



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL (EECA)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E
SANITÁRIA (PPGEAS)

GABRIELLE BRITO DO VALE

**PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO EM COMUNIDADES RURAIS DO ESTADO
DE GOIÁS**

GOIÂNIA
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Gabrielle Brito do Vale

3. Título do trabalho

Proposição de soluções de esgotamento sanitário em comunidades rurais do Estado de Goiás

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.

Documento assinado eletronicamente por **Paulo Sérgio Scalize, Professor do Magistério Superior**, em 11/07/2022, às 13:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do



[Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.](#)



Documento assinado eletronicamente por **GABRIELLE BRITO DO VALE, Discente**, em 11/07/2022, às 14:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3036496** e o código CRC **85245B94**.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Gabrielle Brito do Vale

3. Título do trabalho

Proposição de soluções de esgotamento sanitário em comunidades rurais do Estado de Goiás

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Gabrielle Brito Do Vale**, Usuário Externo, em 22/10/2024, às 11:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Sergio Scalize, Coordenador de Pós-Graduação**, em 29/10/2024, às 12:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4419082** e o código CRC **90D12C69**.

Referência: Processo nº 23070.029933/2022-74

SEI nº 4419082

GABRIELLE BRITO DO VALE

**PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES DE ESGOTAMENTO
SANITÁRIO EM COMUNIDADES RURAIS DO ESTADO
DE GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Linha de Pesquisa: Sistemas de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize

Coorientador: Prof. Dr. Humberto Carlos Huggeri Júnior

GOIÂNIA
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Vale, Gabrielle Brito do

Proposição de soluções de esgotamento sanitário em comunidades rurais do Estado de Goiás [manuscrito] / Gabrielle Brito do Vale. - 2022.

Cl, 101 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize; co-orientador Dr. Humberto Carlos Huggeri Júnior.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Goiânia, 2022.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, mapas, fotografias, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Esgoto. 2. Comunidades rurais. 3. Soluções. 4. Tecnologias. 5. Lodo. I. Scalize, Paulo Sérgio, orient. II. Título.

CDU 628



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº 003 da sessão de Defesa de Dissertação de **Gabrilite Brito do Vale**, que confere o título de Mestra em Engenharia Ambiental e Sanitária, na área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Aos vinte e sete dias do mês de junho de dois mil e vinte e dois, a partir das sete horas, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “*Proposição de soluções de esgotamento sanitário em comunidades rurais do Estado de Goiás*”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor Paulo Sérgio Scalize (PPGEAS/EECA), com a presença do coorientador Professor Doutor(a) Humberto Carlos Ruggeri Júnior (PPGEAS/EECA), e com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor Adriano Luiz Tonetti (Unicamp), membro titular externo; Professor Doutor Francisco Javier Cuba Teran (PPGEAS/EECA), membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca não sugeriram alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor(a) Paulo Sérgio Scalize, Presidente da Banca Examinadora, com a presença do coorientador Professor Doutor(a) Humberto Carlos Ruggeri Júnior, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos vinte e sete dias do mês de junho de dois mil e vinte e dois.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Francisco Javier Cuba Teran, Professor do Magistério Superior**, em 27/06/2022, às 09:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriano Luiz Tonetti, Usuário Externo**, em 27/06/2022, às 09:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Sérgio Scalize, Professor do Magistério Superior**, em 27/06/2022, às 13:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 2954672 e o código CRC A37829F1.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, pelo sustento. À minha família, que é minha base e me apoiou neste processo. Ao meu irmão, por todo o incentivo dado.

Aos meus orientadores, pela busca de soluções e empenho para a concretização do trabalho. Ao projeto Projeto Saneamento e Saúde Ambiental (SanRural), Fundação Nacional de Saúde e Fundação de Apoio à Pesquisa, pela possibilidade de realização da pesquisa.

Agradeço à todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho pudesse ser concluído.

RESUMO

Levantamentos demonstram como a cobertura por esgotamento sanitário em comunidades rurais é caracterizada majoritariamente por sua precariedade ou ausência de soluções em todo o Brasil, sendo utilizado no Estado de Goiás fossas rudimentares por 60 a 80% da população rural (BRASIL, 2019). Tal quadro, contribui para o surgimento de riscos ambientais e à saúde das populações. Para melhorar esta situação, conforme artigo 3º-B da Lei Federal 14026 de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento, os serviços para atendimento do esgoto, individual e coletivo, envolvem a unidade de tratamento e a alternativa de manejo do lodo, que deve ser destinado de forma ambientalmente adequada, inclusive dos tanques sépticos. Estas unidades são as alternativas adequadas mais empregadas atualmente em áreas rurais, e se caracterizam por produzir lodo, que quanto mal gerido prejudica o tratamento e ambiente, tornando-se relevante o estudo de sua gestão. Ademais, as soluções para tratamento do esgoto podem ser aplicadas conforme o efluente gerado no domicílio rural, e análise da possibilidade de integração do tratamento com gestão de esterco animal e agricultura praticada. Desta forma, o objetivo deste trabalho é propor soluções para o tratamento do esgoto sanitário e gestão do lodo em comunidades rurais do Estado de Goiás. Para tanto, foi realizado levantamento do atendimento em 113 comunidades do Estado de Goiás, incluindo ribeirinhas, quilombolas e assentamentos, diagnosticadas no Projeto Saneamento e Saúde Ambiental (SanRural), sendo a proposição das soluções de esgotamento baseada no tipo de esgoto gerado no domicílio e na necessidade de esterco animal para funcionamento das tecnologias, ou de plantações para aplicação do efluente tratado, de forma a permitir o reaproveitamento na agricultura/plantações e a gestão de esterco animal juntamente ao tratamento. Foram elaborados grupos tecnológicos para proposição, sendo: A e D (com restrições apenas do tipo de efluente), B (com necessidade de plantação e esterco) e C (necessidade de plantação). Para as soluções do gerenciamento do lodo, foram consideradas as modalidades de gestão individuais (unifamiliar e conjunta) e coletiva sem controle analítico e com (análise da qualidade do efluente e corpo receptor), e como essas impactariam nos custos operacionais e de manutenção de tanques sépticos, variando a quantidade populacional atendida de 20 a 2000 habitantes. A partir dos resultados observou-se que o atendimento nas comunidades se caracterizou por elevado déficit em todas as tipologias. A proposição de soluções indicou a maior aplicabilidade das tecnologias do grupo A e D em todas as tipologias. As do grupo B foram mais aplicáveis em assentamentos, nos quais há maior presença de plantações e esterco animal. De forma geral, todas as proposições apontaram soluções que permitem o tratamento adequado dos efluentes, fezes e urina, o que pode contribuir para a promoção de salubridade ambiental. Quanto à gestão do lodo, a partir dos custos *per capita* das soluções identificou-se que: a gestão unifamiliar conjunta é mais aplicável nas comunidades, sendo que a coletiva pode ser favorecida na ausência de controle analítico. Sendo assim, conclui-se que é possível aplicar diversas soluções para o tratamento do esgoto, que podem contribuir para a produção agrícola, qualidade ambiental e manejo do esterco animal. De forma geral, a gestão unifamiliar conjunta apresentou o menor custo, no entanto, é importante a participação dos diversos setores da sociedade e poder público.

Palavras-chave: Esgoto. Comunidades rurais. Soluções. Tecnologias. Lodo.

ABSTRACT

Surveys show how sewage coverage in rural communities is mostly characterized by its precariousness or lack of solutions throughout Brazil, with rudimentary septic tanks being used in the State of Goiás by 60 to 80% of the rural population (BRASIL, 2019). This framework contributes to the emergence of environmental risks and to the health of populations. To improve this situation, according to article 3-B of Federal Law 14026 of July 15, 2020, which updates the legal framework for sanitation, individual and collective sewage services involve the treatment unit and the alternative management sludge, which must be disposed of in an environmentally appropriate manner, including septic tanks. These units are the most suitable alternatives currently used in rural areas, and are characterized by producing sludge, which when poorly managed harms the treatment and environment, making the study of its management relevant. Furthermore, solutions for sewage treatment can be applied according to the effluent generated in the rural household, and analysis of the possibility of integrating treatment with animal manure management and practiced agriculture. Thus, the objective of this work is to propose solutions for the treatment of sanitary sewage and sludge management in rural communities in the State of Goiás. To this end, a survey was carried out on the service in 113 communities in the State of Goiás, including riverside communities, quilombolas and settlements, diagnosed in the Environmental Sanitation and Health Project (SanRural). the need for animal manure for the technologies to work, or plantations for the application of the treated effluent, in order to allow its reuse in agriculture/plantations and the management of animal manure together with the treatment. Technological groups were elaborated for proposition, being: A and D (with restrictions only on the type of effluent), B (with planting and manure needs) and C (planting needs). For the sludge management solutions, individual management modalities (exclusively and shared) and collective management without analytical control and with (analysis of the quality of the effluent and receiving body) were considered, and how these would impact the operational and maintenance costs of tanks septic, varying the amount of population served from 20 to 2000 inhabitants. From the results, it was observed that the service in the communities was characterized by a high deficit in all typologies. The proposition of solutions indicated the greater applicability of the technologies of group A and D in all typologies. Those in group B were more applicable in settlements, where there is a greater presence of plantations and animal manure. In general, all propositions pointed to solutions that allow the adequate treatment of effluents, feces and urine, which can contribute to the promotion of environmental health. As for sludge management, based on the per capita costs of the solutions, it was identified that: shared individual management is more applicable in communities, and collective management can be favored in the absence of analytical control. Therefore, it is concluded that it is possible to apply several solutions for the treatment of sewage, which can contribute to agricultural production, environmental quality and management of animal manure. In general, shared individual management had the lowest cost, however, the participation of different sectors of society and public authorities is important.

Keywords: Sewer. Rural communities. Solutions. Technologies. Sludge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Comunidades rurais e urbanas visitadas no âmbito do projeto SanRural.....	34
Figura 2- Fluxograma representativo das etapas necessárias para o levantamento de informações para a proposição de tecnologias.	35
Figura 3-Alternativas de disposição para esgoto e águas fecais nas comunidades segundo tipologia.....	42
Figura 4-Alternativas de disposição das águas cinzas da lavagem de roupas, cozinha com e sem caixa de gordura e do banheiro.	45
Figura 5- Distribuição das classificações quanto às formas de separação da fração de esgoto em separação total (a), separação parcial (b), sem separação (c) e sem banheiro - fezes e urina (d), de acordo com a tipologia da comunidade.....	48
Figura 6-Percentual dos domicílios classificados em déficit devido à ausência de atendimento ou sua precariedade para águas cinzas do banheiro, cozinha e lavagem de roupas; águas fecais e esgoto, e ausência de banheiro; conforme tipologia de comunidade.....	50
Figura 7-Déficit e atendimento adequado para águas cinzas, águas fecais ou esgoto e ausência de banheiro.	52
Figura 8-Distribuição do déficit em águas cinzas (a), esgoto, águas fecais ou fezes (b), atendimento adequado para águas cinzas (c) e atendimento adequado para esgoto, águas fecais ou fezes (d), de acordo com a tipologia da comunidade.	54
Figura 9-Percentuais de aplicabilidade nas comunidades rurais das tecnologias que tratam esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina, segundo os critérios pré-definidos, por tipologia e em relação ao total rural.	56
Figura 10-Percentuais de aplicabilidade nas comunidades urbanas das tecnologias que tratam esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina, segundo os critérios pré-definidos, por tipologia e em relação ao total urbano.....	63
Figura 11-Custos operacionais e de manutenção de unidades de tanque séptico coletivas, de acordo com a população, com e sem controle analítico.	85
Figura 12-Custos de O/M <i>per capita</i> anual de sistemas de tanques sépticos com gestão coletiva e individual, conforme população, com coleta em caminhão de 8 m ³ (a) e 8m ³ à 16m ³ (b), considerando o controle analítico, e em caminhão de 8 m ³ (c) e 8m ³ à 16m ³ (d), sem controle analítico.	87
Figura 13-Distribuição do número de habitantes nas comunidades por tipologia.	90

Figura 14- Percentual de comunidades, em que os custos <i>per capita</i> das modalidades de gestão unifamiliar e coletiva, são menores, conforme tipologia e faixa de volume de caminhão, considerando o controle analítico.	90
Figura 15- Percentual de comunidades, em que os custos <i>per capita</i> das modalidades de gestão unifamiliar e coletiva, são menores, conforme tipologia e categoria de caminhão, sem o controle analítico.	91
Figura 16- Percentual de comunidades, em que os custos <i>per capita</i> das modalidades de gestão unifamiliar conjunta e coletiva, são menores, conforme tipologia e categoria de caminhão, sem o controle analítico.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1-Alternativas tecnológicas aplicáveis em áreas rurais e a abrangência de aplicação.	20
Quadro 2-Atividades, frequência de visitas e quantitativo de horas para unidades de tratamento compostas por tanque séptico, para diferentes populações atendidas.	24
Quadro 3-Atividades de operação e manutenção coletiva e individual de unidades de tratamento de tanques sépticos.	25
Quadro 4-Classificação das formas de separação das frações de esgoto geradas nos domicílios.	36
Quadro 5-Déficit e atendimento adequado de esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina nas áreas rurais.....	37
Quadro 6-Tecnologias separadas por grupo tecnológico, segundo valor agregado, frações de esgoto que tratam e pré-requisitos.....	39
Quadro 7-Grupos tecnológicos e possibilidade de aplicação individual ou coletiva, necessidade de área e custo para implantação.	71
Quadro 8-Percentuais das alternativas de disposição para esgoto e águas fecais nas comunidades segundo tipologia.	72
Quadro 9-Percentuais das alternativas de disposição das águas cinzas da lavagem de roupas, cozinha com e sem caixa de gordura e do banheiro.....	73
Quadro 10-Percentual dos domicílios classificados em déficit devido à ausência de atendimento ou sua precariedade para águas cinzas do banheiro, cozinha e lavagem de roupas; águas fecais e esgoto, e devido à ausência de banheiro; conforme tipologia de comunidade.....	74
Quadro 11-Déficit e atendimento adequado para águas cinzas, águas fecais ou esgoto e ausência de banheiro.....	74
Quadro 12-Percentuais de aplicabilidade nas comunidades rurais das tecnologias que tratam esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina, segundo os critérios pré-definidos, por tipologia e em relação ao total rural.	75
Quadro 13-Percentuais de aplicabilidade nas comunidades urbanas das tecnologias que tratam esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina, segundo os critérios pré-definidos, por tipologia e em relação ao total urbano.....	75

Quadro 14-Frequência de realização de atividades de manutenção de unidades de tratamento de esgoto compostas por tanque séptico segundo a população e custos unitários.	81
Quadro 15-Critérios assumidos para determinação dos custos operacionais de lodo. ...	84
Quadro 16-Limites populacionais em que a gestão coletiva torna-se mais barata que as individuais, segundo volume útil do tanque do caminhão.	89
Quadro 17- Limites populacionais em que os custos com a gestão unifamiliar, unifamiliar conjunta e coletiva tornam-se menores, com controle e sem controle, para diferentes comparações.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Classificação da forma de separação do das frações de esgoto nos domicílios diagnosticados por tipologia de comunidade.....	46
Tabela 2-Percentual de domicílios que utilizam tanques sépticos, tanques sépticos com sumidouro e tanques sépticos com sumidouro após caixa de gordura, segundo tipologia, para disposição de águas fecais ou esgoto e águas cinzas.....	53
Tabela 3-Valores cobrados pela Companhia de Saneamento de Goiás para realização de ensaios na água de manancial superficial no interior do Estado.	82
Tabela 4-Preços médios, desvio padrão, coeficiente de variação e dispersão conforme valores identificadas por faixa de volume dos caminhões limpa fossa.	84
Tabela 5-Custos operacionais do tanque séptico, sem a gestão do lodo, calculado e disponibilizados na literatura.....	86
Tabela 6-Custos <i>per capita</i> para soluções individuais com gestão unifamiliar conjunta.	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PBSR	- Programa Brasil Saneamento Rural
O/M	- Operação e Manutenção
SISAR	- Sistema Integrado de Saneamento Rural

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1.1 Problema de pesquisa	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 REFERÊNCIAL TEÓRICO	16
1.3.1 Diretrizes e normativas	18
1.3.2 Déficit de esgotamento	16
1.3.3 Esgoto no meio rural	17
1.3.4 Tecnologias de tratamento de esgoto doméstico para pequenas comunidades	20
1.3.5 Oportunidades e saneamento rural	21
1.3.6 Gestão	22
1.3.7 Tanque Séptico	23
1.4 CONCLUSÃO	1625
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
CAPÍTULO 2-ANÁLISE DO ATENDIMENTO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E PROPOSIÇÃO DE TECNOLOGIAS EM COMUNIDADES RURAIS DO ESTADO DE GOIÁS	30
RESUMO	30
2.1 INTRODUÇÃO	31
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	33
2.2.1 Área de estudo	33
2.2.2 Coleta de dados	34
2.2.3 Etapas do trabalho	35
2.2.4 Caracterização do atendimento nas comunidades	36
2.2.5 Identificação do déficit nas comunidades	37
2.2.6 Proposição de soluções de esgotamento sanitário para as comunidades	38
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
2.3.1 Caracterização do Atendimento nas comunidades	40
2.3.2 Separação de frações	46
2.3.3 Déficit de esgotamento sanitário	49

2.3.4	Proposição de tecnologias.....	55
2.4	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
	ANEXO A.....	69
	ANEXO B.....	71
	ANEXO C.....	72
	CAPÍTULO 3-CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE TANQUE SÉPTICO COM GESTÃO INDIVIDUAL E COLETIVA	76
	RESUMO.....	76
3.1	INTRODUÇÃO	77
3.2	METODOLOGIA.....	79
3.2.1	Condições gerais.....	79
3.2.2	Custo não rotineiros.....	80
3.2.3	Custos Rotineiros.....	80
3.2.4	Comparação das alternativas de gestão	82
3.2.5	Aplicação nas comunidades do projeto SanRural	83
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
3.3.1	Custos não rotineiros	84
3.3.2	Custos Rotineiros.....	85
3.3.3	Comparação das alternativas de gestão	86
3.3.4	Aplicação nas comunidades do projeto SanRural	89
3.4	CONCLUSÃO.....	93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
	ANEXO A.....	98

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O déficit por esgotamento é uma realidade de comunidades rurais do Brasil (SILVA, 2017; BRASIL, 2019). Conforme dados censitários do IBGE dos anos de 1991, 2000 e 2010, o uso de fossas rudimentares para despejo do esgoto pelas populações rurais foi de 59%, 64% e 64% respectivamente, enquanto o de fossas sépticas variou de 26%, 15% e 16% respectivamente. No Estado de Goiás foi indicado o uso das fossas rudimentares entre 60 a 80% em comunidades diagnosticadas, sendo apontada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) como a alternativa mais utilizada nos domicílios rurais na região Centro-Oeste (BRASIL, 2013).

Essas fossas rudimentares são construídas a partir de conhecimentos empíricos, geralmente sem avaliação das condições locais, caracterizadas como escavações no solo, podendo ter ou não escoramento e fechamento precário, como tábuas e madeira (BRASIL, 2019a; FIGUEIREDO *et al.*, 2019; BRASIL, 2015). Estes variados métodos construtivos favorecerem problemas ambientais pela contaminação do lençol freático ou extravasamento do seu conteúdo (BRASIL, 2019).

As situações precárias descritas, identificadas pela falta de tratamento e destino correto do esgoto nas comunidades rurais, contribui para a propagação de doenças de transmissão feco-oral, presença de helmintos no solo ou corpos hídricos; teníase e doenças transmitidas por insetos (BRASIL, 2010). Em contrapartida, conforme pontuado pela Organização das Nações Unidas (ONU), dentre os objetivos para se alcançar o desenvolvimento sustentável, deve ser garantida a disponibilidade e gestão sustentável de água potável e saneamento. É estabelecido que para isso seria necessário, até 2030, a promoção do acesso ao saneamento e higiene adequados para todos, além do fim da defecação a céu aberto; também, redução da poluição por meio da eliminação de despejos e redução da proporção de águas residuais não tratadas.

Relativo à definição de soluções tecnológicas para atendimento de áreas rurais, o Programa Brasil Saneamento Rural (PBRs) define o déficit em áreas rurais como situações sem atendimento ou de precariedade. Quanto aos critérios técnicos levantados para proposição de soluções, a matriz tecnológica apresenta o tipo de efluente gerado nos domicílios: águas cinzas, águas fecais, esgoto ou fezes e urina. No entanto, o documento destaca, por meio de suas diretrizes e marcos referenciais, que para a proposição de soluções de esgoto em comunidades rurais, o saneamento pode ser integrado à agricultura familiar praticada e aspectos culturais, típicos de áreas rurais, bem como, ao manejo de esterco animal (BRASIL, 2019).

Assim, para a proposição de soluções, como nas comunidades rurais o esgoto é comumente disposto de forma separada em águas cinzas e fecais (SILVA, 2017), é necessário considerar as distintas frações de esgoto geradas nos domicílios. Além do mais, a possibilidade de reaproveitamento dos efluentes na agricultura para fechamento do ciclo de nutrientes por meio da fertirrigação conforme Tonetti *et al.* (2018), bem como, de uso de esterco animal pelas tecnologias (HERRERO, 2008), como critérios de seleção, pode fortalecer os benefícios das tecnologias propostas.

Quanto à gestão do lodo, apesar de diversas tecnologias serem aplicáveis em áreas rurais, dentre as abordadas pelos referenciais, o tanque séptico é a principal alternativa adequada já identificada para a disposição de efluentes em populações rurais diagnosticadas no Brasil pelos censos do IBGE, e como produz lodo, este deve ser removido periodicamente (ABNT, 1993), a fim de permitir seu funcionamento adequado. Assim, o estudo de possibilidades de gestão do lodo dessa alternativa de tratamento, torna-se relevante.

Este manejo do lodo pode ser realizado pelo seu envio às unidades de tratamento de esgoto municipais, o que normalmente ocorre por meio de caminhões limpa fossa (ANDREOLI, 2009; ANBT, 1997). Muitas vezes, tal atividade depende da iniciativa do próprio morador, que frequentemente não a pratica de forma adequada, o que contribui para problemas ambientais e sociais (BRASIL, 2019). Nesse sentido, a gestão coletiva pode favorecer e fortalecer a manutenção e operação das soluções empregadas, sendo importante a consideração do nível em que pode ocorrer (domiciliar ou de comunidade), bem como, questões estruturais, ambientais e sociais (WILLIAM *et al.*, 2010).

Diante do exposto, considerando a importância de se apontar soluções para o esgotamento em áreas rurais, e que para isso, é necessária a proposição de soluções tecnológicas e de gestão do lodo, torna-se relevante identificar a atual situação de atendimento praticada nas comunidades rurais, a proposição de tecnologias de esgotamento, bem como, o estudo das possibilidades de gestão do lodo.

1.1.1 Problema de pesquisa

As comunidades rurais possuem elevado déficit em esgoto, que pode contribuir para o surgimento de doenças, prejudicando a saúde das populações e a qualidade do meio ambiente. Para se apontar soluções para o esgotamento, é necessária a definição da alternativa de tratamento, mas também, da de gestão de lodo. Assim, é importante o conhecimento de como o atendimento se manifesta nessas comunidades, bem como, quais fatores, dentre eles, os sociais e técnicos, que podem influenciar na proposição.

Ademais, considerando que em algumas comunidades já se utiliza tecnologias adequadas, principalmente o tanque séptico, que também é a alternativa adequada mais empregada no Brasil rural, o estudo de soluções para a gestão do lodo produzido também é relevante, uma vez que, o seu correto gerenciamento contribui para o funcionamento eficaz da solução e qualidade ambiental. Nesse sentido, considerar como a gestão coletiva nas comunidades rurais poderia favorecer a gestão do lodo torna-se um fator a ser investigado. Assim, a pesquisa propõe-se apontar soluções para o tratamento do esgoto sanitário e gestão do lodo em comunidades rurais.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho foram divididos em geral e específicos, conforme descritos em sequência.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor soluções para o esgotamento sanitário em comunidades rurais do Estado de Goiás.

1.2.2 Objetivos específicos

- Levantar o déficit em esgotamento em comunidades rurais do Estado de Goiás.
- Caracterizar fatores técnicos e sociais que influenciam na definição de tecnologias para tratamento de esgoto em áreas rurais.
- Propor tecnologias de esgotamento em Goiás.
- Identificar em que limite populacional a gestão coletiva do lodo é mais viável que a individual.

1.3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

1.3.1 Déficit de esgotamento

A cobertura por serviços de saneamento, especialmente esgotamento sanitário e em comunidades isoladas/rurais, ainda é um desafio no Brasil (TONETTI *et al.*, 2018). De acordo com os levantamentos do IBGE dos anos de 1991, 2000 e 2010, o uso de fossas rudimentares para pelas populações rurais foi de 59, 64 e 64% respectivamente. Também conforme Silva (2017), o quadro comum do esgotamento identificado em quinze comunidades rurais de diferentes regiões do Brasil, no âmbito dos estudos de subsídios efetuados pelo Programa Brasil Saneamento Rural (PBSR), foi o uso predominante de fossas rudimentares.

As fossas rudimentares são escavações no solo, com ou sem impermeabilização e fechamentos precários (tábuas, madeira), que devido à sua localização na propriedade, contexto ambiental local e características construtivas, pode potencializar os riscos de contaminação do lençol freático, a entrada de água da chuva em seu interior levando ao escoamento do esgoto na superfície e proliferação de vetores (FIGUEIREDO *et al.*, 2019). Assim, essa falta de tratamento e destino correto do esgoto pode se relacionar à ocorrência de doenças de transmissão feco-oral (BRASIL, 2010). Além do mais, também se relaciona à perpetuação da pobreza, uma vez que a ocorrência de doenças pode contribuir para a redução do rendimento escolar e, conseqüentemente, da permanência na escola (BRASIL, 2019).

Sendo assim, é fundamental compreender o déficit de esgotamento e os fatores que o caracterizam. Diante disso, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), definiu os

elementos que o influenciam o a partir de aspectos que considerem a infraestrutura implantada, questões socioeconômicas e culturais e a qualidade do serviço (BRASIL, 2013), a saber:

- Déficit por atendimento precário, quando há coleta do esgoto não seguida de tratamento ou uso de fossa rudimentar.
- Déficit por ausência de atendimento, que compreende a falta de banheiro ou sanitário, lançamento de esgoto direto em valas/a céu aberto ou em corpos d'água.
- Atendimento adequado, caracterizado pela presença de coleta domiciliar de esgoto (rede de esgoto) seguida de tratamento, presença de tanques sépticos procedidos por unidade de disposição final ou pós-tratamento

Com o mesmo conceito de déficit, o PBSR acrescentou no atendimento adequado o uso de fossas secas, nos casos de indisponibilidade hídrica, ou seja, quando não há chegada de água nos domicílios para a produção de efluentes e transporte das fezes até a unidade de tratamento. A partir do conhecimento do déficit, a proposta de alternativas para o esgotamento é apresentada em uma matriz tecnológica que considera como critério para escolha, o tipo de esgoto gerado no domicílio, sendo fundamental conhecer a peculiaridade do esgoto no meio rural (BRASIL, 2019).

1.3.2 Esgoto no meio rural

O esgoto gerado no meio rural, diferentemente de áreas urbanas, é comumente produzido de forma segregada, o que significa a geração e disposição de forma separada das águas servidas e fezes (BRASIL, 2019). Assim, as águas cinzas (servidas) são as provenientes da limpeza doméstica, da pia de lavagem das roupas, louças, lavatório e chuveiro do banheiro, sendo compostas por matéria orgânica, produtos químicos, sabão e cabelo, e comumente lançadas nos quintais; enquanto as fezes e urina, são lançados diretamente à céu aberto ou, quando provenientes do vaso sanitário, formam as águas fecais. O esgoto, por sua vez, é o efluente formado pela mistura entre águas cinzas e águas fecais (BRASIL, 2018). Assim, o esgoto é constituído por diferentes frações.

Dessa forma, quando um domicílio rural é atendido por banheiro e há chegada de água na unidade, são geradas águas fecais do vaso sanitário e também águas cinzas da pia do banheiro e chuveiro, que podem ser ou não dispostas no mesmo local. Por outro lado, um domicílio rural

também pode gerar águas cinzas na pia da cozinha e da lavagem de roupas, mesmo quando não tem banheiro. Dessa forma, para os domicílios sem banheiro, ocorre a produção de fezes e urina (sem água) e águas cinzas (BRASIL, 2019).

Todas estas frações de esgoto geradas no domicílio devem ter sua destinação adequada definida (BRASIL, 2018). Diante disso, considerando que a segregação do esgoto é uma realidade comum nas comunidades rurais diagnosticadas no Brasil (SILVA, 2017), bem como, a sua disposição em locais inadequados contribui para um ambiente insalubre devido à proliferação de vetores e contaminação do solo e mananciais superficiais ou subterrâneos, é importante a consideração de todas as frações e suas destinações geradas em um domicílio rural (BRASIL, 2019) para análise do déficit.

1.3.3 Diretrizes e normativas

As legislações brasileiras referentes à saneamento básico abordam os conceitos de atividades e serviços de esgotamento sanitário completo, sendo o seu atendimento um mecanismo para redução do déficit. Segundo artigo 3º da Lei 11445/2007, as atividades de esgotamento são definidas como o conjunto de infraestruturas e serviços de coleta, transporte, tratamento e disposição final do esgoto. A lei estabelece a necessidade de se garantir meios adequados para atendimento das populações rurais, por meio de infraestruturas que considerem suas características econômicas e sociais, estabelecendo ainda, como objetivo, a promoção de condições de salubridade ambiental para as populações rurais.

Na mesma temática, a Lei 14026/2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, estabelece como serviço público de saneamento, a disposição final de forma ambientalmente adequada dos esgotos sanitários e dos lodos gerados das unidades de tratamento coletivas ou individuais, incluindo os tanques sépticos. O sistema individual alternativo de saneamento, por sua vez, é definido como a ação de saneamento básico ou de afastamento e destinação final dos esgotos, quando o local não é atendido de forma direta pela rede pública. É destacado que é de responsabilidade do poder público a adoção de alternativas adequadas para atendimento em áreas rurais, considerando as peculiaridades sociais e econômicas; também, levando em consideração a realização de estudos de viabilidade técnica, econômica e social, para prestação dos serviços, seja em área urbana ou rural.

O esgotamento sanitário em meio rural também pode ser abordado a partir de princípios e valores, que envolvem a sua visão como direito humano, a partir da interpretação de que é um direito de oferta de alternativas para coleta, transporte, tratamento de esgoto e disposição do lodo (suspensão aquosa de substâncias minerais e orgânicas separadas no processo de tratamento), objetivando a garantia de condições de saúde (BRASIL, 2019).

Sendo assim, para destinação adequada dos esgotos gerados, é necessária a formulação de alternativas para todas as etapas do tratamento, desde a coleta, até a disposição adequada do lodo (ABNT, 1992; BRASIL, 2020b). Em relação à gestão do lodo, a resolução CONAMA n. 498/2020, que dispõe sobre critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências, estabelece os tipos de solos e requisitos de qualidade que devem ser atendidos pelo lodo.

Em relação ao lodo de sistemas individuais a NBR 13969/1997, que dispõe sobre alternativas tecnológicas para pós-tratamento e disposição final do efluente do tanque séptico, aponta como solução para gestão do lodo o uso de leito de secagem. Outras alternativas são retratadas na NBR 7229/1993, que dispõe sobre o dimensionamento do tanque séptico, sendo: o lançamento em estações de tratamento de esgoto devidamente licenciadas, pontos intermediários da rede, ou ainda, disposição em leito de secagem locais no caso de sistemas que atendam comunidades isoladas, para posterior envio á aterros, usinas de compostagem ou campos agrícolas.

A falta de leis ou normas mais específicas, geram recomendações efetuadas por órgãos do meio ambiente, de acordo com a demanda de empresas ou necessidades da sociedade. No entanto, é comum a ausência de fiscalização de empresas conhecidas como “limpa-fossa”, que coletam e destinam o lodo de forma inadequada. Por outro lado, há municípios em que as companhias de saneamento recebem o lodo destas empresas em pontos da rede ou na unidade de tratamento do esgoto, como Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal ou Companhia de Saneamento do Paraná, possuindo também manuais que de procedimentos para regular as atividades de gestão (ANDREOLI, 2009).

Diante do exposto, para se determinar as soluções de saneamento adequadas às realidades rurais e que atendam a legislação, é fundamental a adoção de alternativas para o tratamento do esgoto e para a gestão do lodo produzido das unidades de tratamento.

1.3.4 Tecnologias de tratamento de esgoto doméstico para comunidades rurais

Dentre as tecnologias para tratamento do esgoto compatíveis com áreas rurais, o Programa Brasil Saneamento Rural apresenta uma matriz tecnológica para soluções de esgotamento sanitário no âmbito individual (I) e coletivo (C). Também, são abordadas tecnologias aplicáveis por Silva (2014), Tilley *et al.* 2014, Sperling e Sezerino (2018), Von Sperling (2018), Tonetti *et al.* (2018), Brasil (2018), Brasil (2019a) e Brasil (2020).

Todas são aplicáveis em comunidades rurais como alternativas descentralizadas, sendo que, algumas permitem o reuso do efluente, geração de fertilizantes ou biogás. O Quadro 1 apresenta as tecnologias e o efluente que pode ser tratado e a abrangência de sua aplicação (individual ou coletiva).

Quadro 1-Alternativas tecnológicas aplicáveis em áreas rurais e a abrangência de aplicação.

Alternativa tecnológica de tratamento de esgoto	Efluente tratado	Aplicação
Fossa Seca	Fezes e Urina	I
Banheiro Seco compostável	Fezes	I
Estocagem de Urina	Urina	I
Sistemas de Alagados Construídos Vertical ou Horizontal	Águas cinzas ou esgoto pré-tratado	I ou C
Círculo de Bananeiras	Águas cinzas ou esgoto pré-tratado	I
Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente	Águas fecais ou esgoto doméstico	I ou C
Fossa Verde	Águas fecais	I
Fossa Séptica Biodigestora	Águas fecais	I
Tanque Séptico	Águas fecais, águas cinzas ou esgoto doméstico	I ou C
Filtro Anaeróbio	Esgoto pré-tratado	I ou C
Filtro de Areia	Esgoto pré-tratado	I ou C
Vermifiltro	Águas fecais, esgoto doméstico, águas cinzas ou esgoto pré-tratado	I ou C
Biodigestor	Águas fecais e esgoto doméstico	I ou C
Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC)	Águas fecais ou esgoto doméstico	I ou C
Biosistema Integrado (BSI)	Águas fecais ou esgoto doméstico	I ou C
Lagoa Anaeróbia	Esgoto doméstico	C
Lagoa Anaeróbia + Facultativa	Esgoto doméstico	C
Lagoa Facultativa	Esgoto doméstico	C
Lagoa Maturação	Esgoto doméstico	C
Rampa de escoamento	Esgoto doméstico	C
Filtro biológico percolador	Esgoto doméstico	C

Nota: I: individual; C: coletiva.

A possibilidade da promoção da universalização do saneamento rural por meio de sua descentralização, aliada às estratégias de investimento e suporte técnico, dentro de cada

realidade, justificam a aplicação das tecnologias de esgotamento descentralizadas nessas comunidades (SILVEIRA, 2013).

1.3.5 Oportunidades e saneamento rural

Para a aplicação das tecnologias para tratamento do esgoto em comunidades isoladas ou tradicionais, é importante a integração entre os aspectos técnicos e tecnológicos, com questões econômicas, sociais, ecológicas e individuais presentes no território em que se aplicam. Isto posto, o saneamento também pode ser interpretado como uma forma de permitir o desenvolvimento rural solidário e sustentável, a partir do momento em que pode se relacionar ao crescimento econômico e permitir a melhora das condições de qualidade de vida, já que a própria produção rural está relacionada às medidas de preservação do meio ambiente. Assim, por meio da preservação da qualidade da água e possibilidade de geração de subprodutos com potencial energético, as ações de saneamento ampliam seus impactos (BRASIL, 2019; MACHADO *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a abordagem do saneamento ecológico fundamenta-se no reconhecimento da necessidade e benefício de promoção de saúde e bem-estar da população, por meio de tecnologias que recuperam e reciclam os nutrientes, a partir do fechamento do ciclo entre saneamento e agricultura, sendo que o sucesso das tecnologias depende de aspectos econômicos, ecológicos e sociológicos (aceitação cultural local). De forma geral, os projetos de saneamento ecológico se baseiam na separação das diferentes frações de esgoto, mas também, pode ocorrer pela junção entre urina e fezes. Um de seus objetivos é também a redução do uso da água (FONSECA, 2008). Assim, estes sistemas beneficiam a fertilidade na agricultura, a partir do momento em que permitem o aproveitamento do nitrogênio, fósforo e potássio presentes na urina e fezes (DEMENIGH; GÓMEZ; SOUZA, 2017).

Considerando o contexto rural, a agricultura familiar, que consiste na produção de alimentos em pequenos lotes, e é resultado de práticas de experiência de vida das populações rurais (comunidades tradicionais, quilombolas ou povos indígenas), surge como oportunidade de gestão para o saneamento ecológico. É caracterizada pela não utilização de agrotóxicos, uso reduzido de insumos externos e produção diversificada de alimentos. Tais práticas, podem ser fortalecidas pelas ações de saneamento, uma vez que estas podem contribuir na geração de

insumos dentro da propriedade, permitindo também, a saúde e o desenvolvimento social das populações (BRASIL, 2019).

No mesmo sentido, conforme abordado pelo Programa Brasil Saneamento Rural, como diretriz para a coleta, transporte, uso e/ou disposição adequada das águas residuárias geradas em comunidades rurais, deve ser estimulado o uso das águas cinzas, após tratamento, em atividades agroecológicas e agroflorestais, assim como o uso na agricultura familiar e plantas ornamentais. Ademais, deve ser incentivado o reaproveitamento dos dejetos animais, o que contribui para a garantia da saúde pública e ambiental (BRASIL, 2019).

Neste contexto, algumas das tecnologias descentralizadas podem gerar benefícios econômicos, a partir do reuso do efluente após tratamento para aplicação na agricultura, como por exemplo sistemas de lagoas, Reator Anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) e Sistemas alagados construídos (TILLEY *et al.*, 2014; FLORENCIO, BASTOS, AISSE, 2006; FONSECA, 2008), além de outras combinações. Outras, permitem o uso de fertilizante ou adubo para aplicação em plantações, e ainda, o aproveitamento do gás produzido no processo de tratamento. Assim, cada tecnologia pode tratar um efluente em específico (águas cinzas, águas fecais e/ou esgoto), e necessitar de insumos adicionais presentes em meio rural, como esterco e plantações.

1.3.6 Gestão

Na proposição de alternativas para destino e tratamento do esgoto, a definição da gestão, que envolve atividades de manutenção e operação, para permitir o adequado funcionamento das unidades ao longo do tempo, é essencial. Na maioria das comunidades rurais, estas atividades, que podem compreender o esvaziamento dos tanques sépticos, são realizadas pelos próprios moradores. No entanto, a falta de conhecimento, a não adoção de medidas de cuidado para remoção do lodo, o abandono do uso de fossas rudimentares ou tanques sépticos, ou ainda, o retorno da prática de defecação a céu aberto, são comuns. Esta falta de gestão adequada, pode gerar problemas ambientais (BRASIL, 2019).

Assim, para uma gestão adequada e a sustentabilidade dos serviços de saneamento, segundo PLANSAB (BRASIL, 2013), é necessário promover a sua governança, por meio de mecanismos institucionais e políticos existentes para permitir uma gestão participativa e democrática; e econômicos, ligados à viabilidade econômica dos serviços prestados, que pode

ser alcançada pela remuneração e cobrança pelos serviços, mas também, por meio de investimentos regulares, estáveis e suficientes, além de modelo de gestão institucional e jurídico-administrativo adequados. O modelo sustentável de saneamento descrito prioriza a gestão territorial, a conciliação de eficiência técnica, econômica e social, e o controle social por meio da participação dos usuários na gestão dos serviços.

No mesmo sentido, para definir qual a alternativa de gestão recomendável para comunidades rurais, Raid (2017) e Silva (2017), consideraram como critérios a Qualidade e Segurança, Acessibilidade Financeira e Sustentabilidade das diferentes alternativas de água e esgoto nas modalidades individuais ou coletivas, no âmbito do PBSR. A partir da análise de especialistas, foram elencados os mecanismos de gestão compartilhada e organização social como alternativas adequadas para a gestão individual e coletiva, sendo apontado que nestes modelos a população possui maior parcela na responsabilização, contribuindo para o controle social.

Dessa forma, a gestão deve ser realizada a partir do envolvimento dos diversos atores, seja no âmbito domiciliar, comunitário e até os municípios, que são os titulares dos serviços, em conjunto com entes estaduais e federais. Para definição da adoção de prática individual ou coletiva, segundo Miguel *et al.* (2010), a população em pequenas comunidades é fator importante, pois se relaciona a tecnologia recomendada, economia de escala e eficiência do sistema. É possível propor soluções conjuntas quando há núcleos populacionais isolados, desde que seja técnica, econômica e ambientalmente viável.

1.3.7 Tanque Séptico

Dentre as tecnologias aplicáveis em áreas rurais, a forma mais propagada e conhecida de sistema descentralizado é o tanque séptico, um reator anaeróbio que permite a remoção de sólidos suspensos e flotáveis, removendo parcialmente a matéria orgânica (USEPA, 2002). A ausência de gestão adequada, ocasiona problemas como extravasamento e entupimentos, prejudicando a sua eficácia e funcionamento, o que leva ao não tratamento adequado do efluente (KIHILA; BALENGAYABO, 2020; ANDREOLI, 2009).

Assim, é necessário promover atividades de manutenção adequadas aos tanques sépticos. Para atendimento coletivo, tais atividades envolvem inspeções de rotina, limpeza da grade e caixa de areia, extração de lodo e espuma, e manutenção das obras civis. Na etapa de tratamento

preliminar ao tanque, são gerados resíduos na grade e desarenador, que devem ser removidos. Ademais, o lodo e espuma precisam ser retirados periodicamente, evitando a diminuição do volume útil dos tanques sépticos (MIGUEL *et al.*, 2010).

Para cada população, nos sistemas coletivos, podem ser requeridas frequências de realização das atividades específicas influenciando o preço final da gestão. Miguel *et al.* (2010), no Manual de Implementação de soluções de esgoto para pequenas populações, determinaram os custos de gestão segundo a quantidade de população atendida, precificando as atividades de manutenção, operação e de controle de qualidade dos efluentes para sistemas de até 50, 100 e 200 habitantes, disposto no Quadro 2. As frequências das atividades também foram apresentadas, conforme aumento populacional, sendo considerados variáveis os seus valores para atividades de remoção do resíduo do desarenador da unidade de tratamento preliminar.

Quadro 2-Atividades, frequência de visitas e quantitativo de horas para unidades de tratamento compostas por tanque séptico, para diferentes populações atendidas.

Número de habitantes		50		100		200	
Componente	Atividade	F	Q	F	Q	F	Q
-	Deslocamento do operário	1	1	1	1	1	1
Pré tratamento	Limpeza grade	1	0.17	1	0.17	1	0.17
	Limpeza desarenador	1	0.17	1	0.20	1	0.25
Tanque Séptico	Inspeção e medição de espuma e lodo	1 *	1	1 *	1	1 *	1
Manutenção	Obras civis	1	0.5	1	0.5	1	0.5
Controle	Análítico	4*	0.5	4 *	0.5	4 *	0.5

Nota: F: Frequência de visitas por semana; * por ano; Q: Quantitativo de horas.

Fonte: Miguel *et al.* (2010).

As atividade de gestão também são elencadas para unidades de tratamento coletivo e individual para comunidades rurais, no Caderno Didático/Técnico para Curso de Gestão de Sistemas de Esgotamento Sanitário em áreas rurais do Brasil. Nele, são divididas entre atividades rotineiras e não rotineiras, podendo variar segundo a categoria de atendimento (individual ou coletiva) (Quadro 3) (BRASIL, 2020a).

Dentre as atividades descritas, o gerenciamento do lodo pode envolver a sua remoção por caminhão limpa fossa, ou na sua impossibilidade, manualmente; o seu transporte por caminhão tanque, do local de origem, até o local de destinação ou tratamento, que pode ser isolado (somente do lodo) ou juntamente à uma ETE existente. Ressalta-se, que as unidades que recebem o lodo devem ser projetadas para a carga adicional sendo necessária a aprovação do órgão responsável (ANDREOLI, 2009).

Quadro 3-Atividades de operação e manutenção coletiva e individual de unidades de tratamento de tanques sépticos.

Categoria	Operação e Manutenção	Atividades
Coletivo	Rotineira	Limpeza da área do entorno, de caixas e tubulações
		Monitoramento da eficiência da unidade
		Inspeção da integridade física e estrutural da unidade
		Monitoramento e reparo do cercamento
	Não rotineira	Remoção, tratamento e destino de espuma
		Remoção, secar, tratamento e destino do lodo
Individual	Rotineira	Limpeza da área do entorno
		Limpeza/Desobstrução de caixas e tubulações
	Não rotineira	Monitoramento da estrutura física e funcionamento da unidade
		Remoção, tratamento e destino do lodo

Fonte: Brasil (2020).

A remoção do lodo, conforme NBR 7229 (ABNT, 1993), é realizada de acordo com o intervalo de tempo para limpeza, definidos no projeto, que pode ser modificado (aumento ou redução), de acordo com possíveis alterações nas vazões de projeto. Para a atividade de remoção, é necessária a participação de profissionais especializados, com equipamentos de proteção individual.

Destaca-se que a dimensão em que gestão é realizada, seja de forma individual, em que cada indivíduo contribui, ou ainda, local, que considera a colaboração da comunidade (coletividade) (BRASIL, 2019), influencia na sustentabilidade financeira dos serviços, a partir da capacidade de pagamento por parte dos usuários (BRASIL, 2013). Sendo assim, para o estudo do custo de operação relacionados aos tanques sépticos, é necessário considerar os atores envolvidos na gestão do lodo: usuários, empresas de coleta e transporte e unidades de tratamento, podendo ser consultados bancos de dados, relatórios ou efetuadas entrevistas para obtenção de dados, bem como, consulta aos preços do mercado (DODANE *et al.*, 2012; PELETZ *et al.*, 2020).

1.4 CONCLUSÃO

Em áreas rurais, as soluções para o esgotamento sanitário devem envolver a definição das soluções tecnológicas e para gestão do lodo conforme legislações e normativas apresentadas. Em relação às tecnologias, devem ser observados os critérios de tipo de esgoto gerado nos domicílios, considerando as peculiaridades rurais de separação das frações do esgoto, bem como, a possibilidade da integração entre agricultura e gestão do esterco animal da área rural,

para fortalecimento das proposições. É possível essa integração uma vez que algumas tecnologias para áreas rurais permitem a geração de adubos, fertilizantes e sua aplicação em plantações, e o aproveitamento do esterco animal.

Quanto às formas de gestão do lodo, uma das possibilidades é a sua coleta para disposição final por empresas limpa fossa. Considerando o tanque séptico, que é a principal solução adequada identificada em área rural, além da precificação dos custos relacionados à coleta e disposição do lodo (não rotineiros) e de manutenção e operação das estações de tratamento de esgoto, a forma de realização da gestão, seja coletiva ou individual, também impacta a aplicabilidade da solução mais favorável considerando o contexto de cada localidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

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

ANDREOLI, C. V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: ABES, 388 p., 2009.

ANDREOLI, C. V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: ABES, 388 p., 2009.

BRASIL. **Fundação Nacional de Saúde. Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil / Fundação Nacional de Saúde.** – Brasília: Funasa, 2020a. 53 p.

BRASIL. **Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico [...]. Brasília, DF, jul., 2020b.

BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, Brasília, DF, jan, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **CataloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento: gestão de efluentes domésticos.** PAULO, L. P, GALBIATI. F. A., FILHO. M.C.J.F. Campo Grande: UFMS, 2018, 50p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** Brasília: Funasa, 2019. 260 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** Brasília: Funasa, 2019. 260 p.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 357,** de 17 de março de 2005. Classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicação DOU nº 053, de 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 430,** de 13 de maio de 2011. Condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicação DOU nº 92, de 16 de abril de 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 498,** de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. Publicação DOU nº 161, de 21 de agosto de 2020.

DEMENIGHI, A. L.; GÓMEZ, L. A.; SOUZA, R. V. Parâmetros projetuais para implantação de sanitários secos desidratadores com desvio de urina. **Mix sustentável**, Florianópolis, v. 3, n. 3, p. 41-52, 2017

DODANE, P. H.; MBÉGUÉRE, M.; SOW, O.; STRANDE, L. Capital and operating costs of full-scale fecal sludge management and wastewater treatment systems in Dakar, Senegal. **Environmental Science and Technology**, n. 46, v. 7, p. 3705-3711, 2012.

FONSECA, A. R. **Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil**. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Departamento de Saúde e Saneamento Ambiental, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2008.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro : ABES, 2006. 427 p. 2006. Projeto PROSAB.

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

KIHILA, J.M., BALENGAYABO, J.G Adaptable improved onsite wastewater treatment systems for urban settlements in developing countries. **Cogent Environmental Science**, v. 6, n. 1, 2020.

MACHADO, G. C. X. M. P.; MACIEL, T. M. F. B; THIOLENT, M. An integral approach of ecological sanitation in traditional and rural communities. **Ciência & Saúde Coletiva**, n. 26, v. 6, 2021.

MIGUEL, E. O.; MEDINA, Y. F.; RODRÍGUEZ, J. J. S.; CRUZ, C. A.; JIMÉNEZ, A. R. **Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones**. Center for Studies and Experimentation of Civil Works, 458 p., 2010.

PELETZ R, MACLEOD C, KONES J, SAMUEL E, EASTHOPE-FRAZER A, DELAIRE C, KHUSH, R. When pits fill up: Supply and demand for safe pitemptying services in Kisumu, Kenya. **PLoS ONE**, n. 15, v. 9, 2020.

RAID, M. A. M. **Soluções técnicas de abastecimento de água e modelos de gestão: um estudo em quinze localidades rurais brasileiras**. 2017. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

S. LINDA, R. MARISKA AND B. DAMIR. **Faecal Sludge Management-Systems Approach for Implementation and Operation**, IWA Publishing, Alliance House 12 Caxton Street, London, 2014.

SILVA, A. G. **Proposição de técnicas e modelos de gestão para o esgotamento sanitário em áreas rurais brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2017.

SILVA, W. T. L. **Sistemas biológicos simplificados aplicados ao Saneamento Básico Rural**. 34 p., 2014

SILVEIRA, A. B. G. Explorando o déficit em saneamento no Brasil: evidências da disparidade urbano-rural. **Água e sociedade**, n 10, p. 37-48, 2013.

SPERLING, M. V.; SEZERINO, P.H. **Dimensionamento de Wetlands construídos no Brasil. Documento de consenso entre pesquisadores e praticantes.** Florianópolis: Boletim Wetlands Brasil, 2018. 65 p.

TILLEY, E.; ULRICH, L.; LUTHI, C.; REYMOND, P.; ZURBRUGG, C. **Compendium of Sanitation Systems and Technologies.** 2 ed. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute Of Aquatic Science And Technology (eawag), 2014.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; PEÑA, F. J. L. M.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções.** Campinas, SP.: Biblioteca/Unicamp, 2018.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; PEÑA, F. J. L. M.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções.** Campinas, SP: Biblioteca/Unicamp, 2018.

USEPA. **Onsite wastewater treatment systems manual.** United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., United States of America, p 367, 2002.

VON SPERLING. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

CAPÍTULO 2-ANÁLISE DO ATENDIMENTO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO E PROPOSIÇÃO DE TECNOLOGIAS EM COMUNIDADES RURAIS DO ESTADO DE GOIÁS

RESUMO

O atendimento em esgotamento sanitário é ainda muito precário em comunidades rurais, caracterizado pelo uso de fossas rudimentares. Para propor tecnologias em áreas rurais, aspectos técnicos devem ser considerados, mas também, os sociais, que podem influenciar na aceitabilidade, adequado funcionamento e benefícios gerados às comunidades. Desta forma, o objetivo do presente estudo é identificar em comunidades rurais do estado de Goiás o déficit do esgotamento sanitário e propor soluções adequadas às realidades identificadas. A área de estudo contemplou 113 comunidades rurais diagnosticadas pelo Projeto Saneamento e Saúde Ambiental (SanRural), nas quais coletou-se os dados: existência de banheiro, alternativas de disposição das frações do esgoto (águas cinzas e fecais) e fezes e urina; e a caracterização do peridomicílio. Foram identificados os locais de disposição e caracterizadas quanto ao déficit conforme BRASIL (2019a). A proposição de soluções foi realizada considerando os critérios de fração de esgoto gerada no domicílio, necessidade de plantação e de esterco animal, em tecnologias agrupadas em 4 categorias segundo os critérios: grupo A e D (sem restrições), B (com necessidade de plantação e esterco) e C (necessidade de plantação). Os resultados foram apresentados considerando de forma diferenciada as comunidades rurais e urbanas. Sendo assim, foi identificada ausência de banheiro em 6,6% dos domicílios rurais diagnosticados; sendo a fossa rudimentar o principal destino dos efluentes do vaso sanitário e águas cinzas do banheiro em todas as tipologias; e a segunda alternativa, o tanque séptico; o quintal, o principal local para disposição das águas cinzas provenientes da pia da cozinha e lavagem das roupas. Todas as comunidades apresentaram majoritariamente déficit devido à ausência de atendimento das águas cinzas e uso de fossas rudimentares para efluentes do vaso sanitário. A proposição de soluções indicou a maior aplicabilidade das tecnologias do grupo A e D, sendo as do grupo B mais aplicáveis em assentamentos, nos quais há maior presença de plantações e esterco animal. Concluiu-se que o déficit do esgotamento é elevado nas comunidades estudadas devido à ausência de soluções ou sua precariedade. Mas as soluções propostas, compatíveis com as particularidades rurais, podem contribuir para a salubridade ambiental, aproveitamento na agricultura e gestão do esterco animal.

Palavras-chave: Esgotamento sanitário. Esgoto. Comunidades rurais. Déficit. Proposição.

2.1 INTRODUÇÃO

A cobertura de soluções de esgotamento sanitário em áreas rurais é ainda precária nas cinco regiões do Brasil, conforme identificado pelo Programa Brasil Saneamento Rural (PSSR), sendo utilizado entre 60 a 80% de fossas rudimentares nas comunidades diagnosticadas no Estado de Goiás (BRASIL, 2019). Da mesma forma, o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) também apontou a fossa rudimentar como a alternativa mais utilizada nos domicílios rurais na região Centro-Oeste (BRASIL, 2013). Conforme pontuado por Silva (2017), em quinze comunidades diagnosticadas nas cinco regiões do Brasil, foi constatado uso predominante de fossas rudimentares/negras ou prática de defecação a céu aberto, sendo neste último caso, apontada como resultado muitas vezes da preferência da população.

Estas fossas rudimentares se caracterizam pela variedade de aspectos construtivos e ausência de critérios técnicos em sua implantação. São escavações abertas no solo, com ou sem escoramento ou impermeabilização, podendo ter fechamentos precários como tábuas ou madeiras (FIGUEIREDO *et al.*, 2019a). Tais práticas, podem conferir riscos ao meio ambiente e saúde das populações. Assim, identificar o panorama de esgotamento para a compreensão da situação vivenciada em relação ao acesso aos serviços de saneamento, considerando as diferentes tipologias rurais, é essencial (BRASIL, 2019a).

Este panorama foi abordado pelo PBSR (BRASIL, 2019a) a partir da caracterização do quadro de saneamento básico rural, por meio dos elementos que definem o déficit, dado pela precariedade ou ausência de soluções; e atendimento adequado, caracterizado pela coleta e tratamento do esgoto e uso de fossas sépticas ou secas; conforme adaptações do PLANSAB (BRASIL, 2013).

A partir desse quadro diagnosticado é possível propor soluções para as comunidades, conforme realizado em outros estudos. Al-Rawahi *et al.* (2020) estudaram qual seria a melhor solução de tratamento de esgoto por meio de cenários desenvolvidos para a vila de Al Mizarih, Oman. Neste estudo, por meio do diagnóstico, análise espacial (informação geográfica) e a avaliação de custo de soluções locais de águas residuais, foi apontada a solução no nível familiar como a opção mais econômica.

O trabalho desenvolvido por Silva (2017), permitiu a análise das diferentes modalidades de soluções de esgoto (individuais ou coletivas) e dos seus sistemas de gestão recomendáveis para comunidades rurais no Brasil por meio da caracterização do atendimento e da proposição de soluções de esgoto, com base nos critérios de disponibilidade de água e distribuição das comunidades no espaço. As propostas, no entanto, foram restritas à um conjunto pré-definido, que envolvia o tanque séptico, fossa seca e alternativas de disposição.

Khattiyavong, e Lee (2019), propuseram a seleção de tecnologias de tratamento individuais, descentralizadas e centralizadas em Vientiane, Laos, por meio da ponderação apenas de critérios técnicos como área requerida e uso de energia, a partir de seis modelos para tratamento do esgoto, considerando as tecnologias comumente usadas na região.

A escolha de tecnologias de tratamento aplicáveis em áreas rurais é um desafio em várias localidades do mundo, particularmente em países em desenvolvimento (MASSOUD *et al.*, 2009). É importante incluir além dos aspectos técnicos descritos nos outros trabalhos, as relações sociais estabelecidas no meio, a diversidade e demandas das populações rurais. Assim, fatores como possibilidade de integração com agricultura e geração de benefícios às comunidades devem ser abordados (BRASIL, 2019a; FLORENCIO, BASTOS, AISSE, 2010; STARKL *et al.*, 2007), além das necessidades específicas das tecnologias, como esterco gerado em domicílios rurais, para adequado funcionamento (HERRERO, 2008).

Sendo assim, é importante que sejam consideradas as relações que influenciam os territórios rurais, como as socioculturais, econômicas e políticas, e que geram interferência nas ações de saneamento propostas (BRASIL, 2013) para a intensa diversidade humana no meio rural, que se expressa em diferentes formas de organização social, sendo compostos por agricultores, por povos e comunidades tradicionais (BRASIL, 2019b). Este último grupo envolve os indígenas, quilombolas, ribeirinhos, ciganos, povos e comunidades de matriz africana e povos e comunidades de terreiro, extrativistas, pescadores artesanais, quebradeiras de coco babaçu, pomerano e outros (BRASIL, 2019a).

Além do mais, é fundamental considerar na proposição o tipo de efluente produzido nas comunidades, uma vez que é comum a prática cultural de se promover a separação das frações de esgoto, gerando águas cinzas, que são as águas residuárias da pia do banheiro, cozinha e

tanque de lavar roupas, lançadas em locais diferentes das águas fecais, que consistem nas águas residuárias dos vasos sanitários (SILVA, 2017; BRASIL, 2018).

Dessa forma, existem alternativas viáveis para áreas rurais, que podem ser empregadas no contexto unifamiliar ou semicoletivo, para tratamento de águas fecais, águas cinzas e/ou esgoto, fezes e urina (TONETTI *et al.*, 2018). A adoção de soluções para tratamento e disposição final em comunidades rurais é de suma importância para uma melhor qualidade e disposição do efluente gerado, proporcionando o equilíbrio do ecossistema e a redução de riscos à saúde, além de possibilitarem, a geração de subprodutos que podem ser utilizados pelos beneficiários na irrigação, ou como fertilizantes e adubos.

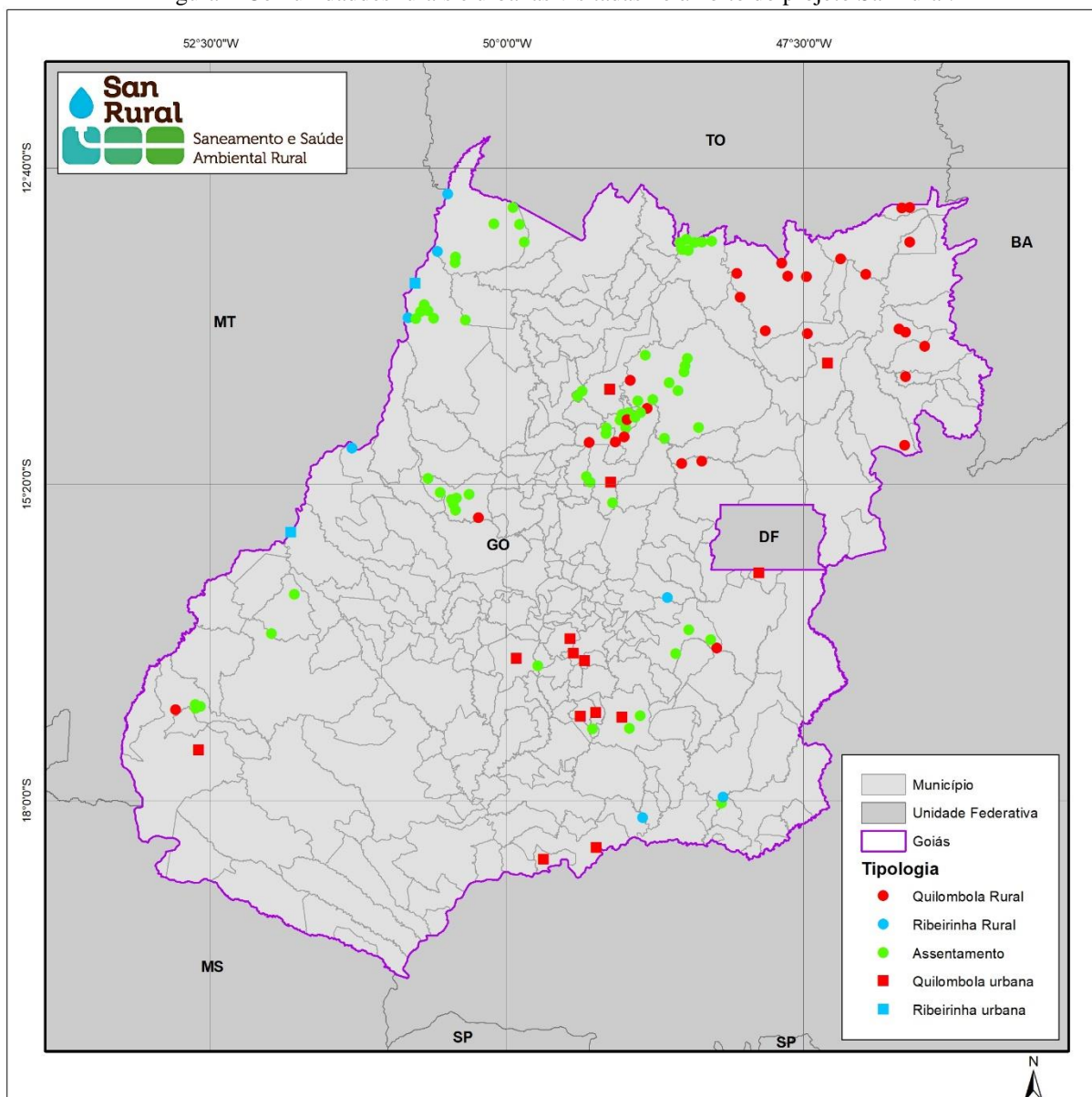
Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo identificar em comunidades rurais do estado de Goiás o déficit do esgotamento sanitário e propor soluções para tratamento do esgoto.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

A área do estudo contemplou 113 comunidades rurais presentes no estado de Goiás, nas quais foi realizado o Projeto Saneamento e Saúde Ambiental, denominado Projeto SanRural, formalizado por meio do TED 05/2017 com a Fundação Nacional da Saúde (FUNASA). O Projeto realizou o diagnóstico acerca de condições de saúde e saneamento em comunidades rurais e tradicionais do Estado de Goiás, com o objetivo de identificar as soluções praticadas, propor tecnologias para o saneamento e elaborar os Planos de Segurança de Saneamento. Do total de comunidades visitadas, 42 foram quilombolas, 62 assentamentos e 9 ribeirinhas, em 42 municípios, conforme dispostas na Figura 1. Deste total, 97 comunidades são rurais, sendo 28 comunidades quilombolas, 62 assentamentos e 7 comunidades ribeirinhas.

Figura 1-Comunidades rurais e urbanas visitadas no âmbito do projeto SanRural.



Fonte: Elaborado pela autora.

2.2.2 Coleta de dados

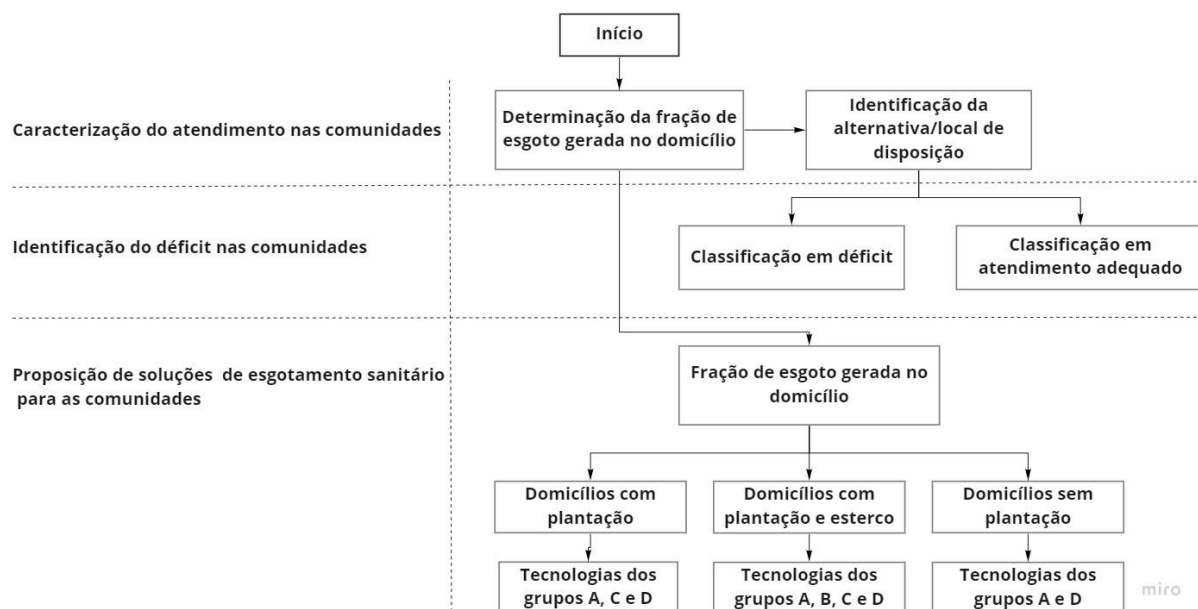
As informações sobre as condições de saneamento nas comunidades foram obtidas por meio da aplicação de questionários e check-lists elaborados para o projeto SanRural., sendo armazenadas em um equipamento HP-AC POcket PC. Ressalta-se que, antes da aplicação, os questionários e check-lists passaram pela aprovação do Comitê de ética e pesquisa da UFG, sob o Protocolo nº 2.886.174/2018.

Foram levantadas informações sobre existência de banheiro, alternativas de disposição dos efluentes e fezes e urina, e de caracterização do peridomicílio em relação a presença de plantações ou animais (galináceo, suíno ou bovino) em 2.550 domicílios entre os anos de 2018 e 2019. A amostragem foi calculada a partir de estimativas intervalares de proporções com nível de confiança de 95%, e o erro máximo variando de acordo com os diferentes níveis de abrangência geográfica.

2.2.3 Etapas do trabalho

O trabalho envolveu o levantamento das informações necessárias para a proposição de tecnologias. Para tanto, foram seguidas as etapas: caracterização do atendimento nas comunidades, pela determinação do tipo de fração de esgoto gerada no domicílio e a alternativa ou local de sua disposição; identificação do déficit ou atendimento adequado; e por fim, a proposição de tecnologias conforme as necessidades tecnológicas em relação às frações do esgoto, plantação ou esterco animal, de acordo com a Figura 2, descritas separadamente nos itens subsequentes.

Figura 2- Fluxograma representativo das etapas necessárias para o levantamento de informações para a proposição de tecnologias.



2.2.4 Caracterização do atendimento nas comunidades

O atendimento em esgotamento sanitário foi caracterizado para as distintas frações de esgoto, definidas neste trabalho como as parcelas que o compõem, sendo: i) águas cinzas: efluente líquido gerado pelo uso do chuveiro, pias do banheiro e da cozinha, e da lavagem de roupas (TONETTI *et al.*, 2018); ii) águas fecais: efluente líquido gerado pelas águas da descarga do vaso sanitário (BRASIL, 2018); iii) fezes e urina (sem água): compostas exclusivamente por fezes e urina, dispostas em fossa seca ou a céu aberto; sendo o esgoto o efluente formado pela mistura entre águas fecais e águas cinzas (BRASIL, 2018).

Dessa forma, a partir dos dados coletados, identificou-se as alternativas tecnológicas adotadas e os locais de disposição dos efluentes das instalações hidrosanitárias, separados em águas cinzas e fecais ou esgoto sanitário, bem como, os locais da disposição das fezes e urina, na ausência de banheiro. Os percentuais foram determinados considerando o total de domicílios e a sua tipologia (quilombolas, assentamentos e ribeirinhos).

Para os domicílios com banheiro, as formas de separação das frações do esgoto foram determinadas em função do local para disposição das águas cinzas e águas fecais, sendo: separação total, quando as frações fossem dispostas em locais diferentes; separação parcial, na qual uma parcela das águas cinzas era segregada do esgoto; sem separação, todas as frações tinham o mesmo destino. Além destes domicílios que geram efluentes, também foram identificados os que não possuem banheiro, e geram fezes e urina exclusivamente, e águas cinzas da cozinha e da lavagem de roupas (Quadro 4).

Quadro 4-Classificação das formas de separação das frações de esgoto geradas nos domicílios.

Frações do esgoto	Classificação
Águas cinzas e fecais	Separação total
Esgoto e águas cinzas	Separação parcial
Esgoto	Sem separação
Fezes e urina (sem água) e águas cinzas (lavagem de roupas e cozinha)	Domicílios sem banheiro (*)

Nota: (*) estão incluídos domicílios que dispõe fezes e urina diretamente no solo ou em fossa seca.

Para tratamento dos dados, as tipologias foram separadas em rurais e urbanas, sendo estas últimas as classificadas nos setores censitários 1b ou 2, que estão dentro dos limites legais urbanos. Considera-se também, que as comunidades se organizam de forma dispersa no território, e são formadas por aglomerações humanas que podem ou não estar dispersa no

território (BRASIL, 2019a). Os resultados foram apresentados por domicílio considerando: o percentual dentro da tipologia; bem como, por comunidade.

2.2.5 Identificação do déficit nas comunidades

Os domicílios foram classificados quanto ao déficit e atendimento adequado, conforme definido pelo PBSR, adaptado de Brasil (2013). O atendimento adequado ocorre quando a área rural é atendida por coleta (rede de esgoto) seguida de disposição final; ou uso de tanque séptico, seguido de pós-tratamento ou unidade de disposição final. Também, nos casos em que não há banheiro, o uso de fossa seca é considerado como solução tecnológica adequada (BRASIL, 2019a). Os domicílios com uso de tecnologias alternativas e adequadas às áreas rurais, também foram considerados como em atendimento adequado.

Conforme Brasil (2019a), o déficit é caracterizado pela ausência do atendimento, sendo considerado a disposição do efluente ou fezes a céu aberto, em corpos d'água, ou falta de banheiro; e pela precariedade, devido ao uso de fossas rudimentares ou negras para recebimento dos efluentes gerados nos domicílios. Foi realizada adaptação na classificação realizada pelo PBSR, a fim de se considerar o domicílio rural como um todo, e identificar todas as destinações dadas às distintas frações geradas (águas cinzas, águas fecais ou esgoto).

Dessa forma, foi analisada a disposição de cada fração de efluente gerada no domicílio, e não apenas a presença da alternativa de tratamento no local, uma vez que a prática de separação das frações de esgoto é comum em comunidades rurais, e a disposição inadequada ou a sua ausência podem gerar malefícios. As classificações e definições quanto ao déficit e atendimento adequado seguiram no Quadro 5.

Quadro 5-Déficit e atendimento adequado de esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina nas áreas rurais.

Classificação		Descrição
Atendimento adequado		Coleta (rede de esgoto) seguido de tratamento; ou uso de tanque séptico, seguida de pós-tratamento ou unidade de disposição final; uso de fossa seca
Déficit	Atendimento precário	Disposição do esgoto/águas cinzas/águas fecais em fossas rudimentares ou coleta do esgoto/águas cinzas/águas fecais não seguida de tratamento
	Sem atendimento	Lançamento direto do esgoto/águas cinzas/águas fecais/fezes e urina em valas, rio ou lago
		Ausência de banheiro ou sanitário no domicílio ou peridomicílio

Fonte: adaptado de Brasil (2019a); Brasil (2013).

2.2.6 Proposição de soluções de esgotamento sanitário para as comunidades

Para proposição das soluções, os critérios utilizados foram a o tipo de fração do esgoto gerado no domicílio, conforme disposto nas matrizes tecnológicas do PBSR (BRASIL, 2019a), bem como, necessidades específicas de algumas tecnologias em relação ao esterco animal para seu adequado funcionamento, e a necessidade ou possibilidade de aplicação dos produtos e compostos (adubos e fertilizantes) gerados do tratamento em plantações, sendo estas, em alguns casos, pré-requisitos.

Assim, partindo-se do pressuposto da integração dos aspectos técnicos e tecnológicos às práticas desenvolvidas no meio rural (MACHADO *et al.*, 2021), bem como, do fechamento do ciclo entre saneamento e agricultura/plantações, tornou-se possível propor tecnologias que recuperam e reciclam os nutrientes, para agregar seu valor e gerar benefícios e condições de saúde e bem-estar às populações (DEMENIGH; GÓMEZ; SOUZA, 2017; FONSECA, 2008),

Para facilitar o entendimento da proposição, as tecnologias foram categorizadas segundo os pré-requisitos a serem identificados nos domicílios rurais, em quatro grupos (A, B, C e D) para sua aplicação, conforme Quadro 6. As soluções apresentadas são referenciadas por diversos autores na literatura específica, tais como Florencio, Bastos e Aisse (2006), Silva (2014), Tilley *et al.* 2014, Sperling e Sezerino (2018), Von Sperling (2018), Tonetti *et al.* (2018), Brasil (2018), Brasil (2019a) e Brasil (2020).

As tecnologias dos grupos A e D são aplicáveis em todos os domicílios que produzem águas fecais, águas cinzas ou esgoto, considerando os critérios elencados, com a diferença da possibilidade de fertirrigação pelo grupo A. O grupo B, contém as que necessitam de plantação e esterco para fechamento do ciclo de nutrientes, além das frações específicas do esgoto que tratam; e o C, aquelas para as quais a presença de plantação é necessária para aplicação de composto ou adubo gerado. A proposição foi realizada para os domicílios independentemente da identificação do déficit ou não, para avaliar a aplicabilidade das soluções.

Destaca-se que algumas tecnologias para o recebimento do esgoto necessitam de uma etapa anterior de tratamento uma vez que se destinam ao esgoto pré-tratado, tais como sistemas alagados construídos (A1), sistemas alagados construídos híbridos (A2), filtro anaeróbio (A5),

Quadro 6-Tecnologias separadas por grupo tecnológico, segundo valor agregado, frações de esgoto que tratam e pré-requisitos.

Grupo	Código	Alternativa tecnológica de tratamento de esgoto	Valor agregado	Fração de esgoto possíveis de tratar	Pré requisito
A	A1	Sistemas de Alagados Construídos Vertical ou Horizontal	Fertirrigação	Águas cinzas ou Esgoto Pré-Tratado	NA
	A2	Sistemas de Alagados Construídos –Híbridos		Águas cinzas ou Esgoto Pré-Tratado	NA
	A3	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente		Águas fecais ou esgoto doméstico	NA
	A4	Tanque Séptico		Águas fecais, água cinza ou esgoto doméstico	NA
	A5	Filtro Anaeróbio		Esgoto Pré-Tratado	NA
	A6	Filtro de Areia		Esgoto Pré-Tratado	NA
	A7	Reator Anaeróbio Compartmentado (RAC)		Águas fecais ou esgoto doméstico	NA
B	B1	Fossa Séptica Biodigestora	Fertilizante para árvores frutíferas e culturas que não crescem rente ao solo não indicado para hortas, verduras)	Águas fecais	Plantação e esterco (bovino)
	B2	Biodigestor	Fertilizante (árvores frutíferas) e Gás (cozinha ou iluminação)	Águas fecais ou esgoto doméstico	Plantação e esterco (bovino, suíno, galináceo)
	B3	Biosistema Integrado (BSI)	Fertilizante (árvores frutíferas) e Gás (cozinha ou iluminação), produção de peixes	Águas fecais ou esgoto doméstico	Plantação e esterco (bovino, suíno, galináceo)
C	C1	Estocagem de Urina	Fertilizantes ou adubos (húmus) para aplicação em plantações.	Urina	Plantação
	C2	Banheiro Seco compostável		Fezes	Plantação
	C3	Vermifiltro		Águas fecais, esgoto doméstico, águas cinzas ou esgoto pré-tratado	Plantação
D	D1	Fossa Seca	NA	Fezes	NA
	D2	Círculo de Bananeiras		Águas cinzas ou Esgoto Pré-Tratado	NA
	D3	Fossa Verde		Águas fecais	NA

Nota: NA= Não se aplica.

filtro de areia (A6), vermifiltro (C3) e círculo de bananeiras (D2). Sendo assim, para o tratamento de esgoto devem ser propostas em combinação.

Destaca-se também, que para o caso de aplicação dos fertilizantes, devem ser observados as restrições de aplicação e tempo entre consumo e aplicação de cada alternativa. A fossa séptica biodigestora (B1) permite a aplicação em árvores frutíferas e culturas que não crescem rente ao solo (GALINDO *et al.* 2019), enquanto o fertilizante gerado do biodigestor (B2) e biosistema integrado (B3) é restrito às árvores frutíferas (culturas cujos frutos não são subterrâneos) (HERRERO, 2008). Para as tecnologias que permitem a fertirrigação, é necessário atender os padrões de ovos de helmintos e coliformes, para permitir a irrigação superficial ou por aspersão das culturas, sendo importante a existência de uma barreira física, como filtração terciária, além da desinfecção. No caso de irrigação subsuperficial é facultada a desinfecção para uso em culturas não ingeridas cruas (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006).

Os aspectos técnicos de necessidade de área por habitante e para domicílios com 5 habitantes, bem como, os custos seguem no Anexo B. Os resultados foram apresentados por domicílio considerando: o percentual dentro da tipologia; e o percentual referente ao total de domicílios levantados.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Caracterização do Atendimento nas comunidades

A caracterização do atendimento foi realizada nas 113 comunidades, 97 rurais e 16 urbanas, no estado de Goiás, contempladas no projeto SanRual. Foi identificada ausência de banheiro em 6,6% do total dos domicílios rurais, e a presença em 81,8%, 97,5% e 100,0%, dos domicílios quilombolas, assentados e ribeirinhos, respectivamente. Dos casos em que não há banheiro em áreas rurais, nas comunidades quilombolas e assentamentos, ocorre disposição das fezes em fossa seca em 4,5% e 0,4% dos domicílios, e a céu aberto ou ribeirão em 13,7% e 2,1%, respectivamente.

De todas as tipologias, nas comunidades quilombolas a ausência de banheiro ocorreu em 18,2% dos domicílios, o que se aproxima dos dados divulgados para o Bioma Cerrado pelo PBSR (BRASIL, 2019a). Diversos podem ser os motivos desta ausência, dentre os quais, como apontado por Brasil (2019a) e Silva (2017), a falta de água, mesmo onde há banheiros com

instalações hidrossanitárias, prejudica o funcionamento adequado dos aparelhos. Esta situação é retratada por Laschefski (2017), na comunidade Barras de Salina, Coronel Murta-MG em 2006, onde, apesar da presença das instalações, o abastecimento de água intermitente prejudicava o esgotamento.

Aspectos culturais também influenciam, e incluem a visão da prática de defecação a céu aberto como natural, sendo muitas vezes resultado da preferência da população ou alternativa priorizada pelos trabalhadores do campo, devido às grandes distâncias da residência (SILVA, 2017; BRASIL, 2019). Também, o banheiro, em alguns casos, pode não corresponder às percepções de higiene de populações tradicionais, devido ao contato direto com vaso sanitário e necessidades de limpeza adicional (LASCHEFSKI, 2017).

Como consequência, a defecação a céu aberto ou em rio/ribeirão identificada, principalmente nas comunidades quilombolas, devido ao menor percentual de presença de banheiro, contribui para aumento de riscos à saúde dessas populações. Assim, a existência de banheiro é uma das diretrizes elencadas para a promoção de soluções de esgotamento sanitário em comunidades rurais (BRASIL, 2019a). Tais aspectos podem contribuir para o atendimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), que prevê a eliminação da prática de defecação a céu aberto até 2030.

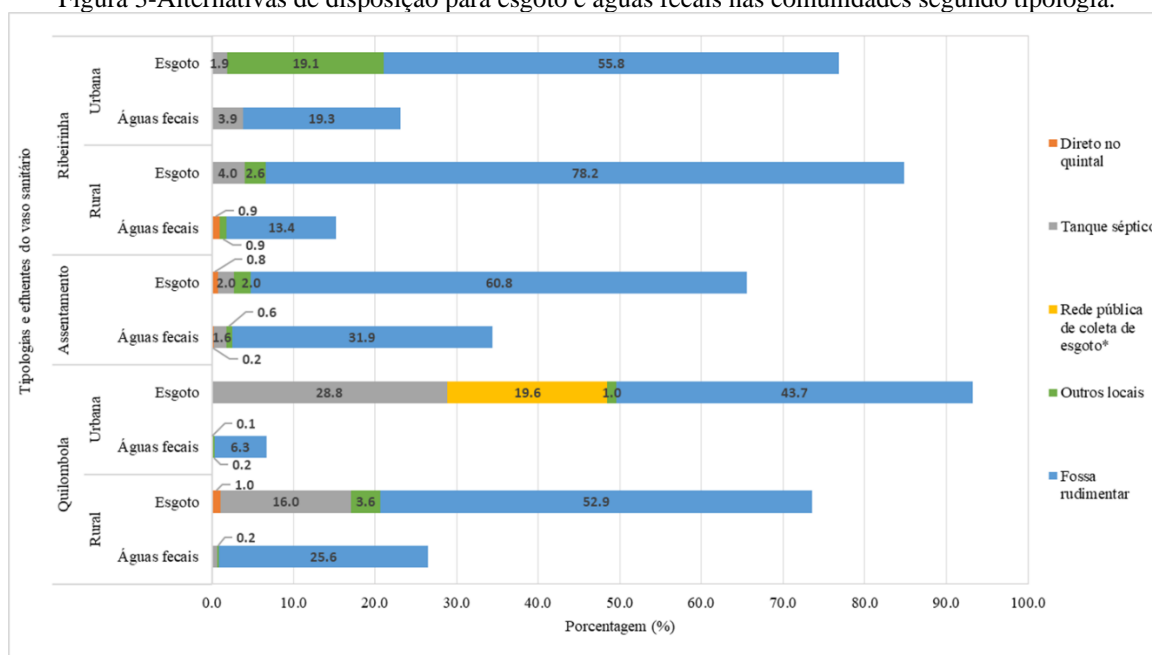
A Figura 3 apresenta as alternativas de disposição para esgoto e águas fecais nas comunidades segundo tipologia. Nos domicílios rurais com banheiro, se identificou, independentemente da tipologia, que a fossa rudimentar é o principal destino dos esgotos e águas fecais, com percentuais, respectivamente, de 52,9% e 25,6% nos quilombolas, 60,8% e 31,9% nos assentados e em 78,2% e 13,4% dos ribeirinhos, conforme Figura 3. Estes percentuais se aproximam dos apontados pelo PBSR no Estado de Goiás, sendo que, para tratamento dos efluentes domésticos, a fossa rudimentar foi constatada como solução de esgotamento, independentemente da proximidade das populações rurais com o meio urbano, entre 60% a 80% dos domicílios diagnosticadas (BRASIL, 2019a), e também, foi identificada por Silveira *et al.* (2013) em 81% da população rural.

Estes elevados percentuais ocorrem no Brasil rural como um todo (BRASIL, 2019), conforme apontam estudos: na zona rural de Holambra (São Paulo), foi identificado que dos 3135 habitantes, 60% utilizavam fossa rudimentar, e 31% não sabiam o tipo de fossa (SUPREMA,

2013); em Campinas (SP), Figueiredo (2019), apontou seu uso em 81% dos diagnosticados. Os percentuais encontrados neste trabalho, considerando os efluentes do esgoto e águas fecais, superam aos da literatura, pois atingem valores acima de 90%, com exceção das comunidades quilombolas.

A ampla distribuição do uso da fossa rudimentar constatada, pode se relacionar à sua simplicidade construtiva (BRASIL, 2015), uma vez que, frequentemente, são escavações no solo, com ou sem escoramento, podendo ter ou não fechamento precário, além de serem construídas a partir de conhecimentos empíricos, sem avaliação das condições locais (BRASIL, 2019a; FIGUEIREDO *et al.*, 2019a; BRASIL, 2015). Ressalta-se que por essas características construtivas, a fossa rudimentar é elencada como uma solução inadequada conforme classificação do IBGE (2010).

Figura 3-Alternativas de disposição para esgoto e águas fecais nas comunidades segundo tipologia.



Nota: (*) = a rede pública de coleta de esgoto foi identificada em comunidades urbanas.

Apesar dessa classificação, referenciais como BRASIL (2015) e BRASIL (2019a), a consideram uma alternativa para destino dos efluentes sanitários, destacando que sua precariedade surge de aspectos relacionados à sua localização na propriedade, contexto ambiental local e características construtivas, o que pode levar à contaminação do lençol freático (patógenos ou nitrato), entrada de água da chuva, escoamento do esgoto na superfície e proliferação de vetores (FIGUEIREDO *et al.*, 2019a). Dessa forma, nas comunidades diagnosticadas, as fossas rudimentares podem fornecer a solução ao esgoto, mas também,

associada aos fatores mencionados, podem contribuir para o surgimento de riscos sanitários e ambientais, o que prejudica a qualidade de vida da população.

A segunda alternativa mais frequente nas comunidades rurais foi o tanque séptico, com ou sem sumidouro, recebendo esgotos em 16,0%, 2,0% e 4,0% dos quilombolas, assentados e ribeirinhos, respectivamente (Figura 3). Esta tecnologia é um tanque impermeabilizado, dimensionado a fim de permitir a sedimentação dos sólidos em suspensão, não removendo de forma satisfatória nitrogênio e organismos patogênicos (VON SPERLING, 2018), o que leva a necessidade de tratamento complementar e alternativa de disposição final (ABNT, 1997; ABNT, 1993). Caso instalado em local com permeabilidade inadequada, a contaminação do lençol freático e solo é favorecida (USEPA, 2002).

Com relação aos domicílios quilombolas e ribeirinhos urbanos identificados, a presença de banheiro ocorreu em 99,2% e 100% respectivamente. Observa-se pela Figura 3, maior frequência do uso de tanque sépticos e de rede coletora de esgoto, com destaque ao tanque séptico presente em 28,8% dos domicílios quilombolas das comunidades urbanas. Considerando os percentuais levantados dentro das comunidades, a rede coletora de esgoto foi identificada em Goianinha (92,9%), Ana Laura (83,3%), João Borges Vieira (38,5%), Raízes do Congo (100,0%) e Valdemar de Oliveira (77,8%).

Outros locais foram identificados para a disposição dos efluentes do vaso sanitário. Para as os domicílios quilombolas e ribeirinhos rurais a fossa de pedra Tapiocanga, ocorreu em 2,0% e 3,5% dos domicílios, respectivamente, e nas comunidades quilombolas e ribeirinhas urbanas, respectivamente, ocorreu em 0,2% e 17,2% dos domicílios. Para o biodigestor, a ocorrência nos domicílios quilombolas e ribeirinhos rurais foi de 0,7% e 1,9%, respectivamente. A fossa ecológica foi encontrada em 2,1% dos domicílios assentamentos. Todas as tecnologias identificadas são apresentadas no Anexo A.

Estas tecnologias enquadradas como outros locais são recomendadas às áreas rurais por referências como Tonetti *et al.* (2018) e Brasil (2018) pois se adaptam às populações e geram benefícios sociais e ambientais. Nesse sentido, a fossa ecológica possibilita o tratamento de águas fecais, a partir da ciclagem dos nutrientes por meio do seu consumo pelas bananeiras, não sendo necessária alternativa de disposição final. Possui fácil operação e manutenção, como a limpeza do jardim e colheita dos frutos, e pode ser construída a partir de materiais comuns

como como tijolos, tubos de PVC e pneus (BRASIL, 2018; OLIVEIRA; LEAL, 2017; LEAL, 2014).

O biodigestor, também identificado nas comunidades, apesar de permitir o tratamento de esgoto ou águas fecais juntamente ao esterco animal, e possibilitar o uso do gás gerado na digestão anaeróbica da matéria orgânica para aproveitamento energético, e fertilizante para aplicação em plantações (TILLEY *et al.*, 2014), não atingiu nem 1% das casas diagnosticadas. O menor percentual identificado pode se relacionar à necessidade de mão de obra qualificada para sua implantação e manutenção (BRASIL, 2018).

Assim, apesar de serem tecnologias adequadas às populações rurais, o seu uso em frequência menor pode também estar associado ao pouco conhecimento destas alternativas de fácil uso e adaptáveis, que permitem benefícios sanitários, ecológicos e sociais, pela integração entre tratamento de efluentes, aproveitamento na agricultura e energético; bem como, a compreensão de aspectos da salubridade ambiental e agravos à saúde devido à falta de saneamento adequado (BRASIL, 2019a).

A fossa de pedra Tapiocanga também foi identificada em menor percentual. É uma tecnologia adequada como unidade de pós-tratamento de efluente de tanques sépticos, onde o solo é impermeável. Caracteriza-se por ser uma fossa com uma pedra em seu interior, possuindo esta uma superfície irregular (áspera e acidentada), o que favorece a formação de colônias de bactérias (CARVALHO, 2017). Apesar de ser uma tecnologia alternativa, nas comunidades em análise, no entanto, foi utilizada para o tratamento direto das águas fecais produzidas, o constitui uma forma inadequada de operação, que pode prejudicar a qualidade do efluente.

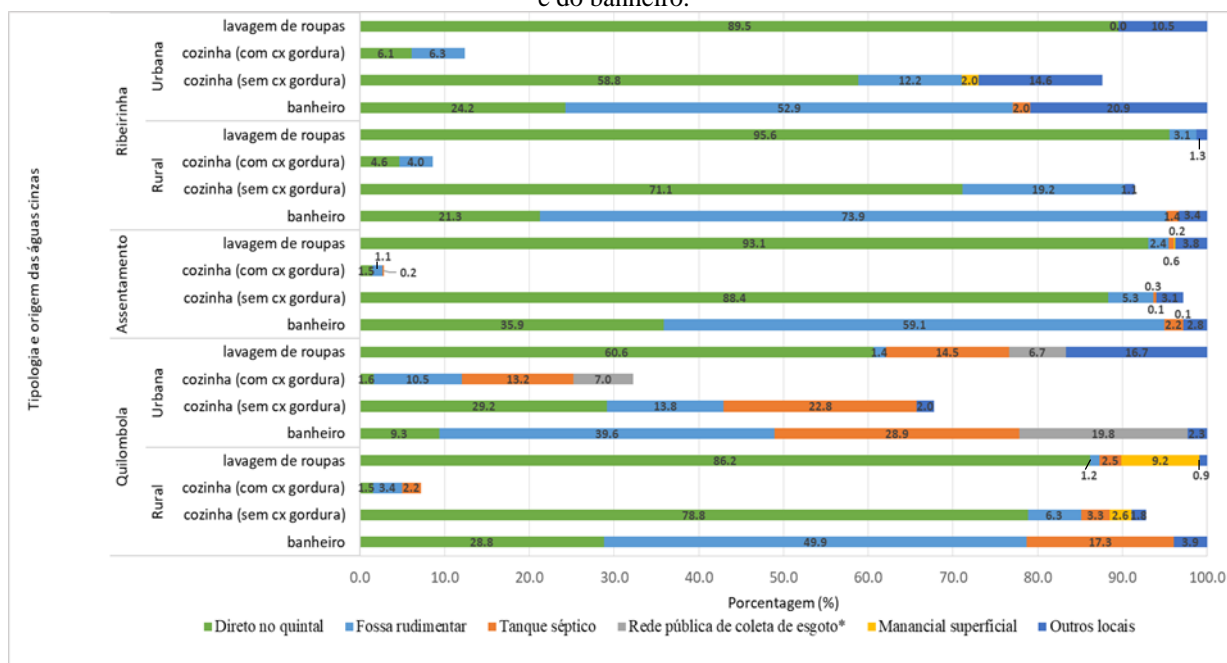
A Figura 4 apresenta as alternativas de disposição das águas cinzas da lavagem de roupas, cozinha com e sem caixa de gordura e do banheiro. Nas comunidades rurais, o quintal é o principal local para disposição das águas cinzas provenientes da pia da cozinha e lavagem das roupas, ocorrendo respectivamente, em 80,3% e 86,2% dos domicílios quilombolas, 89,9% e 93,1% dos assentados e 75,7% e 95,6% dos ribeirinhos. As águas cinzas do banheiro são dispostas em fossa rudimentar, em 49,9% dos domicílios quilombolas, 59,1% dos assentados e 73,9% dos ribeirinhos, e a disposição no quintal foi adotada em 28,8% dos domicílios quilombolas, 35,9% dos assentados e 21,3% dos ribeirinhos. O tanque séptico ou tanque séptico

com sumidouro, também foram utilizadas para recebimento das águas cinzas, principalmente em domicílios quilombolas (17,3%) (Figura 4).

Nas comunidades urbanas, quintal também foi a alternativa mais utilizada para recebimento das águas cinzas da lavagem de roupas em 60,6% e 89,5% dos domicílios quilombolas e ribeirinhos, respectivamente, e para a cozinha sua ocorrência foi em 30,8% e 64,9%, enquanto as águas cinzas do banheiro foram destinadas principalmente em fossas rudimentares.

O lançamento identificado principalmente no quintal das águas cinzas da cozinha e lavagem de roupas, também foi constatado por Silva (2017), em trabalho desenvolvido em quinze comunidades localizadas nas cinco regiões do Brasil, nas quais a disposição das águas cinzas ocorreu em valas a céu aberto, diretamente no solo e no quintal. Da mesma forma, o quintal foi apontado como o principal destino destas frações pelo PBSR nas comunidades diagnosticadas (BRASIL, 2019a).

Figura 4-Alternativas de disposição das águas cinzas da lavagem de roupas, cozinha com e sem caixa de gordura e do banheiro.



Nota: (*) = a rede pública de coleta de esgoto foi identificada em comunidades urbanas.

Esta disposição diretamente no solo, é uma prática comum em países em desenvolvimento (OH *et al.*, 2018). As águas cinzas podem ter em sua composição matéria orgânica, produtos químicos, sabão e cabelo (BRASIL, 2018). Dessa forma, ao serem dispostas no quintal, podem contribuir para condições insalubres e propagação de vetores.

2.3.2 Separação de frações

Os resultados sobre a separação de frações são apresentados por domicílio e comunidade, como segue.

2.3.2.1 Domicílio

A classificação quanto à forma de separação das frações de esgoto geradas conforme tipologia de comunidades, considerando os domicílios diagnosticados, segue na Tabela 1, na qual observa-se que mais da metade dos domicílios rurais e urbanos de todas as tipologias foram enquadradas em separação parcial das frações, ou seja, geram esgoto e águas cinzas, ocorrendo em relação às tipologias em 52,5%, 56,9%, 55,1% dos domicílios quilombolas, assentados e ribeirinhos rurais, e 66,8% e 71,1% dos quilombolas e ribeirinhos urbanos, respectivamente. Considerando o total de domicílios rurais, esta forma de separação ocorreu em 55,6%, e total urbanos, em 67,2%. No total geral dos diagnosticados, foi encontrado o percentual de 58,6% com esta classificação.

Tabela 1-Classificação da forma de separação do das frações de esgoto nos domicílios diagnosticados por tipologia de comunidade.

	Classificação	Separação total	Separação parcial	Sem separação	Domicílios sem banheiro
Rurais	Quilombola	19,4	52,5	9,9	18,2
	Assentamento	33,5	56,9	7,1	2,5
	Ribeirinha	15,2	55,1	29,7	0,0
	Total	29,1	55,6	8,6	6,6
Urbanas	Quilombola urbana	6,6	66,8	25,8	0,8
	Ribeirinha urbana	23,2	71,1	5,8	0,0
	Total	7,9	67,2	24,1	0,7
Total		23,6	58,6	12,7	5,1

Nota: separação total = águas cinzas e fecais; separação parcial = águas cinzas e esgoto; sem separação = esgoto; sem banheiro = Fezes e urina (sem água) + água cinzas da cozinha e tanque.

Essa prática de separação parcial das frações, também foi relatada por Figueiredo *et al.* (2019a), em área rural de Campinas (SP), onde é apontado ocorrer a segregação de pelo menos uma das parcelas de águas cinzas em 88% das propriedades. Nesta mesma região, em 125 domicílios, Figueiredo *et al.* (2019b), identificou a segregação das águas cinzas da lavagem de roupas em 91,2% dos casos, da cozinha em 83,2%, e de forma menor para o banheiro (63,2%), valor este

justificado pela facilidade de conexão do encanamento do vaso sanitário ao chuveiro e pia do banheiro.

Assim, o maior percentual de separação parcial, nas comunidades rurais e urbanas, também pode se relacionar à possibilidade de junção das águas fecais e cinzas do banheiro devido às conexões hidrossanitárias, associado ao lançamento predominante das águas cinzas da cozinha e tanque de lavar roupas no quintal.

A segunda principal forma de separação das frações a foi a total (destinação de águas cinzas e fecais em locais diferentes) para os domicílios quilombolas rurais (19,4%) e assentamentos (33,5%); e ribeirinhos urbanos (23,2%). Considerando o total rural, foi encontrada em 29,1% dos domicílios e nos urbanos, em 7,9%; enquanto no universo total diagnosticado representou 23,6% (Tabela 1).

Esta prática de separação de frações de esgoto foi apontada em comunidades rurais em todo o Brasil (SILVA, 2017). Isto faz com que os esgotos domésticos, que têm composição variada, incluindo água, fezes, urina, sabões, produtos químicos, gorduras, restos de alimentos, fibras e cabelos, nutrientes, sólidos, lodo e coliformes termotolerantes, tenham cada componente lançado separadamente (BRASIL, 2018), favorecendo a remoção dos seus recursos em sistemas diferentes e o reuso (BRASIL, 2019a).

Para os quilombolas urbanos e ribeirinhos rurais, a ausência de separação foi a segunda forma mais recorrente, enquanto para os assentamentos e ribeirinhos rurais, a terceira. Considerando o total rural, urbano e geral diagnosticado, ocorreu em 8,6%, 24,1% e 12,7%, respectivamente. O baixo percentual de casas que geram apenas esgoto nas comunidades diagnosticadas, classificadas como sem separação, principalmente nas rurais, pode estar associado à questões culturais, bem como, a necessidade de aumento da vida útil das fossas rudimentares que recebem as águas fecais, levando a preferência por não lançar as águas cinzas em seu interior.

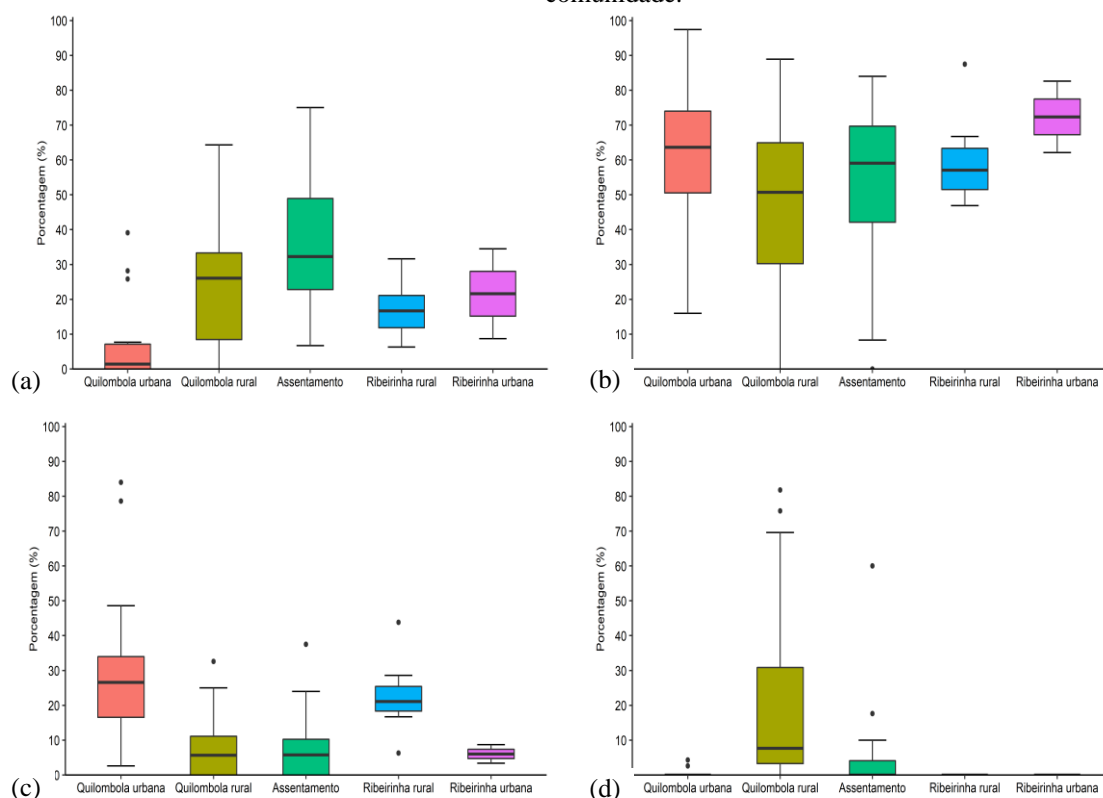
2.3.3.2. Comunidade

A Figura 5 apresenta a distribuição dos percentuais calculados dentro de cada comunidade considerando seus domicílios diagnosticados, quanto às diferentes classificações das formas de separação de frações do esgoto, conforme tipologia. Nas comunidades rurais, nos quilombolas, a separação total foi identificada, entre 7,8 e 33,3% dos domicílios e nos urbanos entre 0 e 7,7%;

para os assentamentos, a variação foi de 22,7 a 50%; e para os ribeirinhos urbanos entre 8,7% à 34,5, e ribeirinhos rurais entre 11,9 à 21,1%. A amplitude de variação dos dados de separação total no intervalo interquartil (em torno da mediana) foi maior nas comunidades quilombolas rurais (25,5%) e assentamentos (27,3%), o que reflete a menor homogeneidade nos valores encontrados (Figura 5a).

Quanto aos classificados como em separação parcial das frações, conforme Figura 5(b), em todas as tipologias, inclusive nas comunidades urbanas, os percentuais foram maiores em relação às outras classificações. Nas comunidades urbanas, variou entre 48,6% e 75%, e 62,1% e 82,6% para as quilombolas e ribeirinhas, respectivamente; enquanto que para as rurais, entre 29,7% e 66,5%, 41,7% e 70% e 51,5% e 63,4% das quilombolas, assentamentos e ribeirinhas. A amplitude de variação em torno da mediana foi maior nas comunidades quilombolas, urbanas (26,4%) e rurais (36,8%), e assentamentos (28,3%), o que indica a heterogeneidade dos resultados; enquanto para as ribeirinhas (urbanos e rurais), foi menor, caracterizando-se pela maior homogeneidade dos valores encontrados.

Figura 5- Distribuição das classificações quanto às formas de separação da fração de esgoto em separação total (a), separação parcial (b), sem separação (c) e sem banheiro - fezes e urina (d), de acordo com a tipologia da comunidade.



A ausência de separação de frações foi menor em todas as tipologias, em comparação às outras categorias de separação, considerando os domicílios que geram apenas efluentes (águas cinzas, águas fecais e esgoto). Os maiores valores foram encontrados para as comunidades ribeirinhas rurais (entre 25,4% e 18,4%) e quilombolas urbanas (entre 35% e 15,4%), que apresentou a maior amplitude dos dados (19,6%) (Figura 5c).

Os menores percentuais dentro das comunidades foram encontrados para os domicílios que não possuem banheiro, gerando fezes e urina (sem água) e águas cinzas da lavagem de roupas e cozinha. De acordo com Figura 5 (d), nas comunidades quilombolas rurais, os percentuais estão entre 2,2 e 30,0%, com amplitude de 27,8%. Destaca-se que em algumas comunidades quilombolas foram encontrados *outliers* que apontam para percentuais elevados em que a maioria da população não tem banheiro, como nas comunidades de São Domingos (69,4%), Baco Pari (66,7%), José de Coletto (66,7%), Kalunga dos Morros (81,8%); para os assentamentos, a variação está de 0 a 4,2%; para os ribeirinhos não houve domicílios classificados nesta categoria.

De acordo com as amplitudes de variação dos resultados, há maior homogeneidade dentro das comunidades ribeirinhas, urbanas e rurais. Por outro lado, nas comunidades quilombolas, urbanas e rurais, e assentamentos, há uma maior variação dos resultados, indicando maior variedade dos percentuais das formas de separação de frações entre as comunidades da mesma tipologia, com destaque aos quilombolas urbanos, e para esta última tipologia, isto pode ocorrer devido à variedade de distribuição destas comunidades no meio urbano.

2.3.3 Déficit de esgotamento sanitário

Os resultados relacionados ao déficit de esgotamento sanitário também são apresentados por domicílio e por comunidade, como segue.

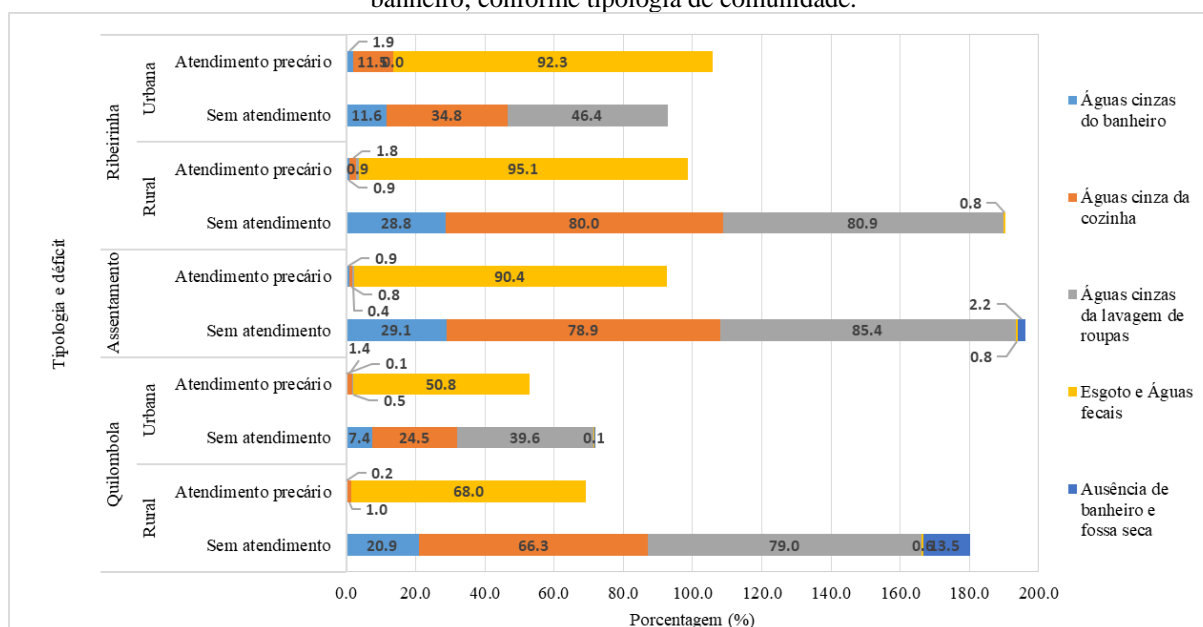
2.3.3.1 Domicílio

Foi identificado déficit por ausência de atendimento em todas as comunidades rurais estudadas e, principalmente, para as águas cinzas da cozinha ocorrendo em 66,3%, 78,9% e 80,0% e da lavagem de roupas em 79,0%, 85,4% e 80,9%, dos domicílios quilombolas, assentamentos e ribeirinhos, respectivamente (Figura 6). Para as águas cinzas do banheiro, os percentuais foram

menores em relação aos outros locais, sendo maior para as tipologias assentamentos (29,1%) e ribeirinhos (28,8%). Embora com menor ocorrência, também se constatou ausência de atendimento nestas frações em comunidades urbanas, principalmente da lavagem de roupas em 39,6% e 46,4% dos domicílios quilombolas e ribeirinhas, respectivamente.

Conforme levantado pelo PBSR, nos domicílios dispersos, prevalece a ausência de soluções, devido à falta de banheiro e lançamentos em corpos d'água, bem como, disposição das águas cinzas no quintal (BRASIL, 2019a). Nas comunidades estudadas, em área rural ou urbana, a ausência de soluções ocorre principalmente para as águas cinzas devido ao seu lançamento não adequado no quintal.

Figura 6-Percentual dos domicílios classificados em déficit devido à ausência de atendimento ou sua precariedade para águas cinzas do banheiro, cozinha e lavagem de roupas; águas fecais e esgoto, e ausência de banheiro; conforme tipologia de comunidade.



O déficit por ausência de banheiro e fossa seca, foi identificado que em 13,5%, 2,2% dos domicílios quilombolas e assentados, respectivamente (Figura 6), o que indica que este quantitativo realiza defecação à céu aberto. Estes percentuais foram maiores que os apontados por Silveira *et al.* (2013), que a partir de dados censitários do IBGE (2010), para a região Centro Oeste, constataram que 4% não possuíam acesso ao banheiro ou sanitário.

O atendimento precário foi identificado principalmente para os esgotos e águas fecais dos domicílios rurais, que são dispostas em fossas rudimentares em 68,0% dos domicílios quilombolas, 90,4% dos assentamentos e 95,1% dos ribeirinhos, mas também ocorreu em

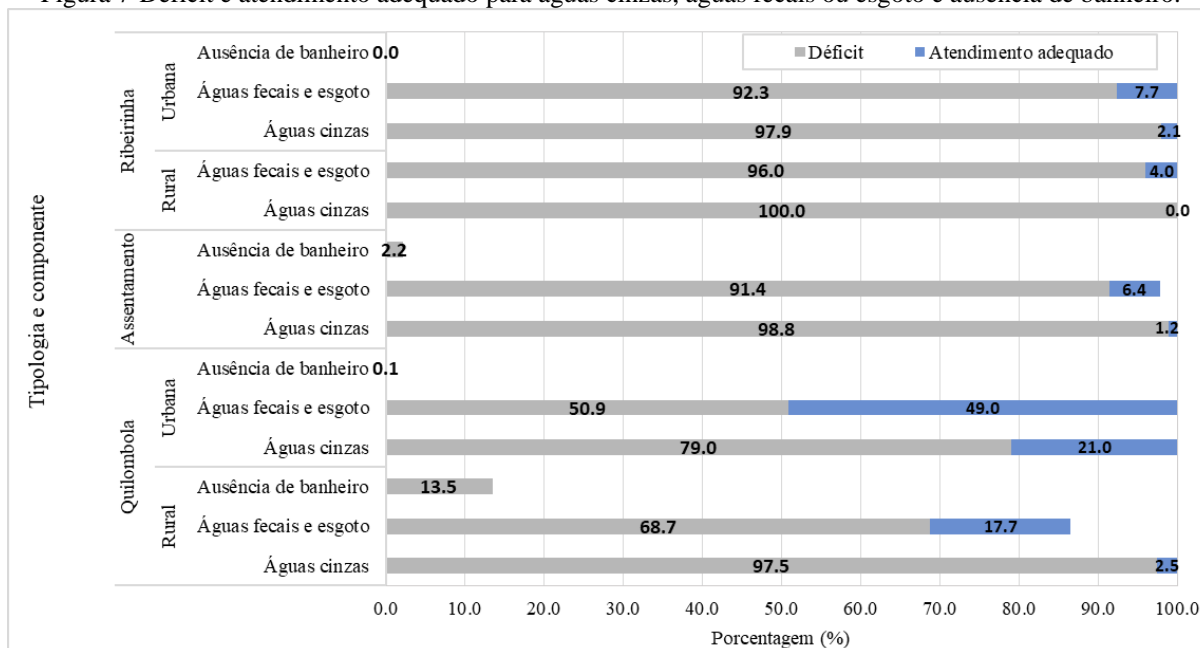
92,3% e 50,8% dos domicílios ribeirinhas e quilombolas urbanas respectivamente (Figura 6). Os demais percentuais constam no Quadro 10 do Anexo C.

Conforme PBSR, essa a precariedade do atendimento é atribuída à presença generalizada de fossas rudimentares, sendo que os piores índices foram identificados nas regiões menos adensadas isoladas e em locais sem aglomerações (BRASIL, 2019a). Da mesma forma, nas comunidades em estudo, as rurais, que se distanciam mais do centro urbano, apresentaram a maior precariedade, com exceção das ribeirinhas urbanas, que também obtiveram altos percentuais. Isto pode ocorrer pois as comunidades apresentam variedade na distribuição no espaço, sendo compostas por aglomerados e casas dispersas (BRASIL, 2019a), de modo que nas ribeirinhas urbanas as casas mais distantes contribuem para o déficit elevado.

De forma geral, todas as tipologias apresentaram majoritariamente déficit, seja pela ausência do atendimento ou sua precariedade, conforme Figura 7. Nos domicílios rurais, para as águas cinzas o déficit contabilizou 97,5%, 98,8% e 100,0% dos quilombolas, assentados e ribeirinhos, respectivamente, enquanto para as águas fecais e esgoto, os percentuais foram de 68,7%, 91,4% e 96,0%, respectivamente. A ausência de banheiro e fossa seca, totalizou em um déficit de 13,5 e 2,2% para os quilombolas e assentados. Nas comunidades urbanas, o déficit ocorreu para águas cinzas em 79,0% e 97,9% dos domicílios quilombolas e ribeirinhos, e para águas fecais ou esgoto em 50,9% e 92,3%, respectivamente.

O atendimento adequado foi identificado principalmente em comunidades urbanas: nos quilombolas totalizou 49,0% para as águas fecais ou esgoto, e 21,0% para as águas cinzas, e nas ribeirinhas, 7,7% e 2,1%, respectivamente. Para as comunidades rurais o atendimento adequado ocorreu principalmente para as águas fecais ou esgoto, com percentuais de 17,7%, 6,4% e 4,0% dos quilombolas, ribeirinhos e assentados, respectivamente (Figura 7). Como observa-se, o percentual de atendimento adequado das águas cinzas é inferior ao das outras frações, o que ocorre devido a prática comum de sua disposição diretamente no quintal, mesmo em domicílios que possuam alguma solução para os efluentes gerados. Nas comunidades quilombolas há maiores percentuais de atendimento adequado, no entanto, muitas destas comunidades são urbanas, o que eleva este percentual.

Figura 7-Déficit e atendimento adequado para águas cinzas, águas fecais ou esgoto e ausência de banheiro.



Ainda assim, mesmo nas urbanas, este atendimento não supera metade dos domicílios. Isto pode ocorrer devido ao atendimento precário de municípios do Estado de Goiás, que no total, possui 27,63% do esgoto sem coleta e tratamento, 9,1% disposto em soluções individuais e 4,8% sem tratamento, conforme dados do Instituto Água e Saneamento. Além do mais, muitas comunidades são dispersas no território, o que leva presença de domicílios dispersos que terão o atendimento prejudicado.

A elevada precariedade no atendimento constatada, confirma os dados apresentados pelo Programa Brasil Saneamento Rural, que apontaram elevada precariedade do saneamento para o esgotamento sanitário. Em relação ao atendimento adequado, da população rural brasileira analisada conforme PBSR, cerca de 20,6% se enquadram nesta categoria, que é caracterizada principalmente pelo uso de fossas sépticas (BRASIL, 2019a).

O atendimento adequado é caracterizado principalmente pelo uso de tanques sépticos. No entanto, das utilizadas para disposição dos esgotos, águas fecais ou cinzas, parcela não possuem unidade de disposição final, conforme Tabela 2. Das comunidades rurais que utilizam o tanque séptico, a maior parte dos domicílios quilombolas utilizam tanque séptico seguido de sumidouro (FSS) para as águas fecais (0,4%), águas cinzas do banheiro (12,8%), cozinha (3,0%) e da lavagem de roupas (2,4%). Nos domicílios assentados, predomina o uso sem a unidade de

disposição final, representando 1,5% para o recebimento das águas fecais ou esgoto, e 1,1% para águas cinzas do banheiro.

Tabela 2-Percentual de domicílios que utilizam tanques sépticos, tanques sépticos com sumidouro e tanques sépticos com sumidouro após caixa de gordura, segundo tipologia, para disposição de águas fecais ou esgoto e águas cinzas.

Tipologia	Esgoto ou águas fecais		Águas cinzas banheiro		Águas cinzas cozinha			Água cinza lavagem de roupas	
	TS	TSS	TS	TSS	TSSC	TSS	TS	TS	TSS
Quilombola rural	0,2	0,4	4,5	12,8	2,2	3,0	0,4	0,1	2,4
Assentamento	1,5	0,1	1,1	1,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4
Ribeirinha rural	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Quilombola urbana	0,0	0,1	6,9	22,0	13,2	5,8	17,0	0,5	14,0
Ribeirinha urbana	3,9	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

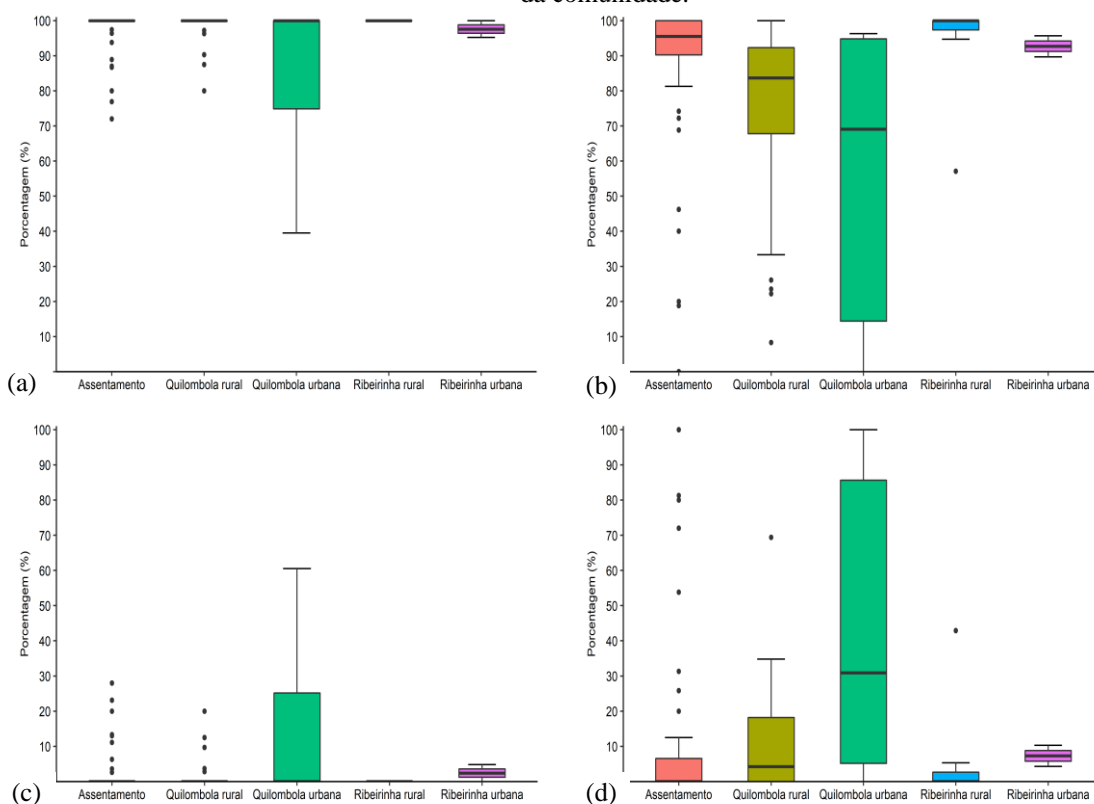
Nota: TS= tanque séptico; TSS=tanque séptico com sumidouro; TSSC=tanque séptico com sumidouro após caixa de gordura.

A ausência do tratamento posterior, contribui para contaminação do meio ambiente e riscos aos habitantes, tendo em vista que as fontes de água utilizadas por comunidades rurais são frequentemente poços subterrâneos localizados próximos das casas ou mananciais superficiais (BRASIL, 2019a).

2.3.3.2 Comunidade

A distribuição dos percentuais relativos ao déficit dentro das comunidades segue na Figura 8. A amplitude do intervalo interquartil do déficit para as águas cinzas é de zero para os assentamentos, comunidades quilombolas e ribeirinhas rurais, de forma que a maior parte dos diagnosticados nestas tipologias possui 100% de déficit para as águas cinzas. No entanto, foram encontrados *outliers* que apresentaram menor percentual de déficit, variando de 97,2% em Engenho 2, até 72% em Tarumã. Nas comunidades quilombolas urbanas, ocorreu a maior amplitude em torno da mediana no valor de 28,6%, com distribuição entre 71,4% e 100%, o que indica a menor homogeneidade para esta tipologia (Figura 8a).

Figura 8-Distribuição do déficit em águas cinzas (a), esgoto, águas fecais ou fezes (b), atendimento adequado para águas cinzas (c) e atendimento adequado para esgoto, águas fecais ou fezes (d), de acordo com a tipologia da comunidade.



Em relação ao déficit para frações do vaso sanitário (Figura 8b), há uma maior heterogeneidade dos resultados nas comunidades quilombolas rurais, com amplitude do intervalo interquartil de 27,7%, e urbanas, com amplitude de 82,5%, nas quais há variação entre 65,5% a 93,7%, e 12,5% a 95,0% respectivamente. Nas demais tipologias, o déficit se distribui de forma mais homogênea entre 100 à 80%.

O atendimento adequado para as águas cinzas nas comunidades quilombolas e ribeirinhas urbanas possui amplitude em torno da mediana no valor de 28,6% e 4,8%, respectivamente. Nas demais tipologias, a amplitude foi de 0, indicando homogeneidade nos baixos percentuais de atendimento adequado, com exceção dos outliers, que também apresentaram menor déficit para as águas cinzas (Figura 8c).

Para esgoto, águas fecais ou fezes, o atendimento adequado apresentou as maiores amplitudes nas comunidades quilombolas urbanas (82,5%) variando entre 5,0% e 87,5%, quilombolas rurais (19,1%), entre 0 a 32,8%, e assentamentos (6,7%), de 0 a 12,5% e ribeirinhas de 0 a 5,3% (Figura 8d). Sobretudo, a variação nos percentuais nas comunidades quilombolas urbanas

indica uma maior heterogeneidade dos resultados, o que aponta para a existência de comunidades com atendimento adequado ou déficit com maior intensidade que outras. Por outro lado, devido às menores amplitudes em torno da mediana identificadas, as demais tipologias (comunidades ribeirinhas rurais e urbanas e assentamentos) apresentaram os resultados do atendimento adequado e déficit com maior homogeneidade em percentuais menores e elevados, respectivamente, o que indica de forma geral, o elevado déficit nestas comunidades.

2.3.4 Proposição de tecnologias

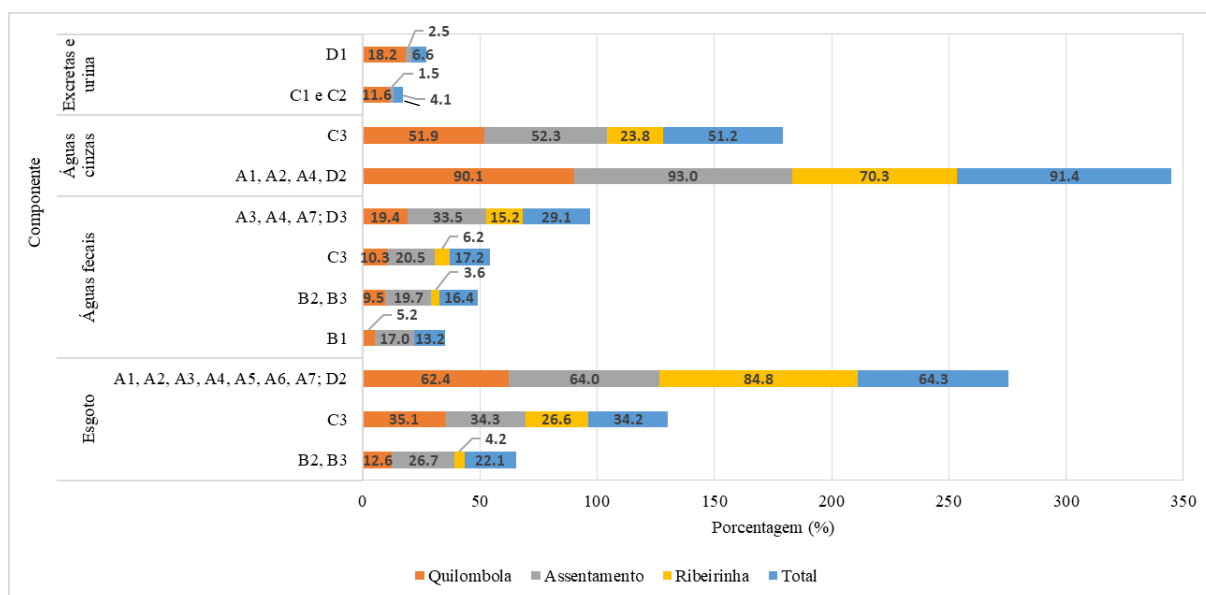
A partir dos dados coletados em campo, foi possível identificar a presença de animais (geral), bovinos, suínos ou galináceos, em 75,0%, 95,1% e 60,5% dos domicílios quilombolas, assentados e ribeirinhos localizados em áreas rurais, e 72,1% e 55,8% dos quilombolas e ribeirinhos da zona urbana. Analisando especificamente a presença de bovinos em domicílios rurais, foram constatados em 28,1% dos quilombolas, 72,8% dos assentados e 7,3% dos ribeirinhos, e em áreas urbanas em 26,5% e 13,5% dos quilombolas e ribeirinhos. A presença de plantações, de grãos ou frutas, ocorreu em 56,9% dos domicílios quilombolas, 55,9% dos assentados e 31,9% dos ribeirinhos rurais, e em 50,5% e 38,5% dos quilombolas e ribeirinhos dentro dos limites urbanos.

A Figura 9 apresenta os percentuais, dentro de cada tipologia rural e em relação ao total rural, em que as tecnologias são aplicáveis nos domicílios para tratamento dos componentes (efluentes e fezes e urina), segundo os critérios pré-definidos. As tecnologias do grupo A e D2, são aplicáveis como solução para todos os domicílios que geram esgoto, o que corresponde à 62,4%, 64,0% e 84,8%; águas fecais, sendo em 19,4%, 33,5% e 15,2%; e águas cinzas, em 90,1%, 93,0% e 70,3% dos domicílios quilombolas, assentados e ribeirinhos, respectivamente. Em relação ao total rural, se aplicam para tratamento de esgoto em 64,3% dos domicílios, águas fecais em 29,1% e águas cinzas em 91,4%.

Dentre as tecnologias do grupo A, o tanque séptico no Brasil é uma solução comum para tratamento de efluentes em sistemas descentralizados locais (ou individuais) (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013). Apesar de ser muito aplicável, o seu uso isolado nas comunidades não é recomendável, pois, caso instalado em local com solo com permeabilidade inadequada, ou se o efluente for lançado diretamente em corpo d'água, há possibilidade de contaminação do solo

ou recursos hídricos devido à baixa remoção de nitrogênio e microorganismos no tratamento (USEPA, 2002). Sendo assim, é aplicável como tratamento primário, assim como Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente e Reator Anaeróbico Compartmentado, que precisam do tratamento complementar (BRASIL, 2019a).

Figura 9-Percentuais de aplicabilidade nas comunidades rurais das tecnologias que tratam esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina, segundo os critérios pré-definidos, por tipologia e em relação ao total rural.



Nota: sistemas alagados construídos verticais, horizontais (A1) ou Francês (A2), reator anaeróbico de fluxo ascendente (A3), tanques sépticos (A4), filtros anaeróbios (A5), filtro de areia (A6) e reator anaeróbico compartmentado (A7), fossa séptica biodigestora (B1), biodigestor (B2), biossistema integrado (B3), estocagem de urina (C1), banheiro seco compostável (C2), vermifiltro (C3), fossa seca (D1), círculo de bananeiras (D2), fossa verde (D3).

Dessa forma, é essencial o tratamento complementar, que de acordo com ABNT (1997), pode contemplar o uso de filtros de areias (A6) ou filtros anaeróbios (A5). A partir destas combinações, há a possibilidade do reuso do efluente tratado ou o seu uso para fertirrigação, sendo necessário atender aos padrões de ovos de helmintos e coliformes, através da existência de uma barreira física no tratamento, como membranas ou filtração terciária, além da desinfecção (FLORENCIO; BASTOS; AISSE, 2006), favorecendo o aproveitamento do efluente nas comunidades.

Além do mais, estudos conduzidos em comunidades ou áreas rurais permitiram a identificação do uso de tanque séptico em conjunto aos sistemas alagados construídos verticais, horizontais ou híbridos, sendo apontado como benefício a produção de um efluente com melhor qualidade (MOREIRA e DIAS, 2020; JÓZWIAKOWSKI *et al.*, 2019; LUTTERBECKA *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2011). Conforme também apontado por Lombard-Latune *et al.* (2020), o sistema de

alagado construído, utilizado para tratamento de esgoto de forma descentralizada, contribuiu para a remoção de mais de 90% da matéria orgânica, e mais de 80% do material nitrogenado. Dessa forma, a associação entre as tecnologias do grupo A pode permitir a melhor qualidade do efluente tratado nas comunidades.

O reuso do efluente na agricultura, permitido por estas combinações, é um fator que se associa à aceitação e benefício nas comunidades rurais, conforme apontaram Thaher *et al.*, (2020), estudando sistemas compostos por filtro anaeróbio (A5) com o tanque séptico. Outro fator associado à aceitação, é a possibilidade de emprego de materiais alternativos filtrantes, como bambu e cascas de coco nos filtros anaeróbios, o que reduz os seus custos para a população (FIGUEIREDO; TONETTI; MAGALHÃES, 2018).

Dentre as tecnologias mais aplicáveis nas comunidades do grupo D, o círculo de bananeiras (D2) permite o tratamento das águas cinzas, e consiste em uma abertura escavada no solo, preenchido com matéria orgânica, sobre o qual se plantam bananeiras; enquanto a fossa verde (D3), também conhecida como tanque de evapotranspiração, objetiva o tratamento das águas fecais, e é composta por uma câmara que recebe e digere o efluente, além de possuir um filtro anaeróbio e zona de raízes para fluxo subsuperficial. Ambas são tecnologias sociais, pois apresentam materiais de fácil acesso para sua implantação, além de operação e manutenção simples, e custos baixos (BRASIL, 2018).

As tecnologias do grupo A e D podem ser combinadas entre si para permitir o tratamento separado das frações de acordo com as preferências das comunidades, levando em consideração os custos por pessoa e disponibilidade de área nos domicílios conforme ANEXO B. Assim, caso haja mais espaço, tecnologias que necessitam de mais área, como os sistemas alagados construídos (1 a 5 m²/pessoa), podem ser utilizadas em conjunto ao tanque séptico para tratamento do esgoto, ou separadamente para tratamento das diferentes frações.

Dentre as possíveis combinações, como demonstrado por Paulo *et al.* (2013) em um sistema para tratar o esgoto de uma residência em Campo Grande (MS), é possível o uso de tanque de evapotranspiração para tratar as águas fecais, permitindo a sedimentação dos sólidos, decomposição da matéria orgânica, filtração do efluente e sua absorção final pelas raízes das plantas; com o sistema de alagados construídos híbridos, para tratamento das águas cinzas.

O segundo grupo com os maiores percentuais é o C, sendo o vermifiltro (C3) aplicável para o tratamento de esgoto em 35,1% dos domicílios quilombolas, 34,3% dos assentados e 26,6% dos ribeirinhos; para o tratamento de águas fecais em 10,3%, 20,5% e 6,2%; e águas cinzas em 51,9%, 52,3% e 23,8% dos domicílios em relação às tipologias, respectivamente. Considerando o total rural, para esgoto, águas fecais e águas cinzas, C3 se aplica em 34,2%, 17,2% e 51,2% dos domicílios respectivamente (Figura 9).

O vermifiltro é um filtro biológico, em que há uma camada superior de substrato orgânico associada a minhocas (MADRID *et al.*, 2019). A tecnologia não forma lodo, mas sim o “vermicomposto” (húmus de minhoca), que é rico em nutrientes e pode ser aplicado como fertilizante. Assim, podem ser minimizadas despesas adicionais que se teria com o tratamento e disposição final do lodo. Ainda, o efluente tratado pode ser utilizado para reuso em fins não potáveis, como irrigação (XING *et al.*, 2005; SINHA *et al.*, 2008; LIU *et al.*, 2009).

Para os que geram fezes e urina e possuem plantações, a estocagem de urina (C1) e o banheiro seco compostável (C2) podem ser aplicados em 11,6% e 1,5% dos domicílios quilombolas e assentados, respectivamente, enquanto a fossa seca (D1) em 18,2% e 2,5%. E em relação ao total rural, C1 e C2 se aplicam em 4,1% dos domicílios, e D1 em 6,6% (Figura 9). Assim, o grupo C pode ser aplicável nas casas que não geram efluentes líquidos e naquelas que não possuem banheiro, sendo neste caso, utilizada a estocagem e uso de urina como forma de tratamento de urina, e o banheiro seco compostável, para tratamento de fezes. Estas tecnologias podem ser empregadas em domicílios rurais caracterizados pela falta de água, e permitem a aplicação do composto tratado na agricultura, tendo, portanto, sua aplicabilidade influenciada pelo interesse do usuário em utilizar os compostos e fertilizantes em plantações (TONETTI *et al.*, 2018).

Na estocagem e uso da urina, ocorre o armazenamento em reservatórios de plástico, que devem ser bem vedados a fim de se evitar vazamentos, infiltração de água ou perda de nutrientes (DEMENIGHI; GÓMEZ; SOUZA, 2017). Em relação ao seu uso como fertilizante produzido pela comunidade, deve ocorrer seu armazenamento por tempo mínimo de um mês para aplicação em culturas que não são ingeridas cruas ou culturas de forragem, destinadas à alimentação animal, segundo recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) (TILLEY *et al.*, 2014); tempo de seis meses para aplicação em outras culturas.

O banheiro seco compostável, por sua vez, também se aplica à domicílios com escassez hídrica, quando o solo não é favorável ao uso da fossa seca devido a presença de rochas, lençol freático pouco profundo ou solos permeáveis. É composto por duas câmaras, localizadas abaixo do banheiro uma ao lado da outra, que recebem as fezes diretamente. Quando a câmara se completa, é então isolada para que ocorra a mineralização das fezes (BRASIL, 2015). Este material a ser compostado, deve ficar pelo menos 6 meses em pilha de compostagem para produção do composto a ser utilizado nas plantações (TONETTI *et al.*, 2018).

Como terceiro grupo, o biodigestor (B2) e o biosistema integrado (B3) foram aplicáveis em 12,6%, 26,7% e 4,2% dos domicílios quilombolas, assentados e ribeirinhos, respectivamente, que produzem esgoto; e 9,5%, 19,7% e 3,6% dos que geram águas fecais, enquanto a fossa séptica biodigestora (B1), permite o tratamento desta fração em 5,2% dos quilombolas e 17,0% dos assentados. Em relação ao total rural, B2 e B3 se aplicam para tratamento do esgoto e águas fecais em 22,1% e 16,4% dos domicílios respectivamente, enquanto B1 se aplica em 13,2% dos domicílios rurais. Estas tecnologias permitem o aproveitamento do esterco animal gerado no domicílio, juntamente ao tratamento do esgoto ou águas fecais, permitindo ainda, a aplicação do efluente final na agricultura ou aquicultura (TONETTI *et al.*, 2018).

O menor percentual de aplicação do grupo B em relação ao A, D e C, ocorre pela necessidade da existência do esterco nos domicílios. Este critério é essencial ao funcionamento do biodigestor (B2), sendo também utilizado por Herrero (2008) para definição da possibilidade de uso desta tecnologia para famílias rurais da Bolívia. O autor, a partir de trabalhos práticos e acadêmicos desenvolvidos ao longo de sete anos, e considerando os problemas já identificados anteriormente relacionados à sustentabilidade e apropriação do biodigestor, elencou a presença de esterco e disponibilidade de água para definição do seu uso. O esterco é importante, pois além do esgoto ou águas fecais, é necessária adição de matéria orgânica como requisito para boa produção de gás (TILLEY *et al.*, 2014).

Este esterco utilizado no biodigestor pode ser galináceo, suíno ou bovino (SEIXAS; FOLLE; MARCHETTI, 1981), sendo necessário também a entrada das fezes humanas, que possuem a maior capacidade de geração de biogás. No entanto, existem algumas limitações: o uso do fertilizante gerado é restrito às árvores frutíferas (culturas cujos frutos não são subterrâneos) (HERRERO, 2008). Ainda assim, os benefícios para as comunidades são elevados

considerando que dentre os diagnosticados, os quilombolas, rurais e urbanos, e assentados, têm mais da metade da população com plantações de frutas ou grãos.

Também pertencente ao grupo B, o Biossistema Integrado (B3) é formado pela combinação entre biodigestor, filtro anaeróbio, sistema alagado construído, e como etapa final, a disposição do efluente em tanque para criação de peixes e ainda, a possibilidade de aproveitamento para irrigação (FONSECA, 2008). Assim, o seu uso nas comunidades, pode potencializar os benefícios ambientais, sociais e econômicos do tratamento de efluente, sendo possível ainda, segundo Lermontov e Gomes (2009), o tratamento do esgoto gerado em comunidades com alto grau de desorganização no território.

Quanto aos benefícios desse biossistema, ressalta-se o biogás gerado no biodigestor, permite o aproveitamento energético, e o uso do seu efluente como biofertilizante em culturas agrícolas; a integração entre o filtro anaeróbio e o sistema de alagado construído permite a maior remoção da matéria orgânica, obtendo um efluente de melhor qualidade; por fim, pode ser adicionado opcionalmente ao sistema, tanques para produção de algas, peixes ou plantas aquáticas; sendo possível o uso do efluente final para aplicação na fertirrigação de árvores frutíferas (pomares) ou outras culturas. Desta forma, o modelo permite a integração entre tratamento de efluentes, a criação de animais (suína, avícola ou caprina), o policultivo, o sistema hidropônico, produção de microalgas, contribuindo para a reciclagem dos nutrientes (RODRIGUES; GOMEZ; SELVAN, 2006), e ainda, a prática da aquicultura, que se refere ao “cultivo” de plantas ou animais em meio aquático, com vistas à produção de alimentos ou energia (FONSECA, 2008).

Devido à estas características, a aplicação dos biossistemas integrados nas comunidades pode contribuir com benefícios econômicos e ecológicos junto ao agronegócio praticado. Conforme, Rodrigues, Gomes e Selvan (2006), apontaram em pequenas propriedades com esta tecnologia, foi obtido lucro sobre faturamento de 31,9%, sendo a taxa de retorno de 30,67% ao ano, como indicativos da maximização da capacidade produtiva devido ao policultivo (cultivo de peixes) e hidroponia (cultivo de plantas em meio aquático).

Deve ser observado nas comunidades em que é aplicável, quanto à possibilidade de integração da tecnologia à tanques de peixes, bem como, observada a disponibilidade de área local, tendo em vista que a tecnologia envolve a combinação de diversas etapas e é a solução com a maior necessidade de área conforme Anexo B.

Outra tecnologia do grupo B e que necessita de adição mensal de esterco, neste caso especificamente o bovino, como requisito para o funcionamento, é a fossa séptica biodigestora (B1), desenvolvida pela EMBRAPA Instrumentação. A tecnologia apresentou o menor percentual de aplicação dentro do grupo analisado devido à necessidade de esterco bovino.

Trata-se de uma tecnologia que permite o tratamento de águas fecais, e gera um efluente com um nível de coliformes que requer o seu tratamento complementar, que é realizado ao aplicá-lo no solo como fertilizante. Isto pois o efluente de saída da fossa séptica biodigestora é rico em nitrogênio, fósforo e potássio. Sendo assim, o seu uso traz economia ao produtor ou morador de área rural (SILVA, 2014).

A fossa séptica biodigestora, tem suas dimensões padronizadas para atendimento unifamiliar (3 a 5 pessoas), sendo composta por três caixas d'água de 1000 litros de fibra de vidro, interconectadas por tubulações de 100mm. A última caixa d'água serve para armazenamento do produto da degradação do efluente rico em nutrientes que pode ser utilizado como fertilizante (GALINDO *et al.*, 2019). O biofertilizante gerado da fossa séptica biodigestora, é rico em nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, ferro, manganês, zinco e cobre, e pode ser aproveitado em árvores frutíferas e outras culturas. Com este aproveitamento, pode ser gerada economia em insumos, como adubos químicos, para agricultura familiar da ordem de R\$ 30,00 a R\$ 90,00 por mês (SILVA, 2014). Ressalta-se, no entanto, que o uso do biofertilizante não deve ser realizado em culturas consumidas cruas ou hortaliças (GALINDO *et al.*, 2019).

Todas as tecnologias apontadas permitem isoladamente ou em combinação o reuso do efluente, sendo importante sua adequação e compatibilidade com o contexto em que se inserem, o que favorece sua efetividade. Assim, o uso de subprodutos do esgoto demanda a participação de diversos atores, usuários, prefeituras, companhias de saneamento e fornecedores de equipamentos, de modo a permitir o desenvolvimento de projetos que geram cadeias produtivas e podem beneficiar pequenas comunidades. (FONSECA, 2008).

Dentro das diferentes tipologias das comunidades, observa-se que nos assentamentos diagnosticados, a proposição de tecnologias que permitem a integração entre agricultura e gerenciamento de esterco de animais (grupo B) foi maior em relação às comunidades ribeirinhas e quilombolas, devido a maior presença conjuntamente, na população assentada, de animais e

plantações, o que pode favorecer a gestão do esterco animal, produção agrícola e tratamento dos efluentes.

Tal proposição está em conformidade com Laschefski (2017) que levantou as propostas para atendimento das necessidades de saneamento dos grupos alvos do PBSR, que incluem as diferentes tipologias comunitárias. Para os assentamentos, é recomendado o uso de tecnologias sustentáveis descentralizadas, adequadas às necessidades agrícolas, que permitam a diminuição do consumo de água, fortalecendo a integração entre sistemas de produção agrícola e pecuário.

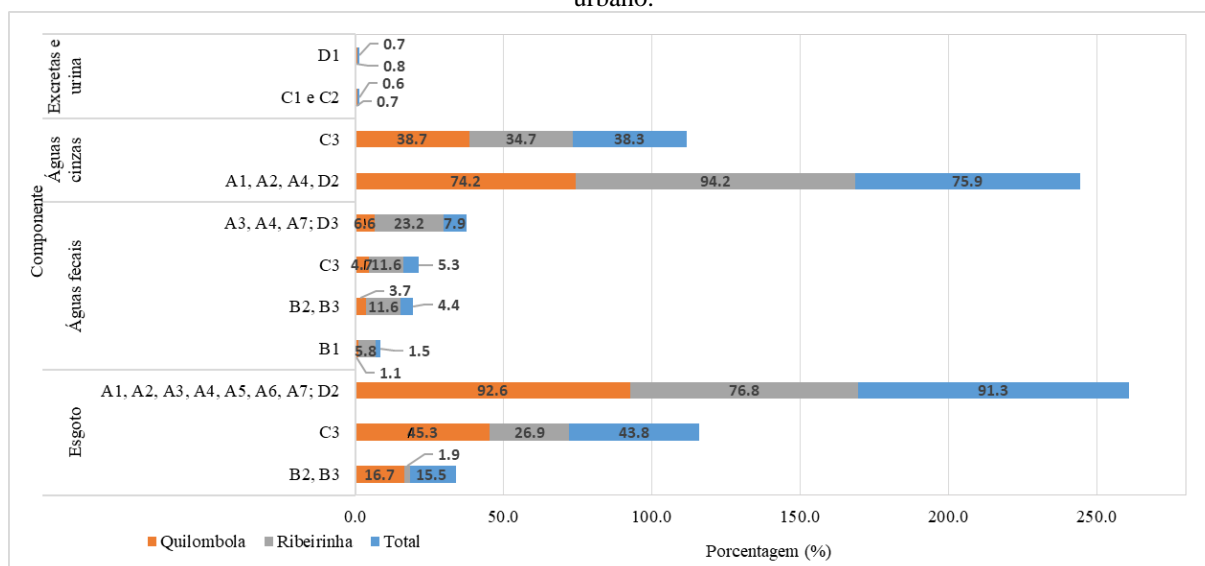
Para os ribeirinhos e quilombolas, as tecnologias de saneamento descentralizadas devem ser adequadas às unidades produtivas familiares, desenvolvidas segundo costumes tradicionais permitindo também, a autogestão, e respeito aos costumes tradicionais (LASCHEFSKI, 2017). De forma geral, para todas as tipologias, as tecnologias propostas podem permitir a fertirrigação e uso de fertilizantes e adubos, que podem favorecer as unidades produtivas familiares, a partir de tecnologias consideradas sociais, pela maior facilidade construtiva, operacional e custos mais baixos. Assim, observa-se também que o saneamento pode ser aplicado a partir da agroecologia, levando à combinação de tecnologias sanitárias, com a autoprodução de energia e adubo, o que fortalece a independência econômica e autonomia da família (LASCHEFSKI, 2017).

Nas comunidades urbanas, conforme a Figura 10, foi identificado esterco geral em 72,1% e 55,8%, esterco bovino em 26,5% e 13,5%, e plantaço em 50,5% e 38,5%, dos domicílios quilombolas e ribeirinhos respectivamente. As tecnologias do grupo A e D também são aplicáveis em todos os domicílios que geram o esgoto, águas fecais e cinzas. Em comparação às rurais, o vermifiltro se aplica em menor proporção para as urbanas, assim como as tecnologias do grupo B.

As diferenças de aplicabilidade em relação às comunidades rurais, se relacionam à menor presença de animais, que permitam o uso do seu esterco para o funcionamento da fossa séptica biodigestora (B1), biodigestor (B2) e biosistema integrado (B3); bem como, o menor

percentual de plantações, o que restringe a possibilidade de aplicação dos compostos, adubos e fertilizantes gerados.

Figura 10-Percentuais de aplicabilidade nas comunidades urbanas das tecnologias que tratam esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina, segundo os critérios pré-definidos, por tipologia e em relação ao total urbano.



Nota: sistemas alagados construídos verticais, horizontais (A1) ou Francês (A2), reator anaeróbio de fluxo ascendente (A3), tanques sépticos (A4), filtros anaeróbios (A5), filtro de areia (A6) e reator anaeróbio compartimentado (A7), fossa séptica biodigestora (B1), biodigestor (B2), biosistema integrado (B3), estocagem de urina (C1), banheiro seco compostável (C2), vermifiltro (C3), fossa seca (D1), círculo de bananeiras (D2), fossa verde (D3).

2.4 CONCLUSÃO

Os dados levantados nas comunidades rurais do Estado de Goiás, permitiram a identificação do uso predominante de fossas rudimentares para recebimento de esgotos e águas fecais, enquanto as águas cinzas da pia da cozinha e tanques de lavar roupas são dispostas principalmente no quintal. Assim, na maioria das comunidades há déficit por ausência de atendimento, principalmente para as águas cinzas, e por atendimento precário devido ao uso de fossas rudimentares.

O atendimento adequado foi identificado de forma menor em comunidades urbanas e em algumas rurais, principalmente pelo emprego de tanques sépticos, no entanto, muitos sem alternativa de disposição final ou pós-tratamento. Ademais, foram constatadas poucas tecnologias alternativas para tratamento de efluentes, sendo identificadas fossas ecológicas, biodigestor e fossa de pedra Tapiocanga.

A partir das frações de esgoto geradas e pré-requisitos, as tecnologias mais aplicáveis foram as dos grupos A e D, que se aplicam em todos os domicílios que produzem esgoto, águas fecais ou águas cinzas. O segundo grupo foi o C, dada a necessidade de plantação; e o terceiro grupo o B, uma vez que necessita dos dois critérios, sendo mais aplicável nos assentamentos, também caracterizados com os maiores percentuais de presença de esterco animal e plantação. Todas as tecnologias permitem o tratamento adequado dos efluentes, fezes e urina, o que contribui para a promoção de salubridade ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

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

BRASIL. **Ministério das Cidades. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **CataloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento: gestão de efluentes domésticos.** PAULO, L. P., GALBIATI, F. A., FILHO, M.C.J.F. Campo Grande: UFMS, 2018, 50p.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.** Manual de Saneamento. Brasília, DF, 4ed, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** Brasília: Funasa, 2019a. 260 p.

BRASIL. **Atendimento a povos e comunidades tradicionais na proteção social básica.** Ministério do Desenvolvimento Social - MDS. 2019b

BRASIL. **Fundação Nacional de Saúde. Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil /** Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2020. 53 p.

AL-RAWAHI, M.N., LEE, M.-Y., FRIESEN, J., KHURELBAATAR, G., MUELLER, R. A practical step towards sustainability: Decentralised wastewater management in Oman. **Desalination and Water Treatment**, v. 176, p. 360-369, 2020.

CARVALHO, G. M.; MENDES, T. A.; GARÇÃO, A. L.; PASQUALETTO, A. Utilização de Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB) em indústria alimentícia como alternativa para tratamento de efluentes em áreas desprovidas de redes coletoras de esgotos. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 125 - 142, 2017.

DEMENIGHI, A. L.; GÓMEZ, L. A.; SOUZA, R. V. Parâmetros projetuais para implantação de sanitários secos desidratadores com desvio de urina. **Mix sustentável**, Florianópolis, v. 3, n. 3, p. 41-52, 2017.

FIGUEIREDO, I. C. S.; MIYAZAKI, C. K.; MADRID, F. J. P. L.; DUARTE, N. C.; MAGALHÃES, T. M.; TONETTI, A. L. Fossa absorvente ou rudimentar aplicada ao saneamento rural: solução adequada ou alternativa precária? **Revista DAE**, n. 220, v. 67, p. 87-99, 2019a.

FIGUEIREDO, L. C. S.; DUARTE, N. C.; COASACA, R. L.; MAGALHÃES, T. M.; BARBOSA, A. C.; PORTELA, D. G.; MADRID, F. J. P. L.; CRUZ, L. M. O.; TONETTI, A. L.; Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização. **Revista DAE**, n. 220, v. 67, p. 141-156, 2019b.

FIGUEIREDO, I. C. S.; TONETTI, A. L.; MAGALHÃES, T. M. **Tratamento de esgoto na zona rural: Tanque séptico, filtro de coco e vala de bambu**. Campinas, São Paulo: Biblioteca UNICAMP, 2018.

FIGUEIREDO, I. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2019.

FONSECA, A. R. **Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil**. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Departamento de Saúde e Saneamento Ambiental, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2008.

FRIEDRICHSEN, C.N., MONROE, M.C., DAROUB, S.H., STEPP, J.R., WANI, S.P. Impact of mental models on constructed wetland maintenance in semi-arid India, **Water Practice and Technology**, v. 15, n. 4, p. 1144-1157, 2020.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. B.; AISSE, M. M. Tratamento e utilização de esgotos sanitários Rio de Janeiro: ABES, 427 p., 2006.

GALINDO, N.; SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; GODOY, L. A.; SOARES, M. T. S.; GALVANI, F.; MARMO, C. R.; ROMERO, P. A. L. **Perguntas e respostas: fossa séptica biodigestora edição revisada e ampliada**. – São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2019. 34 p.

HERRERO, J. M. **Biodigestores unifamiliares: guía de deseno y manual de instalación**, GTZ-Energía. Bolivia, 86 p., 2008.

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

JOZWIAKOWSKI, K., MARZECA, M., ALINA KOWALCZYK-JU'SKOA, A., GIZINSKA-G'ORNA, 'M., PYTKAWOSZCZYŁOA, A., MALIKA, A., LISTOSZA, A., GAJEWSKAB, M. 25 years of research and experiences about the application of constructed wetlands in southeastern Poland. **Ecological Engineering**, v. 127, p. 440–453, 2019.

KHATTIYAVONG, C., LEE, H.S. Performance simulation and assessment of an appropriate wastewater treatment technology in a densely populated growing city in a developing country: A case study in Vientiane, Laos. **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 5, p. 1012, 2019.

LASCHEFSKI, K. **Programa Nacional de Saneamento Rural: Da delimitação territorial do “rural” para um método de localização de grupos alvo do PNSR no campo**. 61 p. 2017.

LEAL, J. T. C. P. **Tanque de evapotranspiração**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2014.

LERMONTOV, A. GOMES, M. **Saneamento sustentável em comunidades com uso de biossistemas**. Petrópolis: Grupo Águas do Brasil, 2009, 8 p.

LI, X., LI, Y., LV, D., LI, Y., WU, J. Nitrogen and phosphorus removal performance and bacterial communities in a multi-stage surface flow constructed wetland treating rural domestic sewage. **Science of the Total Environment**, 2020.

LILLO MADRID, F. J. P.; SCHNEIDER, J.; SILVA MARQUES, M. M. D.; PARIZOTTO, M. C.; FIGUEIREDO, I. C. S.; TONETTI, A. L. Vermifiltração: o uso de minhocas como uma nova alternativa para o tratamento de esgoto. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, 2019.

- LIU, J. *et al.* Phylogenetic characterization of microbial communities in a full-scale vermifilter treating rural domestic sewage. **Ecological Engineering**, n. 61, p. 100-109. 2013.
- LOMBARD-LATUNE, R.; LERQUIER, F.; OUCACHA, C.; PELUS, L.; LACOMBE, G.; GUENNEC, B.L.; MOLLE, P. Performance and reliability comparison of French vertical flow treatment wetlands with other decentralized wastewater treatment technologies in tropical climates, **Water Science and Technology**, v. 82, n. 8, p. 1701-1709, 2020.
- LUTTERBECK, C.A., ZERWES, F.V., RADTKE, J.F., KOHLER, A., KIST, L.T., MACHADO, E.L. Integrated system with constructed wetlands for the treatment of domestic wastewaters generated at a rural property – evaluation of general parameters ecotoxicity and cytogenetics. **Ecological Engineering**, v. 115, p. 1–8, 2018
- MACHADO, G. C. X. M. P.; MACIEL, T. M. F. B.; THIOLENT, M. An integral approach of ecological sanitation in traditional and rural communities. **Ciência & Saúde Coletiva**, n. 26, v. 6, 2021.
- MASSOUD, M.A.; TARHINI, A.; NASR, J.A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of Environmental Management**, v.90, p. 652-659, 2009.
- MOREIRA, F. D.; DIAS, E. H. O. Constructed wetlands applied in rural sanitation: A review. **Environmental Research**, v. 190, 2020.
- OH, K. S., LEONG, J. Y. C., POH, P. E., CHONG, M. N., LAU, E. V. A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, n. 10, p. 17-29, 2018.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. **Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social**. In: Lira, W. S.; Cândido, G. A. (Orgs.). *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa*. Campina Grande: EDUEPB, p. 213-232, 2013.
- OLIVEIRA, G. N.; LEAL, J. T. C. P. **Soluções sustentáveis para residências rurais: Fossa de evapotranspiração e círculo de bananeiras**. 2017.
- PAULO, P.L.; AZEVEDO, C.; BEGOSSO, L.; GALBIATI, A.F.; BONCZ, M.A. Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. **Ecological Engineering**, v. 50, p. 95-100, 2013.
- RODRIGUES, R. K.; GOMES, H. V.; SELVAM, P. V. P. Biossistemas integrados (B.S.I.): modelo de produção e viabilidade preliminar para reaproveitamento dos outputs gerados no agronegócio. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO *Anais: XIII SIMPEP*, 2006.
- SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Circular técnica nº 4. 63 p. 1981.
- SILVA, A. G. **Proposição de técnicas e modelos de gestão para o esgotamento sanitário em áreas rurais brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2017.
- SILVA, W. T. L. **Sistemas biológicos simplificados aplicados ao Saneamento Básico Rural**. 34 p., 2014

SILVEIRA, A. B. G. Explorando o déficit em saneamento no Brasil: evidências da disparidade urbano-rural. **Água e sociedade**, n 10, p. 37-48, 2013.

SINHA, R.K.; BHARAMBE G.; CHAUDHARI, U. Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. **Environmentalist**, n. 28, p. 409-420. 2008

SPERLING, M. V.; SEZERINO, P.H. **Dimensionamento de Wetlands construídos no Brasil. Documento de consenso entre pesquisadores e praticantes**. Florianópolis: Boletim Wetlands Brasil, 2018. 65 p.

STARKL, M.; ORNETZEDER, M.; BINNER, E.; HOLUBAR, P.; POLLAK, M.; DORNINGER, M.; MASCHER, F.; FUERHACKER, M.; HABERL, R. An integrated assessment of options for rural wastewater management in Austria. **Water Science and Technology**, v. 5, n. 56, p. 105-113, 2007.

SUPREMA. **Estudo técnico visando diagnosticar a situação dos recursos hídricos destinados à exploração de água no município de Holambra-SP, compatibilizando alternativas entre disponibilidades e demandas hídricas (Projeto águas de Holambra)**, 2013: Relatório consolidado pela SHS Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda.- EPP, Recurso Fehidro. Holambra, 2013.

THAHER, R.A., MAHMOUD, N., AL-KHATIB, I.A., HUNG, Y.-T. Reasons of acceptance and barriers of house onsite greywater treatment and reuse in Palestinian rural áreas. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 6, 2020.

TILLEY, E.; ULRICH, L.; LUTHI, C.; REYMOND, P.; ZURBRUGG, C. **Compendium of Sanitation Systems and Technologies**. 2 ed. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute Of Aquatic Science And Technology (eawag), 2014.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; PEÑA, F. J. L. M.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP: Biblioteca/Unicamp, 2018.

USEPA. **Onsite wastewater treatment systems manual**. United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., United States of America, p 367, 2002.

VON SPERLING. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

WU, S., AUSTIN, D., LIU, L., DONG, R. Performance of integrated household constructed wetland for domestic wastewater treatment in rural areas. **Ecological Engineering**, v. 37, p. 948–954, 2011.

XING, M.; YANG, J.; LU, Z. Microorganism-earthworm Integrated Biological Treatment Process – a Sewage Treatment Option for Rural Settlements. **ICID 21st European Regional Conference**, Frankfurt and Slubice, Germany and Poland, p. 15-19, 2005.

ANEXO A

Figura 1-Fossas rudimentares com fechamento precário nas comunidades de Itajá II (a) e Povoado Veríssimo (b).



Figura 2-Fossas sépticas identificadas nas comunidades de Extrema (a) e Vazante (b).



Figura 3-Fossas ecológicas encontradas na comunidade de Tarumã.



Figura 4-Fossa de pedra Tapiocanga na comunidade de Lagoa do Lago (a) e Capela (b).



Figura 5-Biodigestor encontrado na comunidade de Colônia dos Pescadores Z06 (a) e de Mesquita (b).



ANEXO B

Quadro 7-Grupos tecnológicos e possibilidade de aplicação individual ou coletiva, necessidade de área e custo para implantação.

Grupo tecnológico	Código	Alternativa tecnológica de tratamento de esgoto	Aplicação individual (I) e/ou semi-coletiva (C)	Área	Custo implantação
A	A1	Sistemas de Alagados Construídos Vertical ou Horizontal	I ou C	7.5 a 15 ¹ ; 1 a 5 ²	1500 a 2500 ³ ; 100 a 200
	A2	Sistemas de Alagados Construídos – Híbridos	I ou C	-	-
	A3	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente	I ou C	1,5 a 4 ¹ ; 0,03 a 01 ²	1500 a 2500 ³ ; 40 a 120 ⁴
	A4	Tanque Séptico	I ou C	1,5 a 4 ¹ ; 0,03 a 0,05 ²	500 a 1000 ³ ; 80 a 50 ⁴
	A5	Filtro Anaeróbio	I ou C	1,5 a 4 ¹ ; 0,2 a 0,35 ²	500 a 1000 ³ ; 160 a 300 ⁵
	A6	Filtro de Areia	I ou C	2 a 5 ¹	500 a 1000 ³
	A7	Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC)	I ou C	3 a 8 ¹	1500 a 2500 ³
B	B1	Fossa Séptica Biodigestora	I	10 a 12 ¹	1500 a 2500 ³
	B2	Biodigestor	I ou C	5 ¹	1500 a 2500 ³
	B3	Biosistema Integrado (BSI)	I ou C	25 a 100 ¹	1500 a 2500 ³
C	C1	Estocagem de Urina	I	1 a 3 ¹	< 500 ³
	C2	Banheiro Seco compostável	I	3 a 5 ¹	1500 a 2500 ³
	C3	Vermifiltro	I ou C	2 a 4 ¹	1500 a 2500 ³
D	D1	Fossa Seca	I	2 a 4 ¹	500 a 1000 ³
	D2	Círculo de Bananeiras	I	3 a 5 ¹	< 500 ³
	D3	Fossa Verde	I	7 a 10 ¹	1500 a 2500 ³

Nota: ¹: área para população de 5 habitantes; ²: área por habitante; ³: custo para população de 5 habitantes; ⁴: custo por habitante; ⁵: tanque séptico e filtro anaeróbio.

Fonte: Tonetti *et al.* (2018); Sperling (2018).

ANEXO C

Quadro 8-Percentuais das alternativas de disposição para esgoto e águas fecais nas comunidades segundo tipologia.

Tipologia	Localização	Efluente	Direto no quintal	Fossa rudimentar	Tanque séptico	Rede pública de coleta de esgoto*	Outros locais
Quilombola	Rural	Águas fecais	0,0	25,6	0,7	0,0	0,2
		Esgoto	1,0	52,9	16,0	0,0	3,6
	Urbana	Águas fecais	0,0	6,3	0,1	0,0	0,2
		Esgoto	0,0	43,7	28,8	19,6	1,0
Assentamento		Águas fecais	0,2	31,9	1,6	0,0	0,6
		Esgoto	0,8	60,8	2,0	0,0	2,0
Ribeirinha	Rural	Águas fecais	0,9	13,4	0,0	0,0	0,9
		Esgoto	0,0	78,2	4,0	0,0	2,6
	Urbana	Águas fecais	0,0	19,3	3,9	0,0	0,0
		Esgoto	0,0	55,8	1,9	0,0	19,1

Quadro 9-Percentuais das alternativas de disposição das águas cinzas da lavagem de roupas, cozinha com e sem caixa de gordura e do banheiro.

Tipologia	Localização	Destinação	Direto no quintal	Fossa rudimentar	Tanque séptico	Rede pública de coleta de esgoto*	Manancial superficial	Outros locais
Quilombola	Rural	banheiro	28,8	49,9	17,3	0,0	0,0	3,9
		cozinha (sem cx gordura)	78,8	6,3	3,3	NA	2,6	1,8
		cozinha (com cx gordura)	1,5	3,4	2,2	0,0	NA	NA
		lavagem de roupas	86,2	1,2	2,5	0,0	9,2	0,9
	Urbana	banheiro	9,3	39,6	28,9	19,8	0,0	2,3
		cozinha (sem cx gordura)	29,2	13,8	22,8	NA	0,0	2,0
		cozinha (com cx gordura)	1,6	10,5	13,2	7,0	NA	NA
		lavagem de roupas	60,6	1,4	14,5	6,7	0,0	16,7
Assentamento	banheiro	35,9	59,1	2,2	0,0	0,1	2,8	
	cozinha (sem cx gordura)	88,4	5,3	0,3	0,0	0,1	3,1	
	cozinha (com cx gordura)	1,5	1,1	0,2	0	NA	NA	
	lavagem de roupas	93,1	2,4	0,6	0,0	0,2	3,8	
Ribeirinha	Rural	banheiro	21,3	73,9	1,4	0,0	0,0	3,4
		cozinha (sem cx gordura)	71,1	19,2	0,0	NA	0,0	1,1
		cozinha (com cx gordura)	4,6	4,0	0,0	0,0	NA	NA
		lavagem de roupas	95,6	3,1	0,0	0,0	0,0	1,3
	Urbana	banheiro	24,2	52,9	2,0	0,0	0,0	20,9
		cozinha (sem cx gordura)	58,8	12,2	0,0	NA	2,0	14,6
		cozinha (com cx gordura)	6,1	6,3	0,0	0,0	NA	NA
		lavagem de roupas	89,5	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5

Quadro 10-Percentual dos domicílios classificados em déficit devido à ausência de atendimento ou sua precariedade para águas cinzas do banheiro, cozinha e lavagem de roupas; águas fecais e esgoto, e devido à ausência de banheiro; conforme tipologia de comunidade.

Tipologia	Localização	Classificação	Águas cinzas do banheiro	Águas cinza da cozinha	Águas cinzas da lavagem de roupas	Esgoto e Águas fecais	Ausência de banheiro e fossa seca
Quilombola	Rural	Sem atendimento	20,9	66,3	79,0	0,6	13,5
		Atendimento precário	0,2	1,0	0,0	68,0	
	Urbana	Sem atendimento	7,4	24,5	39,6	0,1	0,1
		Atendimento precário	0,1	1,4	0,5	50,8	
Assentamento		Sem atendimento	29,1	78,9	85,4	0,8	2,2
		Atendimento precário	0,9	0,8	0,4	90,4	
Ribeirinha	Rural	Sem atendimento	28,8	80,0	80,9	0,8	0,0
		Atendimento precário	0,9	1,8	0,9	95,1	
	Urbana	Sem atendimento	11,6	34,8	46,4	0,0	0,0
		Atendimento precário	1,9	11,5	0,0	92,3	

Quadro 11-Déficit e atendimento adequado para águas cinzas, águas fecais ou esgoto e ausência de banheiro.

Tipologia	Localização	Efluente	Déficit	Atendimento adequado
Quilombola	Rural	Águas cinzas	97,5	2,5
		Águas fecais e esgoto	68,7	17,7
		Ausência de banheiro	13,5	
	Urbana	Águas cinzas	79,0	21,0
		Águas fecais e esgoto	50,9	49,0
		Ausência de banheiro	0,1	
Assentamento		Águas cinzas	98,8	1,2
		Águas fecais e esgoto	91,4	6,4
		Ausência de banheiro	2,2	
Ribeirinha	Rural	Águas cinzas	100,0	0,0
		Águas fecais e esgoto	96,0	4,0
		Ausência de banheiro	0,0	
	Urbana	Águas cinzas	97,9	2,1
		Águas fecais e esgoto	92,3	7,7
		Ausência de banheiro	0,0	

Quadro 12-Percentuais de aplicabilidade nas comunidades rurais das tecnologias que tratam esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina, segundo os critérios pré-definidos, por tipologia e em relação ao total rural.

Efluente	Tecnologia	Quilombola	Assentamento	Ribeirinha	Total
Esgoto	B2, B3	12,6	26,7	4,2	22,1
	C3	35,1	34,3	26,6	34,2
	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7; D2	62,4	64,0	84,8	64,3
Águas fecais	B1	5,2	17,0	0,0	13,2
	B2, B3	9,5	19,7	3,6	16,4
	C3	10,3	20,5	6,2	17,2
	A3, A4, A7; D3	19,4	33,5	15,2	29,1
Águas cinzas	A1, A2, A4, D2	90,1	93,0	70,3	91,4
	C3	51,9	52,3	23,8	51,2
Excretas e urina	C1 e C2	11,6	1,5	0,0	4,1
	D1	18,2	2,5	0,0	6,6

Quadro 13-Percentuais de aplicabilidade nas comunidades urbanas das tecnologias que tratam esgoto, águas fecais, águas cinzas e fezes e urina, segundo os critérios pré-definidos, por tipologia e em relação ao total urbano

Efluente	Tecnologia	Quilombola	Ribeirinha	Total
Esgoto	B2, B3	16,7	1,9	15,5
	C3	45,3	26,9	43,8
	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7; D2	92,6	76,8	91,3
Águas fecais	B1	1,1	5,8	1,5
	B2, B3	3,7	11,6	4,4
	C3	4,7	11,6	5,3
	A3, A4, A7; D3	6,6	23,2	7,9
Águas cinzas	A1, A2, A4, D2	74,2	94,2	75,9
	C3	38,7	34,7	38,3
Excretas e urina	C1 e C2	0,7	0,0	0,6
	D1	0,8	0,0	0,7

CAPÍTULO 3-CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE TANQUE SÉPTICO COM GESTÃO INDIVIDUAL E COLETIVA

RESUMO

O tanque séptico é uma alternativa de tratamento de esgoto aplicada como solução descentralizada, cuja Manutenção e Operação (O/M) envolve atividades não rotineiras (remoção do lodo) e rotineiras. Fator importante na O/M, é a forma como é realizada a gestão, podendo ser individual ou coletiva, o que afeta os seus custos *per capita* e sua viabilidade. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi identificar o limite populacional a partir do qual o custo *per capita* das alternativas de gestão coletiva do lodo são menores do que a individual, e aplicar em comunidades rurais do estado de Goiás. Para tanto, foram determinados os custos O/M de unidades de tratamento de esgoto de tanques sépticos nas modalidades: gestão unifamiliar e unifamiliar conjunta, considerando 5 habitantes por domicílio e os custos não rotineiros, cujos preços foram levantados em empresas limpa fossa no Brasil; e gestão coletiva, a partir da variação de 20 a 2000 habitantes, levando em consideração os custos não rotineiros e rotineiros, sendo estes, atividades para O/M, com e sem controle analítico (análises físico, química e microbiológicas para controle de qualidade do efluente). As modalidades de gestão foram comparadas em dólares (US\$) *per capita*, para identificação dos limites populacionais, que foram aplicados nas comunidades rurais do Projeto Saneamento e Saúde Ambiental (SanRural), para identificação de qual gestão custa menos de acordo com o quantitativo populacional de cada uma. Assim, identificou-se que os limites populacionais em que o custo *per capita* da gestão coletiva torna-se menor, com controle analítico e caminhões de 8 m³, comparando com as soluções unifamiliar e unifamiliar conjunta, são de 218 e 1168 habitantes; e de 8 m³ < volume ≤ 16 m³, de 110 e 1278, respectivamente. Sem controle analítico, os limites foram de 37 e 198 habitantes, para caminhões de 8 m³; e de 22 e 230 habitantes, para caminhões de 8 m³ < volume ≤ 16 m³. Na gestão coletiva, a ausência do controle analítico, gera uma redução dos custos O/M totais e, na gestão individual, a conjunta possui o menor custo *per capita*. A aplicação nas comunidades do Projeto SanRural permitiu identificar que, com o controle analítico, a gestão individual é favorecida devidos aos maiores percentuais de aplicabilidade encontrados; e sem o controle, a coletiva é mais aplicável. De forma geral, a gestão unifamiliar conjunta foi a mais economicamente favorável.

Palavras –chave: Lodo. Gestão coletiva. Gestão individual. Comunidades rurais.

3.1 INTRODUÇÃO

A aplicação de soluções descentralizadas em comunidades rurais e/ou isoladas permite o tratamento e a disposição do efluente próximo do local onde é gerado, para pequenos aglomerados de pessoas ou de forma individual (THAETER *et al.*, 2020). Dentre as alternativas, no Brasil, é comum os sistemas descentralizados locais serem compostos por tanques sépticos (TS) para tratamento dos efluentes (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013), sendo também, a segunda alternativa mais utilizada em áreas rurais (16%), depois das fossas rudimentares (64%), segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no ano de 2010 (IBGE, 2010).

O tanque séptico é uma tecnologia que permite a sedimentação de sólidos em suspensão, remove parcialmente a matéria orgânica dissolvida, sendo gerado lodo ao fundo da unidade (VON SPERLING, 2018). Como não permite a remoção de nitrogênio de forma eficiente, o lançamento do seu efluente em corpos d'água pode contaminá-lo (USEPA, 2002). Assim, necessita ser utilizado em associação à outras tecnologias, para o tratamento de esgoto, águas cinzas ou fecais (VON SPERLING, 2018).

No entanto, quando não ocorre sua operação e manutenção (O/M) adequada, problemas como extravasamentos (BRASIL, 2019; KIHILA; BALENGAYABO, 2020) e entupimentos, podem levar à contaminação do solo, lençol freático e/ou cursos d'água, bem como, às condições insalubres que geram riscos à saúde das populações (BRASIL, 2019).

Sendo assim, é fundamental a realização das atividades de (O/M), cujos custos podem ser divididos entre não rotineiros, que são os relacionados à gestão do lodo; e rotineiros, que envolvem atividades de limpeza da área da unidade, manutenção de obras civis e controle analítico (BRASIL, 2020a). Este controle se refere aos ensaios físicos, químicos e microbiológicos exigidos pela legislação vigente (MIGUEL *et al.*, 2010), sendo no Brasil as Resoluções Resoluções CONAMA n. 430/2011 (BRASIL, 2011) e n. 357/2007 (BRASIL, 2007), que dispõem sobre os padrões de lançamento de efluentes e enquadramento de corpos receptores, respectivamente.

Ademais, os custos com a gestão podem ser analisados na modalidade individual ou coletiva, de acordo com os fatores que os influenciam, como apontam os estudos (PIO LOMBARDO,

2007; DODANE *et al.*, 2012; JUNG; NARAYANAN; CHENG, 2018; GAJEWSKA *et al.*, 2016; KERSTENS; LEUSBROCK; ZEEMAN, 2015; WOOD, 2015). Para sistema coletivo composto por tanque séptico seguido por filtros, foi apontado que os requisitos operacionais e de manutenção, consistem em visitas mensais de rotina e controle analítico das unidades do sistema, conforme Pio Lombardo (2007). Dodane *et al.* (2012) realizaram o cálculo do custo de O/M considerando os atores envolvidos no processo: i) usuários de nível doméstico de tanque séptico, ii) as empresas de coleta e transporte privado para esvaziamento do lodo; e iii) a instalação de tratamento. Os custos de operação foram distribuídos entre as três partes interessadas, sendo a taxa paga ao serviço de coleta o único custo para a gestão do lodo pago pelos usuários. Além do mais, é importante considerar a variação da quantidade de domicílios atendidos para identificar o menor custo de sistemas coletivos descentralizados conforme realizaram Jung, Narayanan e Cheng (2018).

Para sistemas individuais, por sua vez, estudos apontam para a precificação com enfoque no valor gasto com as empresas que coletam o lodo (GAJEWSKA *et al.* 2016; KERSTENS; LEUSBROCK; ZEEMAN, 2015; WOOD, 2015). Ademais, uma avaliação de mercado para identificar os serviços de esvaziamento de tanques sépticos, permite o levantamento dos custos mais cobrados na região de estudo disponíveis à população, conforme Peletz *et al.* (2020).

Complementarmente, fatores como o volume do tanque séptico e o número de moradores que o utilizam (BOOT; SCOTT, 2009); bem como, a distância entre o local de descarte do material e localização da unidade de tratamento, afetam o custo para gestão do lodo (PELETZ *et al.*, 2020). A coleta, segundo a NBR 7229 (ABNT, 1993), pode ser de forma manual ou por meio de um caminhão limpa fossa, responsável por transportar o resíduo coletado até o local de tratamento, que pode ser uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ou um ponto intermediário da rede (ANDREOLI, 2009).

Assim, a dimensão em que gestão pode ocorrer, podendo ser no âmbito domiciliar (individual), em que cada indivíduo contribui, ou ainda, local, que considera a colaboração da comunidade (coletividade) (BRASIL, 2019), influencia na sustentabilidade financeira dos serviços, a partir da capacidade de pagamento por parte dos usuários (BRASIL, 2013), de forma que o quantitativo populacional afeta o valor dos custos *per capita*, podendo levar à soluções com maior ou menor economia de escala (MIGUEL *et al.*, 2010)

Sendo assim, considerando que o tanque séptico é atualmente uma tecnologia presente em áreas rurais, o estudo de soluções para (O/M) destas unidades, a partir da possibilidade de gestão individual ou coletiva, torna-se relevante. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo identificar o limite populacional a partir do qual o custo *per capita* das alternativas de gestão coletiva do lodo são menores do que a individual, e aplicar em comunidades rurais do estado de Goiás.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 Condições gerais

Foram calculados os custos de (O/M) para unidades de tratamento de esgoto individuais e coletivas, compostas por tanque séptico, admitindo-se que este segue os parâmetros técnicos da NBR 7229 (ABNT, 1993), de forma a permitir o atendimento dos padrões de lançamento de corpos receptores, considerando que, adicionalmente, seria implantada uma unidade de tratamento complementar, de acordo com a NBR 13969 (ABNT, 1997). Adotou-se que as soluções coletivas possuem uma etapa preliminar de tratamento e realizam o lançamento do efluente em corpo receptor.

Foram consideradas três modalidades de gestão: unifamiliar, em que cada família seria responsável pela operação e manutenção; unifamiliar conjunta, em que as famílias se uniriam para realizar a gestão. Nestas categorias, foi precificada apenas a coleta do lodo (custos não rotineiros) e considerada uma população de 5 habitantes em cada domicílio. A última modalidade é a gestão coletiva, em que toda a comunidade seria atendida por uma solução, e os custos seriam dados pelo somatório dos rotineiros e não rotineiros, com população a partir de 20 até 2000 habitantes.

Foi adotado que em cada limpeza de tanque séptico, todo o volume da unidade seria recolhido (ANDREOLI, 2009; TONETTI *et al.*, 2018; CARRARD, JAYATHILAKE E WILLETTS, 2021). Sendo assim, para dimensionamento do volume do tanque séptico, utilizou-se as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993), com intervalo de limpeza de 1 ano, lodo fresco de 1 litro/pessoa.dia e contribuição de 100 L/hab.dia, considerando que este valor é o

comendado para residências de baixo padrão e há um baixo consumo de água identificado em comunidades rurais do Brasil entre 70 a 93 litros por pessoa (SILVA *et al.*, 2019).

3.2.2 Custo não rotineiros

Os custos não rotineiros são aqueles relacionados à coleta e disposição do lodo, que pode ser realizada por empresas limpa fossas. A sua determinação pode ser realizada a partir de um levantamento de custos cobrados no mercado local, conforme Peletz *et al.* (2020) e Dubber e Gil (2014). Sendo assim, foi efetuada consulta aos preços cobrados por empresas limpa fossas nas 5 regiões do Brasil (Centro Oeste, Sudeste, Sul, Norte e Nordeste), sendo selecionadas aquelas que realizam o descarte em ETEs, conforme informado por companhias de saneamento do Brasil; ou ainda, dentre as que possuem licença ambiental de operação, de acordo com portais oficiais de licenciamento dos estados.

Para permitir a comparação dos valores, foi utilizada como referencial de distância de ida entre a região da coleta do lodo e a localização da ETE, a distância média das comunidades rurais do projeto SanRural aos municípios, resultando em 35 km. Desta forma, calculou-se a média, desvio padrão e coeficiente de variação dos custos levantados, segundo faixas de volumes dos caminhões informadas.

3.2.3 Custos Rotineiros

Os custos rotineiros são os relacionados às atividades de limpeza da área da unidade de tratamento, manutenção de obras civis e controle analítico (BRASIL, 2020a). Neste trabalho foram calculados apenas para os sistemas coletivos, sendo consideradas as referências BRASIL (2020a) e Miguel *et al.* (2010) com a descrição das atividades de: limpeza da grade e desarenador, inspeção e medição de lodo e espuma, manutenção de obras civis e controle analítico. O tempo de realização dos serviços foi adotado de acordo com a população, conforme disposto no Manual para instalação de sistemas de tratamento de esgoto em pequenas populações, que apresenta frequências para populações de 50, 100 e 200 habitantes (MIGUEL *et al.*, 2010). No caso da limpeza do desarenador, foi adotado um aumento do tempo de serviço proporcional ao aumento populacional. Os parâmetros adotados seguem no Quadro 14.

Quadro 14-Frequência de realização de atividades de manutenção de unidades de tratamento de esgoto compostas por tanque séptico segundo a população e custos unitários.

Atividade	Frequência	Quantidade	Custo unitário	Fonte dos custos unitários
Limpeza grade	1 vez/semana	0,17 horas	22,24 R\$/hora	SANEAGO, adaptada ao SINAPE (2021)
Inspeção e medição de espuma e lodo	1 vez/ano	1 hora	22,24 R\$/hora	SANEAGO, adaptada ao SINAPE (2021)
Manutenção de Obras civis	1 vez/semana	0,5 horas	22,24 R\$/hora	SANEAGO, adaptada ao SINAPE (2021)
Controle Analítico	4 vezes/ano	0,5 horas	22,24 R\$/hora	SANEAGO, adaptada ao SINAPE (2021)
Limpeza do desarenador	1 vez/semana	0,17 horas (50 hab.), 0,20 horas (100 hab), 0,25 horas (200 hab)	22,24 R\$/hora	SANEAGO, adaptada ao SINAPE (2021)
Deslocamento	1 vez/semana	70 km por ida	6,095/litro (médio)	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2021)

Para quantificação do custo de trabalho para realização das atividades do Quadro 14, com exceção do controle analítico, foi utilizado o custo horário de um operário no valor de 22,24 R\$/hora, conforme tabela de preços da SANEAGO, adaptada ao SINAPE (2021). O custo com o deslocamento do operário foi dado com base na quantidade de deslocamentos anuais e a distância até a unidade de tratamento (considerada a mesma aplicada para levantamento dos custos de coleta do lodo, no valor de 35 km). Assim, assumiu-se um deslocamento máximo de 70 quilômetros (ida e volta), e preço médio do combustível de R\$ 6,09, conforme intervalo de preços de R\$ 4,99 à R\$ 7,19 de agosto de 2021, segundo Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Em relação ao controle analítico, a NBR 9897 (ABNT, 1987), que dispõe sobre planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores, recomenda que para pouca variação das características dos efluentes, são necessárias poucas amostras. Também, conforme Resoluções CONAMA n. 430/2011 (BRASIL, 2011) e n. 357/2007 (BRASIL, 2007), que dispõem sobre os padrões de lançamento de efluentes e enquadramento de corpos receptores, respectivamente, o órgão ambiental competente estabelecerá os critérios e procedimentos para a execução e averiguação do automonitoramento de efluentes e avaliação da qualidade do corpo receptor. Para fontes de baixo potencial poluidor, definidas pelo órgão ambiental, pode ser dispensada esta atividade, com fundamentação técnica.

Sendo assim, considerando que as unidades de tratamento estariam de acordo os parâmetros de dimensionamento preconizados pela NBR 7229 (ABNT, 1993), e que seria utilizada uma unidade complementar para pós-tratamento dos efluentes do tanque séptico, o que permite o lançamento em corpos d'água conforme NBR 13696 (ABNT, 1997), foram adotados dois cenários para análise: i) com controle analítico; e ii) sem controle analítico.

No primeiro (i), a frequência de amostragem dos corpos receptores e do efluente utilizada para pequenas ETEs foi a disponível em Miguel *et al.* (2010), de 4 vezes ao ano, sendo considerado apenas um ponto de amostragem.

Para os custos analíticos, foram utilizados valores disponíveis na Resolução Normativa 162/2019 para a Companhia de Saneamento do Estado de Goiás (AGR, 2019), que dispõe sobre a tabela de preços e prazos de serviços públicos especiais de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestado pela SANEAGO em Goiânia e região metropolitana, Distrito Federal e interior (Tabela 3). O preço utilizado foi o referente a categoria interior. Ressalta-se que os custos são referentes a diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Tabela 3-Valores cobrados pela Companhia de Saneamento de Goiás para realização de ensaios na água de manancial superficial no interior do Estado.

Análise	Valor (R\$)
Físico-química	1920,41
Bacteriológica	554,33
Hidrobiológica (fitoplancton e colorofila a)	1119,69

Como a Resolução Normativa 162/2019 (AGR, 2019) não dispõe dos preços relacionados a todos os ensaios necessários para efluente de ETE, conforme Resolução CONAMA n. 430/2011 (BRASIL, 2011), estes foram levantados, em empresa que realiza os ensaios necessários para controle dos parâmetros dos efluentes, e atende o interior do estado de Goiás, creditada pelo INMETRO. O custo levantado foi no valor de R\$ 300,25, não sendo considerado o custo com o deslocamento. Para análise dos resultados, os custos foram convertidos para euros (€) com cotação de 6,31 (R\$), no ano de 2021.

3.2.4 Comparação das alternativas de gestão

Para comparação das alternativas de gestão, os custos totais de O/M foram apresentados em base *per capita* nas três categorias de gestão, permitindo a identificação dos limites

populacionais em que o custo *per capita* das alternativas de gestão coletiva seriam menores. Também, foram considerados os volumes uteis de caminhões mais frequentemente identificados no levantamento junto às empresas.

Para os sistemas coletivos, os custos de (O/M) totais resultaram da soma dos custos rotineiros e não rotineiros. Neste caso, o custo para coleta do lodo foi dado de acordo com o volume do tanque séptico, considerando a quantidade de viagens necessárias, pois está relacionada ao volume que o caminhão pode coletar por dia, bem como, a demanda necessária a ser coberta na área de atendimento, conforme abordaram Carrard, Jayathilake e Willetts, (2021). Foi utilizado o volume máximo do caminhão para determinação do número de viagens, dentro da faixa de volumes identificados. Para a gestão individual, foi considerado apenas o custo com a coleta do lodo e estipulada a necessidade de apenas uma viagem anual. Os custos em reais foram convertidos para dólares (US\$) com a cotação de 5,61 (R\$).

3.2.5 Aplicação nas comunidades do projeto SanRural

O Projeto Saneamento e Saúde Ambiental (SanRural), formalizado por meio do TED 05/2017 com a Fundação Nacional da Saúde (FUNASA), realizou o diagnóstico acerca de condições de saúde e saneamento em comunidades rurais e tradicionais do Estado de Goiás, com o objetivo de identificar as soluções praticadas, propor tecnologias para o saneamento e elaborar os Planos de Segurança de Saneamento. Foram diagnosticadas 99 comunidades rurais, dentre ribeirinhas, quilombolas e assentamentos.

Conforme os limites populacionais levantadas em que os custos de gestão das modalidades individuais e coletiva seriam menores, foi identificado, no âmbito do Projeto SanRural, a porcentagem de comunidades em que os custos O/M *per capita* com a gestão unifamiliar, unifamiliar conjunta ou coletiva, seriam menores, tendo como base o número de habitantes de cada uma. Os resultados foram apresentados segundo tipologias rurais (quilombolas, assentamentos e ribeirinhas).

A análise foi realizada considerando um cenário em que cada município cumprisse o disposto na Lei 14026/2020 (BRASIL, 2020b), que dispõe sobre o marco legal do saneamento, e exige sobre a obrigatoriedade do tratamento do esgoto (ETE) gerado pelos municípios. Assumiu-se que cada município teria uma ETE, sendo que esta receberia o lodo coletado dos caminhões

limpa fossa. Para isso, foi admitido que na concepção das unidades de tratamento de esgoto dos municípios, a carga adicional de lodo a ser recebida seria considerada para não prejudicar o tratamento do esgoto (FLORENCIO; BASTOS; AISSÉ, 2006). Os critérios assumidos seguem no Quadro 15.

Quadro 15-Critérios assumidos para determinação dos custos operacionais de lodo.

Critério	Descrição	Justificativa
Local de disposição final	Estação de tratamento de esgoto do município, em que a disposição do lodo não afetaria a capacidade do tratamento considerando o quantitativo populacional que atenderia.	A titularidade dos serviços de saneamento deve ser exercida pelos Municípios, sendo a universalidade dos serviços uma exigência (Lei 14026/2020)
Área atendida	A região de atendimento seria não somente a comunidade em estudo, mas toda a zona rural do município.	Necessidade de adoção de soluções adequadas para atendimento em áreas rurais, considerando as peculiaridades sociais e econômicas (Lei 14026/2020) e também necessidade de se garantir meios adequados para atendimento das populações rurais (Lei 11445/2007)

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Custos não rotineiros

O levantamento de informações de empresas limpa fossa permitiu identificar o preço cobrado para coleta, transporte e disposição final de 23 empresas. De forma geral, foi informado que se cobrava apenas pela viagem do caminhão até o local solicitado, não interferindo o volume de lodo coletado. Os preços foram agrupados conforme volume dos caminhões em faixas, de acordo com o informado durante a coleta de dados, conforme Tabela 4.

Tabela 4-Preços médios, desvio padrão, coeficiente de variação e dispersão conforme valores identificadas por faixa de volume dos caminhões limpa fossa.

Faixa do volume útil do caminhão (m³)	Preço médio (R\$)	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Dispersão
8	478,33	88,33	0,18	Média
8 < volume ≤ 16	890,87	366,27	0,41	Muito alta
16 < volume ≤ 25	983,33	370,37	0,38	Muito alta
Volume > 25	2025,00	525,00	0,26	Alta

Conforme classificação de Gomes (1990), a dispersão dos preços para caminhões com volume útil do tanque de até 8 m³ foi considerada média (0,18), o que indica que neste caso a diferença praticada entre as regiões brasileiras não é alta. Já para volume acima de 25 m³, tem alta

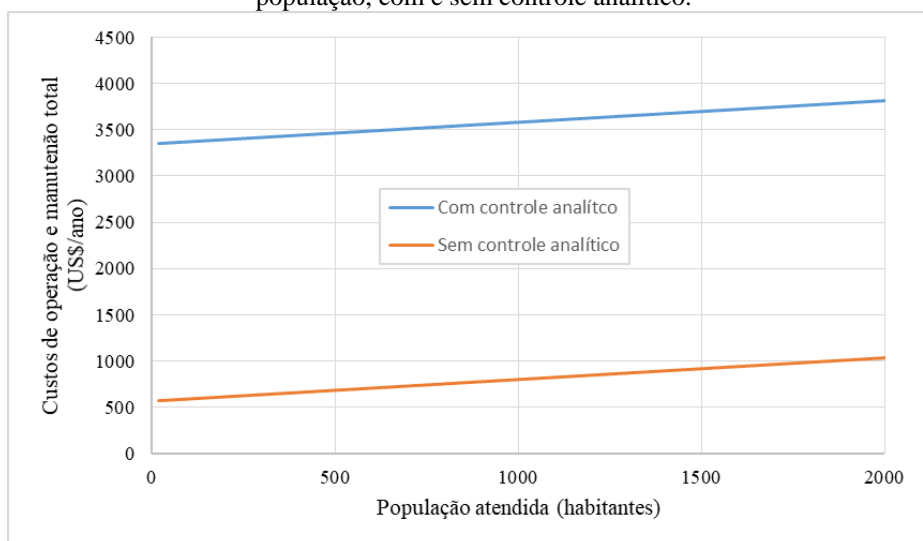
dispersão (0,26), e nas faixas de $8 \text{ m}^3 \geq \text{volume} > 16 \text{ m}^3$ e $16 \text{ m}^3 \geq \text{volume} > 25 \text{ m}^3$, foi considerada muito alta. Assim, os custos para a coleta do lodo (não rotineiros) identificados junto às empresas, apresentaram variabilidade predominantemente alta entre as diferentes regiões brasileiras, o que pode influenciar o custo com a gestão do lodo em cada localidade.

Isto acontece pois conforme Andreoli (2009), em cada região geográfica do Brasil, existem faixas variáveis de preços para a coleta e transporte do lodo, o que é associado a: i) pouca divulgação, por parte das empresas limpa fossa, sobre o volume de lodo coletado; e ii) distância realmente percorrida, que variam segundo a área de atuação da empresa, capacidade de pagamento e concorrência local.

3.3.2 Custos Rotineiros

Os custos de O/M com gestão coletiva, com e sem controle analítico, das unidades de tratamento de acordo com o aumento populacional, seguem na Figura 11. Os custos obtidos para quando há o controle analítico, são US\$ 2.776,96 mais caros.

Figura 11-Custos operacionais e de manutenção de unidades de tanque séptico coletivas, de acordo com a população, com e sem controle analítico.



Os valores encontrados, considerando o controle analítico, são superiores aos resultados referentes aos custos de operação e manutenção de uma ETE composta por tanque séptico e tratamento preliminar, apresentados por Miguel *et al.* (2010), atualizados para o ano de 2021 nos índices IPCA e IGP-M, conforme Tabela 5. O que pode ser justificado pelos diferentes

custos com mão de obra entre as localidades e deslocamento dos operários, afetado pelo preço do combustível.

Tabela 5-Custos operacionais do tanque séptico, sem a gestão do lodo, calculado e disponibilizados na literatura.

Fonte	Moeda	Ano/índice	Custos de operação e manutenção de acordo com a população			
			50.00	100.00	200.00	
			Literatura	Miguel (2010)	€	2021 (IPCA)
		€	2021 (IGP-M)	2965,05	2968,27	3011,75
Calculado	Figura 11 (Com controle analítico)	€	2021	3003,08	3008,58	3019,58
	Figura 11 (Sem controle analítico)	€	2021	513,57	524,10	545,18

3.3.3 Comparação das alternativas de gestão

O resultado dos custos da O/M anuais para as alternativas de gestão unifamiliar, em caminhões com tanque de volume útil de 8 m³, é de 17,01 US\$/habitante; e na faixa: 8 m³ < volume ≤ 16 m³, de 31,76 US\$/habitante. Os resultados se aproximam aos encontrados por Wood *et al.* (2015), que apresentam os custos de O/M para unidades individuais de tanques sépticos, calculados em Massachusetts (Estados Unidos), que incluíam a remoção de lodo anualmente e diferentes características assumidas para o efluente. Dessa forma, foram encontrados valores de 190 \$/casa, 260 \$/casa e 300 \$/casa, o que equivale a 22,8, 33,97 e 39,19 US\$/habitante, para o ano de 2021, considerando uma casa com 5 pessoas.

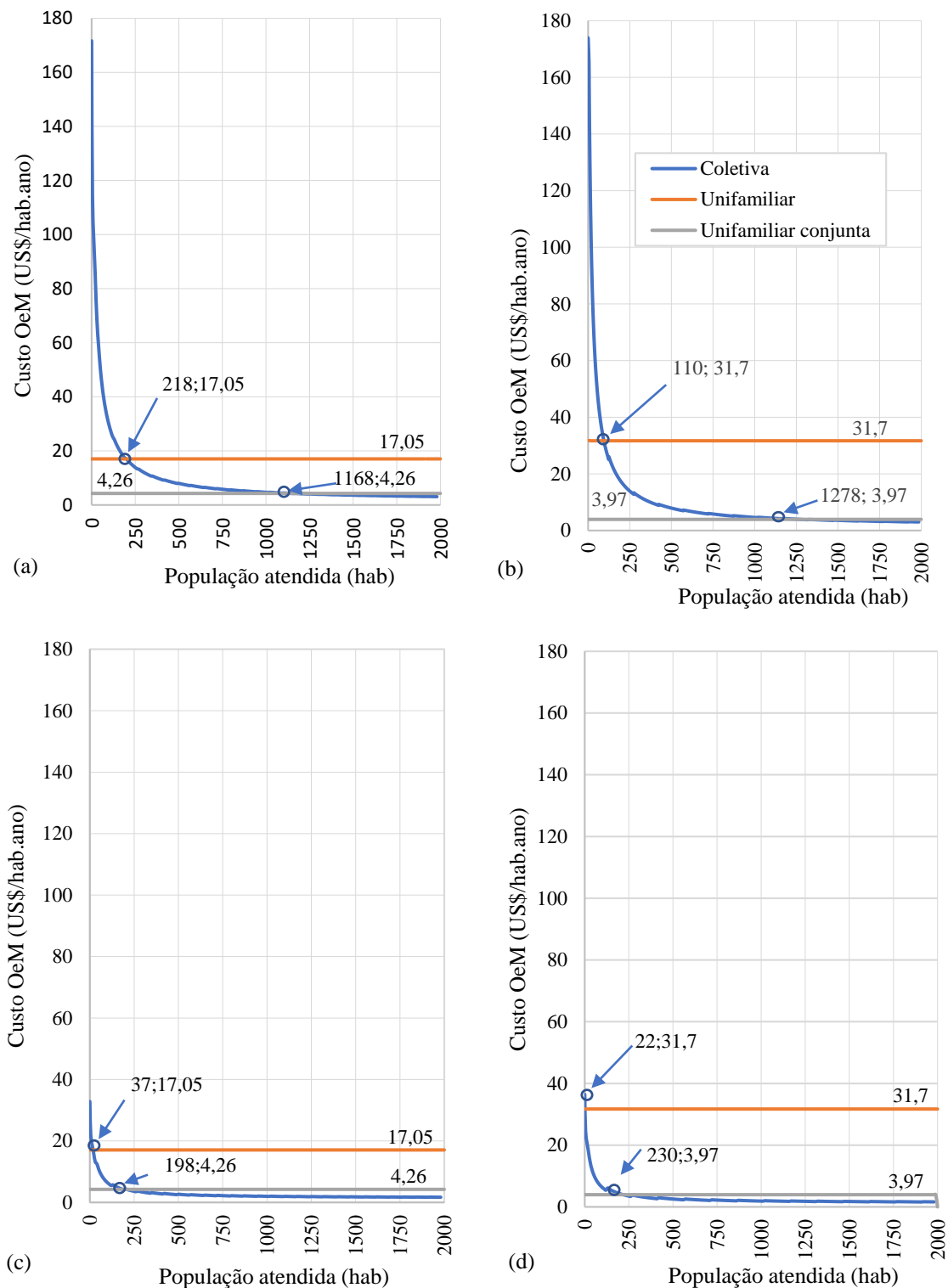
Considerando a gestão unifamiliar conjunta, a partir dos custos (Tabela 6), verifica-se, no atendimento individual, que o custo *per capita* para a gestão unifamiliar conjunta foi mais barato.

Tabela 6-Custos *per capita* para soluções individuais com gestão unifamiliar conjunta.

Volume do caminhão (m ³)	8	Acime de 8 até 16
Número máximo de casas atendidas	4	8
Número de pessoas atendidas	20	40
Custo compartilhado (Dólar/hab)	4,26	3,97

A Figura 12 apresenta a comparação dos custos de O/M *per capita* anual de sistemas de tanques sépticos com gestão coletiva (rotineiros e não rotineiros) e individuais (não rotineiros), conforme população, e de acordo com o volume do caminhão e a realização ou não do controle analítico.

Figura 12-Custos de O/M *per capita* anual de sistemas de tanques sépticos com gestão coletiva e individual, conforme população, com coleta em caminhão de 8 m³ (a) e 8m³ à 16m³ (b), considerando o controle analítico, e em caminhão de 8 m³ (c) e 8m³ à 16m³ (d), sem controle analítico.



Quando é realizado o controle analítico, na coleta por caminhão de volume útil de 8 m^3 , os resultados indicam que a partir de 218 habitantes (Figura 12a) a gestão coletiva tem custo *per capita* menor do que a unifamiliar; e para o caminhão na faixa de $8 \text{ m}^3 < \text{volume} \leq 16 \text{ m}^3$, é a partir de 110 habitantes (Figura 12b). Essa redução da população, ocorre conforme o aumento do volume do caminhão, pois em volumes maiores, há menor quantidade de viagens para coleta do lodo, o que torna os custos *per capita* da gestão coletiva menores, favorecendo-a em menor número de habitantes.

Para a gestão unifamiliar conjunta, é a partir de 1168 habitantes (Figura 12a) que o custo *per capita* com a gestão coletiva se torna menor para caminhões de 8 m^3 , enquanto para os veículos na faixa de $8 \text{ m}^3 < \text{volume} \leq 16 \text{ m}^3$, é a partir de 1278 habitantes (Figura 12b). De acordo com estes dados, ocorre um aumento na população identificada conforme maior o volume do caminhão, uma vez que, na unifamiliar conjunta, em caminhões de volumes maiores, os custos são distribuídos por mais pessoas devido a capacidade de atendimento de maior número de casas, o que torna o custo *per capita* menor.

Na ausência de controle analítico, os custos de O/M anuais *per capita* da gestão unifamiliar e unifamiliar conjunta, com coleta por caminhão de 8 m^3 , superam os de gestão coletiva a partir de 37 e 198 habitantes (Figura 12c), respectivamente. Para caminhões de $8 \text{ m}^3 < \text{volume} \leq 16 \text{ m}^3$, é a partir de 22 e 230 habitantes (Figura 12d), respectivamente. Observa-se a redução dos limites populacionais na gestão unifamiliar e aumento na gestão unifamiliar conjunta conforme aumento do volume do caminhão, que ocorre da mesma forma e pelos mesmos motivos apresentados para quando há controle analítico.

Observa-se nos gráficos da Figura 12, que o custo apresenta comportamento oscilatório em que ascende e decresce, conforme crescimento populacional. Isto ocorre em todos os custos, quando, em determinados intervalos, o aumento populacional não afeta a quantidade de viagens necessárias para coleta do lodo, devido a pouca variação no volume do lodo: nestes trechos o custo decai, uma vez que a população cresce, mas o preço da coleta do lodo permanece o mesmo. A partir de um dado número de habitantes, torna-se necessária mais uma viagem do caminhão, aumentando o preço novamente.

Em resumo, o Quadro 16 contém os limites populacionais a partir dos quais o custo *per capita* da gestão coletiva torna-se menor. Observa-se que, no âmbito coletivo com controle analítico,

as alternativas para gestão individuais são favorecidas, pois o custo *per capita* da gestão coletiva é superior. Por outro lado, na ausência do controle, as alternativas coletivas podem ser favorecidas.

Comparando as modalidades individuais, a conjunta tem menor custo do que a exclusivamente unifamiliar, uma vez que, o custo para coleta do lodo poderá ser dividido entre maior número de habitantes, segundo a capacidade do caminhão em uma única viagem. Também, como os custos *per capita* da gestão conjunta são inferiores, o limite populacional em que a gestão coletiva é mais barata, será sempre maior do que o limite obtido quando se compara com a unifamiliar (Quadro 16). As demais comparações constam no Anexo A.

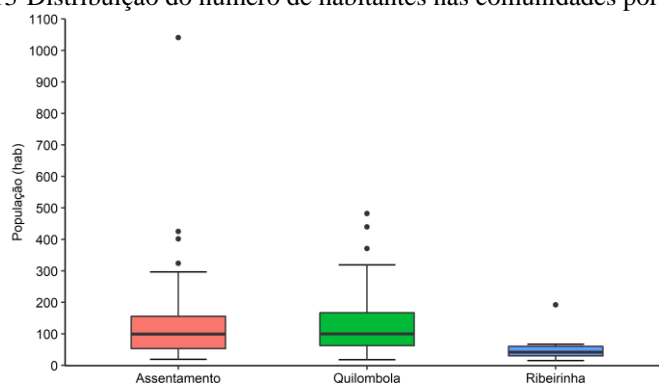
Quadro 16-Limites populacionais em que a gestão coletiva torna-se mais barata que as individuais, segundo volume útil do tanque do caminhão.

Controle analítico	Categoria	Limite populacional (habitantes)	
		Faixa de volume (V) do caminhão	
		V = 8 m ³	8 m ³ < V ≤ 16 m ³
Com	Unifamiliar	218	110
	Unifamiliar conjunta	1168	1278
Sem	Unifamiliar	37	22
	Unifamiliar conjunta	198	230

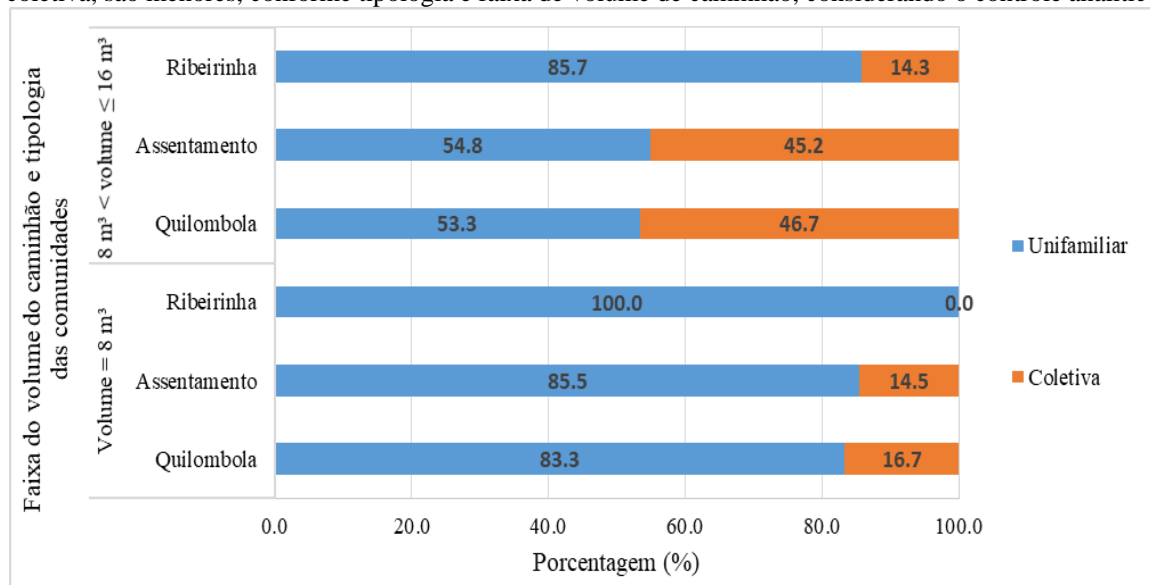
3.3.4 Aplicação nas comunidades do projeto SanRural

A distribuição do número de habitantes, conforme tipologia, segue na Figura 13. Para os assentamentos, a população total se concentra entre 156 e 53 pessoas; nas comunidades quilombolas entre 62 e 170, e nas ribeirinhas entre 30 e 60. Assim, nesta última, o contingente populacional é menor. Existem algumas comunidades, com contingente populacional, considerados *outliers*, ou seja, um valor atípico perante as demais comunidades. Assim, no assentamento Canudos a população é de 1041 pessoas, em Presente de Deus de 440, em São Salvador 425 e em Umuarama de 324. Já nas comunidades quilombolas de Diadema, Engenho 2 e Canabrava, é de 440, 482 e 319 habitantes, respectivamente. Por fim, somente a comunidade ribeirinha Itacaiú, com 192 habitantes, esteve como *outliers*.

Figura 13-Distribuição do número de habitantes nas comunidades por tipologia.



A Figura 14 apresenta o percentual de comunidades por tipologia, em que os custos *per capita* da gestão coletiva e unifamiliar são menores, considerando a quantidade de habitantes, e a realização de controle analítico, de acordo com o volume útil do caminhão. Nestas condições, a gestão unifamiliar tem custo menor em 83,3% das comunidades quilombolas, 85,5% dos assentamentos, e 100% das ribeirinhas para caminhões de 8 m³. Para caminhões com tanques de volume útil na faixa: 8 m³ < volume ≤ 16 m³, estes percentuais decaem, sendo em 53,3%, 54,8% e 85,7%, respectivamente. Dessa forma, para volume útil de caminhões maiores, a gestão coletiva pode ser favorecida nas comunidades estudadas, na hipótese da realização de controle analítico.

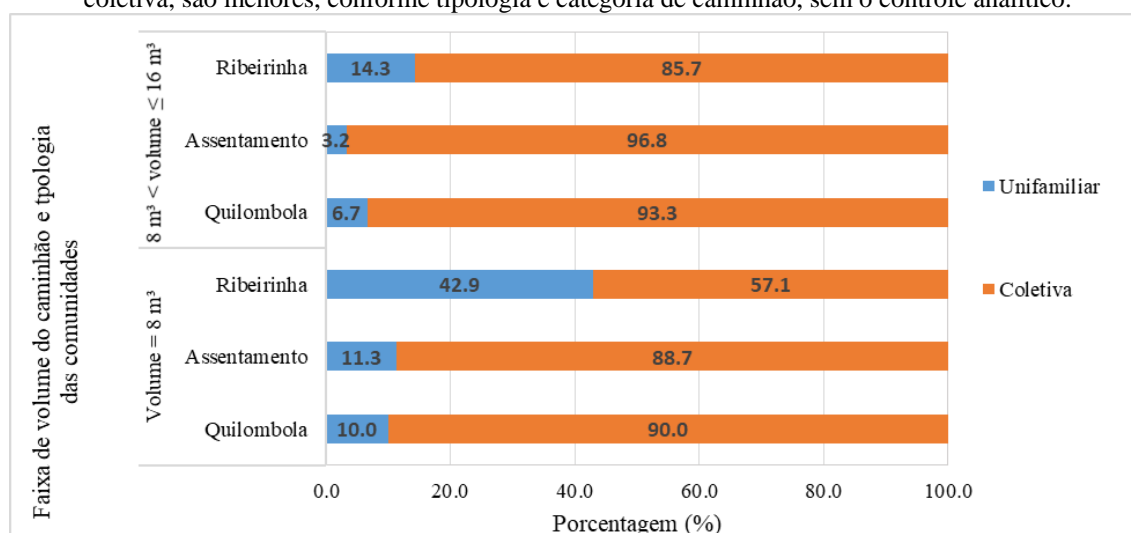
Figura 14-Percentual de comunidades, em que os custos *per capita* das modalidades de gestão unifamiliar e coletiva, são menores, conforme tipologia e faixa de volume de caminhão, considerando o controle analítico.

Para o cenário em que não há controle analítico, o custo *per capita* com a gestão coletiva seria menor: para caminhões de 8 m³, em 90,0%, 88,7% e 57,1% das comunidades quilombolas,

assentamentos e ribeirinhas, respectivamente. Para os caminhões com tanques de volume útil na faixa: $8 \text{ m}^3 < \text{volume} \leq 16 \text{ m}^3$, em 93,3%, 96,8% e 85,7% das tipologias, respectivamente (Figura 15). Nestas condições, o manejo do lodo de forma coletiva é mais favorável nas comunidades.

Esta gestão coletiva é recomendada, conforme pontuado por Laschefski (2017), para as tipologias ribeirinhas e quilombolas, por meio de gestão e governança das soluções de saneamento dentro da comunidade e eventualmente, por meio do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR), que é um modelo de gestão compartilhada em que vários entes contribuem; e para os assentamentos, por meio do SISAR ou a autogestão coletiva. Pelos resultados encontrados na pesquisa, a gestão coletiva seria mais favorecida nos assentamentos.

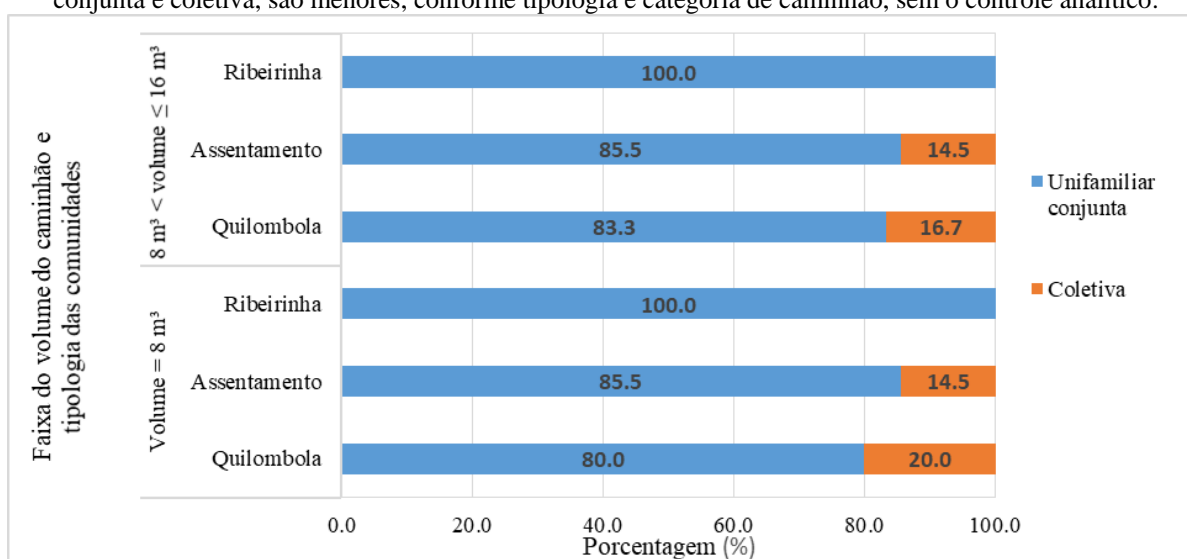
Figura 15- Percentual de comunidades, em que os custos *per capita* das modalidades de gestão unifamiliar e coletiva, são menores, conforme tipologia e categoria de caminhão, sem o controle analítico.



Este atendimento coletivo também pode ocorrer a partir da organização das comunidades em associações comunitárias, considerando a bacia hidrográfica a que pertencem. Assim, por meio de contribuições mensais (tarifas) é realizada a manutenção dos sistemas, permitindo a auto sustentabilidade, melhoria da qualificação de técnicos, educação associativa, sanitária e ambiental em todos os níveis (LIMA, 2018; SARMENTO, 2001). No entanto, a falta de pagamento das tarifas pode prejudicar o atendimento coletivo, sendo apontadas como soluções aplicadas pelo SISAR, de acordo com Sarmiento (2001): incentivos pecuniários às comunidades com menor inadimplência e promoção de campeonatos de futebol entre as comunidades com menores inadimplência.

Em relação à gestão unifamiliar conjunta, foi identificado que, no cenário em que há controle analítico, seu custo *per capita* é menor em todas as comunidades em comparação à gestão coletiva; e sem a realização do controle, conforme aponta a Figura 16, seria majoritariamente menor, com exceção, para coleta em caminhão de 8 m³, em 20,0% e 14,5% das comunidades quilombolas e assentamentos, respectivamente, e para caminhões na faixa de 8 m³ < volume ≤ 16 m³, em 16,7% e 14,5%, respectivamente, nas quais a coletiva seria mais viável.

Figura 16- Percentual de comunidades, em que os custos *per capita* das modalidades de gestão unifamiliar conjunta e coletiva, são menores, conforme tipologia e categoria de caminhão, sem o controle analítico.



Assim, de forma geral, o manejo do lodo de forma unifamiliar conjunta é mais economicamente favorável nas comunidades. No entanto, nestas categorias de gestão, deve ser dada atenção junto aos moradores das comunidades, uma vez que nelas, a responsabilidade, que é do poder público, passaria a ser exercida totalmente pela população, o que poderia sobrecarregar os moradores ou grupo de responsáveis. Assim, é importante a participação da população, mas também, dos diversos setores da sociedade e esfera pública (BRASIL, 2019).

Dessa forma, é fundamental também a divulgação de conhecimento acerca de aspectos operacionais e tecnológicos e eventuais demandas ou necessidades para o funcionamento adequado das soluções (SILVA, 2017), uma vez que compreensões equivocadas sobre a concepção da tecnologia e seu funcionamento, além de atividades de manutenção e operação não adequadas à capacidade técnica da área rural, são fatores que prejudicam a efetividade da solução (FRIEDRICHSEN *et al.*, 2020).

Apesar de muitos municípios não possuírem estações para o tratamento do esgoto, considerando o objetivo de universalização do saneamento básico para populações rurais e urbanas, expressos na Lei 14026/2020, é razoável a hipótese de que, em um futuro próximo, os municípios deverão possuir estas unidades, que poderão receber o lodo coletado de tanques sépticos presentes tanto em meio urbano, quanto em meio rural; bem como, lodos de fossas rudimentares, caso implantadas adequadamente. Assim, seria possível o recebimento do lodo de alternativas individuais ou coletivas, conforme a mais favorável.

3.4 CONCLUSÃO

Os resultados do levantamento dos custos de coleta e transporte de lodo nas cinco regiões do Brasil apresentaram alta variação devido aos diferentes preços praticados. A partir deles, identificou-se que a gestão unifamiliar conjunta possui menor custo per capita do que a unifamiliar. Já em relação à gestão coletiva, identificou-se que o controle analítico gera um aumento de US\$ 2.776,96 nos custos de O/M totais.

A partir da comparação das alternativas de gestão, o limite populacional em que o custo de gestão coletiva com controle analítico torna-se menor do que a unifamiliar e unifamiliar conjunta, é de, respectivamente, para caminhões menores que 8 m³, de 218 e 1168 habitantes, e de 8 m³ < volume ≤ 16 m³, de 110 e 1278 habitantes. Os limites identificados, considerando a modalidade coletiva sem controle analítico, são respectivamente, de 37 e 198 habitantes (caminhões menores que 8 m³) e 22 e 230 habitantes (8 m³ < volume ≤ 16 m³).

A aplicação destes limites populacionais nas comunidades do Estado de Goiás, permitiu resultados diferentes para cada cenário: para quando há controle analítico, as soluções individuais são favorecidas; e na ausência, em comparação à gestão unifamiliar, as coletivas podem ser favorecidas. Por fim, a gestão unifamiliar conjunta foi identificada como a mais aplicável, considerando a quantidade de habitantes e a busca pelos menores custos. Sendo assim, é importante a conscientização da população sobre a necessidade de operação e manutenção adequada das unidades de tratamento de esgoto, com incentivo à gestão comunitária e fortalecimento dos atores envolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897: Planejamento e amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.** Rio de Janeiro, 1987. 14 p.

AGÊNCIA GOIANA DE REGULÇÃO, CONTROLE E FISCALIZAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS, **Resolução Normativa 162**, Goiás, 2019, 16 p.

ANDREOLI, C. V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: ABES, 388 p., 2009.

BOOT, N. L. D.; SCOTT, R. E.; Faecal sludge in Accra, Ghana: problems of urban provision. **Water Science and Technology**, n. 60, v. 3, p. 623–631, 2009.

BRASIL. **Fundação Nacional de Saúde. Caderno didático técnico para curso de gestão de sistemas de esgotamento sanitário em áreas rurais do Brasil / Fundação Nacional de Saúde.** – Brasília: Funasa, 2020a. 53 p.

BRASIL. **Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico [...]. Brasília, DF, jul., 2020b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** Brasília: Funasa, 2019. 260 p.

BRASIL. **Ministério das Cidades. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB.** Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 357**, de 17 de março de 2005. Classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicação DOU nº 053, de 18 de março de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 430**, de 13 de maio de 2011. Condições e padrões de lançamento de efluentes. Publicação DOU nº 92, de 16 de abril de 2011.

CARRARD, N., JAYATHILAKE, N., & WILLETTS, J. Life-cycle costs of a resource-oriented sanitation system and implications for advancing a circular economy approach to sanitation. **Journal of Cleaner Production**, v. 307, 2021.

DODANE, P. H.; MBÉGUÉRIÉ, M.; SOW, O.; STRANDE, L. Capital and operating costs of full-scale fecal sludge management and wastewater treatment systems in Dakar, Senegal. **Environmental Science and Technology**, n. 46, v. 7, p. 3705-3711, 2012.

DUBBER, D.; GILL, L. Application of on-site wastewater treatment in Ireland and perspectives on its sustainability. **Sustainability (Switzerland)**, n. 6, n. 3, p. 1623-1642, 2014.

- FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro : ABES, 2006. 427 p.
- FRIEDRICHSEN, C.N., MONROE, M.C., DAROUB, S.H., STEPP, J.R., WANI, S.P. Impact of mental models on constructed wetland maintenance in semi-arid India. **Water Practice and Technology**, v. 15, n. 4, p. 1144-1157, 2020.
- GAJEWSKA, M.; KOŁECKA, K.; OBARSKA-PEMPKOWIAK, H.; WOJCIECHOWSKA, E.; OSTOJSKI, A.; BEJNAROWICZ, A. Pre-feasibility study for treatment wetland application for wastewater treatment in dispersed development. **Journal of Ecological Engineering**, v. 17, n. 3, pp.79-86, 2016.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 12.ed. São Paulo: Nobel, 467p., 1990.
- IBGE. **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- LIMA, M. R. **Modelo de Gestão Sisar**. Confederação Sistema de Gestão SISAR. 2018.
- JUNG Y. T.; NARAYANAN N. C.; CHENG, Y. L. Cost comparison of centralized and decentralized wastewater management systems using optimization model. **Journal Environmental Management**, n. 1, v. 213, p. 90-97, 2018.
- KERSTENS, S.M., LEUSBROCK, I., ZEEMAN, G. Feasibility analysis of wastewater and solid waste systems for application in Indonesia. **Science of the Total Environment** v. 530, p. 53-65, 2015.
- KIHILA, J.M., BALENGAYABO, J.G Adaptable improved onsite wastewater treatment systems for urban settlements in developing countries. **Cogent Environmental Science**, v. 6, n. 1, 2020.
- LASCHEFSKI, K. **Programa Nacional de Saneamento Rural**: Da delimitação territorial do “rural” para um método de localização de grupos alvo do PNSR no campo. 61 p. 2017.
- MIGUEL, E. O.; MEDINA, Y. F.; RODRÍGUEZ, J. J. S.; CRUZ, C. A.; JIMÉNEZ, A. R. **Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones**. Center for Studies and Experimentation of Civil Works, 458 p., 2010.
- OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. **Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social**. In: Lira, W. S.; Cândido, G. A. (Orgs.). *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa*. Campina Grande: EDUEPB, p. 213-232, 2013.
- PELETZ R, MACLEOD C, KONES J, SAMUEL E, EASTHOPE-FRAZER A, DELAIRE C, KHUSH, R. When pits fill up: Supply and demand for safe pitemptying services in Kisumu, Kenya. **PLoS ONE**, n. 15, v. 9, 2020.
- PIO LOMBARDO, P. E. Nitrogen removal for cluster residential and commercial development, main street village, mashpee, MA. 11th National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems, 2007.
- SARMENTO, V. B. A. **Low-cost Sanitation Improvements in Poor Communities: Conditions for Physical Sustainability**. (PhD Thesis). Leeds University, 2001.

SILVA, A. G. **Proposição de técnicas e modelos de gestão para o esgotamento sanitário em áreas rurais brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2017.

TONETTI, A. L.; DUARTE, N. C.; FIGUEIREDO, I. C. S.; BRASIL, A. L. Alternativas para gerenciamento de lodo de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos de áreas rurais. **Labor e Engenho**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 145-152, 2018.

VON SPERLING. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2018.

WOOD, A.; BLACKHURST, M.; HAWKINS, T.; XUE, X.; ASHBOLT, N.; GARLAND, J. Cost-effectiveness of nitrogen mitigation by alternative household wastewater management, **Journal of Environmental Management**, v. 150, p. 344-354, 2015.

ANEXO A

Quadro 17- Limites populacionais em que os custos com a gestão unifamiliar, unifamiliar conjunta e coletiva tornam-se menores, com controle e sem controle, para diferentes comparações.

Volume do caminhão utilizado na gestão individual (unifamiliar e conjunta) (m ³)	Controle analítico	Categoria	Faixa de volume (V) do caminhão utilizado na gestão coletiva		
			V < 8 m ³	8 m ³ < V ≤ 16 m ³	16 m ³ < V ≤ 25 m ³
			População (hab.)	População (hab.)	População (hab.)
V < 8 m ³	Com	Unifamiliar	218	216	208
		Unifamiliar conjunta	1168	1145	1046
	Sem	Unifamiliar	37	41	42
		Unifamiliar conjunta	198	213	178
8 m ³ < V ≤ 16 m ³	Com	Unifamiliar	111	110	111
		Unifamiliar conjunta	1306	1278	1176
	Sem	Unifamiliar	20	22	23
		Unifamiliar conjunta	237	230	192
16 m ³ < V ≤ 25 m ³	Com	Unifamiliar	100	100	100
		Unifamiliar conjunta	3032	2889	2334
	Sem	Unifamiliar	18	20	20
		Unifamiliar conjunta	505	522	473