brasil (%)</b> | <b>Atendimento de água na zona rural Brasileira (%)</b> | <b>Atendimento de esgoto no Brasil (%)</b> | <b>Atendimento de esgoto na zona rural Brasileira (%)</b> |
|---------------------|--|---|--|---|
| <b>Norte</b>        | 57,5                                     | 24,3  | 12,3                                       | 2,0   |
| <b>Nordeste</b>     | 73,9                                     | 40,2  | 28,3                                       | 8,0   |
| <b>Sul</b>          | 90,5                                     | 34,8  | 79,5                                       | 9,0   |
| <b>Sudeste</b>      | 91,1                                     | 26,0  | 46,3                                       | 15,0  |
| <b>Centro-Oeste</b> | 89,7                                     | 15,0  | 57,7                                       | 2,0   |
| <b>Brasil</b>       | <b>83,7</b>                              | <b>30,6</b>   | <b>54,1</b>                                | <b>9,0</b>  |

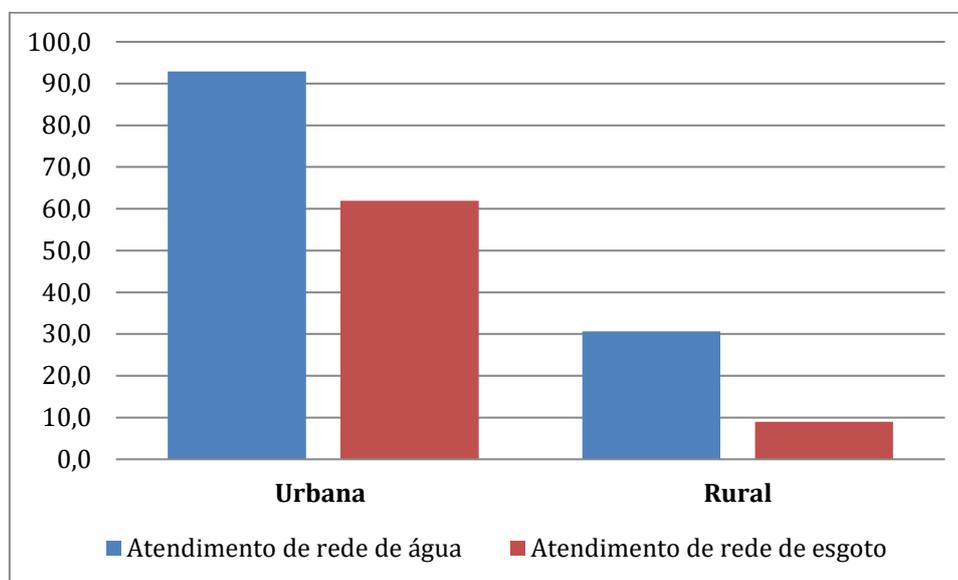
Fonte: Adaptado de SNIS (2019) e PNAD (2015) *apud* PLANSAB (2019)

O último censo realizado apresenta informações importantes a fim de se perceber o progresso do atendimento a água tratada e rede de esgoto nas zonas rurais. Em 2010 apenas 27,8% das pessoas tinham acesso à água tratada por rede de distribuição. Em relação ao tratamento de esgoto, 2,94% da população residente em zonas rurais tinha acesso à rede de esgoto, sendo predominante a utilização de fossa rudimentar (52,76%).

A zona rural do país atualmente ainda é extremamente carente no atendimento a serviços de água e esgoto de acordo com os dados apresentados na tabela. Os dados obtidos na PNAD demonstram que 30,6% das residências rurais tem abastecimento de água tratada e apenas cerca de 9% da população rural tem rede de esgoto nos seus domicílios. Quando comparados aos dados de 2010, é perceptível uma evolução do acesso ao saneamento básico, mas tal evolução não é o suficiente para suprir a carência constatada.

A Figura 6.3 apresenta o percentual do acesso ao saneamento básico no Brasil por área abrangida: rural ou urbana. Através dos gráficos é possível perceber a diferença do acesso ao saneamento das áreas mais urbanizadas.

**Figura 6.3** – Atendimento de rede de água e esgoto no Brasil



Fonte: Adaptado de PNAD (2015) e SNIS (2019)

Segundo a PNAD contínua (2019) percebe-se que o percentual de acesso à água tratada por rede de abastecimento é maior do que o de rede de esgoto, pois são 85,5% da população com rede de abastecimento de água em seus domicílios. Entretanto, em relação ao atendimento por saneamento básico, é verídico que o Norte e Nordeste há um déficit maior em relação às outras regiões, apenas 58,8% da população nortista tem acesso à água tratada, utilizando como alternativa para abastecimento poços ou nascentes. Em relação ao Nordeste, 80% dos nordestinos tem acesso à água tratada, nota-se o percentual maior do que o Norte, mas quando comparado a outras regiões se demonstrou como a segunda região com maior déficit de acesso a rede de água no Brasil.

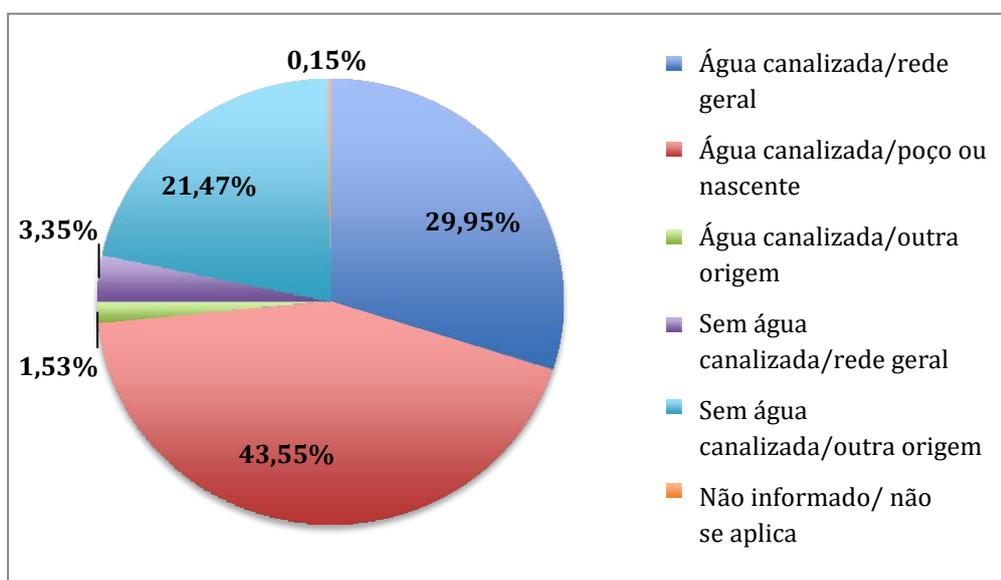
Além de dados de abastecimento de água, a PNAD contínua (2019) também apresenta os dados de disposição de esgoto no Brasil, cerca de 60% da população brasileira tem acesso à rede de esgoto, ou seja, 40% da população utilizam outras formas de tratamento. Através dos dados do SNIS (2019) apresentados na tabela é possível verificar que os déficits maiores por falta de esgotamento sanitário estão nas regiões Norte e Nordeste. No Norte apenas 12,3% dos

moradores tem atendimento à rede de esgoto, a maioria dos domicílios utiliza fossa séptica não ligada à rede. Em relação ao Nordeste, apenas 28,3% dos moradores têm o esgoto coletado.

É perceptível o quanto as zonas rurais são mais afetadas quando se trata de fornecimento de água tratada e tratamento de esgoto, isso se dá devido ao alto custo da implantação do sistema de esgoto até essa região para atender um pequeno grupo populacional. Além disso, vale destacar que regiões brasileiras mais rurais como Norte e Nordeste tem um déficit maior de acesso ao saneamento, comprovando a tese anterior, porém quando equiparadas a outras regiões em relação ao saneamento rural percebe-se que as proporções de atendimento a serviços sanitários são basicamente iguais. Isso sucede devido à ausência de investimentos em toda área rural do Brasil, independente do PIB da região onde a zona rural está localizada.

Na Figura 6.4 é possível analisar as formas de abastecimento de água mais usuais no campo. A fonte de abastecimento de água mais utilizada em zonas rurais são poços ou nascentes, de forma que a qualidade da água consumida dependerá do ambiente em que ela se encontra. Se os corpos hídricos superficiais ou os aquíferos subterrâneos vierem a ser contaminados, é grande a chance de disseminação de doenças na população habitante. Da mesma forma que para a rede de esgoto, a grande maioria das alternativas de abastecimento utilizadas não são seguras, pois não passam por tratamento ou minimamente uma desinfecção.

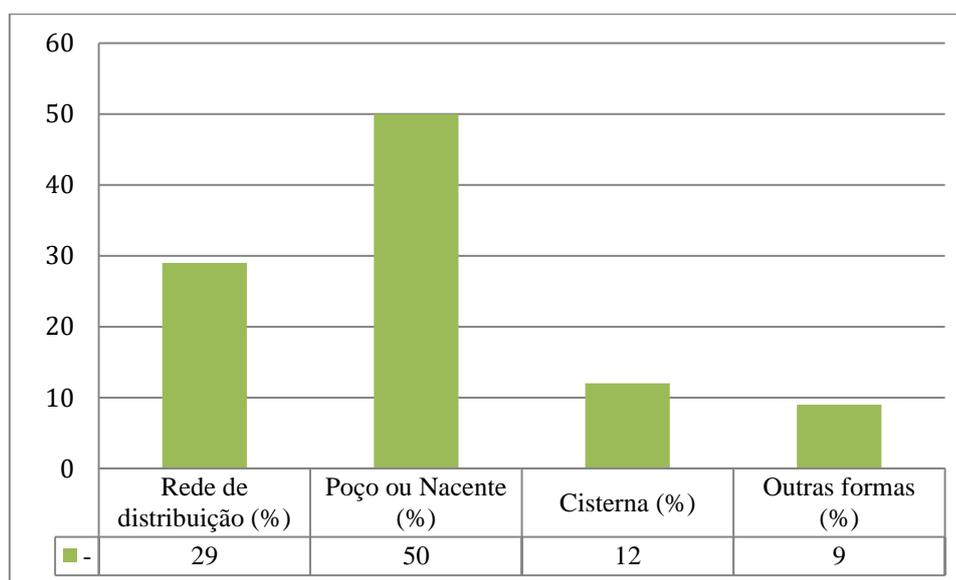
**Figura 6.4** – Tipo de tecnologia de tratamento de água empregada na zona rural



Fonte: PNAD (2015)

Além dos dados analisados na PNAD contínua e SNIS, foram levantados dados no CadÚnico com intuito de caracterizar a população mais vulnerável economicamente que reside no campo. De acordo com dados de 2018, são 10.464.869 famílias inscritas no CadÚnico sendo que desse total 2.682.71 residem em área rural que corresponde a cerca de 26% dos cadastrados. Na Figura 6.5 são exibidas as informações obtidas sobre as formas de abastecimento de água utilizadas pelas famílias cadastradas em percentual.

**Figura 6.5** – Formas de abastecimento de água para famílias do CadÚnico

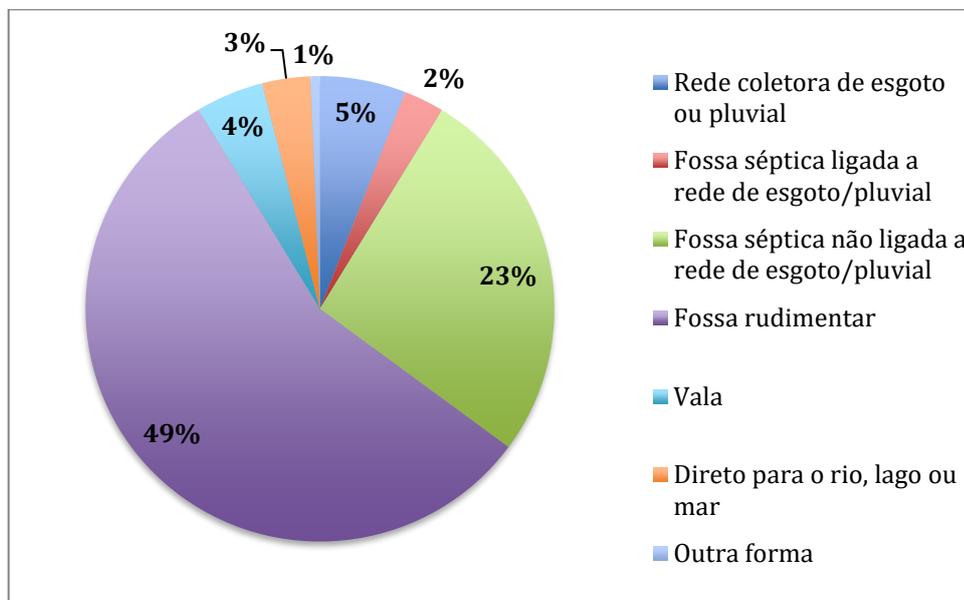


Fonte: CadÚnico (2018)

Isto posto, constata-se novamente que a forma mais utilizada para fornecimento de água nas regiões rurais é poço ou nascente. É necessário destacar que apesar de serem dados mais atualizados e com uma amostra menor de pessoas, a variação quanto aos dados obtidos na PNAD é muito pequena, assim é verídico que a evolução do abastecimento por rede de distribuição tem sido muito morosa.

Ao mesmo tempo, foram obtidos dados das tecnologias utilizadas na zona rural para ser possível melhor visualização do cenário em relação ao saneamento no campo. Através da Figura 6.6 é demonstrado o percentual da população atendida em zona rural por modelo de tecnologia empregada.

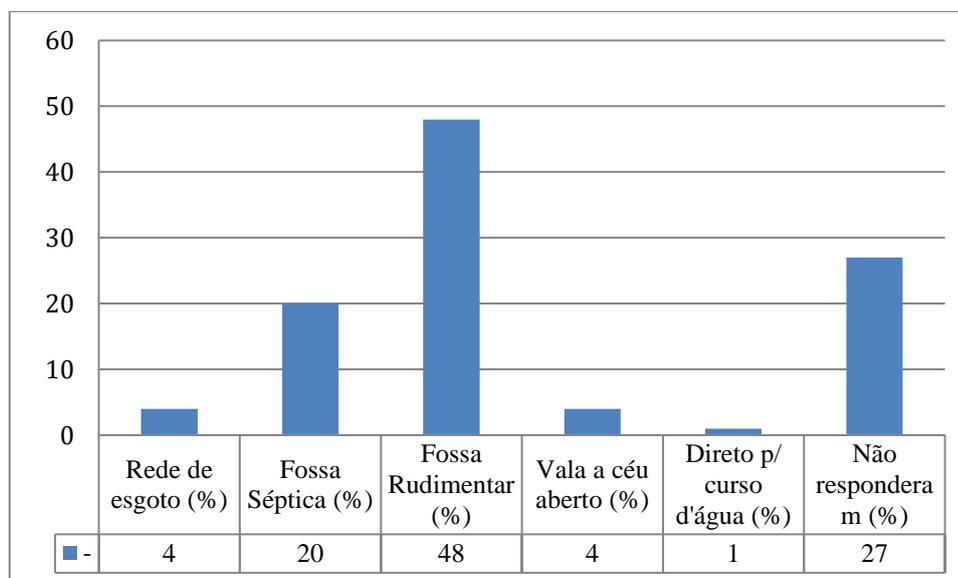
**Figura 6.6** - Tipo de tecnologia de tratamento de esgoto empregada na zona rural



Fonte: PNAD (2015)

Perante o gráfico apresentado nota-se que a tecnologia mais utilizada na zona rural é a fossa rudimentar, em cerca de 4.260.000 domicílios foram constatados o uso de fossa rudimentar. Sabe-se que tal tecnologia é capaz de causar impactos significativos ao meio ambiente alterando a qualidade do solo e água, ou seja, não é a forma de disposição de efluente mais viável, sendo necessária a busca por alternativas que irão evitar qualquer tipo de contaminação na água. Em relação ao atendimento por rede coletora de esgoto, apenas 530.000 domicílios são atendidos com tal tecnologia. Além disso, é preciso destacar que a maior parte das tecnologias utilizadas em meio rural descartam o efluente de forma inadequada, apenas 30% dos esgotos gerados são destinados de modo seguro.

O CadÚnico também foi utilizado para obtenção de dados de tecnologias de disposição efluente doméstico, estão sendo apresentados os dados obtidos na Figura 6.7.

**Figura 6.7** – Formas de disposição de esgoto das famílias cadastradas no CadÚnico

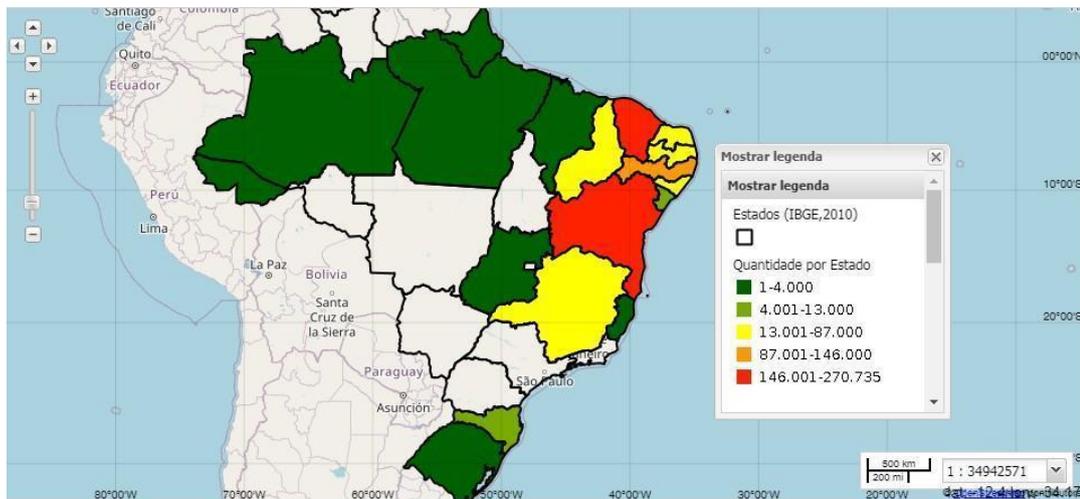
Fonte: CadÚnico (2018)

Fossa rudimentar é apontada como a alternativa mais utilizada nas zonas rurais por essa parcela da população, como já havia sido constatado. Os dados da PNAD são novamente comprovados demonstrando a eficácia da pesquisa. A desigualdade dos dados é muito pequena demonstrando pouco progresso na expansão do saneamento rural de 2015 a 2018.

A respeito das condições sanitárias dos domicílios rurais percebeu-se que apenas 78% das famílias rurais tem banheiro em suas residências. Existe uma parcela de 22% da população que defeca e urina a céu aberto, tal fator é primordial para o aumento da disseminação de doenças nessas regiões.

A respeito de políticas públicas aplicada ao saneamento brasileiro, utilizou-se o projeto do governo “programa cisternas” para rastreamento dos investimentos em regiões onde há maior déficit de abastecimento de água como no Norte e Nordeste. Na Figura 6.8 é possível visualizar a distribuição das cisternas entregues por estado.

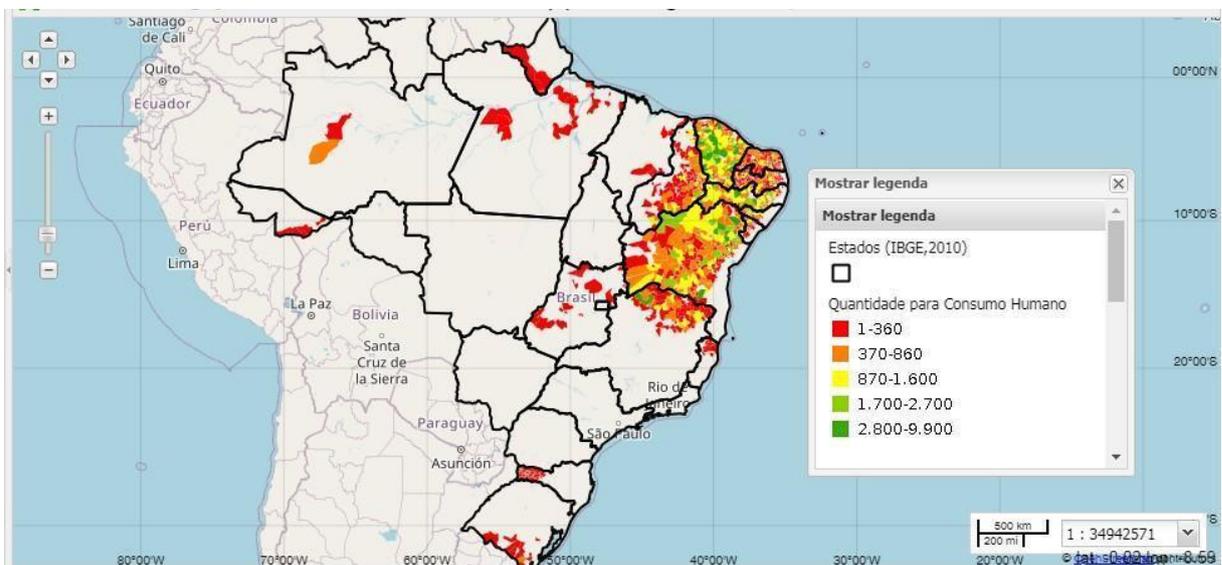
**Figura 6.8** - Mapa da quantidade de cisternas por estado



Fonte: EMBRAPA (2021)

Percebe-se pelo mapa que a maior concentração de cisternas está no Norte e Nordeste, regiões com alto índice de falta de saneamento, isso demonstra que apesar do déficit de rede de abastecimento de água, este está sendo suprido no investimento em alternativas para acesso a água. Além disso, na Figura 6.9 é possível visualizar a quantidade de cisternas utilizadas para abastecimento doméstico. É preciso destacar que há grande parte de cisternas que são entregues à região Nordeste, pois pertence ao semiárido brasileiro que é o foco do programa.

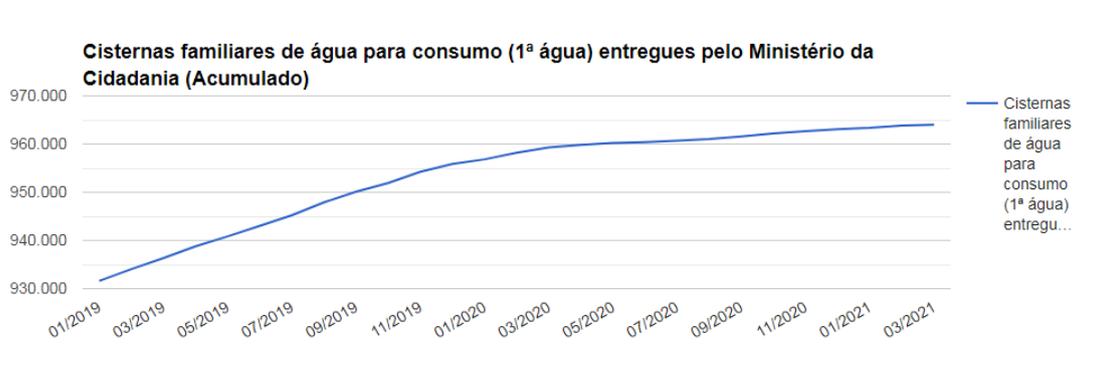
**Figura 6.9** - Quantidade de cisternas utilizadas para abastecimento doméstico



Fonte: Sig Cisternas (2021)

Na Figura 6.10 foi apresentada a evolução da quantidade de cisternas entregues pelo Ministério da Cidadania a partir do ano de 2019. Percebe-se que apesar de ser uma evolução ainda não satisfatória, pois ainda muitas residências sofrem por falta de água, há um crescimento considerável que pode minimizar os efeitos da falta de saneamento básico nas regiões atendidas.

**Figura 6.10** – Evolução do número das cisternas familiares de água para consumo



Fonte: SigCisternas (2021)

### 6.3 Impactos Sociais Associados à Falta de Saneamento Rural

#### 6.3.1 Doenças Relacionadas Ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI)

Diversas são as doenças relacionadas à falta de saneamento básico, através do estudo em artigos foi possível levantar quais são as doenças causadas por disposição inadequada de efluente e utilização de água sem tratamento. É verídico que a disposição do esgoto sem o tratamento irá causar várias doenças que estão associadas à ingestão de água contaminada, pois a carga contaminante presente no esgoto entrará em contato com a água, fazendo com que aquela água se torne imprópria para uso e consumo.

A Diretora geral da Organização Mundial de Saúde (OMS), Chan (2010) *apud* Nagem (2015) destaca que as populações rurais estão em situações piores do que as urbanas no índice de DRSAI, entretanto nas urbanas também há diversas ameaças a saúde quando se trata de doenças causadas por saneamento inadequado. Além disso, a OMS (2009) *apud* Nagem (2015) relata que 88% das mortes por diarreia no mundo são causadas por sistema inadequado de saneamento e aproximadamente 84% delas afetam crianças.

Diante disso, foi utilizado o sistema DATASUS para o levantamento de mortalidades relacionadas ao saneamento ambiental inadequado. Além disso, utilizou-se o SIS Água para o conhecimento de amostras de água com bactérias presentes advindas de esgoto doméstico.

De acordo com Nagem (2015) as enfermidades associadas à disposição inadequada de esgoto e ingestão de água contaminada são doenças de transmissão feco-oral, algumas dessas são a cólera, febres tifoide, infecções por salmonela, hepatite A, amebíase, diarreia e gastroenterite. Da mesma forma Rooke e Ribeiro (2010) realizaram o levantamento das DRSAl feco-orais no qual além das citadas pelo autor anterior mencionou ascaridíase, poliomielite; giardíase; disenteria amebiana e febre paratifoide.

Paralelo, a FUNASA (2010) lista as doenças de transmissão feco-oral pelos CID 9 e 10 como diarreias, febres entéricas e hepatite A. Para análise dos indicadores foi utilizado o grupo de doenças infecciosas intestinais definido pela OMS como categoria para tabulação de dados que está apresentado na Figura 6.11.

**Figura 6.11** – Grupo de doenças infecciosas intestinais

| Categoria  | Doenças  | CID-9    | CID-10 |
|--|--|----------|--------|
| Doenças infecciosas intestinais<br>(Categoria da Classificação Internacional de Doenças) | Cólera   | 001      | A00    |
|  | Febre Tifoide e Paratifoide                                | 002.0    | A01    |
|  | Infecções intestinais bacterianas                          | 004      | A02    |
|  | Intoxicações alimentares bacterianas                       | 003; 005 | A03    |
|  | Amebíases  | 006      | A04    |
|  | Doenças intestinais por protozoários                       | 007      | A07    |
|  | Doenças intestinais virais e as não especificadas          | 008      | A08    |
|  | Diarreias e gastroenterite de origem infecciosa presumível | 009      | A09    |

Fonte: FUNASA (2010)

Sendo assim, foi realizada avaliação dos dados disponíveis no sistema DATASUS utilizando as seguintes doenças como base para o levantamento das DRSAl:

- Amebíase incluindo disenteria amebiana.
- Ascaridíase
- Cólera
- Diarreia e Gastroenterite
- Doenças intestinais por protozoários incluindo Giardíase.
- Doenças intestinais virais e as não especificadas

- Febre Tifoide e Paratifoide
- Infecções por Salmonela
- Infecções intestinas bacterianas
- Infecções alimentares bacterianas
- Hepatite A
- Poliomielite

Primeiramente foram analisados os dados de morbidade no Brasil em geral das doenças supracitadas no período de 2019, apesar de haver dados mais atualizados, utilizou-se esse período devido à falta de dados de mortalidade posterior a 2019, para que seja possível comparação de mortes e infecções por DRSAI. Na Tabela 6.5 são apresentados os dados de morbidade por faixa etária para o período para as doenças disponíveis no DATASUS.

**Tabela 6.5 – Dados de morbidade de DRSAI em 2019**

| Doenças CID 10                     | Faixa Etária |              |              |              |              |              |              |              |                |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
|                                    | 0 a 9 anos   | 10 a 19 anos | 20 a 29 anos | 30 a 39 anos | 40 a 49 anos | 50 a 59 anos | 60 a 69 anos | 70 a 79 anos | 80 anos e mais |
| <b>Amebíase</b>                    | 420          | 135          | 130          | 99           | 95           | 99           | 84           | 96           | 69             |
| <b>Cólera</b>                      | 204          | 30           | 72           | 59           | 60           | 50           | 58           | 52           | 48             |
| <b>Diarreia e gastroenterite</b>   | 59639        | 9712         | 7.428        | 6.364        | 5.802        | 6.526        | 7.140        | 7.440        | 7.567          |
| <b>Outras doenças intestinais</b>  | 41559        | 9507         | 7.355        | 6.291        | 5.754        | 5.798        | 5.812        | 5.793        | 4.975          |
| <b>Febre tifóide e paratifóide</b> | 142          | 47           | 41           | 17           | 16           | 14           | 15           | 6            | 3              |

Fonte: DATASUS (2019)

Percebe-se que a incidência de internações por DRSAI é maior em crianças, isso se dá devido à baixa imunidade na infância. Além disso, é possível constatar alto número de casos de diarreia. A diarreia na infância tem como consequência desidratação e desnutrição que dificultam o ganho de peso e altura, além disso, pode causar retardo no intelecto infantil (FIOCRUZ, 2021?).

A Tabela 6.6 demonstra a proporção de óbitos por diarreia aguda em crianças menores de cinco anos para o ano de 2011.

**Tabela 6.6** – Óbitos por doenças diarreica aguda em crianças menores de cinco anos em 2011

|                     |     |
|---------------------|-----|
| <b>Brasil</b>       | 1,6 |
| <b>Norte</b>        | 2,7 |
| <b>Nordeste</b>     | 2,3 |
| <b>Sul</b>          | 0,7 |
| <b>Sudeste</b>      | 0,9 |
| <b>Centro-Oeste</b> | 1,6 |

Fonte: DATASUS (2011)

Na tabela, é possível verificar que as regiões Norte e Nordeste tem índice elevado de mortalidade quando comparadas as outras regiões do país, uma vez que são regiões com déficit maior no saneamento básico, além de serem regiões com maior área rural. De acordo com o estudo realizado por Bühler *et al.* (2014) Norte e Nordeste são regiões que apresentaram maior taxa de mortalidade em crianças de até um ano causadas por diarreia. Além disso, o estudo relata que os principais indicadores que demonstram maior mortalidade nessas regiões estão relacionados às condições sociais e demográficas, e ao saneamento básico. “As análises mostram que as microrregiões situadas nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, exceto a razão de dependência, associam-se às questões de saneamento básico, sobretudo, esgotamento sanitário e abastecimento de água”. (BUHLER *et al.*, 2014)

Ainda de acordo com os autores, nessas regiões há um elevado percentual de população indígena principalmente na zona rural, dentre as causas de internações em índios menores que cinco anos de idade, a diarreia é uma das principais. Além de que, 30% das famílias indígenas não procuraram serviço de saúde quando as crianças adoecem por diarreia, isto se dá devido à cultura desses povos, ocasionando o quadro da doença mais grave.

“É evidente que nas regiões menos desenvolvidas os óbitos em decorrência da diarreia em crianças menores de um ano, sejam maiores, retratando sua relação com questões socioeconômicas e ambientais” (BUHLER *et al.*, 2014).

A relação da mortalidade associada à DRSAI está sendo apresentada a Tabela 6.7, na qual é possível avaliar as mortes por doenças feco-orais relacionadas à faixa etária.

**Tabela 6.7** – Quadro da mortalidade por DRSAI no ano de 2019

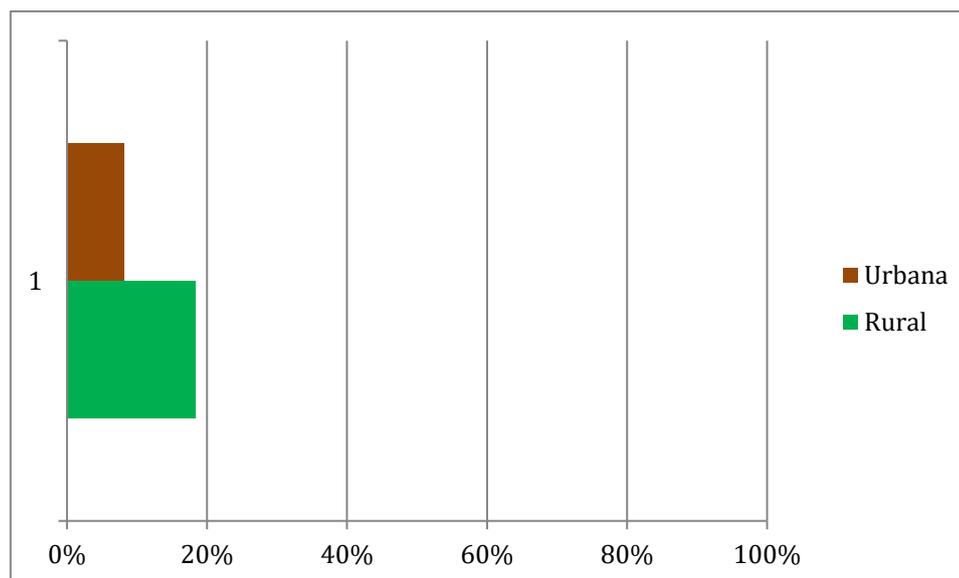
| Doenças CID 10                              | Faixa Etária |              |              |              |              |              |              |              |                |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
|   | 0 a 9 anos   | 10 a 19 anos | 20 a 29 anos | 30 a 39 anos | 40 a 49 anos | 50 a 59 anos | 60 a 69 anos | 70 a 79 anos | 80 anos e mais |
| <b>Amebiáse</b>                             | 4            | 0            | 1            | 2            | 3            | 5            | 9            | 8            | 20             |
| <b>Ascaridiáse</b>                          | 10           | 0            | 0            | 0            | 1            | 1            | 2            | 2            | 1              |
| <b>Cólera</b>                               | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0              |
| <b>Diarreia e gastroenterite</b>            | 456          | 36           | 30           | 69           | 119          | 230          | 455          | 766          | 1.694          |
| <b>Doenças intestinais por protozoários</b> | 0            | 0            | 0            | 0            | 1            |              | 0            | 1            | 0              |
| <b>Doenças intestinais virais</b>           | 15           | 2            | 1            | 1            | 2            | 7            | 14           | 25           | 48             |
| <b>Febre tifóide e paratifóide</b>          | 0            | 0            | 1            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0              |
| <b>Infecções por Salmonela</b>              | 4            | 2            | 0            | 0            | 0            | 0            | 2            | 3            | 5              |
| <b>Infecções Intestinais Bacterianas</b>    | 56           | 6            | 15           | 15           | 26           | 53           | 120          | 180          | 336            |
| <b>Infecções Alimentares Bacterianas</b>    | 9            | 1            | 1            | 0            | 1            | 4            | 0            | 3            | 4              |
| <b>Hepatite A</b>                           | 1            | 1            | 2            | 1            | 4            | 5            | 1            | 8            | 2              |
| <b>Poliomelite</b>                          | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0              |

Fonte: DATASUS (2019)

Da mesma forma, para a população em geral é possível perceber que o índice de mortalidade é maior em idosos e crianças, o que torna necessário maior atenção para essa parcela da população.

Além disso, de acordo com os dados do SIS Água foi possível identificar a proporção de amostras contaminadas com bactérias capazes de causar doenças na zona rural e urbana. Foram coletadas 5.585 amostras de água no ano de 2020 nas regiões rurais, destas 1.024 apresentaram resultados positivos para presença de coliformes e Escherichia. Na Figura 6.12 é possível verificar a diferença do percentual de amostras com presença de bactérias no campo e na cidade.

**Figura 6.12** – Amostras contaminadas por bactérias na zona rural e urbana



Fonte: SISÁgua (2020)

Outra observação importante realizada na coleta de dados foi que dessas amostras, 918 foram coletadas em domicílios que não são abastecidos por rede de distribuição ou passaram por ETA, sendo que 29% destas apresentaram presença de Escherichia e coliforme. Percebe-se que a incidência de presença de bactérias em amostras coletadas em zona rural é maior do que na área urbana, isso se dá por causa de diversos fatores, incluindo a falha no fornecimento de serviços sanitários.

### 6.3.2 Reflexo da Ausência de Saneamento Básico na Produtividade e Renda

Diante dos diversos impactos causados pela falta do saneamento rural, estão os impactos sobre a economia. De acordo com os dados apresentados pela PNAD (2015), foi possível perceber que a população não assistida com saneamento básico está nas camadas mais pobres, onde a maioria está inscrita no CadÚnico. Segundo Sales (2018) *apud* Porto, Sales e Rezende (2019) “domicílios que têm menor renda domiciliar, condições de habitação mais precárias e responsáveis com baixa escolaridade, de cor preta ou parda, têm maior probabilidade de exclusão sanitária”.

De acordo com o estudo realizado pela Cepea-Esalq/USP (2019) utilizando dados obtidos na PNADCA (2018) foi possível analisar as atividades econômicas mais abrangentes nas zonas rurais. A Tabela 6.8 apresenta a divisão da população ocupada por serviços agrícolas e não agrícolas para o ano de 2018.

**Tabela 6.8** - Domicílios Rurais: distribuição das pessoas entre ocupações não agrícolas e agrícolas

| <b>Não agrícola</b>      |                   | <b>Agrícola</b>          |                   |
|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| <b>Número de Pessoas</b> | <b>Percentual</b> | <b>Número de Pessoas</b> | <b>Percentual</b> |
| 5.181.005                | 47,50%            | 5.724.790                | 52,50%            |

Fonte: Cepea-Esalq/USP apud PNADCA (2018)

Sendo assim, nota-se que as atividades agrícolas são as mais praticadas nas zonas rurais. O campo contém diversas características que proporcionam as atividades agrícolas de forma eficaz. Além disso, o estudo apresenta os indicadores de atividades não agrícolas exercidas na área rural a fim de promover a análise dos dados de um modo agregado e setorial como pode ser observado na Tabela 6.9.

**Tabela 6.9** - Domicílios Rurais: distribuição das pessoas ocupadas em atividades não agrícolas entre as seções de atividades econômicas

| <b>Atividade</b>   | <b>Pessoas (%)</b> |
|--|--------------------|
| <b>Industria</b>   | 18,17              |
| <b>Construção</b>  | 10,94              |
| <b>Comércio</b>  | 18,81              |
| <b>Transporte</b>  | 4,96               |
| <b>Informação, comunicação e atividades financeiras, imobiliárias, profissionais e administrativas</b> | 4,41               |
| <b>Alojamento e alimentação</b>  | 6,9                |
| <b>Administração pública, defesa e seguridade social</b>   | 5,16               |
| <b>Educação, saúde humana e serviços sociais</b>   | 12,86              |
| <b>Serviços domésticos</b>   | 13,98              |
| <b>Atividades mal definidas</b>  | 0,08               |
| <b>Outros serviços</b>   | 3,72               |

Fonte: Cepea-Esalq/USP apud PNADCA (2018)

Percebe-se que a maior parte das pessoas que não trabalham com atividades agrícolas estão trabalhando no comércio ou na indústria, em relação ao setor industrial cerca de 48% são agroindustriais. Sendo assim, é fato que as atividades agrícolas e agroindústrias impactam diretamente na economia da população rural.

O saneamento básico é fator primordial para o desenvolvimento de todas as atividades econômicas, a água de boa qualidade é necessária para a grande maioria dos processos produtivos realizados no Brasil. Além disso, para que os empreendimentos tenham um bom desempenho econômico é necessário que os trabalhadores estejam aptos para atender as necessidades dos serviços. Sendo assim, a saúde do trabalhador é extremamente importante para bons resultados nas atividades econômicas.

O saneamento rural é essencial para evitar disseminação de doenças à população residente, quando não há serviços de água e esgoto é mais propício à propagação de agentes patogênicos que irão afastar o trabalhador do serviço, afetando assim a economia local do meio rural.

De acordo com o estudo do Instituto Trata Brasil (2010) há três efeitos negativos da falta de saneamento rural sobre a economia local: o aumento de infecções por falta de saneamento provoca o afastamento das pessoas doentes de suas funções usuais, acarretando custos para sociedade; há menor produtividade dos trabalhadores mais suscetíveis a doenças de veiculação hídrica, o que afeta conseqüentemente a carreira profissional e há atividades econômicas que não se desenvolvem em regiões com falta de coleta e tratamento de esgoto, o que reduz o potencial de geração de renda e emprego.

Além disso, o estudo traz dados obtidos na PNAD os quais indicam que um trabalhador quando contaminado por infecções causadas por saneamento inadequado perde aproximadamente 17 horas de trabalho, o que corresponde em cerca de R\$ 95,00 reais. Além disso, “a probabilidade de uma pessoa com acesso à rede de coleta de esgoto se afastar das atividades por qualquer motivo é 6,5% menor que a de uma pessoa que não tem acesso à rede. No caso de afastamento por diarreia, a diferença é ainda maior: de 19,2%” (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2010).

Em relação aos salários, foi identificado que moradores de locais com acesso a rede de esgoto têm salários, em média, 13,3% superiores aos de moradores sem atendimento a serviços de esgoto. Um dos motivos principais dessa diferença de salários é a baixa produtividade de

trabalhadores que residem em domicílios sem saneamento básico (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2010).

Conforme os dados apresentados anteriormente, é possível perceber semelhança entre as regiões com salários mais baixos e regiões com menor atendimento de serviços de água e esgoto. As regiões Norte e Nordeste se destacam como regiões onde os rendimentos são mais baixos e o déficit de saneamento são maiores, assim comprova-se a proporcionalidade entre salários e saneamento.

Além disso, a falta de saneamento impacta sobre o desempenho escolar de crianças e adolescentes, há uma diferença de aproximadamente 30% no aproveitamento escolar entre crianças que têm e não têm acesso ao saneamento básico. Sabe-se que a educação influencia ao longo de toda vida, esta é extremamente importante para uma boa qualificação e consequentemente salários maiores, jovens e crianças com menor aproveitamento escolar provavelmente serão prejudicados e terão rendimentos mais baixos.

O turismo é uma atividade econômica que vem crescendo muito no meio rural gerando muitos empregos para a população local e consequente aumento na renda familiar. A ausência de saneamento básico faz com que o turismo não se desenvolva plenamente nessas regiões. A contaminação do ambiente por esgoto compromete, ou até anula, o potencial de desenvolvimento do turismo, diminuindo assim os empregos ofertados (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2010).

Portanto, é certo que as áreas rurais podem se beneficiar economicamente com a instalação de serviços de coleta e tratamento de esgoto. Assim, para que haja maior geração de empregos e rendas é necessário políticas públicas sobre investimento em saneamento básico no meio rural brasileiro.

#### **6.4 Avaliação das Tecnologias de Disposição de Esgoto Utilizadas em Zona Rural**

Diante os dados apresentados no item 6.2 foi possível identificar as alternativas mais utilizadas em zona rural: rede coletora, fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e disposição direta em curso d'água. Para avaliação dos impactos causados na utilização dessas tecnologias mapeou-se os pontos positivos e negativos de cada através de artigos periódicos.

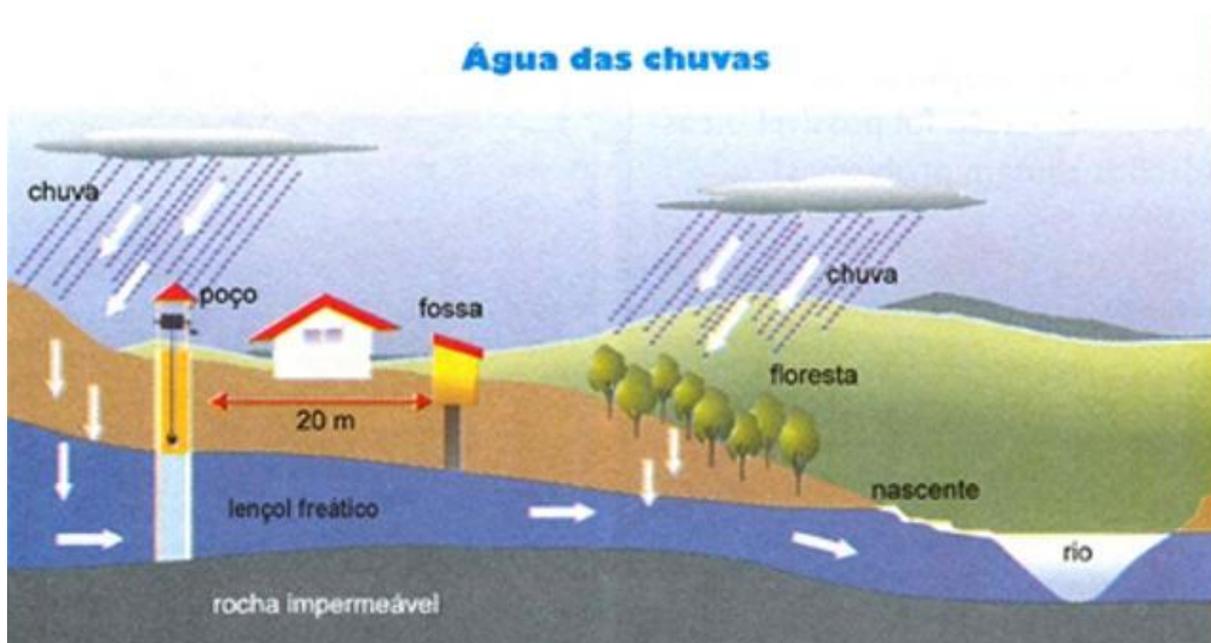
Primeiramente, foi feito o diagnóstico a respeito da fossa rudimentar, pois é a técnica mais presente no meio rural. A fossa rudimentar, também conhecida como fossa negra, sumidouro e fossa absorvente, é considerada por alguns autores como forma inadequada de disposição de efluentes, contudo, há autores que a defendem como forma de disposição adequada de resíduo.

Considerando os impactos negativos da fossa negra, pode-se mencionar o risco da contaminação do lençol freático. De acordo com Silva et al. (2007, pg 7):

No interior da fossa ocorrem reações na matéria orgânica presente nas fezes, em virtude da intensa atividade microbiana, com a liberação de um líquido de odor desagradável e também com altas concentrações de nitrato e coliformes, denominado chorume. Este líquido se infiltra nas paredes da fossa e percola através do solo podendo atingir e contaminar as águas subterrâneas.

Na Figura 6.13 está apresentado um esquema de fossa rudimentar, é possível perceber pela imagem o risco de contaminação do lençol freático que conseqüentemente irá contaminar os poços e nascentes ali presentes. Pesquisas realizadas pela CETESB (2004) apud Silva *et al.* (2007) mencionam alteração na concentração de coliformes termotolerantes de nitrato  $NO_3^-$  nos poços próximos a fossa rudimentar.

**Figura 6.13** – Esquema de fossa rudimentar



Fonte: Silva et al. (2007)

O nitrato é um composto químico capaz de causar modificações consideráveis no meio ambiente e na saúde humana, no meio ambiente o excesso do nitrato leva a eutrofização do curso d'água, conseqüentemente alterando o ambiente subaquático e causando a mortandade de peixes. Além disso, a água ingerida com alta concentração de nitrato pelos animais pode gerar envenenamento, pois em alguns organismos ocorrem à conversão de nitrato em nitrito, composto altamente tóxico. Ao mesmo tempo, pode ocorrer o envenenamento de bebês menores de 6 meses que consomem água com concentração considerável de nitrato. Quanto aos adultos, há estudos que indicam que altas concentrações de nitrato estão associadas à ocorrência de câncer estomacal e de esôfago (RESENDE, 2002).

Os coliformes fecais são indicadores de contaminação na água, eles indicam a presença de um grupo de bactérias causadoras de doenças feco-orais citadas no item 6.3, a saúde humana fica exposta ao risco quando a água é consumida contaminada por essas bactérias. Vale destacar a necessidade de evitar a contaminação da água por agentes patogênicos.

De outro ponto vista, Figueiredo *et al.* (2019) afirma que a fossa rudimentar é conhecida nacionalmente e internacionalmente como forma de disposição adequada de esgoto. No ponto de vista do autor, apesar de haver o risco de contaminação de poços e nascentes devido à utilização de fossa rudimentar, essa tecnologia é uma forma eficaz de tratamento de esgoto quando colocado no lugar adequado. O autor relata que em locais onde o lençol freático é profundo há a possibilidade de utilizar a fossa negra de forma eficaz. De acordo com Figueiredo *et al.* (2019) “a precariedade das fossas absorventes parece estar mais relacionada à sua localização na propriedade, ao contexto ambiental local, à densidade populacional e à sua forma construtiva, e não à sua eficiência propriamente dita”.

Outra vantagem da fossa rudimentar é o custo para construção e manutenção, como as fossas negras são simplesmente um “vão” onde é depositado o esgoto, o gasto com materiais de construção é muito pequeno quando comparado a outras tecnologias. Entretanto, em caso de contaminação e desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, os gastos com a saúde e perda de dias trabalhados são significativos.

Com características muito parecidas, há o descarte de esgoto em valas a céu aberto, essa técnica de disposição de esgoto tem todas as vantagens e desvantagens da fossa rudimentar, entretanto no caso da vala não há separação higiênica entre pessoas e suas excretas, nesse caso o risco de contaminação da população rural é ainda maior.

O descarte de esgoto sanitário diretamente no curso d'água sem tratamento prévio compromete a qualidade da água, causando consequências graves ao meio ambiente e saúde pública. O autor Szuster (2011) relata que o descarte de efluente sem tratamento irá ocasionar o lançamento de grande quantidade de matéria orgânica capaz de causar a depleção do oxigênio dissolvido contido nos corpos d'água, além de modificar o gosto e odor da água. Outras consequências do descarte inadequado são alterações estéticas na cor e turbidez, aumento da eutrofização nos lagos devido a introdução de compostos químicos como fósforo e nitrogênio, mudança na temperatura do esgoto e aumento de matérias em suspensão. Além disso, aumenta o risco de disseminação de doenças de veiculação hídrica.

O uso de fossas sépticas tem diversas vantagens como o baixo custo na construção e operação do sistema onde não requer presença de operador, é resistente a variação do efluente, adequada para o tratamento de esgoto fresco, não necessita de lodo inoculador, absorve choques tóxicos e de sobrecarga com rápida recuperação, além de manter a eficiência com o envelhecimento do lodo em longo prazo (ÁVILA, 2005).

Entretanto, de acordo com o mesmo autor, os tanques sépticos apresentam baixa eficiência na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Suspensos Totais (SST) quando comparado a sistemas mais eficazes, como a fossa biodigestora, além de apresentar o efluente escuro e com forte odor devido à presença de gás sulfídrico e não ter condições favoráveis para remoção total de organismo patogênico. Ao mesmo tempo, quando as fossas sépticas não recebem a devida manutenção podem gerar fissuras capazes de contaminar o lençol freático, além de atrair insetos capazes de transmitir doenças e animais peçonhentos. Além disso, segundo Altvater (2009) *apud* Colares e Sandri (2011) os tanques sépticos são pouco eficientes na remoção de matéria orgânica, sendo necessário tratamento complementar.

O atendimento do sistema de tratamento de esgoto coletivo garante a destinação adequada dos efluentes. O tratamento seguro dos esgotos melhora a qualidade de vida da população, evita impacto ambiental negativo, diminui os custos com saúde, garante a preservação das águas superficiais e subterrâneas, gera renda e emprego, além de outros benefícios socioambientais. A desvantagem da utilização do sistema de esgoto coletivo é o valor pago mensalmente para disposição do efluente gerado quando comparado as tecnologias individuais que são valores esporádicos. Além disso, em regiões onde há poucas unidades familiares é inviável a construção de sistemas de esgoto, devido aos altos gastos para construção e manutenção da rede.

## 6.5 Avaliação de Tecnologia de Tratamento de Esgoto Viável Para a Zona Rural

Diante ao exposto é perceptível o déficit na destinação adequada de esgoto doméstico, além disso, é inviável a implantação de rede de esgoto em algumas áreas rurais devido ao alto custo. Sendo assim torna-se necessário a avaliação de tecnologias de tratamento de esgoto a fim de apresentar uma técnica de tratamento individual com melhor custo benefício para a realidade da zona rural Brasileira. Para a escolha da alternativa viável foram necessárias análises de vantagens e desvantagens de parâmetros técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

Após a leitura de diversos estudos a respeito de tecnologias de tratamento de efluentes ecológicas e econômicas, as seguintes tecnologias foram escolhidas para análise: fossa séptica, fossa biodigestora, wetlands construídos e reator UASB. Devido ao fato da fossa rudimentar, vala a céu aberto e disposição direta em curso d'água serem formas inadequadas e inseguras de descarte de efluentes domésticos, estas não foram consideradas para análise.

### 6.5.1 Fossa séptica

Primeiramente, foram avaliados os custos de implantação e manutenção do sistema de tratamento, para isso foi necessário dimensionar o sistema escolhido para análise. De acordo com os dados disponibilizados na Síntese de Indicadores Sociais do IBGE (2019) a maior parte das residências rurais tem quatro moradores, sendo assim foi possível dimensionar as tecnologias em estudo.

Para o dimensionamento da fossa séptica foi utilizada a ABNT NBR 7229 (1993). De acordo com a tabela 1 da norma foi possível definir a contribuição de esgoto e lodo fresco por pessoa. Considerando que a maior parte dos domicílios rurais são residências de padrão baixo devido às condições econômicas da população, há uma contribuição de esgoto (C) de 100 L por pessoas e geração de lodo fresco (LF) de 1 L por pessoa.

Desta forma, para o cálculo da contribuição diária de esgoto faz-se:

$$C_{diária} = C \times h \quad (6.1)$$

$$C_{diária} = 100 \frac{L}{pessoas.dia} \times 4 \text{ pessoas} = 400 \text{ L/dia}$$

na qual:

C= Contribuição de esgoto (L/pessoas.dia)

H= Habitantes (pessoas)

O período de detenção foi obtido através da tabela 2 da norma, onde indica que para contribuição diária de até 1500 L/dia, o tempo de detenção é 1 dia. Além disso, adotou-se que a fossa será limpa de três em três anos, considerando que o Brasil tem uma temperatura média anual de 18°C, de acordo com a tabela 3 da norma a taxa de acumulação total de lodo é 145.

De acordo com a ABNT NBR 7229 (1993) o volume útil total do tanque séptico deve ser calculado pela fórmula:

$$V = 1000 + N (CT + K Lf) \quad (6.2)$$

na qual:

V = volume útil (L)

N = número de pessoas ou unidades de contribuição (pessoas)

C = contribuição de despejos (L/pessoa.dia)

T = período de detenção (dias)

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco

Lf = contribuição de lodo fresco (L/pessoa)

Substituindo os valores calculados:

$$V = 1000 + 4 ((100 \times 1) + (145 \times 1))$$

$$V = 1980 \text{ L ou } 1,9 \text{ m}^3$$

Sendo assim, adaptando o volume para os tanques sépticos vendidos no mercado, é necessária uma fossa séptica de 2000 L para atender uma residência. Após uma pesquisa de mercado foi possível obter os valores aproximados para uma fossa séptica que atende o dimensionamento calculado. O custo de aquisição do tanque séptico seria em torno de R\$ 3.500,00 reais, a qual foi considerada uma tecnologia de baixo custo.

Em relação aos custos de operação em um sistema que se adota o uso de fossa séptica são gerados custos apenas com a limpeza da fossa séptica, ou seja, quando for necessário destinar o efluente a cada três anos.

Ao avaliar a sustentabilidade dos tanques sépticos constata-se que para a manutenção e operação do sistema não é necessário a utilização de energia, peças e equipamentos. Além disso, não são necessários operadores e engenheiros altamente especializados para a operação do tanque séptico.

O tanque séptico quando não é associado a tratamento complementar tem baixa eficiência na remoção de patógenos e nutrientes, pois são destinados a cumprir apenas funções de sedimentação e remoção de sólidos flutuantes, sendo considerados digestores de baixa carga (Chernicharo, 1997 *apud* Backes, 2016). Em relação à confiabilidade, as fossas sépticas quando não operadas e instaladas de forma adequada podem gerar contaminação, pois correm o risco de sofrer obstruções gerando vazamentos de efluente no solo.

O lodo gerado necessita de tratamento mais específico e complexo, pois nos tanques sépticos não há tratamento do efluente a fim de adequar sua composição ao mais próximo exigido pela norma. Além disso, para instalação de tal sistema são utilizadas pequenas áreas, podendo ser instaladas em residências sem comprometer a área disponível.

A disposição em fossa séptica gera impactos ambientais, entretanto não são impactos de difícil mitigação e recorrentes, por ser um tratamento pouco eficaz, se não houver manutenção e controle periódico do sistema pode contaminar o recurso hídrico no qual é lançado e conseqüentemente a população que tem acesso, além da possibilidade da geração de maus odores, porém controláveis (CORNELLI *et al.*, 2014).

Desta forma foi possível atribuir pesos e realizar a análise dos critérios, como pode ser observado na Figura 6.14.

**Figura 6.14** – Atribuição de pesos para os aspectos da tecnologias avaliados

| <b>Requisitos</b>    | <b>Pg</b> | <b>Pe</b> | <b>P</b> |
|----------------------|-----------|-----------|----------|
| Custo de operação    | 5         | 3         | 15       |
| Custo de implantação | 5         | 5         | 25       |
| Sustentabilidade     | 5         | 5         | 25       |
| Simplicidade         | 5         | 5         | 25       |
| Eficiência           | 3         | 1         | 3        |
| Confiabilidade       | 3         | 3         | 9        |
| Disposição do lodo   | 3         | 3         | 9        |

|                    |   |   |            |
|--------------------|---|---|------------|
| Requisitos da área | 3 | 5 | 15         |
| Impacto Ambiental  | 3 | 3 | 9          |
| <b>TOTAL</b>       |   |   | <b>135</b> |

Fonte: Autora (2021)

### 6.5.2 Fossa Biodigestora

Os biodigestores são tecnologias muito interessantes, pois são capazes de realizar o tratamento do efluente diminuindo a quantidade de poluentes presentes. A visão interior do biodigestor pode ser observada na Figura 6.15. Além disso, alguns biodigestores têm o sistema de reuso das águas residuárias para aplicação no solo. Utilizando os dados fornecidos pelos fornecedores de biodigestor para uma residência de quatro pessoas foi possível estimar o volume do biodigestor necessário. O biodigestor selecionado para análise foi o de 600 L que no mercado se encontra com valor médio de R\$ 1500,00, sendo assim pode-se considerar o biodigestor uma tecnologia de baixo custo quando comparado a sistemas com a mesma eficácia e função. Ao utilizar o biodigestor não há gastos com a operação do sistema.

**Figura 6.15** – Esquema da parte interior da fossa biodigestor



Fonte: Bazar Eficaz (2021?)

Da mesma forma que os tanques sépticos, para manutenção do biodigestor não é necessário à utilização de energia, peças e equipamentos e não são necessários operadores e engenheiros altamente especializados. A fossa biodigestora tem alta eficiência na remoção de poluentes, esta permite a redução das cargas orgânica, inorgânicas e patógenos, tendo como efluente final um fertilizante para uso no cultivo de plantas (SAVEGNAGO; FERRI, 2014 *apud* PEREIRA et al., 2018). Os biodigestores por serem um sistema adquirido já pronto não têm risco de contaminação, sendo assim é uma tecnologia totalmente segura.

Nas fossas biodigestoras há pouca ou nenhuma necessidade de tratamento do lodo, o lodo gerado passa por processo de secagem e descompactação o que vai gerar quantidade irrisória de lodo estabilizado. A instalação do biodigestor é simples e pode ser feita em pequenas áreas, geralmente necessita de área permeável próxima para reuso da água residuária. A utilização desse tipo de sistema gera apenas impactos positivos, o que a torna uma alternativa sustentável.

Ao mesmo tempo, os pesos atribuídos podem ser observados na Figura 6.16.

**Figura 6.16** – Atribuição de pesos para os aspectos das tecnologias avaliadas

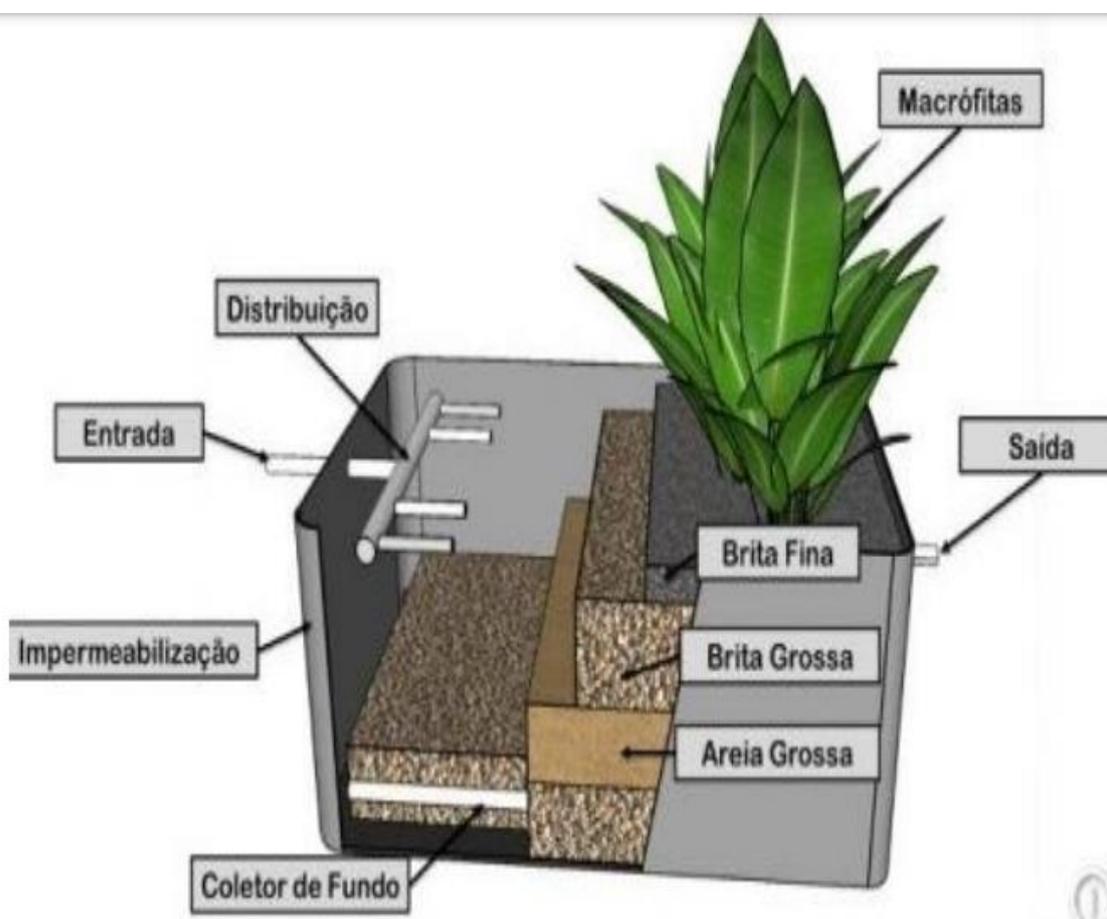
| <b>Requisitos</b>    | <b>Pg</b> | <b>Pe</b> | <b>P</b>   |
|----------------------|-----------|-----------|------------|
| Custo de operação    | 5         | 5         | 25         |
| Custo de implantação | 5         | 5         | 25         |
| Sustentabilidade     | 5         | 5         | 25         |
| Simplicidade         | 5         | 5         | 25         |
| Eficiência           | 3         | 5         | 15         |
| Confiabilidade       | 3         | 5         | 15         |
| Disposição do lodo   | 3         | 5         | 15         |
| Requisitos da área   | 3         | 5         | 15         |
| Impacto Ambiental    | 3         | 5         | 15         |
| <b>TOTAL</b>         |           |           | <b>175</b> |

Fonte: Autora (2021)

### 6.5.3 Wetlands Construídos (WC)

Os wetlands são “terras úmidas construídas para a remoção de poluentes através da filtração e da depuração da matéria orgânica por microrganismos formadores do biofilme aderido ao substrato presente no sistema” (CORNELLI *et al*, 2014, pg 27). A Figura 6.17 apresenta um exemplo de wetlands construídos. De acordo com o estudo publicado por Cornelli *et al* (2014) os wetlands são tecnologias de baixo custo de construção, implantação, operação e manutenção. Nesse sistema há gastos com custos operacionais na aquisição de substrato, manejo das macrófitas e tratamento prévio do esgoto, entretanto os custos operacionais não são altos.

Figura 6.17 – Camadas construídas dos WC



Fonte: Poças (2021)

Os WC necessitam de fornecimento de energia, peças e equipamentos, além de engenheiros e operadores especializados para realizar a manutenção do sistema. Em relação à eficiência dos wetlands construídos os autores Cornelli *et al* (2014) consideram estes como alternativas de

alta eficiência na remoção de DBO e coliformes, além disso os nutrientes são absorvidos pelas plantas do sistema. Há risco de contaminação do solo e água subterrânea se não houver tratamento prévio do efluente. Nesse sistema não há geração de lodo, pois a água residuária e o lodo são dispersos no solo e absorvidos pelas plantas.

Os wetlands requerem maior quantidade de área para construção do “jardim filtrante”, à vista disso são considerados como sistema com necessidade de grandes áreas. Alguns dos impactos ambientais associados ao uso dos wetlands são o alto consumo de água e possibilidade de mosquitos nos sistemas de água superficiais, isto posto considera-se que há possibilidade desta tecnologia causar impactos ambientais de fácil mitigação.

Sendo assim, os pesos atribuídos podem ser observados na Figura 6.18.

**Figura 6.18** – Atribuição de pesos para os aspectos das tecnologias avaliadas

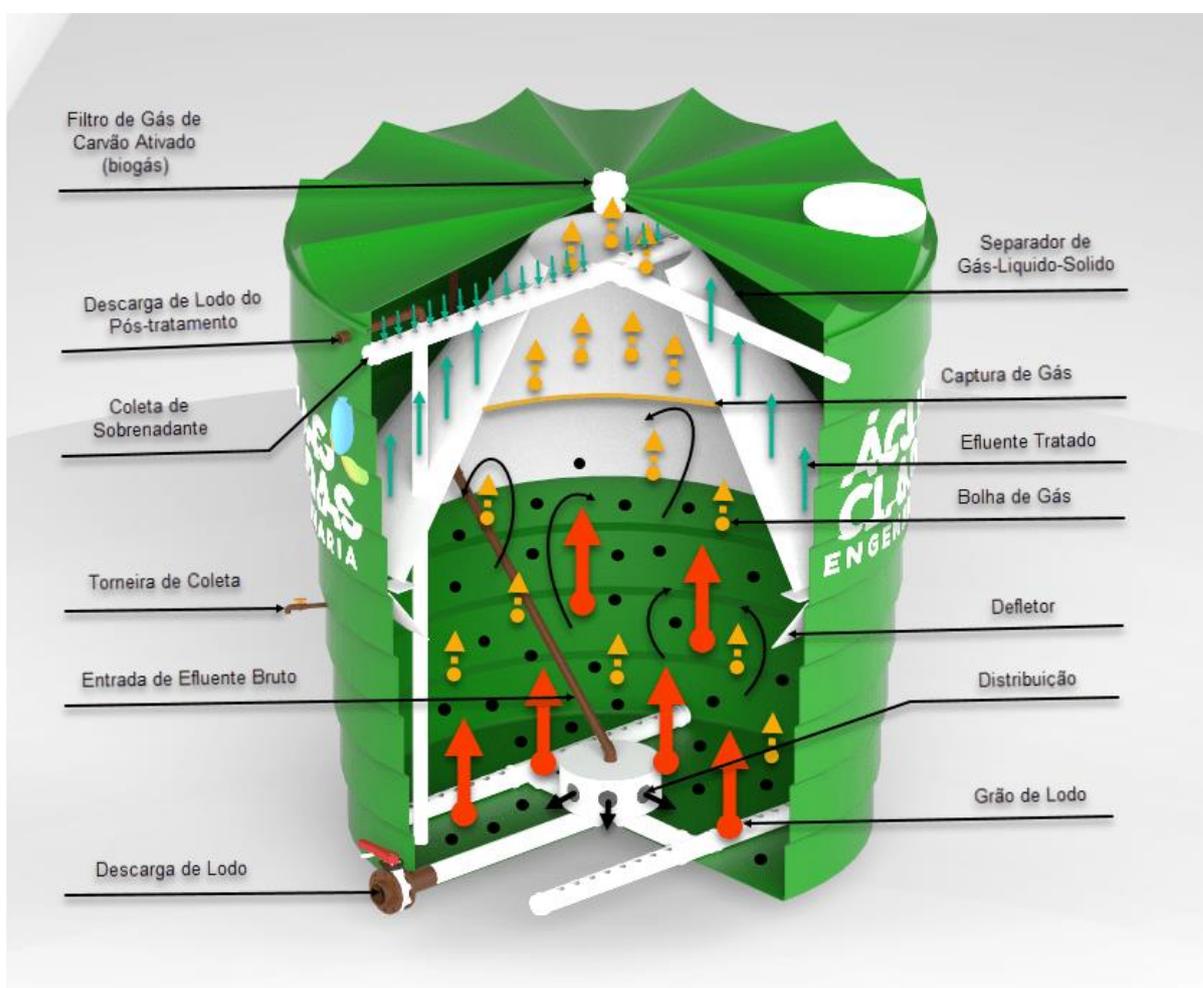
| <b>Requisitos</b>    | <b>Pg</b> | <b>Pe</b> | <b>P</b>   |
|----------------------|-----------|-----------|------------|
| Custo de operação    | 5         | 3         | 15         |
| Custo de implantação | 5         | 5         | 25         |
| Sustentabilidade     | 5         | 1         | 5          |
| Simplicidade         | 5         | 1         | 5          |
| Eficiência           | 3         | 5         | 15         |
| Confiabilidade       | 3         | 3         | 9          |
| Disposição do lodo   | 3         | 5         | 15         |
| Requisitos da área   | 3         | 1         | 3          |
| Impacto Ambiental    | 3         | 3         | 9          |
| <b>TOTAL</b>         |           |           | <b>101</b> |

Fonte: Autora (2021)

### 6.5.4 Reator UASB

O reator UASB “consiste em uma coluna de escoamento ascendente, composta de uma zona de digestão, uma zona de sedimentação, e o dispositivo separador de fases gás-sólido líquido” (CORNELLI *et al*, 2014, pg 29). Na imagem 6.19 é possível visualizar o reator UASB. Ele é considerado como tecnologia de baixo custo de implantação e operação. O reator UASB necessita de energia, peças e equipamento para o seu funcionamento. Outro fato importante é que os reatores geram lodos que necessitam de tratamento para a disposição, desta forma gera custos com a retirada e destinação final do lodo.

**Figura 6.19** – Características gerais do Reator UASB



Fonte: Águas Claras Engenharia (2021?)

Para o bom funcionamento do reator UASB é necessário operador que tenha conhecimento mais aprofundado sobre o sistema. Cornelli *et al* (2014) ressalta que os reatores UASB tem

baixa eficiência na remoção de coliformes e remoção de nitrogênio e fósforo praticamente nula. É considerada uma tecnologia segura, entretanto pode gerar contaminação caso não sejam seguidos os padrões mínimos restritivos de segurança. Os reatores geram pequena quantidade de lodo, entretanto o lodo gerado precisa de tratamento simples para a disposição final.

A área para implantação do sistema em questão é relativamente pequena, além disso, como não há alta remoção de nutrientes nos reatores, há o risco de causar impactos ambientais no solo e água subterrânea se o lodo gerado não for destinado de forma adequada.

Os pesos atribuídos a este sistema podem ser observados na Figura 6.20.

**Figura 6.20** – Atribuição de pesos para os aspectos das tecnologias avaliadas

| <b>Requisitos da área</b> | <b>Pg</b> | <b>Pe</b> | <b>P</b> |
|---------------------------|-----------|-----------|----------|
| Custo de operação         | 5         | 5         | 25       |
| Custo de implantação      | 5         | 5         | 25       |
| Sustentabilidade          | 5         | 1         | 5        |
| Simplicidade              | 5         | 3         | 15       |
| Eficiência                | 3         | 1         | 3        |
| Confiabilidade            | 3         | 3         | 9        |
| Disposição do lodo        | 3         | 3         | 9        |
| Requisitos da área        | 3         | 1         | 3        |
| Impacto Ambiental         | 3         | 3         | 9        |
| <b>TOTAL</b>              |           |           | 103      |

Fonte: Autora (2021)

## 6.6. Escolha da Alternativa com Melhor Custo-Benefício

De acordo com os pesos calculados é possível realizar a comparação das tecnologias em análise. A Tabela 6.10 apresenta o peso total de todas as alternativas.

**Tabela 6.10** – Peso calculado para cada tecnologia

| <b>Tecnologia</b>    | <b>Peso</b> |
|----------------------|-------------|
| Fossa Séptica        | <b>135</b>  |
| Fossa Biodigestora   | <b>175</b>  |
| Wetlands Construídos | <b>101</b>  |
| Reator UASB          | <b>103</b>  |

Fonte: Autora (2021)

Diante do exposto, e com base nos pesos e critérios apresentados, considera-se que a tecnologia mais viável para utilização em zona rural conforme a caracterização da população é a fossa biodigestora. A fossa séptica surge na segunda posição, devido a características análogas ao do biodigestor.

O uso de fossa biodigestora como alternativa de tratamento e disposição de esgoto traz diversos benefícios ao meio ambiente e à sociedade, desde o adequado tratamento do efluente ao reuso de água residuária com alto potencial fertilizante. O pesquisador Antônio Pereira de Novaes desenvolveu o projeto Fossa Séptica Biodigestora através da EMBRAPA, no ano de 2016 já havia fossas sépticas biodigestoras atendendo 57 mil pessoas do campo, o intuito do projeto é substituir as fossas negras empregadas nas maiorias das residências rurais.

De acordo com o engenheiro Carlos Renato Marmo da EMBRAPA (2016, pg 1) “a população beneficiada é muito maior, pois o saneamento básico apresenta impactos não só no campo como também nas cidades, já que as fontes de água e os mananciais estão na zona rural”. Além disso, de acordo com o estudo realizado pela pesquisadora da Embrapa Cinthia Cabral da Costa, e pelo professor da Universidade de São Paulo (USP) Joaquim José Martins Guilhoto a implantação da alternativa escolhida pode reduzir, anualmente, cerca de 250 mortes e 5,5 milhões de infecções causadas por doenças diarreicas. Em relação à economia, A cada R\$1,00

investido na adoção da tecnologia desenvolvida pela EMBRAPA poderia retornar para a economia R\$4,69.

Ressalta-se que a tecnologia auxilia na adubação de plantações da agricultura familiar, gerando mais uma fonte de renda para a população residente, o que torna o problema de saúde pública e meio ambiente em economia.

## 7. CONCLUSÃO

A partir da realização do diagnóstico em questão foi possível caracterizar a população rural, de acordo com os dados apresentados há porcentagem considerável de pessoas de baixa renda e de moradores sem alfabetização. Além disso, comprovou-se a tese inicial de que há grande déficit no atendimento de saneamento básico no Brasil, principalmente nas zonas rurais, o que gera diversos impactos socioambientais.

Os dados analisados demonstram que a fossa rudimentar é o sistema para tratamento de esgoto utilizado pela maioria dos domicílios, e tal alternativa é vista por grande parte dos autores como sistema inadequado de descarte de esgoto doméstico, considerando que tem alta capacidade de causar contaminação no solo e água subterrânea, e conseqüentemente originar danos a saúde pública entre diversos impactos sociais a população local.

Diante o exposto, a fossa biodigestora é apresentada como alternativa econômica e sustentável para a disposição de efluente sanitário das residências rurais. O biodigestor tem alta capacidade na remoção de nutrientes e patógenos, além de ter baixo custo e ser uma alternativa segura para a disposição de efluente.

Apesar da fossa biodigestora ter apresentado melhores resultados, vale ressaltar que a fossa séptica na análise dos critérios teve bons resultados quando comparada às outras alternativas. Atualmente, aproximadamente 25% da população rural utiliza a fossa séptica como forma de disposição de esgoto sanitário, desta forma deve-se considerar a real necessidade e vontade do morador na substituição do sistema fossa séptica para fossa biodigestora, considerando as suas condições econômicas para evitar gastos desnecessários.

A Embrapa tem um programa que visa substituir as fossas rudimentares por fossas sépticas biodigestoras, através deste tem feito esforços na divulgação do sistema em todo o território nacional, por meio de parcerias públicas e privadas. Assim, conclui-se que são necessários investimentos em políticas públicas a fim de levar o saneamento para todos, por exemplo, o programa implantado pela Embrapa, visto que o investimento em saneamento evita a

disseminação de doenças, impactos ambientais e sociais, redução dos custos com saúde, aumento da produtividade, além de outras diversas vantagens econômicas, ambientais e sociais.

## **8. RECOMENDAÇÕES**

Diante do cenário apresentado recomenda-se que medidas para a expansão do saneamento básico no Brasil sejam tomadas com certa urgência, atentando para o fato dos benefícios que podem ser gerados a partir da implementação do saneamento nas áreas onde há déficit de serviços básicos.

Sabe-se que a demanda por pesquisas acerca de tecnologias econômicas e sustentáveis estão aumentando em busca do desenvolvimento sustentável, desta forma torna-se necessário estudos acerca de alternativas para disposição de esgoto doméstico a fim de solucionar a problemática da falta de rede de esgoto na zona rural brasileira.

Por fim, recomenda-se a pesquisa primária com moradores que utilizam o biodigestor para descartar os efluentes sanitários gerados, a fim de levantar pontos positivos e negativos da alternativa apontada neste trabalho, para que seja possível realizar uma análise da eficácia de implantação dessa tecnologia em campo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Efraim Martins. Cisternas: uma tecnologia para armazenagem de água no semiárido. Igatu, V1, n1, 2020. Disponível em: [https://ifce.edu.br/proext/producoes-tecnicas/cartilha-tecnologias-para-o-campo/cisternas\\_uma-tecnologia-para-armazenagem-de-agua-no-semiarido.pdf](https://ifce.edu.br/proext/producoes-tecnicas/cartilha-tecnologias-para-o-campo/cisternas_uma-tecnologia-para-armazenagem-de-agua-no-semiarido.pdf). Acesso em: 17 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Poços para captação de água. São Paulo, [2021?]. Disponível em: <https://www.abas.org/pocos-para-captacao-de-agua/>. Acesso em: 16 jul. 2021.

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

ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA. Reator UASB: saiba o que é e como funciona. [s.l], [s.d]. Disponível em: <https://aguasclarasengenharia.com.br/como-funciona-reator-uasb/>. Acesso em: 08 de set de 2021.

ÁVILA, Renata de O. Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, programa de pós-graduação de engenharia—Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

BARROS, G.S.C.; ALMEIDA, A.N.; CASTRO, N.R. Atividades agrícolas e não agrícolas por residentes rurais e urbanos – o emprego rural não agrícola e o papel da agroindústria. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), v. 1, Piracicaba, 2019.

BACKES, Francisco José. Avaliação da eficiência de um sistema fossa séptica e filtro anaeróbio em escala piloto para o tratamento de efluente sanitário com a adição de papel higiênico como fonte de matéria orgânica. Lajeado, 2016. Disponível em: <https://univates.com.br/bdu/bitstream/10737/1400/1/2016FranciscoJoseBackes.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2021.

BRASIL, [constituição,1988]. Constituição Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República [2017]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.html). Acesso em: 21 mar. 2021.

BRASIL, Lei nº 6938, 31 de agosto de 1981. Brasília, DF. Presidência da República, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.html). Acesso em: 20 de março de 2021.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Brasília, DF: Presidência da República, [2007]. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>. Acesso em: 14 fev. 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. Curso básico de vigilância da qualidade da água para consumo humano. Brasília, DF, 2020. Disponível em: [https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso\\_basico\\_vigilancia\\_qualidade\\_agua\\_modulo\\_II\\_aula\\_2.pdf](https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/curso_basico_vigilancia_qualidade_agua_modulo_II_aula_2.pdf). Acesso em: 15 jul. 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. DataSUS. [s.l], [2021?]. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php> . Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. SISÁgua. [s.l], [2021?]. Disponível em: <http://sisagua.treinamento.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. SNIS: Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. [s.l], 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/> . Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL, Ministério da Cidadania. Cadastro Único. [s.l], 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/cidadania/pt-br/acoes-e-programas/cadastro-unico>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL, Ministério da Cidadania. Sig Cisternas. [s.l], [2021?]. Disponível em: <http://mds.gov.br/assuntos/seguranca-alimentar/acesso-a-agua-1/sig-cisternas>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Saneamento. Plano Nacional de Saneamento Básico. Brasília, 2019. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao\\_Conselhos\\_Resolu%C3%A7%C3%A3o\\_Alta\\_-\\_Capa\\_Atualizada.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Conselhos_Resolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf). Acesso em: 20 jun. 2021.

BRASIL, Ministério da Cidadania. Cadastro Único. Brasília, 2018. Disponível em: <https://aplicacoes.mds.gov.br/sagi/portal/index.php?grupo=212>. Acesso em: 20 jun 2021.

BRASIL, Ministério da Cidadania. SigCisternas. [s.l], 2021. Disponível em: [https://aplicacoes.mds.gov.br/sagi/vis/data3/v.php?q\[\]=r6JtZI%2B0g7BtxKW25rV%2FfmdhhJFkl21kmK19Zm11ZW2maX7KrV%2B0mGilo5TJ7rJvsLqqn7R0wcCskpKcpt%2Bqr6DkwKihuqOb7Fmzr6SWw8qU3KKmfd%2ByVP%2FpnK%2FaWb2vqY53xKLYsKjK6m1cbQrfWjzatMOYVnfGod6vmMTwsqdcuJqm6Fmat6WWytX2E6%2BczJuxlVyLnp7ana68oI53iXTNsqDS566Yq3GxqrQ%3D](https://aplicacoes.mds.gov.br/sagi/vis/data3/v.php?q[]=r6JtZI%2B0g7BtxKW25rV%2FfmdhhJFkl21kmK19Zm11ZW2maX7KrV%2B0mGilo5TJ7rJvsLqqn7R0wcCskpKcpt%2Bqr6DkwKihuqOb7Fmzr6SWw8qU3KKmfd%2ByVP%2FpnK%2FaWb2vqY53xKLYsKjK6m1cbQrfWjzatMOYVnfGod6vmMTwsqdcuJqm6Fmat6WWytX2E6%2BczJuxlVyLnp7ana68oI53iXTNsqDS566Yq3GxqrQ%3D). Acesso em: 18 jun 2021

BRASIL, Ministério da Saúde. DATASUS. [s.l], 2019. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/>. Acesso em: 22 jun 2021.

BRASIL, Ministério da Saúde. SIS Água. [s.l], 2020. Disponível em: <https://dados.gov.br/dataset/sisagua-tratamento-de-agua>Acesso em: 22 jun 2021.

BRASIL, Resolução nº 303, de 20 de março de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; “ Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.”; Publicada no diário oficial da união 13/05/2002. Brasília, DF.

BÜHLER, Helena Ferraz; IGNOTTI, Eliane; NEVES, Sandra Mara Alves da Silva; HACON, Sandra Souza. Análise espacial de indicadores integrados determinantes da mortalidade por diarreia aguda em crianças menores de 1 ano em regiões geográficas. 2014. [s.l], Ciência & Saúde Coletiva, 19, 4131-4140.

CASTANHETTI, Fabiano José. A falta de sistemas de tratamento de esgoto doméstico em zona rural e suas consequências. [s.l], 2017. Disponível em: <https://riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/6487/A%20FALTA%20DE%20SISTEMAS%2>

ODE%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTO%20SANIT%C3%81RIO%20EM%20ZONA%20RURAL%20E%20SUAS%20CONSEQU%C3%81NCIAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 fev. 2021.

CDD. Saúde Pública. [s.l], 2015. Disponível em: <https://cdd.org.br/saude-publica/#1>. Acesso em: 21 mar. 2021.

COLARES, Carla Joviana Gomes; SANDRI, Delvio. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, p. 172-185, 2013.

CORNELLI, Renata; AMARAL, Fernando Gonçalves; DANILEVICZ, Ângela de Moura Ferreira; GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo. Métodos de tratamento de esgotos domésticos: Uma revisão sistemática. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 16, n. 2, p. 20-36, 2014.

COSTA, Adriana Guimarães. Sistema de Abastecimento de Água. Fortaleza, 2015. <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2102/1/Sistema%20de%20Abastecimento%20de%20%C3%81guas-%20Livro.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

DEALESSANDRI, Erica Irene. Principais doenças transmitidas e veiculadas pela água. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: [http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC\\_DSC\\_NOME\\_ARQUI20140131090224.pdf](http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20140131090224.pdf). Acesso em: 26 mar. 2021.

EMBRAPA. Saneamento Básico Rural. [s.l], [2021?]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-saneamento-basico-rural>. Acesso em: 14 fev. 2021.

EMBRAPA. Programa Cisternas. [s.l], 2021. Disponível em: <http://mapas.cnpm.embrapa.br/mds/?layers=1>. Acesso em: 20 jun. 2021.

EMBRAPA. Fossa séptica biodigestora beneficia 57 mil pessoas no campo. [s.l], 2016. Fossa séptica biodigestora beneficia 57 mil pessoas no campo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/14221866/fossa-septica-biodigestora-beneficia-57-mil-pessoas-no-campo>. Acesso em: 05 ago. 2021.

EOS. As dificuldades do abastecimento de água na zona rural. [s.l], 2019. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/dificuldades-abastecimento-de-agua-na-zona-rural/>. Acesso em: 14 fev. 2021.

ESTEVES, Francisco de Assis. Fundamentos de Limnologia. Editora Interciência. 2ª ed. Rio de Janeiro. 1998. 602p.

FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; MIYAZAKI, Caroline Kimie; MADRID, Francisco José Peña y Lillo; DUARTE, Natália Cangussu; MAGALHÃES, Taína Martins; TONETTI, Adriano Luiz. Fossa absorvente ou rudimentar aplicada ao saneamento rural: solução adequada ou alternativa precária?. *Revista DAE*, 2019.

FIOCRUZ. Pesquisa relaciona mortalidade infantil e regiões demográficas. [s.l], [2021?]. Disponível em:

<http://www.fiocruz.br/omsambiental/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?from%5Finfo%5Findex=16&inford=685&sid=13>. Acesso em: 10 jun. 2021.

FUNASA. Saúde Ambiental para Redução dos Riscos à Saúde Humana. [Brasília], 2020. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/saude-ambiental-para-reducao-dos-riscos-a-saude-humana>. Acesso em: 21 mar. 2021.

FUNASA. Manual de saneamento. Brasília, 2019. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Manual\\_de\\_Saneamento\\_Funasa\\_5a\\_Edicao.pdf/278113a8-2cda-4b9f-8611-9087912c9dff](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/Manual_de_Saneamento_Funasa_5a_Edicao.pdf/278113a8-2cda-4b9f-8611-9087912c9dff). Acesso em: 14 fev. 2021.

FUNASA. Impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado impactos na saúde e no sistema único de saúde decorrentes de agravos relacionados a um saneamento ambiental inadequado. Brasília, 2010. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files\\_mf/estudosPesquisas\\_ImpactosSaude.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/estudosPesquisas_ImpactosSaude.pdf). Acesso em: 21 jun 2021.

IBGE. Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100643.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2021.

IBGE. Censo Brasileiro. [s.l], 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 18 jun. 2021.

IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico : 2017 : abastecimento de água e esgotamento sanitário / IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101734>. Acesso em: 14 fev. 2021.

IBGE. PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. [s.l], [2021?]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/rendimento-despesa-e-consumo/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 18 jun. 2021.

IBGE. PNAD Contínua - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. [s.l], [2021?]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/condicoes-de-vida-desigualdade-e-pobreza/17270-pnad-continua.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 18 jun. 2021.

IBGE. Censo Agropecuário. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro\\_2017\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf). Acesso em: 18 jun. 2021.

IBGE. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pnad/geral/pesquisa-basica>. Acesso em: 18 jun. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Benefícios econômicos da expansão do saneamento Brasileiro. [s.l], 2010. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa7/pesquisa7.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil. [s.l.], 2018. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/beneficios/Relat%C3%B3rio-Benef%C3%ADcios-do-saneamento-no-Brasil-04-12-2018.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Ranking do saneamento Instituto Trata Brasil. São Paulo, 2020. Disponível em: [http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking\\_2020/Relatorio\\_Ranking\\_Trata\\_Brasil\\_2020\\_Julho\\_.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking_2020/Relatorio_Ranking_Trata_Brasil_2020_Julho_.pdf). Acesso em: 14 fev. 2021

INSTITUTO TRATA BRASIL. À origem do saneamento básico. [s.l.], 2020. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2020/01/07/a-origem-do-saneamento-basico/#:~:text=O%20primeiro%20registro%20de%20saneamento,abastecer%20o%20Rio%20de%20Janeiro.&text=No%20per%C3%ADodo%20colonial%2C%20a%20C3%A7%C3%B5es%20de,terrenos%20e%20instala%C3%A7%C3%A3o%20de%20chafarizes>. Acesso em: 20 mar. 2021.

KONRADT-MORAES, Leila Cristina. Estudo dos Processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para a obtenção de água potável. 2009.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; PRADO, Eliana Leão do; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges de. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rap/v45n2/03.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.

LIBÂNIO, Marcelo. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

MELLO, Edson Jose Rezende de. Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari - MG. Uberlândia, 2007. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/32630230/tratamento-esgoto-ete-compacta>. Acesso em: 20 mar. 2021.

MORALES, Maria Aparecida Marin; ROBERTO, Matheus Mantuanelli; ANGELIS, Dejanira de Franceschi de; ANGELIS, Derlene Attili de. Importância da água para a vida e garantia de manutenção da sua qualidade. Rio Claro, [2021?]. Disponível em: <https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/artigos-cientificos/2016/10-importancia-da-agua-para-a-vida-e-garantia-de-manutencao-da-sua-qualidade.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2021.

NUGEM, Rita de Cássia. Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI) em Porto Alegre-RS. Brasília, 2015. Disponível em: [lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127980/000974325.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127980/000974325.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 21 jun 2021.

PIRES, Fabrício Matheus Barcelos. Sistema de Esgoto Sanitário - Estudo de Caso - MARÉ. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023811.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2021.

PEREIRA, P. H. V., PEREIRA, S. Y., YOSHINAGA, A., & PEREIRA, P. R. B. (2011). Nascentes: Análise e discussão dos conceitos existentes. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, 7(2).

PEREIRA, Miréia Aparecida Bezerra ; BESSA, Nelita Gonçalves Faria de ; FREITAS, Gilson Araújo de; ANTONIO, Jeferson Santana da Silva Carneiro e; SANTOS, Carlos Martins dos. Eficiência de fossa séptica biodigestor no tratamento de esgoto doméstico do assentamento Vale Verde, Tocantins. João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-12-2018/volume-12-n-1-2018/02-011805-eficiencia-de-fossa-septica-biodigestora.pdf>. Acesso em: 01 ago 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA CECÍLIA. Canalização da vala negra. Santa Cecília, 2017. Disponível em: <https://www.santacecilia.sc.gov.br/noticias/ver/2017/04/canalizacao-da-vala-negra>. Acesso em: 18 jul. 2021.

PORTO, Bárbara Batista; SALES, Bárbara Marques; REZENDE, Sonaly. Saneamento básico em contextos de agricultura familiar. Belo Horizonte, EDIÇÃO ESPECIAL SANEAMENTO RURAL, p. 52, 2019.

REISMANN, Henrique; VIEIRA, Bruna; RODRIGUES, Tânia Maria. II-580-REMOÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO EM EFLUENTES: PRINCIPAIS TÉCNICAS EXISTENTES, CARACTERÍSTICAS, OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA O TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTES. Higienópolis, 2017. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2019/06/II-580.pdf>. Acesso em: 07 de set. de 2021.

RESENDE, A. V de. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Planaltina – DF, Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E), 2002.

RIBEIRO, Júlia Werneck; ROOKE, Juliana Maria Scoralick. SANEAMENTO BÁSICO E SUA RELAÇÃO COM O MEIO AMBIENTE E A SAÚDE PÚBLICA. Juiz de Fora, 2010. Disponível em: <https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-SaneamentoeSa%C3%BAde.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

SAAE. Sistemas de Tratamento de Água. Aracruz, 2006. Disponível em: [https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento\\_de\\_Agua.pdf](https://www.saaeara.com.br/arquivos/outros/Tratamento_de_Agua.pdf). Acesso em: 22 mar. 2021.

SECRETARIA DO ESTADO DE GOÍAS (org.). Saúde Ambiental. [Goiânia], [2021?]. Disponível em: <https://www.saude.go.gov.br/vigilancia-em-saude/saude-ambiental>. Acesso em: 20 mar. 2021.

SEBRAE MG. Políticas Públicas Conceitos e Práticas. 2008. Disponível em: <http://www.mp.ce.gov.br/nespeciais/promulher/manuais/MANUAL%20DE%20POLITICAS%20P%C3%9ABLICAS.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.

- SENAR. Saúde: saneamento rural. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/ceplac/informe-ao-cacaucultor/manejo/cartilhas-senar/226-saude-saneamento-rural.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- SCALIZE, Paulo Sérgio; BEZERRA, Nolan Ribeiro. Saneamento Básico Rural. Goiana, 2020. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/688/o/Saneamento\\_Basico\\_Rural.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/688/o/Saneamento_Basico_Rural.pdf). Acesso em: 14 fev. 2021.
- SILVA, Diani Fernanda da. Tecnologia alternativa para tratamento de efluentes domésticos na área rural. Toledo, 2014. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/1857/1/Diani%20Fernanda%20da%20Silva.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2021.
- SILVA, Gustavo H. R. da; NOUR, Edson A. A.. Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. Campinas, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v9n2/v9n2a19.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2020.
- SILVA, Carlos Ernando da. Sistema de Lodos Ativados. [s.l.], [2021?]. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/A4.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- SILVA, Wilson Tadeu Lopes da; FAUSTINO, Adriana Soares; DE NOVAES, Antônio Pereira. Eficiência do processo de biodigestão em fossa séptica biodigestora inoculada com esterco de ovino. São Carlos, Embrapa Instrumentação-Documents (INFOTECA-E), 2007.
- SNIS. Diagnostico dos Serviços de Água e Esgoto. Disponível em: [http://snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico%20SNIS%20AE\\_2019\\_Republicacao\\_04022021.pdf](http://snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagn%C3%B3stico%20SNIS%20AE_2019_Republicacao_04022021.pdf). Acesso em: 19 fev. 2021.
- SOTERO, Aglene de Arruda Moreira. O esgotamento sanitário e o uso do território em Natal/RN (1969-2009). 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/18916/1/AgleneAMS DISSERT.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- SOUZA, Juliana Rosa de; MORAES, Maria Eugênia Bruck de; SONODA, Sérgio Luiz; SANTOS, Haialla Carolina Rialli Galvão. A Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. 2014. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/217>. Acesso em: 21 mar. 2021.
- SNIS. SNIS Água e Esgoto. 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/componentes/menu-snis-componente-agua-e-esgotos>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- SZUSTER, Leonardo Brandão. Estudo de caso do sistema de tratamento de esgoto proposto para o bairro Serrinha em Gonçalves-MG: uma solução visando aspectos de sustentabilidade ambiental. Belo Horizonte, 2011. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ASHKR/1/leonardo\\_brandao\\_szuster\\_monografia.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ASHKR/1/leonardo_brandao_szuster_monografia.pdf). Acesso em: 10 jul. 2021.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; ALEM SOBRINHO, Pedro. Coleta e Tratamento de Esgoto Sanitário. 2011. 2 ed.

TUNDISI, José Galizia. CICLO HIDROLÓGICO E GERENCIAMENTO INTEGRADO. [s.l], [2021?]. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v55n4/a18v55n4.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

UFJR. CAPÍTULO 2. CICLO HIDROLÓGICO. [s.l], 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

UNICEF-United Nations International Children's Emergency Fund; WHO-World Health Organization. Diarrhea: why children are still dying and what can be done. UNICEF; WHO: Geneva; New York; 2009.

VASCONCELOS, Mickaelon Belchior. Poços para captação de águas subterrâneas: revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. Fortaleza , 2014. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28288/18401>. Acesso em: 15

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1995. 240 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1).