



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO EM ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS URBANOS:
PROPOSTA DE UM MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO À
DECISÃO**

GABRIELA CERQUEIRA COURY

Brasília – DF
Dezembro, 2020

Universidade de Brasília

Mestrado em Política e Gestão da Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável

SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS URBANOS: PROPOSTA DE UM MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

Gabriela Cerqueira Coury

Dissertação de Mestrado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Mestre em Política e Gestão da Sustentabilidade.

Aprovado por:

Profa. Dra. Cristiane Gomes Barreto - Orientadora - (PPGCDS)

Profa. Dra. Yovanka Perez Ginoris – Co-orientadora - (PTARH)

Prof. Dr. Armando de Azevedo Caldeira Pires – Examinador Interno (PPGCDS)

Profa. Dra. Ariuska Karla Barbosa Amorim – Examinador Externo (PTARH)

Prof. Dr. Adrilane Batista de Oliveira - Suplente

Brasília – DF, 18 de dezembro de 2020.

FICHA CATALOGRÁFICA

Coury, Gabriela Cerqueira

SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS URBANOS: PROPOSTA DE UM MODELO MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO / Gabriela Cerqueira Coury; orientadora Cristiane Gomes Barreto. - Brasília, 2020. 111 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado Acadêmico em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, 2020.

1. AHP 2. MAUT 3. ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS 4. TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE ESGOTO I. Título II.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo seu amor incondicional;

Aos meus pais, Glaucia Cerqueira Felício e Gabriel Coury, e à minha irmã, Ana Luisa Felício Coury, por serem a minha fortaleza e minha base de amor;

Ao meu companheiro e amor Yuseiji Brant, por todo o apoio, confiança, amizade e alegrias que me proporciona;

Aos meus amigos, que presentes ou não, me deram força para continuar nessa trajetória;

À minha orientadora Profa. Dr. Cristiane Gomes Barreto, que sempre foi muito solícita e que sempre contribuiu com paciência e muita atenção para a evolução deste trabalho;

À minha co-orientadora Profa. Dr. Yovanka Perez Ginoris, que disponibilizou seu tempo e conhecimento sempre que precisei, com considerações muito importantes sobre o andamento da dissertação;

A todos os professores do PPGCDS, que se esforçam e se dedicam para obterem os melhores resultados para o programa, e para seus alunos;

A CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudo concedida que proporcionou a realização deste trabalho;

À Universidade de Brasília, que esteve presente em minha vida por 7 anos ininterruptos. Nunca esquecerei os momentos que vivi nessa respeitosa comunidade científica;

Aos membros da banca pelas contribuições dadas ao trabalho;

A todos que de alguma forma contribuíram para a finalização desta etapa e concretização desse sonho;

Meu muito obrigada!

RESUMO

COURY, Gabriela Cerqueira. Sistemas Descentralizados de Tratamento de Esgoto em Assentamentos Precários Urbanos: Proposta de um Modelo Multicritério de apoio à decisão. 2020. 112 f. Dissertação (Mestrado em Política e Gestão da Sustentabilidade) – Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS. Universidade de Brasília – UnB, 2020.

A periferização de metrópoles brasileiras está cada vez mais evidente, propiciando a formação de assentamentos precários urbanos irregulares, marcados pelo acesso desigual aos serviços públicos de urbanização, dentre eles o saneamento básico. A universalização do saneamento básico e a garantia do esgotamento sanitário em assentamentos precários urbanos pode pressupor, dentre outras estratégias, o uso de tecnologias descentralizadas de tratamento de esgotos. Contudo, a seleção dessas tecnologias é uma decisão complexa, pois envolve incertezas, múltiplos critérios e objetivos, e a participação de muitos atores. Esta dissertação teve o objetivo de desenvolver um modelo multicritério de apoio à decisão, particularmente utilizando o método analítico hierárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP) e a teoria da utilidade multiatributo (Multi-attribute Utility Theory - MAUT), para auxiliar a escolha das tecnologias mais adequadas a serem implementadas em locais sem acesso às redes de coleta e tratamento centralizado de esgotos. Deste modo, foram analisadas 5 tecnologias descentralizadas de acordo com 25 critérios, sendo 12 deles de primeira ordem, e 13 subcritérios, divididos entre critérios de sustentabilidade (técnicos, sociais, ambientais, econômicos) e de confiabilidade às normas de disposição final. O modelo foi submetido à ponderação dos critérios por especialistas em saneamento, podendo ser adequado às realidades locais dos assentamentos urbanos, reduzindo a subjetividade da tomada de decisão. O modelo foi aplicado no assentamento precário urbano Setor Habitacional Santa Luzia (SHSL), localizado no Distrito Federal (DF). A alternativa com melhor desempenho nos critérios de sustentabilidade, foi a Bacia de Evapotranspiração, enquanto para o critério de confiabilidade, a alternativa de Filtro de Areia. Os resultados da aplicação do modelo no SHSL/DF contribuem para a reflexão sobre as tecnologias descentralizadas de esgotamento que poderiam ser empregadas no local para diminuir os riscos ambientais e à saúde da população que não tem acesso aos serviços de saneamento.

Palavras chaves: AHP. MAUT. Sistema de Tratamento de Esgoto Descentralizado. Assentamentos Precários Urbanos. Saneamento Básico.

ABSTRACT

COURY, Gabriela Cerqueira. Decentralized Sewage Treatment Systems in Urban Precarious Settlements: Multicriterial Model Proposal for Decision Support. 2020. 111 f. Thesis (Master) – Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS. Universidade de Brasília – UnB, 2020.

The periphery of Brazilian metropolises is increasingly evident, enabling the formation of irregular urban precarious settlements, marked by unequal access to public urbanization services, including basic sanitation. The universalization of basic sanitation and the guarantee of sewage in precarious urban settlements may presuppose, among other strategies, the use of decentralized sewage treatment technologies. However, the selection of these technologies is a complex decision, as it involves uncertainties, multiple criteria and objectives, and the participation of many actors. This dissertation aimed to develop a multicriteria model for decision support, particularly using the hierarchical analytical method (Analytic Hierarchy Process - AHP) and the Multi-attribute Utility Theory - MAUT, to assist the choice of technologies more suitable to be implemented in places without access to sewage collection and centralized treatment networks. In this way, 5 decentralized technologies were analyzed according to 25 criteria, 12 of which are first order, and 13 sub-criteria, divided between sustainability criteria (technical, social, environmental, economic) and reliability to standards. The model was submitted to the weighting of the criteria by sanitation specialists, and may be adapted to local realities in urban settlements, reducing the subjectivity of decision making. The model was applied in the precarious urban settlement Setor Habitacional Santa Luzia (SHSL), located in the Federal District (DF). The alternative with the best performance in the sustainability criteria was the Evapotranspiration Basin, while for the reliability criterion, the Sand Filter alternative. The results of the application of the model in the SHSL / DF contribute to the reflection on decentralized sewage technologies that could be used on the spot to reduce the environmental and health risks of the population that does not have access to sanitation services.

Keywords: AHP. MAUT. Decentralized Sewage Treatment System. Precarious Urban Settlements. Sanitation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo Geral.....	5
2.2. Objetivos Específicos	5
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
3.1. ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS URBANOS.....	6
3.1.1. A definição e a formação de Assentamentos Precários Urbanos.....	6
3.1.2. Assentamentos Precários Urbanos no Distrito Federal.....	9
3.2. SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL.....	12
3.2.1. Legislação Brasileira a respeito do Saneamento Básico.....	13
3.2.2. Assentamentos Precários Urbanos e os Serviços de Esgotamento Sanitário.....	14
3.2.3. Caracterização do Estudo de Caso – Setor Habitacional Santa Luzia.....	16
3.2.4. Desafios e Oportunidades do Contexto para o Planejamento de Inovações no Saneamento Urbano.....	20
3.3. TECNOLOGIAS DESCENTRALIZADAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS..	23
3.3.1. Apresentação dos Sistemas de Tratamento de Esgotos.....	26
3.3.2. As Tecnologias Descentralizadas mais utilizadas no Brasil.....	27
3.3.3. Formas de disposição final de efluentes.....	35
3.4. MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO (AMD)	36
3.4.1. Critérios de Decisão.....	39
3.4.2. Análise Hierárquica de Processos (AHP)	39
3.4.3. Teoria da Utilidade Multi-atributo (MAUT)	41
3.4.4. Critérios de Decisão.....	42
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS – MODELO.....	43
5. ETAPA 1-ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E CRITÉRIOS DE DECISÃO.....	45
5.1. DEFINIÇÃO DAS TECNOLOGIAS PARA FORMULAÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	45
5.2. CRITÉRIOS DE DECISÃO PARA A SUSTENTABILIDADE.....	46
6. CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS E ESTUDO DE CASO.....	51
6.1. ETAPA 2 - CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS E ESTUDO DE CASO.....	51
6.1.1. Mensuração dos Critérios de Decisão para Sustentabilidade.....	53

6.1.2. Confiabilidade às Normas e Diretrizes.....	53
6.1.3. Matriz de Decisão.....	58
6.1.4. Definição das Taxas de Substituição (Pesos)	59
6.1.5. Cálculo do Valor da Alternativa.....	60
6.2. ETAPA 3 – ESTUDO DE CASO.....	61
7. APLICAÇÃO DO MODELO.....	64
7.1. COMPOSIÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO.....	64
7.2. MENSURAÇÃO DOS CRITÉRIOS.....	65
7.2.1. Matrizes de Resultados.....	68
7.2.2. Taxas de Substituição para os Critérios.....	77
7.2.3. Avaliação das Alternativas Tecnológicas.....	80
7.2.4. Adaptação das Alternativas ao local de implantação.....	82
8. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	83
9. CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS.....	86
APÊNDICE A.....	98
APÊNDICE B.....	100

Lista de Tabelas

Tabela 3.1. Critérios de classificação dos domicílios inadequados urbanos duráveis e quantidades	11
Tabela 3.2. Dados da população atendida com esgotamento sanitário (em habitantes) no DF.....	15
Tabela 6.1. Escala 1 para conversão de valores dos critérios qualitativos.....	51
Tabela 6.2. Escala 2 para conversão de valores dos critérios qualitativos.....	51
Tabela 6.3. Maior e menor valor dos critérios a serem normalizados.....	52
Tabela 6.4. Funções de Valor para Critério de Eficiência de Tratamento (Remoções).....	53
Tabela 6.5. Parâmetros Microbiológicos - Saúde Humana de acordo com a OMS.....	55
Tabela 6.6. Parâmetros de Confiabilidade para conservação da qualidade do solo, águas subterrâneas e rendimento das colheitas.....	57
Tabela 6.7. Parâmetros de Confiabilidade para conservação do sistema de irrigação localizada.....	58
Tabela 6.8. Exemplo de Matriz de Decisão.....	59
Tabela 7.1. Matriz dos critérios econômicos.....	68
Tabela 7.2. Matriz dos critérios sociais.....	69
Tabela 7.3. Quantitativo de área para cada alternativa.....	70
Tabela 7.4. Matriz dos critérios ambientais.....	71
Tabela 7.5. Matriz dos critérios técnicos: Subcritério Simplicidade Operacional.....	72
Tabela 7.6. Matriz dos critérios técnicos: Subcritério Eficiência de Tratamento.....	73
Tabela 7.7. Matriz dos critérios técnicos: Estabilidade do Sistema.....	74
Tabela 7.8. Resultados da análise de Confiabilidade.....	76
Tabela 7.9. Critérios, subcritérios e pesos associados.....	78
Tabela 7.10. Consenso da Análise entre os Especialistas.....	79
Tabela 7.11. Valores finais para cada alternativa e hierarquização para melhor escolha.....	80

Lista de Quadros

Quadro 3.1. Consenso da Análise entre os Especialistas.....	18
Quadro 3.2. Vantagens das Tecnologias Descentralizadas de Tratamento de Esgotos.....	24
Quadro 5.1. Tecnologias selecionadas para a formulação dos Sistemas de Tratamento.....	45
Quadro 5.2. Definição dos Critérios Sociais selecionados para análise.....	47
Quadro 5.3. Definição dos Critérios e Subcritérios Ambientais selecionados para análise.....	48

Quadro 5.4. Definição dos Critérios Econômicos selecionados para análise.....	48
Quadro 5.5. Definição dos Critérios e Subcritérios Técnicos selecionados para análise.....	49
Quadro 5.6. Definição dos Critérios de Confiabilidade às Normas.....	50
Quadro 6.1. Escala numérica de Saaty.....	60
Quadro 6.2. Características do subcritério Qualitativo de Área.....	62
Quadro 7.1. Alternativas de Sistemas Descentralizados de Tratamento de Esgoto avaliadas.....	64
Quadro 7.2. Forma de Mensuração dos Critérios Sociais.....	65
Quadro 7.3. Forma de Mensuração dos Critérios Ambientais.....	66
Quadro 7.4. Forma de Mensuração dos Critérios Econômicos.....	66
Quadro 7.5. Forma de Mensuração da Confiabilidade às Normas.....	66
Quadro 7.6. Forma de Mensuração dos Critérios Técnicos.....	67
Quadro 7.7. Condições de Manutenção das Tecnologias.....	72
Quadro 7.8. Matriz dos critérios técnicos: Subcritério Simplicidade Operacional.....	73
Quadro 7.9. Confiabilidade – Forma de Análise.....	75

Lista de Figuras

Figura 3.1. Localização do Setor Complementar de Indústria e Abastecimento (SCIA)/Estrutural e Setor Habitacional Santa Luzia.	17
Figura 3.2. Setor Habitacional Santa Luzia.....	17
Figura 3.3. Esquema de Tanque Séptico.....	28
Figura 3.4. Esquema de Wetland Construída.....	30
Figura 3.5. Esquema de Bacia de Evapotranspiração.....	31
Figura 3.6. Esquema de Filtro de Areia.....	32
Figura 3.7. Esquema de Filtro Anaeróbio.....	33
Figura 3.8. Esquema de Reator UASB.....	34
Figura 3.9. Esquema de Vala de Infiltração.....	35
Figura 3.10. Esquema de Círculo de Bananeiras.....	36
Figura 4.1. Estruturação do desenvolvimento do Modelo.....	43
Figura 5.1. Critérios e subcritérios de decisão para análise das tecnologias descentralizadas....	46
Figura 6.1. Fluxograma para adaptações das tecnologias de disposição final do efluente.....	63

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADM	Apoio Multicritério à Decisão
AHP	Analytic Hierarchy Process (Análise Hierárquica de Processos)
BET	Bacia de Evapotranspiração
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CF	Coliformes fecais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Eq.	Equação
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FJP	Fundação João Pinheiro
Hab.	Habitante
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAUT	Multiattribute Utility Theory (Teoria da Utilidade Multiatributo)
Max.	Valor Máximo
MCDM	MultiCriteria Decision Making (Tomada de Decisão com Múltiplos Critérios)
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
Méd.	Valor Médio
Min.	Valor Mínimo
N.	Normalizado
NT	Nitrogênio Total
N-Amon	Nitrogênio amoniacal
O&M	Operação e Manutenção
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogênio
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
Plansab	Plano Nacional de Saneamento Básico

PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SHSL	Setor Habitacional Santa Luzia (Distrito Federal)
ST	Sólidos Totais
SST	Sólidos Suspensos Totais
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator anaeróbio de manta de lodo)
WC	Wetland Construído
WHO	World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)

1. INTRODUÇÃO

A urbanização espontânea, ou não planejada, do território brasileiro contribuiu para a desigualdade nas cidades, ou seja, moradias com boa qualidade e infraestruturas urbanas não se distribuem equitativamente no território, concentrando-se nas áreas com elevado preço da terra e onde vive a população de maior renda (DENALDI E FERRARA, 2018). Em contraste, em uma mesma cidade, há locais, que carecem de serviços de infraestrutura urbana, como o saneamento básico, e outros em que esses serviços são precários ou inexistentes.

Os assentamentos urbanos precários são descritos como uma ampla gama de assentamentos de baixa renda e de condições deterioradas de vida (QUEIROZ FILHO, 2015) que nem sempre são priorizadas pelas políticas públicas de saneamento básico. Isso, somado à desigualdade de distribuição de renda e à especulação imobiliária, relega a ocupação desses locais à população de baixa renda.

O esgotamento sanitário é um dos serviços que fazem parte do saneamento básico, o qual compreende também: abastecimento de água, coleta e disposição de resíduos sólidos e drenagem urbana. Segundo diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (BRASIL, 2019), em 2017, cerca de 60% da população do País tinha acesso ao serviço de coleta de esgoto. Já 40%, ou mais de 80 milhões de pessoas, utilizavam medidas alternativas à rede de coleta e tratamento centralizado para lidar com os dejetos – seja mediante o uso de fossa, seja lançando o esgoto *in natura* diretamente em corpos d’água. Quanto aos dados de tratamento, 44,9% do esgoto gerado no País era tratado em 2016. Segundo o Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR), 52% do déficit de acesso aos serviços de saneamento básico no Brasil concentra-se em municípios com população superior a um milhão de habitantes e nas regiões metropolitanas (BRASIL, 2007a).

A carência de serviços de saneamento representa riscos potenciais à saúde humana devido à proliferação de doenças infecciosas, bem como devido aos acidentes que podem ser causados por soluções de saneamento alternativas e clandestinas. Também há impactos diretos ao meio ambiente e às comunidades locais. Por exemplo, a destinação inadequada, armazenamento e tratamento dos resíduos sólidos e do esgoto sanitário gerados nos assentamentos podem ocasionar infiltrações no solo, e consequentemente poluir as águas subterrâneas - principalmente em épocas de chuva -, afetando também a qualidade da água que é utilizada para consumo

humano. Além disso, há impactos econômicos referentes aos prejuízos causados pelas opções clandestinas, como a perda de água decorrente de ligações não autorizadas à rede de abastecimento da concessionária.

Com base nos impactos decorrentes da falta de saneamento ao ambiente e à saúde humana, a universalização desse serviço, junto ao acesso à água, foi declarada, em 2010, pela Organização das Nações Unidas (ONU), como direito fundamental humano. Em que pese esse reconhecimento, os números já mostrados dão uma perspectiva, para o cenário brasileiro, muito negativa e longe de se tornar realidade.

Nesse contexto, o desafio da universalização do acesso aos serviços de saneamento básico no País passa pela intervenção do Poder Público, principalmente nas periferias metropolitanas. Entretanto, a título de exemplo, o modelo de sistemas de tratamento de esgotos convencional, centralizado, implica na construção de numerosas e dispendiosas estruturas inerentes a esse sistema, como: rede coletora, estações elevatórias, poços de visita, poços de inspeção, interceptores, etc.

Esses componentes do sistema de coleta de esgotos colaboram para que o sistema centralizado de tratamento de esgotos seja caracterizado pela complexidade, robustez estrutural e operacional e custos elevados. Segundo Oliveira Júnior (2013) os custos de implantação de uma malha de coleta e transporte dos esgotos da área urbana até onde são implementadas as estações centralizadas de tratamento de esgotos, são os maiores responsáveis pelo incremento do aporte de capital. Desse modo, essa solução não é sempre a melhor opção em termos de custo, logística e sustentabilidade.

Soluções mais sustentáveis de saneamento são discutidas atualmente como uma oportunidade de enfrentar os desafios de saneamento urbano a partir de uma perspectiva de universalização desses serviços à população sem acesso, conjuntamente com a necessidade de recuperação de recursos ambientais, como água e solo. Por conseguinte, sistemas sustentáveis podem contribuir para alcançar, de forma integrada, alguns dos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da Agenda 2030 levantados pela Organização das Nações Unidas, da qual o Brasil é signatário.

Uma das definições para o conceito de “saneamento sustentável” engloba soluções que, além de proteger e promover a saúde humana, sejam economicamente viáveis, socialmente aceitáveis,

técnica e institucionalmente apropriadas e, também, protegem o meio ambiente e os recursos naturais (SuSanA, 2008).

Os sistemas descentralizados de tratamento de esgotos, em situações ideais de implantação, são exemplos de soluções de saneamento sustentável e são tipicamente instalados próximo ao ponto de geração do esgoto. Isso, em muitos casos, é aceito como uma solução mais sustentável, visto que pode promover eficiências de tratamentos equivalentes à de sistemas centralizados, com menor custo com as estruturas necessárias, tanto para implementação quanto para manutenção (USEPA, 2005).

Apesar dos benefícios dos sistemas descentralizados, ainda há a ideia de que as tecnologias descentralizadas têm como foco a implantação em locais de difícil acesso em pequenas comunidades. Porém, a adoção de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados em países em desenvolvimento não é apenas uma solução de longo prazo para pequenas comunidades, mas a mais confiável e a de custo mais eficiente (MASSOUD *et al*, 2009) e podem ser consolidadas como boas alternativas de saneamento sustentável até mesmo em meios urbanos de alta densidade populacional, quando possível.

Entretanto, a escolha por alternativas de tratamento descentralizadas é considerada uma atividade complexa, por ter que se considerar múltiplos critérios e diversos pontos de vista e formas de avaliação. Segundo Kiker *et al*. (2005), quando há complexidade na escolha e suas consequências podem ter impactos financeiros, ambientais ou estratégicos, é necessário tomar decisões com o auxílio de ferramentas que possam apoiar a tomada de decisão de forma coerente e consistente.

Para isso, no presente trabalho utilizou-se metodologias de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), particularmente o método analítico hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP) em conjunto com a teoria da utilidade multiatributo (*Multi-attribute Utility Theory* – MAUT), buscando avaliar matematicamente os critérios, demonstrando a subjetividade de forma transparente e reduzindo incertezas na análise.

Brasília possui assentamentos precários no meio urbano que não são atendidos pelos serviços de esgotamento sanitário, dentre os quais se destaca o Setor Habitacional de Santa Luzia (SHSL), que foi o estudo de caso para a aplicação do modelo construído por esta pesquisa. O local,

escolhido pela precariedade do saneamento básico, está localizado no meio urbano, a aproximadamente 14 quilômetros da esplanada dos ministérios.

Nesse sentido, para contribuir com o desenvolvimento de novas soluções nos assentamentos precários urbanos, bem como gerar conhecimentos que poderão, futuramente, subsidiar novas propostas de intervenção em saneamento, essa dissertação tem o objetivo de propor um modelo multicritério de apoio à decisão para analisar alternativas de tratamento de esgoto descentralizadas segundo critérios de sustentabilidade econômica, ambiental, técnica e social, a fim de subsidiar a escolha da tecnologia mais adequada a ser implantada em assentamentos precários no meio urbano. Para a etapa de aplicação do modelo proposto por esta dissertação, utilizou-se como estudo de caso o SHSL e suas características locais foram consideradas para adaptação da alternativa escolhida.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo para auxiliar a seleção de tecnologias descentralizadas de tratamento de esgotos em assentamentos precários urbanos a fim de contribuir com a universalização do saneamento básico, utilizando métodos multicritérios para apoio à decisão e considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleção, a partir de pesquisa bibliográfica da literatura técnico-científica, das tecnologias de tratamento descentralizado de esgotos domésticos a serem avaliadas para implementação em assentamentos precários urbanos, bem como dos critérios mais relevantes nos aspectos técnicos, sociais, ambientais, econômicos e de confiabilidade às normas que serão considerados no modelo.
- Realização de consulta a especialistas para atribuição das taxas de substituição dos critérios pela Análise Hierárquica de Processos – AHP.
- Analisar e comparar as alternativas tecnológicas selecionadas para tratamento quanto aos critérios definidos por meio da Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT).
- Aplicar o modelo e adaptar a tecnologia escolhida à realidade do local de implantação, o Setor Habitacional Santa Luzia – DF.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção está exposto o referencial teórico que permite entender o problema de pesquisa e apresentar as bases teóricas necessárias para o desenvolvimento do presente trabalho.

3.1. ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS URBANOS

3.1.1. A definição e a formação de Assentamentos Precários Urbanos

Os assentamentos precários englobam, numa categoria de abrangência nacional, o conjunto de assentamentos urbanos inadequados ocupados por moradores de baixa renda, incluindo as tipologias tradicionalmente utilizadas pelas políticas públicas de habitação, tais como cortiços, loteamentos irregulares ou clandestinos, favelas e assemelhados, bem como os conjuntos habitacionais que se encontram degradados (BRASIL, 2010).

As características mais comuns nesses assentamentos são: a precariedade, a irregularidade, a carência/vulnerabilidade social, e a conseqüente presença de soluções autônomas da população para atender suas necessidades habitacionais diante da insuficiência das iniciativas do Estado.

Bueno (2003) considera que a precariedade do assentamento pode se referir ao risco do local, à acessibilidade ao local, à falta de infraestrutura (água, esgoto, resíduos sólidos, pavimentação, energia, drenagem urbana, iluminação pública), ao nível de habitabilidade (salubridade, segurança, adequação da área da habitação ao número de habitantes, condições de insolação e ventilação, disponibilidade de sanitário interno), e à qualidade ambiental do assentamento (solo, água, ar). Já a irregularidade pode se referir à propriedade da terra (fundiária), à propriedade do imóvel, ao padrão de parcelamento adotado (urbanística), e aos procedimentos de construção adotados (edilícia). Quanto à irregularidade fundiária, pode ocorrer ocupação de terras públicas (de uso comum do povo ou dominiais) ou privadas.

No caso da ocupação de imóveis, também podem ser públicos ou privados. A carência social é definida pela existência ou predominância de grupos sociais caracterizados pelas suas posições inferiores na hierarquia social (renda, escolaridade e possibilidades de acesso ao mercado de trabalho) e a vulnerabilidade social é caracterizada pela existência ou predominância de grupos sociais com dificuldades de acesso a recursos que os habilitem a participar ativamente da sociedade, parâmetros que, quando presentes, são efeitos de desigualdade e exclusão social.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) tem outra classificação a respeito das áreas urbanas informais, conceituando como “aglomerado subnormal” o conjunto de, no mínimo, 51 unidades habitacionais carentes, em sua maioria de serviços públicos essenciais (por exemplo o acesso aos serviços de saneamento básico e distribuição de energia elétrica e iluminação pública), ocupando ou tendo ocupado terreno de propriedade alheia (pública ou particular) e se dispendo desordenadamente e de forma densa. Essa classificação é mais limitada em comparação à definição de “assentamento precário”, porém facilita na identificação e na obtenção de dados acerca desses aglomerados no Brasil. Vale ressaltar que os serviços públicos essenciais incluem o saneamento básico e a distribuição de energia elétrica.

A formação de assentamentos precários urbanos consiste na rápida urbanização e consequente periferação das metrópoles, descrito como um processo caótico em países em desenvolvimento devido às condições desorganizadas de formação. Segundo Denaldi e Ferrara (2018), a urbanização aleatória, também caracterizada pela falta de planejamento, faz a cidade assumir características desiguais, ou seja, moradias com boa qualidade e infraestruturas urbanas não se distribuem equitativamente no território, concentrando-se nas áreas com elevado preço da terra e onde vive a população de maior renda. Cardoso (2016) considera que os mecanismos formais de acesso à terra e à moradia, seja pela via de mercado, seja pela via das políticas públicas, sempre foram insuficientes, atendendo, quando muito, apenas parte das necessidades reais da população por meio de soluções habitacionais de baixa qualidade e com escasso grau de acesso e de integração à infraestrutura e aos equipamentos urbanos.

A desigualdade das cidades brasileiras, em aspectos sociais e de acesso à serviços básicos, mostra claramente as condições de vida precárias da população mais pobre. Assim, ao mesmo tempo em que as cidades são fontes de transformações socioeconômicas, elas também são centros de aprofundamento das desigualdades, com parte da população vivendo em condições vulneráveis e insalubres nos assentamentos precários. Essa desigualdade e exclusão social remete à negação do direito à cidade, que emerge da discussão de Lefebvre (2008) como forma superior dos direitos: direito à liberdade, à individualização na socialização, ao habitat e à habitação.

Da Mata *et al.* (2008) estudaram alguns padrões de surgimento, manutenção e crescimento das favelas (assentamentos precários) e concluíram que cidades maiores (em termos de tamanho populacional) bem como cidades mais desiguais (em termos de renda), possuem mais favelas.

Porém, além da urbanização desordenada e da desigualdade social, o surgimento de assentamentos precários possui outros fatores, como a falta de regularização fundiária.

A regularização fundiária é um processo que envolve medidas, tanto jurídicas, como socioambientais, que são essenciais para a atuação governamental quanto à prestação de serviços de infraestrutura urbana, mesmo que não a garanta. Segundo Jorgensen (2012) quando a terra é urbanizada, ela se caracteriza como um bem privado pleno, o que se torna um problema a partir da transformação do valor do uso da terra em mercadoria que possui um alto valor de troca, se tornando um bem de difícil acesso aos mais pobres. Isso também pode ser agravado por meio das leis reguladoras do uso e ocupação do solo urbano, gerando diferenciais nos preços das terras e excluindo territorialmente grande parte da população que não tem condições de pagar por um terreno urbanizado e bem localizado (ALFONSIN e FERNANDES, 2004).

Segundo Lall *et al.* (2006), as habitações em setores informais são uma resposta ao fracasso do mercado imobiliário formal de atender as demandas habitacionais, e mesmo os municípios brasileiros que diminuíram as restrições nas regulamentações de planejamento urbano - como por exemplo a redução do tamanho mínimo de lote para aumentar o estoque de habitações formais em áreas regularizadas - sofreram de maiores desigualdades, pois houve o aumento populacional devido à migração para essas áreas regulares, o que aumentou a demanda por essas novas moradias em espaços formais. Ao aumentar a demanda habitacional em locais com planejamento urbano, os preços das moradias sobem e com isso, parcela mais pobre da população se muda para os assentamentos precários irregulares - ou informais – exacerbando esse problema.

Isso posto, sem a regularização da terra, os assentamentos informais continuam sendo tratados como inexistentes para as políticas urbanas, não tendo o direito de usufruir da infraestrutura e serviços do município. Segundo Rolnik (2002), a ocupação de áreas não regularizadas no Brasil decorre da falta de uma política habitacional que assegure o acesso dos mais pobres à moradia em locais adequados.

Apesar de serem muitos desafios políticos, as soluções para os problemas associados a esses assentamentos devem ser precedidas por uma análise que deve ir além do espaço geográfico. Denaldi e Ferrara (2018) consideram que em alguns casos há a impossibilidade de consolidação do assentamento devido à precariedade das condições do local e às situações de risco à população, que por vezes não são passíveis de remediação. Nesses casos, o mais adequado seria a remoção

das famílias do assentamento, garantindo o direito à moradia em outra localidade. Em outros casos, é possível combinar a urbanização e a consolidação da ocupação, com a qualificação ambiental e, para tanto, é necessário compatibilizar os instrumentos urbanísticos e ambientais e desenvolver parâmetros projetivos especiais, além do desenvolvimento de políticas públicas que atendam a população local.

3.1.2. Assentamentos Precários Urbanos no Distrito Federal

O território do Distrito Federal foi intensamente ocupado a partir da década de 1960, com base em um modelo polinucleado que teve como um dos efeitos básicos a convergência dos assalariados, por um lado; e a consagração das áreas centrais como objetos de intensa atuação dos agentes imobiliários e de construtoras – porque eram mais valorizadas e melhor equipadas de infraestrutura, bens, serviços e equipamentos, por outro. (SILVA, 2014)

Segundo Paviani (2011), o modelo polinucleado de povoamento é caracterizado pelo urbanismo focal, pontual, parcelado e por vezes segregacionista, sendo mantido durante anos pelo governo do Distrito Federal e pela iniciativa privada, ao ocupar terras em territórios esparsos e disseminados em distintos pontos do DF.

Conforme descrito por Silva (2014), o Plano Piloto, proposto por Lúcio Costa em 1957, previa que as cidades-satélites seriam construídas quando o seu núcleo central estivesse totalmente ocupado por uma população de cerca de 500 mil habitantes. Entretanto, a intensa imigração ensejou, primeiramente, que se alterasse a proposta inicial a fim de evitar uma prematura favelização da capital, passando o governo a adotar uma ação continuada de transferência dessas famílias para cidades mais afastadas do centro. Como resultado, em 1958, foram implantados os primeiros núcleos periféricos para onde foram transferidas milhares de pessoas que ocupavam as favelas próximas aos canteiros de obras da construção da capital.

Serra *et al.* (2005) estudou a dinâmica da ocupação e desenvolvimento do território urbano de três cidades brasileiras: Brasília, Curitiba e Recife. Esse trabalho revelou que Brasília tinha um padrão de distribuição territorial (população, densidade populacional, construção de unidades residenciais formais e informais) distinto do apresentado pelas outras. Enquanto essas possuem uma concentração dos habitantes, tanto formais, quanto informais, próximo ao centro da cidade

(raio de até 15 quilômetros), Brasília apresenta uma concentração da população em regiões mais periféricas (raio acima de 20 quilômetros).

Segundo Serra *et al.* (2015), uma das explicações plausíveis para esse fator é a preservação do layout original de Brasília, o que restringe, desde a inauguração da cidade, o crescimento do mercado imobiliário próximo ao centro da Cidade. Por consequência dessa preservação, em 1987, Brasília foi registrada na UNESCO como Patrimônio Cultural da Humanidade, tornando a área o primeiro monumento do século XX a alcançar a proteção das Nações Unidas.

Devido às restrições para a construção das habitações no centro de Brasília, apenas 10% do estoque de moradias formais se encontram a 10 quilômetros do centro. Assim, grande parte das pessoas que desenvolvem suas atividades em Brasília, mora em regiões distantes, denominadas como Cidades Satélites, pressionando a demanda de infraestruturas urbanas dessas regiões. Consequentemente, o preço de habitações em regiões periféricas de Brasília ainda é alto, sendo muito maior do que em Curitiba ou Recife, cidades que possuem grande parte das habitações nos centros. Nesse cenário de alta regulação fundiária e elevados preços, a população menos abastada de Brasília é obrigada a morar em regiões cada vez mais distantes dos postos de trabalho (SERRA *et al.*, 2005). Em consequência disso, a qualidade das habitações e da infraestrutura que as cercam não são satisfatórias.

A pesquisa da Fundação João Pinheiro (FJP), denominada “Déficit Habitacional no Brasil 2015”, publicada em 2018, faz uma classificação dos domicílios urbanos duráveis do Brasil segundo regiões geográficas, unidades da federação e regiões metropolitanas. A pesquisa classifica como domicílios inadequados os que apresentam pelo menos um tipo de carência de infraestrutura, adensamento excessivo de moradores em domicílios próprios, problemas de natureza fundiária, cobertura inadequada, ausência de unidade sanitária domiciliar exclusiva ou em alto grau de depreciação. Vale ressaltar que a pesquisa se baseou no número de domicílios urbanos duráveis, ou seja, os domicílios improvisados e rústicos não se encaixam na estatística. Os resultados foram adaptados na Tabela 3.1, abaixo.

Tabela 3.1- Critérios de classificação dos domicílios inadequados urbanos duráveis e quantidades (em número de habitações).

Especificação	Inadequação Fundiária	Domicílios sem banheiro	Carência de Infraestrutura	Adensamento excessivo	Cobertura inadequada
Distrito Federal	22.718	1.945	23.373	5.842	1.296
Total das Regiões Metropolitanas	1.039.506	58.584	1.402.729	505.345	133.069
Brasil	1.871.473	213.732	7.225.231	1.025.717	834.722

Fonte: Adaptado de Moradias inadequadas e déficit habitacional no Brasil (BRASIL, 2018).

Também segundo a Fundação João Pinheiro (BRASIL, 2018), a categoria de domicílios carentes de infraestrutura abrange todos os que não dispõem de pelo menos um dos seguintes serviços básicos: iluminação elétrica, rede geral de abastecimento de água com canalização interna, rede geral de esgotamento sanitário ou fossa séptica e coleta de resíduos sólidos urbanos. A Inadequação Fundiária se refere aos casos em que pelo menos um dos moradores do domicílio tem a propriedade da moradia, mas não, total ou parcialmente, a do terreno ou da fração ideal de terreno (no caso de apartamento) onde ela se localiza. A cobertura inadequada é caracterizada como domicílios que, embora possuam paredes de alvenaria ou madeira aparelhada, têm telhado de madeira aproveitada, zinco, lata ou palha. O Adensamento excessivo considera os domicílios próprios em que número médio de moradores no domicílio é superior a três por cômodos que servem como dormitórios na casa. Já a categoria de domicílios sem banheiro são os que não possuem banheiro ou sanitário de uso exclusivo para a casa.

Segundo a Fundação João Pinheiro (BRASIL, 2018), entre as características de inadequação de domicílios analisados, a carência de infraestrutura é o que mais afeta os domicílios no Brasil, e também é a principal questão de inadequação no Distrito Federal, sendo um importante desafio a ser enfrentado pelos órgãos responsáveis pelos serviços básicos que compõem esse tipo de inadequação. O segundo aspecto que mais afeta os domicílios no DF é a inadequação fundiária.

Comparando os resultados da inadequação fundiária do Brasil (total) e os valores das Regiões Metropolitanas, fica claro que este é um problema de grande peso nas áreas metropolitanas, e isso, de certa forma, influencia nos resultados relacionados à carência de infraestruturas nessas áreas urbanas.

3.2.SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

3.2.1. Legislação brasileira a respeito do Saneamento Básico

Em 1988, a Constituição Federal (BRASIL, 1988) reconhece como competência comum aos estados, ao Distrito Federal (DF) e à União o desenvolvimento de programas de construção de moradias, o provimento de melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico. Trazendo amplitude ao tema de política urbana, o Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001) promove por meio de suas diretrizes garantia do direito à moradia digna com infraestrutura urbana, saneamento ambiental, transporte e acesso aos serviços públicos.

O saneamento básico do Brasil, bem como a Política Federal de Saneamento Básico (PFSB), tem suas diretrizes estabelecidas pela Lei nº 11.445 de 7 de janeiro de 2007. Em seu Art. 3º, essa lei define o saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; drenagem e manejo de águas pluviais, incluindo a limpeza e fiscalização das respectivas redes urbanas.

O art. 2º da mesma Lei, define os princípios fundamentais para prestação de serviços públicos de saneamento básico, ou seja, os pontos norteadores e básicos para a prestação desses serviços, os quais são: I - universalização do acesso; II - integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso a conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados; III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente; IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes, adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado; V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais; VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante; VII - eficiência e sustentabilidade econômica; VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções

graduais e progressivas; IX - transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados; X - controle social; XI - segurança, qualidade e regularidade; XII - integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos; XIII - adoção de medidas de fomento à moderação do consumo de água.

Segundo Pereira Júnior (2008), a PFSB traz uma visão equilibrada da função do saneamento, importante para a saúde pública, para o meio ambiente e para o bem-estar geral da sociedade, mas, como um “serviço público”, tem de ter sustentabilidade econômica para garantir sua prestação com qualidade, confiabilidade e continuidade.

A Política Federal de Saneamento Básico, relatada no capítulo IX da referida Lei, tem objetivos bem definidos relacionados ao meio ambiente e ao planejamento do saneamento básico, atuando com intenções de proporcionar condições adequadas e de salubridade ambiental aos povos indígenas, populações rurais e pequenos núcleos urbanos isolados; incentivar a adoção de mecanismos de planejamento, regulação e fiscalização da prestação dos serviços de saneamento básico e minimizar os impactos ambientais relacionados à implantação e desenvolvimento das ações, obras e serviços de saneamento básico e assegurar que sejam executadas de acordo com as normas relativas à proteção do meio ambiente, ao uso e ocupação do solo e à saúde.

Para cumprimento de todos os princípios, objetivos e diretrizes estabelecidos, é válido ressaltar que há titularidade para execução desse tipo de serviço público, ou seja, há instituição competente para realização do planejamento do saneamento básico, tanto na vertente municipal, como regional e federal. Assim, a lei de saneamento orienta a atuação dos órgãos do Poder Executivo Federal no setor, o que resultará na redução do nível de incerteza e de conflitos nas relações entre entidades federais, como o antigo Ministério das Cidades (atual Ministério do Desenvolvimento Regional), e entidades estaduais e municipais (Pereira Júnior, 2008).

Em 15 de Julho de 2020, a Lei 14.026 foi sancionada para atualizar o marco legal do saneamento básico, alterando as Leis nº 9.984/2000, a Lei nº 10.768/2003, a Lei 11.107/2005, a Lei nº 11.445/2007, a Lei nº 12.305/2010, a Lei 13.089/2015 e a Lei nº13529/2017. O objetivo do novo marco é uniformizar regras, definir padrões das atividades regulatórias e da formação de políticas públicas, e aumentar a competição, se fazendo obrigatória a abertura de licitação para prestação de serviços de saneamento, entre outras alterações. Porém os aspectos tratados aqui neste tópico sobre a Lei 11.445/2007 permanecem vigentes.

3.2.2. Assentamentos Precários Urbanos e os Serviços de Esgotamento Sanitário

Os serviços em saneamento básico são divididos em quatro vertentes: abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos urbanos. Um dos fatores que desafiam a demanda dos serviços urbanos é o crescimento populacional. Quando esse crescimento é rápido ou há alta densidade populacional num local, há implicações na complexidade das questões técnicas, que envolvem a garantia da cobertura desses serviços. O esgotamento sanitário refere-se ao conjunto de obras e instalações destinadas à coleta, transporte, afastamento, tratamento e à disposição final das águas residuais de uma comunidade, de uma forma adequada do ponto de vista sanitário (BRASIL, 2011).

As ações para possibilitar o saneamento em assentamentos precários são urgentes, considerando a quantidade de pessoas que não têm acesso a qualquer tipo de serviço de saneamento e que por consequência podem morrer ou adoecer por doenças relacionadas à falta de saneamento e más condições higiênicas e sanitárias. A diarreia, por exemplo, é uma das principais causas de morte entre as crianças em todo o mundo, com 842.000 mortes por ano diretamente associadas à falta de abastecimento de água, saneamento e práticas de higiene adequadas (WHO, 2014).

Segundo Andersson *et al.* (2016), a coleta segura, o transporte e o descarte de resíduos de saneamento geralmente são um desafio de saúde negligenciado nas cidades. Em alguns assentamentos precários no mundo, o esvaziamento das latrinas é feito de forma manual e não com o caminhão a vácuo, que é a forma mais segura (JENKINS *et al.*, 2015). Além disso, há assentamentos que irrigam seus vegetais com águas contaminadas sem o devido tratamento, o que propicia o contato da população com patógenos causadores de doenças infecciosas.

Em 2015, no mundo, mais de 700 milhões de residentes urbanos - aproximadamente 9% da população mundial - não tinham acesso a saneamento, incluindo 80 milhões que praticam a defecação a céu aberto (UNICEF/WHO, 2015). No Brasil, segundo o 23º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (BRASIL, 2019), relativo aos dados do ano de 2017, somente 60,2% da população brasileira era atendida por redes coletoras de esgoto. Vale ressaltar que esse valor não considera as soluções individuais para o esgotamento, como as fossas sépticas. Segundo o mesmo relatório, foram feitas 545,4 mil novas ligações de esgoto em todo o País – aumento de 1% na comparação com 2016. Em extensão, as redes de esgoto ampliaram-se 3,2%, num total de 9,7 mil quilômetros, o que possibilitou um aumento de 1,3% na população atendida, ou seja, mais

de 1,4 milhão de habitantes passaram a contar com acesso a redes de esgoto. O diagnóstico do SNIS para o Distrito Federal quanto ao atendimento dos serviços de esgotamento sanitário está representado na Tabela 3.2 abaixo, sendo que 100% do esgoto coletado da população atendida, é tratado.

Tabela 3.2 - Dados da população atendida com esgotamento sanitário (em habitantes) no DF.

População residente total segundo IBGE	População residente urbana	População total atendida com esgotamento sanitário	População urbana atendida com esgotamento sanitário
3.039.444	2.935.435	2.586.567	2.498.056

Fonte: Dados SNIS (BRASIL, 2019). Dados referentes à 2017. Elaboração da autora.

Observando os dados, vê-se que 15% da população urbana do DF, ou seja, 437.379 habitantes, ainda não são atendidos por serviços de esgotamento sanitário. Dentre as regiões não atendidas, estão inclusos assentamentos ainda não regularizados. Entretanto, a situação do saneamento em assentamentos irregulares varia, pois nem todos os assentamentos irregulares são favelas, e nem todos os habitantes desses assentamentos são de baixa renda. Então, há assentamentos irregulares que não são precários, por disporem de soluções individualizadas bem projetadas que não oferecem risco aos habitantes locais.

Porém, a realidade dos assentamentos precários é diferente, pois as soluções em saneamento, principalmente de esgotamento sanitário, quando existentes, não são projetadas, muito menos monitoradas. Muitos moradores urbanos usam estruturas autoconstruídas para coleta e disposição de esgotos domésticos, como latrinas ou banheiros com descarga e fossas sépticas. Esses sistemas devem ser esvaziados periodicamente (ou substituídos, no caso de algumas latrinas), e o descarte e tratamento seguros de resíduos podem ser onerosos para os usuários e difíceis de realizar em assentamentos informais de alta densidade (JENKINS *et al.*, 2015; ANDERSSON *et al.*, 2016).

Isso confere um risco à saúde desses moradores devido à proliferação de doenças infecciosas, por exemplo dengue, viroses transmissíveis por vetores/insetos, diarreia e infecções nos olhos e pele. Além dos riscos diretos às comunidades e ecossistemas humanos, há os riscos diretos ao meio ambiente, que também afetam as comunidades locais. A destinação, armazenamento e tratamento inadequados dos efluentes produzidos nos assentamentos pode ocasionar infiltrações no solo, consequentemente poluindo esse solo e as águas subterrâneas - principalmente em épocas de chuva -, afetando a qualidade da água que poderia ser consumida.

No tópico 3.2.3 há uma exemplificação de problemas socioambientais que fazem parte da realidade da comunidade do Setor Habitacional de Santa Luzia (SHSL), no Distrito Federal.

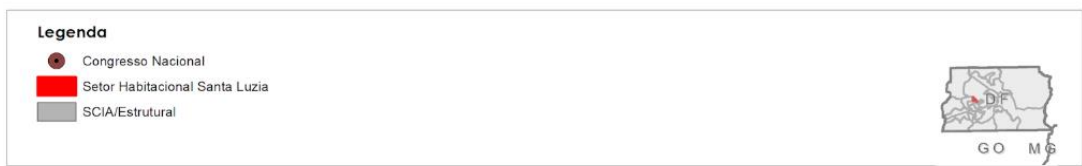
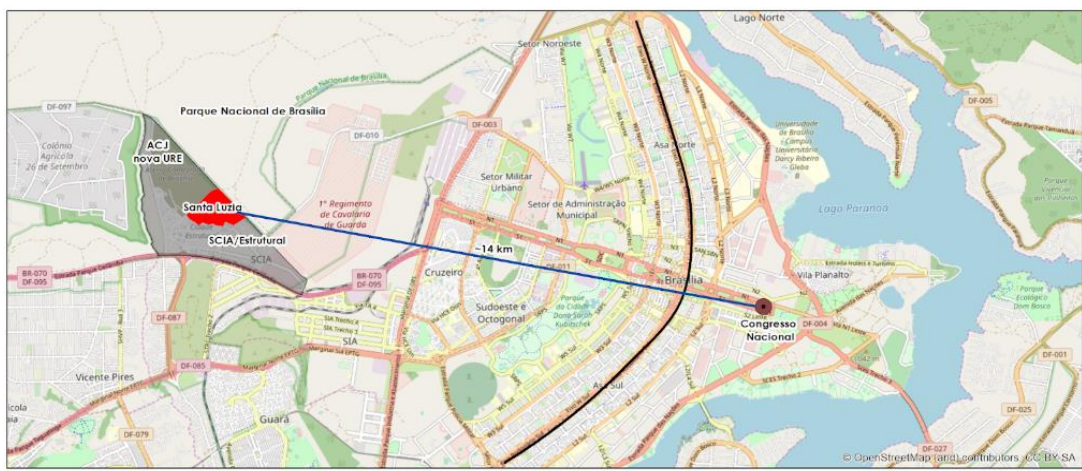
3.2.3. Caracterização do Estudo de Caso

O Setor Habitacional Santa Luzia (SHSL), conhecido também como Chácara Santa Luzia, é localizado no Distrito Federal, a aproximadamente 14 quilômetros do Congresso Nacional e é situado na Cidade Estrutural, pertencente ao Setor Complementar de Indústria e Abastecimento (SCIA) e Estrutural. Em janeiro de 2004, a Lei nº 3.315 cria o Setor Complementar de Indústria e Abastecimento - SCIA/Estrutural, que foi transformado na Região Administrativa XXV, estabelecendo a Cidade Estrutural como a sede urbana (CODEPLAN, 2016). Nas Figuras 1 e 2 é possível visualizar a localização do SHSL dentro do DF.

A região está localizada nas proximidades do Parque Nacional de Brasília e ao lado do antigo Aterro Controlado do Jóquei (ACJ), conhecido por Lixão da Estrutural, o qual permaneceu ativo desde a inauguração de Brasília, que ocorreu em abril de 1960, até o ano de 2018, em que foi oficialmente interdito para receber resíduos. A ocupação da Cidade Estrutural iniciou-se no início dos anos 1990 devido a esse lixão, atraindo pessoas para catação, as quais começaram a construir moradias precárias. Segundo a CODEPLAN (2016), em pouco tempo, a área se expandiu e tornou-se uma grande ocupação.

O Setor Habitacional Santa Luzia tem uma área de cerca de 82 hectares e possui aproximadamente 3.350 unidades habitacionais. A população específica do SHSL não é mensurada pelo IBGE, mas estima-se que em torno de 16.700 pessoas vivam no local. A estimativa do número de unidades habitacionais foi realizada via sistema de informação geográfica (ArcGis) e para a contabilização de número de habitantes, utilizou-se a média de 4 pessoas por habitação, informação fornecida por líderes comunitários locais.

De acordo com o Coeficiente de Gini - metodologia utilizada para medir desigualdade de renda - calculado com dados sobre rendimentos de fontes de trabalho, previdência, aluguéis, pensão alimentícia da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Distrito Federal foi o segundo território mais desigual do Brasil em 2018, tal desigualdade está associada, entre outros fatores, ao acesso aos serviços de saneamento.



Localização Setor Habitacional Santa Luzia e proximidade com o Congresso Nacional

SBRGAS 2000 UTM June 23S
 Transverse Mercator
 Fonte:
 SNU / SEGETH / IBGE



Figura 3.1 - Localização do Setor Complementar de Indústria e Abastecimento (SCIA)/Estrutural e Setor Habitacional Santa Luzia.



Figura 3.2 - Setor Habitacional Santa Luzia.

Diversos são os problemas em relação ao abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e drenagem urbana nas áreas que sofrem com a desigualdade. A cidade Estrutural (DF) apresenta um dos piores índices do Distrito Federal em relação aos serviços de saneamento (NOSSA BRASÍLIA, 2016). Por esse motivo, o Setor Habitacional Santa Luzia foi escolhido como estudo de caso desta dissertação de mestrado.

Ademais, com a finalidade de conhecer melhor a realidade de Santa Luzia e de se compreender os problemas ali vividos, foi realizada uma visita no local no dia 3 de maio de 2019.

Quadro 3.1- Descrição dos problemas de saneamento encontrados no Setor Habitacional Santa Luzia - DF.

Abastecimento de água	<ul style="list-style-type: none"> • Não há acesso à rede de abastecimento de água <ul style="list-style-type: none"> • Rede clandestina • Perdas de água
Esgotamento Sanitário	<ul style="list-style-type: none"> • Fossa individual (Valas, Fossas Sedimentares e Fossas Sépticas)
Drenagem Urbana	<ul style="list-style-type: none"> • Ruas não asfaltadas • Pontos de alto índice de alagamento (nas vias e no interior das casas) • Dificuldade de locomoção em épocas de chuva
Resíduos Sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Papa-Lixos fornecidos pelo SLU • Presença de muito entulho em pontos específicos • Coleta não chega em alguns locais devido a falta de pavimentação e ais fios clandestinos de energia elétrica

Fonte: Elaborado pela autora.

Observando o local percebeu-se que, com a falta de acesso a infraestruturas adequadas, os moradores recorrem a outras formas de acessarem os serviços, mesmo que precárias, a fim de suprirem suas necessidades. Quanto ao acesso à água, os moradores fazem ligações ilegais de água em redes de uso comum na parte regularizada da Cidade Estrutural até Santa Luzia, por meio de mangueiras e canos com manilhas. Ainda assim algumas das casas não possuem esse acesso por mangueira e encanação, sendo necessário buscar água em baldes nos locais mais próximos que possuem acesso. Essa forma que os moradores de Santa Luzia encontraram para acessar água potável ocasiona muitas perdas nos sistemas de distribuição, que são dificilmente controlados.

Quanto ao serviço de esgotamento sanitário, o Plano Distrital de Saneamento Básico (PDSB, 2017) diz que o esgoto da Cidade Estrutural é tratado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE)

Brasília - Norte, mas ainda assim o Setor Habitacional Santa Luzia não tem acesso a redes de esgotos. Por esse motivo, os moradores constroem sistemas de tratamento de esgotos, como fossas sépticas ou rudimentares em seus terrenos, sem critérios de dimensionamento que geralmente não recebem nenhum tipo de manutenção.

Embora não haja fiscalização aos critérios de construção das fossas sépticas, já há indícios de contaminação da rede clandestina de abastecimento de água com esgoto, bem como contaminação do lençol freático da região de acordo com a ata da reunião que aconteceu entre alguns representantes do Serviço de Limpeza Urbana (SLU), da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb), a Companhia Energética de Brasília (CEB), Companhia de Desenvolvimento Habitacional do Distrito Federal (Codhab), Secretaria de Segurança Pública e da Administração Regional e o secretário de Atendimento à Comunidade do DF. Devido a isso, segundo a ata, o Tribunal de Justiça do Distrito Federal (TJDF) pediu que o Governo do Distrito Federal (GDF) lacrasse todos os poços e fossas existentes em 2019, porém nada foi feito até o momento.

Em relação à drenagem urbana, como as ruas não são pavimentadas, algumas das informações coletadas com a visita ao local foram confirmadas por relatórios e documentos oficiais. O Plano Distrital de Saneamento Básico (PDSB, 2017) contém informações sobre o diagnóstico e o planejamento do saneamento para o Distrito Federal. Segundo o PDSB, a Defesa Civil do DF - Secretaria de Estado de Segurança Pública e da Paz Social (SSP), elabora anualmente um levantamento das principais áreas de risco para subsidiar o Plano de Contingências de Proteção e Defesa Civil (PLANCON), que especificamente para o DF é dividido em dois capítulos: período chuvoso (riscos relacionados com as chuvas intensas) e período seco (riscos relacionados com os incêndios e baixa umidade do ar).

O último levantamento de áreas de risco do Distrito Federal foi realizado em outubro de 2015, e apontou para 36 áreas de risco distribuídas por 18 RAs, totalizando 4.960 residências em situação de médio, alto e muito alto risco. Segundo o relatório, um dos pontos críticos de alagamentos é na RA Estrutural, na localidade de Santa Luzia. Assim, em épocas de chuva no DF, as ruas se alagam, dificultando a locomoção dos moradores locais. Além disso, algumas residências também são alagadas, causando transtornos à população.

No que se refere aos resíduos sólidos urbanos, parte da RA é atendida pelo serviço de coleta de resíduos domiciliares regularmente pelo Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU-DF). No entanto, no Setor Habitacional Santa Luzia esse atendimento não é completo, tendo em vista a infraestrutura viária do local, que sofre problemas de falta de pavimentação, vielas estreitas, fiação de rede elétrica baixa, entre outros fatores que impedem o tráfego de caminhões de coleta. Em uma tentativa de aumentar a cobertura do serviço de coleta de resíduos, o SLU-DF instalou alguns contêineres semienterrados, conhecidos como “papa-lixo”. É um sistema de coleta ponto-a-ponto combinado com a utilização de contêineres semienterrados (SLU, 2018). Ressalta-se que este modelo de coleta necessita do apoio da população para que haja o descarte dos resíduos no local adequado. Embora exista esse modelo de coleta no local, foi verificado em campo que nem toda a demanda de coleta de resíduos foi atendida, uma vez que existem resíduos da construção civil espalhados pela região e ainda pontos de descarte irregular de resíduos.

Os problemas consequentes da falta de serviços básicos geram impactos sociais, econômicos, imobiliários e ambientais não só para o local, mas para toda a cidade. Os impactos sociais são referentes aos riscos à saúde promovidos pela falta de saneamento, bem como riscos de acidentes decorrentes das soluções clandestinas em saneamento e energia elétrica na comunidade. Os econômicos são referentes aos prejuízos causados pelas opções clandestinas, como a perda de água e pela cobrança de terceiros sob os serviços clandestinos que são prestados à comunidade. Os ambientais se referem às disposições inadequadas e à falta de tratamento necessário, tanto dos resíduos sólidos quanto do esgoto gerado pela comunidade. Além disso, como mencionado, as ocupações da comunidade de Santa Luzia estão próximas ao Parque Nacional de Brasília (PNB), tal fato é agravante, pois o PNB é um local importante por ser uma unidade de conservação brasileira de proteção integral à natureza. O Governo do Distrito Federal já recebeu sentença por parte da justiça para a desocupação de pelo menos uma franja de 300 metros dos limites do Parque, o que está sendo negociado com os moradores do local.

3.2.4. Desafios e Oportunidades do contexto para o Planejamento de Inovações no Saneamento Urbano

Observando os diversos problemas de saneamento básico existentes nos assentamentos precários urbanos e o nível de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário nas áreas urbanas, sabe-se que há a necessidade de suprir essa demanda. Atender a essas necessidades significa

desenvolver sistemas seguros, econômicos e funcionais, bem como sustentáveis em longo prazo, e isso requer uma melhor compreensão das disfunções, descontinuidades e desigualdades nos atuais modelos de provisão de saneamento (ANDERSSON *et al.*, 2016).

Segundo Denaldi e Ferrara (2018), o poder público tem certa incapacidade de conceber políticas públicas que levem em conta não somente o efeito – degradação ambiental, social e urbana –, mas também suas causas – as formas de produção do espaço urbano. A atenção limitada dos decisores e dos investimentos associados para atender às necessidades críticas de saneamento nas áreas urbanas contribuíram para sistemas insustentáveis em muitas cidades (ANDERSSON *et al.*, 2016). Partindo desse princípio, uma das causas principais para a origem dos problemas são os sistemas disfuncionais e insustentáveis, ou seja, os sistemas inadequados de coleta e tratamento, quando são presentes; sistemas que possibilitam a coleta, porém com a falta de tratamento adequado; ou as soluções de saneamento descentralizadas inadequadas, com baixa ou nenhuma frequência de manutenção.

O paradigma técnico do saneamento básico foi tradicionalmente voltado para sistemas centralizados. Atualmente, as soluções mais convencionais para atendimento a populações que residem em localidades urbanas continuam sendo soluções centralizadas. Entretanto, tais técnicas possuem um custo elevado tanto na sua construção, quanto na sua operação e ampliação das redes a locais distantes das Estações de tratamento (MASSOUD *et al.*, 2009). Essas soluções dependem do serviço de uma Companhia de Saneamento Básico e consistem em coletar os efluentes domésticos em cada domicílio e transportá-los por meio de encanamentos subterrâneos (redes coletoras), até a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) mais próxima ou mais viável de se tratar esses efluentes - devido a condições topográficas e de direção dos fluxos.

Apesar disso, segundo Andersson *et al.* (2016), muitas vezes se tornam sistemas disfuncionais, e mesmo sendo sistemas com uma boa tecnologia de tratamento, se tornam subdimensionados devido ao crescimento populacional, e necessitam de novos investimentos para reformas, ampliação e modernização. Com esses aspectos, os efluentes não são tratados em sua totalidade, e quando lançados em corpos hídricos ou no solo, podem contaminá-los.

Assim, a dimensão e complexidade do problema requerem, para seu enfrentamento, soluções que visem à qualificação ambiental e, ao mesmo tempo, garantam o direito à moradia. Há indícios de que, para isso, é preciso elevar a qualidade dos projetos e garantir sua integral realização nas

intervenções para promover a adequada recuperação ambiental e urbanística dos assentamentos (DENALDI E FERRARA, 2018).

Por esses motivos, abordagens mais sustentáveis de tratamento de esgotos, e até mesmo de outras vertentes do saneamento, são discussões recorrentes e relevantes atualmente. Andersson *et al.* (2016) reconhece as soluções sustentáveis de saneamento como uma oportunidade de enfrentar os desafios de saneamento urbano a partir de uma perspectiva de recuperação de recursos ambientais. Assim, a definição mais completa para o saneamento sustentável engloba soluções que, além de proteger e promover a saúde humana, devem ser economicamente viáveis, socialmente aceitáveis, técnica e institucionalmente apropriadas e, devem também proteger o meio ambiente e os recursos naturais (SuSanA, 2008).

Andersson *et al.* (2016b) estudou o papel do saneamento sustentável para a recuperação e reutilização de recursos e como essas soluções podem contribuir para alcançar alguns dos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da Agenda 2030, levantados pela Organização das Nações Unidas. Uma das questões abordadas no estudo foi a eficiência de interação de organismos, permitindo que resíduos se tornem insumos valiosos para outros processos. Segundo Andersson *et al.* (2016b), grande parte do desenvolvimento sustentável está baseado em usos cíclicos de recursos, transformando gerenciamentos de recursos lineares em esquemas cíclicos, e isso também vale para as águas residuárias.

Vários dos ODS estão relacionados com a melhora do saneamento. O Objetivo 1 visa acabar com a pobreza em todas as suas formas e em todos os lugares, o que inclui reduzir a exposição e vulnerabilidade de pessoas menos favorecidas a desastres sociais e ambientais, nos quais podem se incluir desastres relacionados à falta de acesso ao saneamento básico; o ODS 3 visa assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, e isso pode ser promovido pelo acesso a saneamento básico adequado, evitando doenças causadas pela poluição da água e do solo; o ODS 6 visa assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos por meio da universalização e equalização do acesso ao saneamento, incluindo processos de reciclagem e reutilização de águas residuárias; o ODS 11 visa tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, que é promovido pela urbanização de assentamentos, de modo que todos tenham acesso aos serviços básicos, inclusive ao saneamento básico; o ODS 12 visa assegurar padrões de produção e consumo sustentáveis, incluindo a gestão

sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais, que pode ser promovida pelo acesso ao saneamento sustentável e reúso de recursos por meio dele; e o ODS 14 visa a conservação dos oceanos e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável, que inclui evitar e mitigar as poluições aos mares advindas de atividades terrestres, como por exemplo o lançamento de esgotos sem nenhum tratamento nos oceanos.

As soluções sustentáveis para tratamento de esgotos podem ser soluções descentralizadas, ou seja, um sistema centralizado seria dividido em ETEs menores para tratar os efluentes próximo ao local de geração, o que permite a universalização do saneamento básico, bem como uma economia considerável de custos e recursos. Além disso, pode permitir o reúso dos efluentes das mini-estações para outros fins, aumentando a sustentabilidade da solução. Portanto, no mundo em desenvolvimento, o desafio é ultrapassar as abordagens e tecnologias "dead-end" – que usam sistema de coleta (redes) e visam tirar esse efluente das cidades, afastando da vista comum tudo o que seja desagradável à comunidade sem envolvê-la na problemática ambiental – como uma oportunidade de desenvolver e implementar sistemas mais sustentáveis, especialmente para locais sem serviços de saneamento (LÜTHI *et al.*, 2009 e EIGENHEER, 2009).

3.3. TECNOLOGIAS DESCENTRALIZADAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTOS

As tecnologias descentralizadas de tratamento de esgotos domésticos, como dito anteriormente, podem desempenhar um papel importante na perspectiva de contribuir para a universalização dos serviços de esgotamento sanitário, sendo complementar e não oposta à forma convencional de sistemas convencionais e centralizados para tratamento de esgotos.

Segundo Larsen *et al.* (2013), os sistemas descentralizados de tratamento de esgotos podem ser definidos como sistemas autônomos utilizados para tratamento de pequenas vazões de esgoto gerados em residências, condomínios, comunidades isoladas ou tradicionais, pequenos municípios ou municípios com baixo adensamento populacional, nas quais, os resíduos podem ser processados no local de geração ou tratados em outras unidades. Assim, o esgoto é coletado, tratado e descartado (ou reutilizado) próximo ao local da geração.

A adoção de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados em países em desenvolvimento não é apenas uma solução de longo prazo para pequenas comunidades, mas é confiável e possui custo mais efetivo (MASSOUD *et al.*, 2009).

A *Water Supply and Sanitation Collaborative Council - WSSCC* concebeu o conceito de *Household-Centred Environmental Sanitation - HCES* (saneamento ambiental domiciliar), e essa alternativa propõe estabelecer a residência e sua vizinhança como a parte central do processo de planejamento do saneamento básico urbano, ou seja, propõe a solução do problema de saneamento o mais próximo possível da sua origem.

Essa abordagem, portanto, é diferente da ideia de que os sistemas descentralizados têm como foco somente a implementação em locais de difícil acesso ou localidades distantes dos sistemas de tratamento, em que a instalação de redes coletoras não é viável economicamente, mas sim podem ser consolidadas como soluções de saneamento sustentável até mesmo em meios urbanos de maior densidade populacional, quando possível e necessário.

No Quadro 3.2, são descritas algumas das vantagens dos sistemas descentralizados de tratamento de esgoto.

Quadro 3.2 – Vantagens das Tecnologias descentralizadas de tratamento de esgotos

ÁREA	VANTAGENS
SOCIAL	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuem para a melhoria da saúde da população local - Podem gerar trabalho e renda - Podem ajudar a produzir contribuindo com a segurança alimentar - São adaptáveis aos costumes e à cultura - Normalmente São bem aceitos pela população e entidades fiscalizadoras - Podem ajudar a compor o paisagismo local
ECONÔMICO	<ul style="list-style-type: none"> - Os sistemas mais simples têm baixo custo de instalação e operação - Consomem pouca energia e insumos externos - Alguns subprodutos do sistema têm valor comercial e podem gerar renda (alimentos, biogás, plantas ornamentais) - Há economia em adubos quando se utiliza o esgoto tratado na agricultura
AMBIENTAL	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas unifamiliares podem ser compactos - Usam poucos insumos e energia na construção e operação - Reduzem a poluição do solo e corpos hídricos locais - Podem melhorar as condições ecológicas locais - Promovem o reúso de água e de nutrientes localmente
OPERACIONAL	<ul style="list-style-type: none"> - Dispensam a construção de rede coletora local e estações elevatórias - Têm boa flexibilidade operacional - Podem ser ampliados ao longo do tempo - Têm baixo consumo de materiais e energia - Em boa parte dos sistemas não se cobra pelo tratamento - Não requerem mão-de-obra especializada - Podem tratar águas cinzas e de vaso sanitário separadamente - São pouco influenciados por desastres naturais

Fonte: Elaborado pela autora. Bueno (2017) apud. Tonetti (2018)

Trein (2015) considera que diversas tecnologias podem ser aplicadas sob o contexto do tratamento descentralizado de esgotos, estando sua escolha relacionada com as condições específicas do local, dos recursos financeiros disponíveis e do requerimento legal local de lançamento do efluente tratado.

Como os sistemas descentralizados têm grande flexibilidade de construção, a definição do arranjo tecnológico deve assegurar proteção da qualidade do meio ambiente, a conservação de recursos, o reúso do efluente de tratamento e a reciclagem de nutrientes, necessitando em muitos casos promover o tratamento em nível avançado (HO, 2005).

Para assegurar a qualidade do tratamento, as tecnologias descentralizadas também apresentam alguns desafios para implantação ao serem comparadas com os sistemas centralizados e convencionais. Tonetti (2018) tratou sobre algumas das objeções no âmbito ambiental, social, econômico e operacional, descritos a seguir com mais detalhes.

Quanto aos desafios técnicos e operacionais, pode-se citar que a escolha das tecnologias e suas combinações diferentes pode representar um desafio considerável para os atores envolvidos, como arquitetos, urbanistas, planejadores e engenheiros da área de saneamento, principalmente com o fato de que habitantes de assentamentos de baixa renda e residências de alto padrão podem ter preferências e prioridades bastante diferentes ao selecionar um sistema de saneamento adequado para sua situação. Além disso, a gestão dos sistemas descentralizados nem sempre terá acompanhamento periódico para atestar a qualidade e efetividade do seu tratamento.

Outros desafios levantados e relacionados aos critérios ambientais são: a sobrecarga e contaminação dos solos com baixa permeabilidade ou em locais com elevada densidade populacional; a possibilidade de contaminação de águas subterrâneas decorrente dessa infiltração; e a necessidade de área disponível para implantação do sistema próximo ao local de geração.

Quanto aos desafios sociais, têm-se: aceitação da comunidade e moradores locais, que pode ser contornada com maior participação dos beneficiados na escolha da tecnologia, considerando por exemplo a opinião dos moradores locais para a atribuição de pesos aos critérios de decisão para essa escolha.

Apesar dos desafios elencados, há possibilidade de contorno dessas objeções com um bom planejamento e concepção do sistema de tratamento a fim de entender as melhores soluções tecnológicas descentralizadas para a realidade a ser analisada, que dependem de características locais, e não só de critérios técnicos como a eficiência de tratamento do sistema.

3.3.1. Apresentação dos Sistemas de Tratamento de Esgotos

A gestão para tratamento dos efluentes domésticos pode ser dividida em algumas etapas, que são o armazenamento e transporte; a separação de sólidos e gorduras; a digestão da matéria orgânica; o uso de nutrientes e redução de patógenos; e o reúso ou destino final. (Paulo *et al.*, 2018)

Essas etapas geralmente são distribuídas em níveis de tratamento, denominados de tratamento preliminar, primário, secundário e terciário. Nos sistemas convencionais centralizados, o nível de tratamento preliminar consiste em remoção de sólidos grosseiros e areia, e possuem o auxílio de grades e caixas de areia; o tratamento primário consiste na remoção de materiais sedimentáveis e flutuantes; o secundário tem como objetivo a degradação biológica da matéria orgânica dissolvida; e, o terciário, na remoção de nutrientes e desinfecção do efluente, sendo destinado posteriormente ao local de disposição final, que normalmente são corpos d'água.

Para sistemas de tratamento descentralizados há algumas diferenças no que ocorre em cada nível de tratamento. Por exemplo, no tratamento preliminar, como as tubulações de coleta de esgotos são mais curtas para sistemas unifamiliares, a única unidade que deve ser instalada obrigatoriamente é a caixa de gordura, que recebe as águas cinzas provenientes da cozinha evitando o acúmulo das placas de gordura nas tubulações e o comprometimento da eficiência dos sistemas de tratamento. (TONETTI *et al.*, 2018)

Segundo Tonetti *et al.* (2018), para os níveis de tratamento primário e secundário, o tanque séptico é uma das tecnologias descentralizadas que desempenha a remoção de sólidos e inicia a degradação biológica da matéria orgânica. Como tecnologia para o tratamento secundário, há outras opções como os filtros anaeróbios, os sistemas alagados construídos (conhecidos também como Wetlands), e os filtros de areia.

O nível terciário de tratamento possui poucas alternativas tecnológicas para aplicação nos sistemas descentralizados, mas a Wetland é uma opção que realiza essa função de remoção de nutrientes quando dimensionada corretamente.

Outra alternativa para esta etapa e conseqüentemente para o reúso de água e nutrientes, é a disposição final do efluente no solo, que atua como complemento ao tratamento secundário no que se refere à remoção de patógenos e nutrientes do efluente ao escoar através dos pequenos espaços vazios das camadas insaturadas do solo. Algumas tecnologias consideradas para tal finalidade são as Valas de Infiltração, Círculo de Bananeiras e Sumidouro.

3.3.2. **Tecnologias Descentralizadas mais utilizadas no Brasil**

O presente trabalho foi baseado na avaliação de cinco alternativas de sistemas de tratamento descentralizados de esgoto, compostas por nove tecnologias de tratamento, entre tecnologias de tratamento em nível primário e secundário, bem como as de disposição final no solo. Este tópico tem o objetivo de demonstrar alguns detalhes construtivos a fim de descrever as tecnologias de tratamento com maior facilidade de visualização e compreensão.

Vale ressaltar que as tecnologias aqui abordadas, foram formuladas para tratamento de esgotos domésticos, ou seja, tanto para águas negras, provenientes de vasos sanitários, quanto de águas cinzas, provenientes das pias do banheiro e cozinha e das máquinas de lavar.

Em todos os casos, somente as águas cinzas devem passar pelo pré-tratamento na caixa de gordura, para ocorrer a separação dos óleos e gorduras, e evitar problemas no desempenho da tecnologia de tratamento principal. Porém, em alguns casos, como na Bacia de Evapotranspiração (BET), após a caixa de gordura, as águas cinzas são destinadas diretamente à disposição final no solo (vala de infiltração ou círculo de bananeiras). Já as águas negras, não passam pela caixa de gordura e são encaminhadas para tratamento principal, e posteriormente encaminhada à disposição final.

• **Tanque Séptico**

Segundo Chernicharo (2007), o Tanque séptico (Figura 3.3) é uma das alternativas mais antigas de tratamentos de esgoto. Ele é formado por uma câmara que desempenha diversas funções, armazenando o esgoto e proporcionando a sedimentação e a remoção de materiais sólidos e

flutuantes (óleos e gorduras), além de funcionar como digestor de baixa carga, muito utilizado para o tratamento de esgotos de pequenas áreas ou domicílios que não possuem rede coletora.

Apesar de ser uma tecnologia de tratamento muito utilizada, por serem tanques de sedimentação, não há reações bioquímicas, e por isso a remoção de matéria orgânica é limitada, que pode variar de 30% a 50% (VON SPERLING E CHERNICHARO, 2005). Por isso, o efluente do tanque séptico deve passar por outras etapas de tratamento complementar, com tecnologias como wetlands, filtro anaeróbio e filtros de areia (TONETTI, 2018).

Entretanto, há outros sistemas anaeróbios que desempenham a função de remoção de poluentes, como a matéria orgânica e o material em suspensão, de forma mais eficiente, devido a maior retenção de biomassa ativa (sólidos). Esses sistemas são conhecidos como reatores de alta taxa. (CHERNICHARO, 2007).

Os tanques sépticos podem ser construídos em concreto, alvenaria ou outro material que atenda as condições de segurança, durabilidade, estanqueidade e resistência a agressões químicas dos despejos, observadas as normas de cálculo (ABNT, 1993).

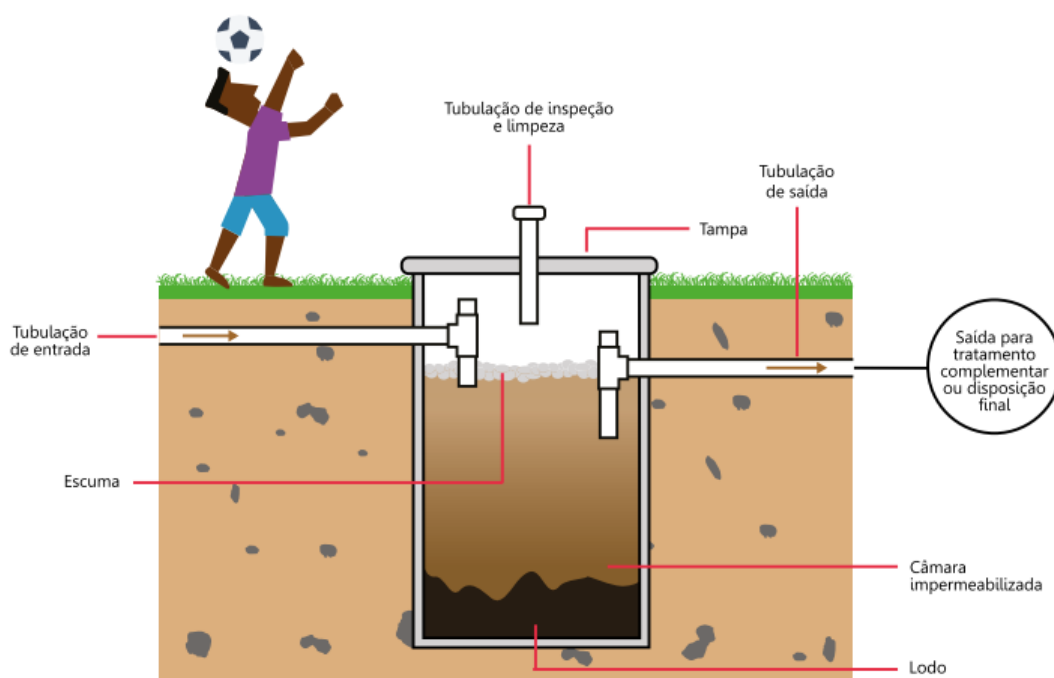


Figura 3.3 – Esquema de Tanque Séptico. Fonte: Tonetti *et al.* (2018)

- **Wetland (Sistemas Alagados Construídos)**

A Wetland Construída (WC), também conhecida como Zonas de Raízes ou Sistema Alagado Construído (SAC) é um sistema de tratamento utilizado como tratamento descentralizado e possui uma diversidade de possibilidades de projetos e recursos operacionais que podem ser adaptados para tratar efluentes domésticos, agrícolas e industriais (CAPODAGLIO *et al.*, 2017). Segundo Paulo *et al.* (2018), as Wetlands Construídas são sistemas de tratamento projetados para reproduzir processos naturais (como ocorre em pântanos), usados em uma etapa de pós-tratamento.

Para os efluentes domésticos, a WC (Figura 3.4) é uma tecnologia de tratamento de águas cinzas ou negras previamente tratadas, ou seja, geralmente são precedidos por uma tecnologia de tratamento em nível primário (preliminar), por exemplo o Tanque Séptico, Biodigestor ou Reator anaeróbico. Isso evita a saturação do sistema com material particulado, o que poderia implicar na necessidade de remoção e substituição de todo material filtrante com maior periodicidade e frequência.

Segundo Capodaglio *et al.*, (2017), os sistemas mais simplificados são lagos, onde algas e bactérias são usadas para o tratamento. Sistemas mais complexos são projetados para trabalhar com solo e plantas para filtração e reações bioquímicas. Apesar das várias possibilidades operacionais, são soluções baratas para assentamentos de pequeno e médio porte e que possuem boas eficiências de tratamento.

Um dos exemplos de Wetlands está descrito abaixo, composto por valas preenchidas com material suporte (brita, areia e seixo rolado), com paredes e fundos impermeabilizados, permitindo seu alagamento com o esgoto a ser tratado. No sistema são incorporadas plantas aquáticas ou macrófitas de rápido crescimento e propagação, que atuam na remoção de nutrientes e poluentes, além de favorecer a fixação de microrganismos que degradam a matéria orgânica (TONETTI *et al.*, 2018).

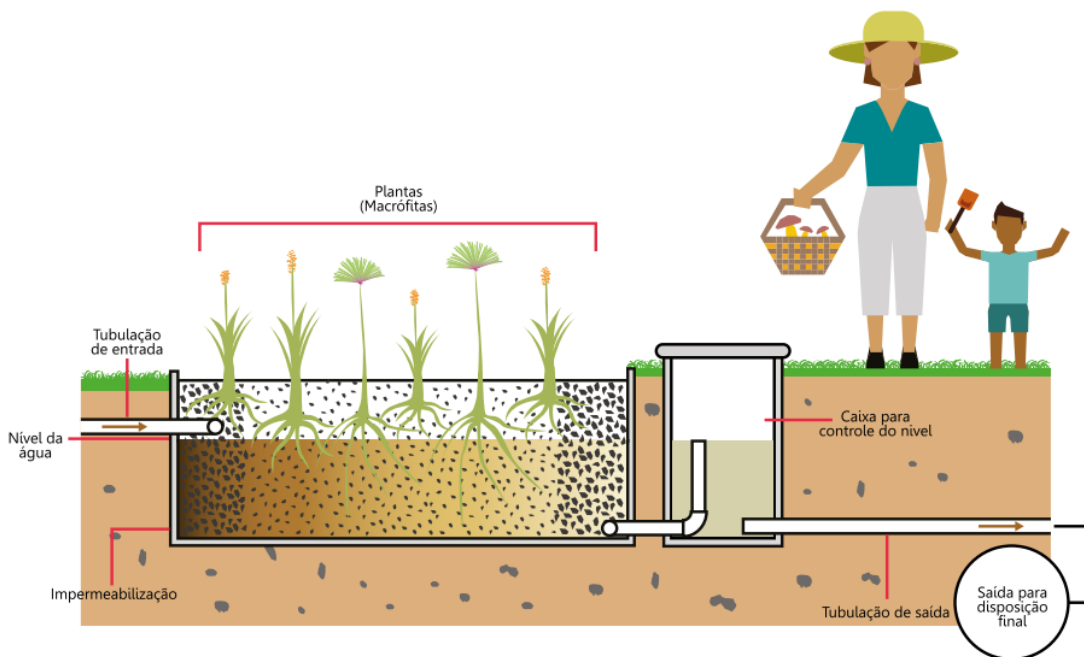


Figura 3.4 – Esquema de Wetland Construída. Fonte: Tonetti *et al.* (2018)

- **Bacia de Evapotranspiração**

A Bacia de Evapotranspiração (Figura 3.5), também conhecida como Fossa verde, Tanque de evapotranspiração (TEvap), Ecofossa, entre outros, é uma técnica desenvolvida por permacultores com potencial para aplicação no tratamento domiciliar de águas negras em zonas urbanas e periurbanas (PAMPLONA e VENTURI, 2004).

Geralmente a Bacia de Evapotranspiração não necessita de tratamento preliminar por tanque séptico pois a TEvap simplifica a etapa de digestão da matéria orgânica, funcionando como uma câmara de digestão anaeróbia. Além disso, diminui a necessidade de pós tratamento do efluente por ser dimensionado para que o efluente seja absorvido pelas plantas em condições normais de funcionamento (GALBIATI, 2009).

A TEvap não tem saída do esgoto tratado do sistema, então, faz o aproveitamento da água e dos nutrientes presentes no esgoto, reciclando os recursos para o desenvolvimento de bananeiras. Porém, é indicado a instalação de uma tubulação de drenagem, por precaução em dias com muito uso do vaso sanitário ou em dias com muita chuva (TONETTI *et al.*, 2018).

Vale ressaltar que, como a TEvap é uma tecnologia focada no tratamento de águas negras, advindas do vaso sanitário, há a possibilidade de destinar as águas cinzas para um círculo de bananeiras ou vala de infiltração, juntamente com a tubulação de drenagem que sai da TEvap.

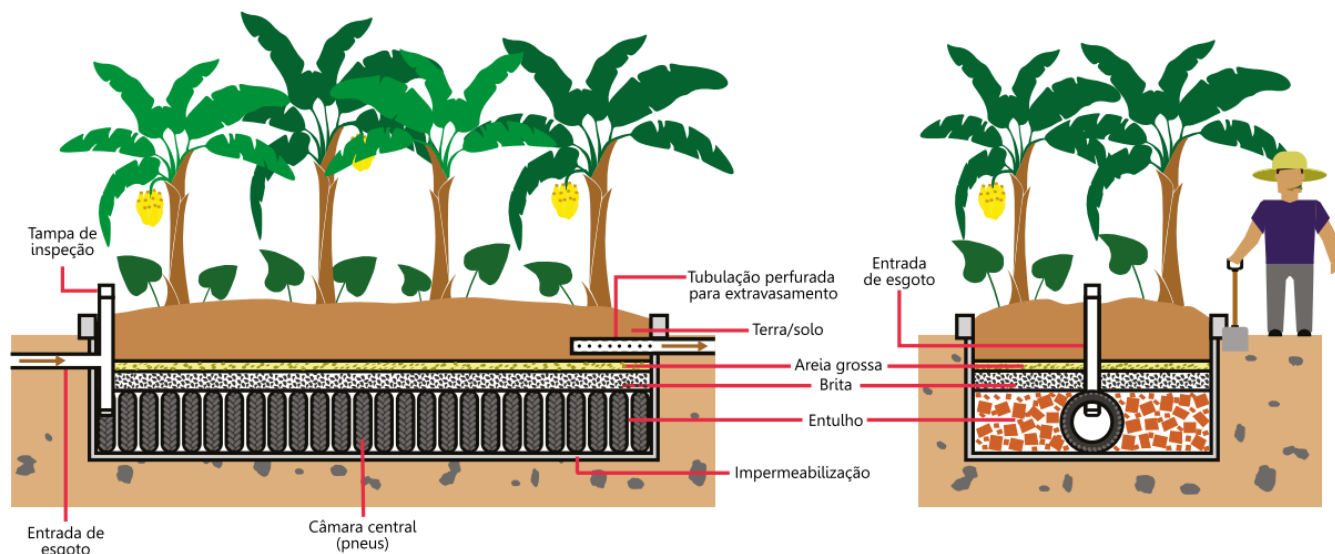


Figura 3.5 – Esquema de Bacia de Evapotranspiração. Fonte: Tonetti *et al.* (2018)

- **Filtro de Areia**

Os filtros de areia (Figura 3.6) são unidades complementares de tratamento de esgoto doméstico após passar por tanque séptico ou filtro anaeróbio. Essa tecnologia é um tanque preenchido de areia e outros meios filtrantes, com fundo drenante e com esgoto em fluxo descendente, onde ocorre a remoção de poluentes, tanto por meio físico (retenção), quanto bioquímico (oxidação), devido aos micro-organismos fixos nas superfícies dos grãos de areia (CRUZ, 2013). Segundo Tonetti *et al.* (2018), o sistema pode ser duplicado e composto de dois filtros de areia para uso alternado, o que garante a aeração natural da camada filtrante durante o repouso, essencial para manutenção dos microrganismos aeróbios e degradação do material retido na superfície de areia.

Segundo Leverenz *et al.*, (2009), os primeiros filtros utilizados eram muito exigidos, e como resultado obstruíam frequentemente, requeriam manutenção e longos períodos de repouso para recuperar a capacidade de filtração. Após diversos estudos, observou-se a necessidade de um pré-tratamento e o aumento da frequência de dosagem, o que melhorou o desempenho e aumentou a frequência de operação sem entupimento, permitindo que a tecnologia pudesse ser aplicada em áreas distantes onde a manutenção regular não era possível. O grau de tratamento dessa

tecnologia pode ser comparado com o secundário ou terciário, possibilitando a desinfecção e posterior reúso da água.

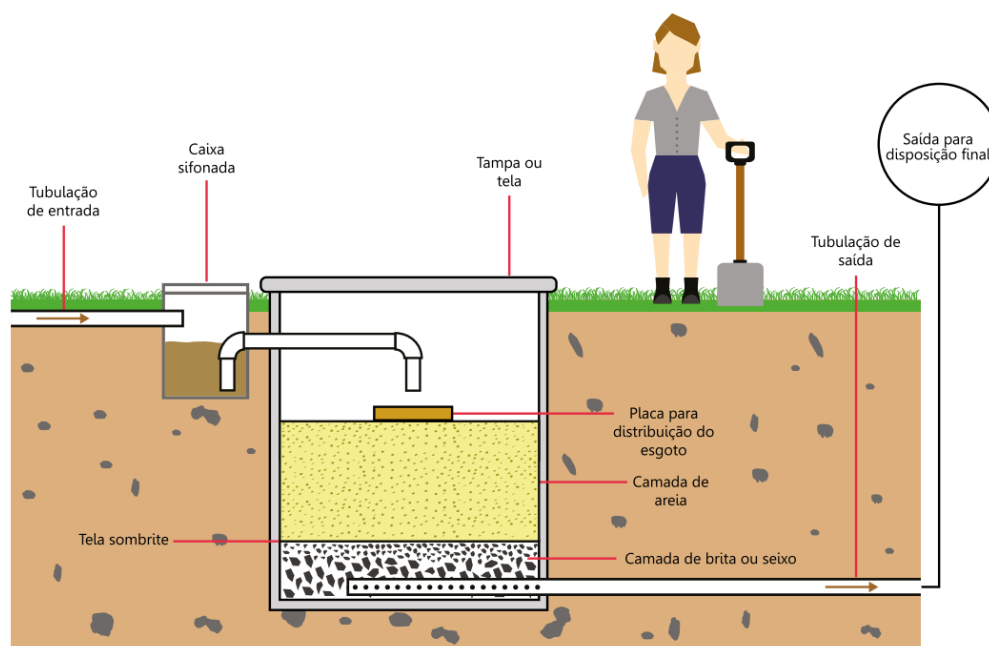


Figura 3.6 – Esquema de Filtro de Areia. Fonte: Tonetti *et al.* (2018)

• Filtro Anaeróbio

O Filtro anaeróbio (Figura 3.7) é uma unidade de pós-tratamento de esgoto doméstico, que pode ser precedida de um tanque séptico para evitar o entupimento do material suporte. O Filtro é formado por uma câmara preenchida por material filtrante, que permite a fixação de micro-organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica (TONETTI *et al.*, 2018).

O sistema funciona submerso, ou seja, os espaços livres são preenchidos com o líquido. Além disso, a unidade é fechada, e a carga de DBO aplicada por unidade de volume é muito alta, o que garante as condições anaeróbicas. Por ser um sistema anaeróbio, sempre existe o risco de geração de maus odores, porém, procedimentos adequados de projeto e operação podem contribuir para a redução desses riscos (VON SPERLING e CHERNICHARO, 2005).

Segundo Paulo *et al.* (2018), o tanque deve ser construído em alvenaria de tijolos ou concreto, podendo ser adquirido pronto em concreto pré-moldado, em material plástico ou de fibra de

vidro. O meio suporte pode ser composto por pedras, anéis de plástico, anéis de bambu ou entulho cerâmico e em caso de obstrução, é necessária a troca do meio filtrante.

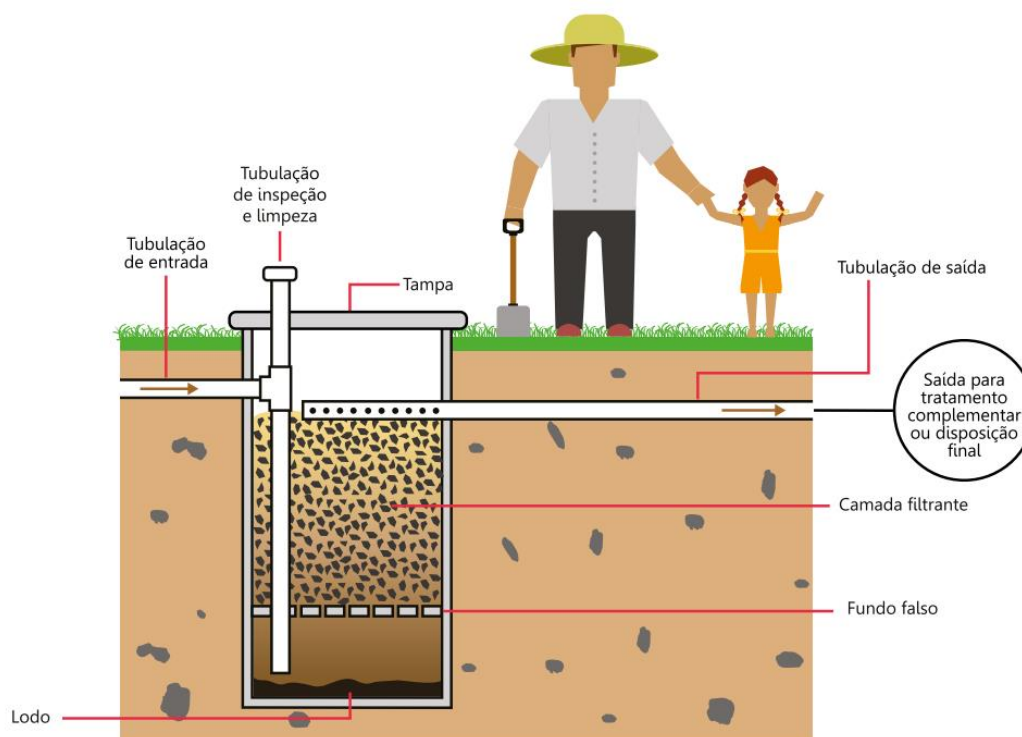


Figura 3.7 – Esquema de Filtro Anaeróbio. Fonte: Tonetti *et al.* (2018)

- **UASB compacto**

O Reator UASB (do inglês Upflow Anaerobic Sludge Blanket), também conhecido como Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente Compacto é uma unidade de tratamento de esgoto doméstico. O Reator UASB (Figura 3.8) está entre os sistemas anaeróbios de alta taxa mais usados para o tratamento de esgotos domésticos, com eficiência de remoção de matéria orgânica que podem chegar à 75%, embora sua capacidade de remoção de nutrientes seja muito baixa (CAPODAGLIO *et al.*, 2017).

Nessa tecnologia, o esgoto entra pelo fundo do reator, percorrendo internamente a unidade até a saída no topo. Isso faz com que o meio suporte se mantenha submerso. No topo do reator são colocadas placas que separam a fração líquida dos materiais sólidos e do biogás (Tonetti *et al.*, 2018).

Segundo Tonetti *et al.* (2018), quando necessário, pode-se ter uma tecnologia para tratamento complementar do efluente para efetuar a remoção de nutrientes e complementar a remoção de matéria orgânica. Porém, o efluente após tratamento pelo reator geralmente pode ser encaminhado para ser infiltrado no solo.

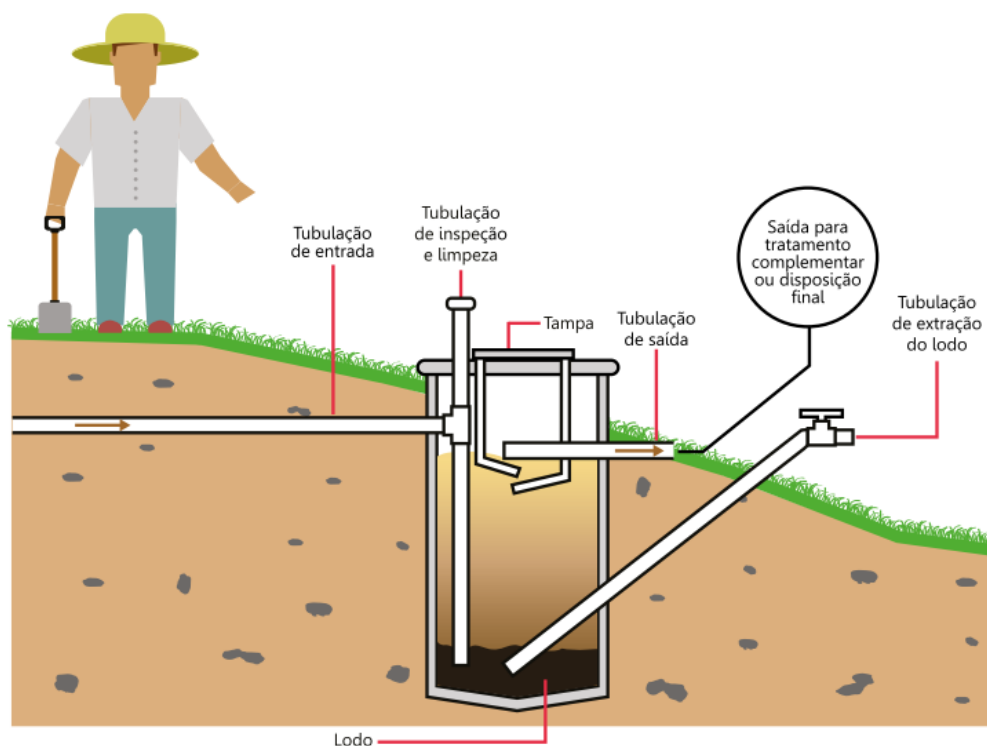


Figura 3.8 – Esquema de Reator UASB. Fonte: Tonetti *et al.* (2018)

3.3.2.1. Formas de Disposição Final de Esgotos

No presente trabalho será considerada somente uma forma de disposição final do esgoto após o tratamento: a disposição no solo. Isso devido às baixas probabilidades de haver corpos d'água próximo aos assentamentos precários urbanos, em específico o assentamento estudado no presente trabalho.

A disposição de esgotos no solo é uma alternativa para a reciclagem de água e nutrientes, pois, além da possibilidade da recarga de aquíferos, há também a recarga de nutrientes que ao serem dispostos no solo auxiliam no crescimento e nutrição de plantas, seguindo as normas e diretrizes atuantes para cada tipo de cultura. Além disso, a disposição no solo oferece ao esgoto tratado um complemento ao seu tratamento, através de processos de natureza física, química e biológica que ocorrem quando o efluente passa os vazios do solo. (Tonetti *et al.*, 2018)

As tecnologias consideradas neste trabalho para a disposição do efluente no solo foram Vala de Infiltração e Círculo de Bananeiras.

- **Vala de Infiltração**

Segundo Tonetti *et al.*, (2018), a vala de infiltração (Figura 3.9) é uma vala escavada no solo com um tubo perfurado envolvido por pedra britada ou outro material suporte. Quando o esgoto passa por este tubo, é distribuído no solo por infiltração subsuperficial (PAULO *et al.*, 2018).

Os tubos perfurados podem ser substituídos por varas de bambu paralelas ou tijolos furados alinhados na direção dos furos. O objetivo dessas estruturas é a de distribuição do efluente tratado no interior da vala. A vala deve ser preenchida com brita até a metade de sua profundidade e coberta com solo. Entre o solo e a brita pode ser colocada uma manta geotêxtil, usada para drenagem de jardins. (PAULO *et al.*, 2018).

Nas valas deve ser mantido um ambiente aeróbio, logo, é recomendado que se instale tubos de ventilação para garantir as condições de oxigenação. No caso das valas, não é recomendado o plantio de árvores ou plantas com raízes profundas em locais próximos para não danificarem o sistema. É importante também se atentar para que não ingresse água da chuva no sistema. A distância mínima entre o fundo da vala de infiltração e o aquífero deve ser de 1,5m.

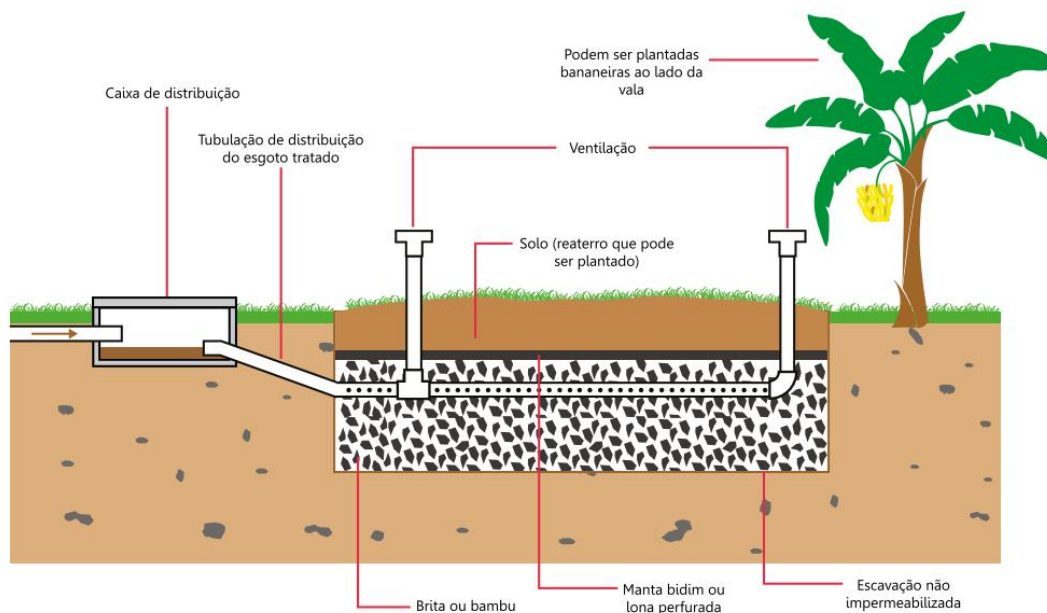


Figura 3.9 – Esquema de Vala de Infiltração. Fonte: Tonetti *et al.*, (2018).

• **Círculo de Bananeira**

O círculo de bananeira (Figura 3.10) é uma escavação no solo em forma de bacia, preenchida com matéria orgânica de difícil decomposição, ao redor da qual se cultivam plantas com alta demanda por água, principalmente bananeiras. O sistema de funcionamento é baseado na entrada do efluente no centro do círculo e os restos de alimentos e excesso de gorduras ficam retidos na camada de palha e madeira, onde ocorre a sua decomposição. A água e os nutrientes são absorvidos pelas raízes das plantas ao redor do círculo (PAULO *et al.*, 2018).

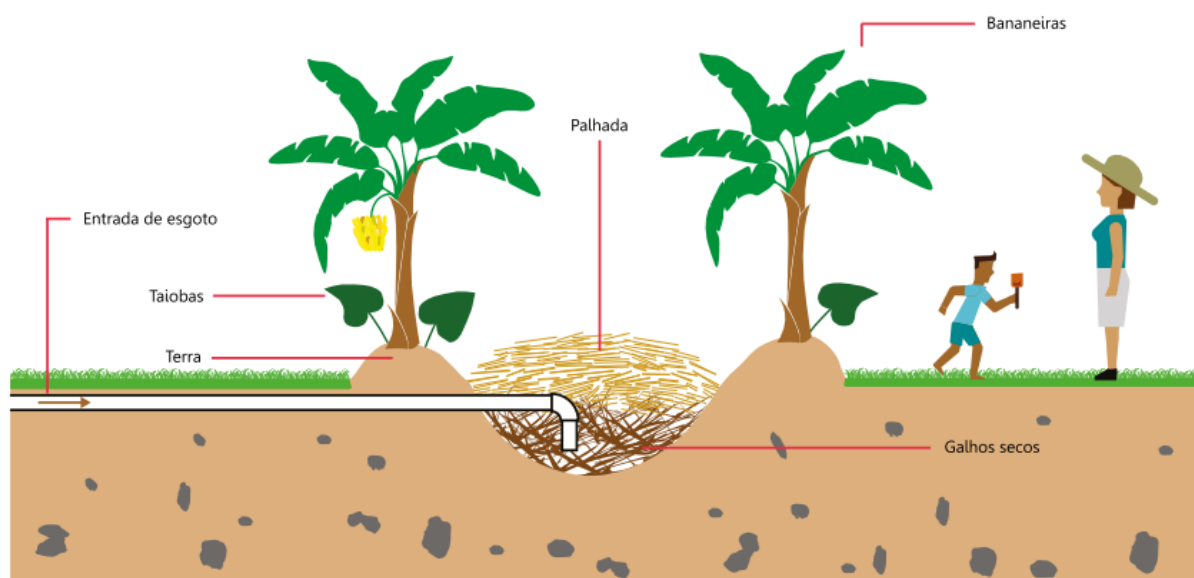


Figura 3.10 – Esquema de Círculo de Bananeiras. Fonte: Tonetti *et al.*, (2018).

3.4. MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO (AMD)

A utilização de modelos e técnicas de apoio à tomada de decisão permite que as organizações testem os resultados de suas decisões antes mesmo de colocá-las em prática, podendo maximizar benefícios e minimizar possíveis impactos negativos decorrentes de decisões não planejadas (GOFFI, 2017). Segundo Gomes e Gomes (2012), os métodos de análise que fazem parte do processo de tomada de decisão buscam garantir a coerência, a eficácia e a eficiência das decisões, tomadas em função das informações disponíveis, antevendo os possíveis cenários.

O processo decisório envolve etapas que têm influência uma sobre as outras, e a utilização de cada método depende diretamente da complexidade do problema, de seus critérios, atributos e de suas alternativas de solução (GOFFI, 2017).

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

Pela óptica do Apoio Multicritério à Decisão (AMD), a modelagem é uma ferramenta útil aos decisores para gerar conhecimento sobre o processo de decisão, e os resultados obtidos a partir do modelo são recomendações, que podem ser seguidas ou não pelos decisores (HUNT, 2013).

Isso é dito pois, como há altas chances de os resultados para critérios diferentes serem conflitantes, é muito difícil uma única solução atingir notas relevantes para todos os critérios. Assim, ao se utilizar uma metodologia de análise multicritério, a alternativa escolhida representa apenas uma indicação da melhor solução encontrada naquelas circunstâncias. Consequentemente, o nível que se pode atingir à consecução de um objetivo nunca é ótimo, mas apenas satisfatório. (CHIAVENATO, 2000; KIKER *et al.*, 2005)

Vale ressaltar que as circunstâncias consideradas para a tomada de decisão são de interesse dos atores envolvidos, ou seja, os componentes do processo (alternativas para escolha, critérios necessários para a decisão, mensuração e escala dos critérios) são levantamentos realizados pelos atores intervenientes no processo.

Segundo Campos (2011), os intervenientes no processo de decisão podem ser descritos como atores, agentes de decisão e especialistas. Os atores são os indivíduos que têm interesse na decisão a ser tomada, pois estão envolvidos direta ou indiretamente pelas consequências da decisão. Os agentes decisores são os indivíduos que avaliam as alternativas do problema, de

acordo com sua relação de preferência. Já o especialista, também chamado de analista, tem como função auxiliar no processo decisório, sistematizando o processo e modelando as preferências.

Os métodos de Apoio Multicritério à Decisão possuem muitas classificações, dentre estas, a de maior repercussão é a que subdivide os métodos da Escola Americana e os métodos da Escola Francesa, também designada Escola Europeia (RANGEL e GOMES, 2010).

Os métodos multicritério da Escola Americana, que será objeto de estudo no presente trabalho, têm como princípio o conceito de agregação dos diferentes critérios em uma única função-utilidade que deve ser otimizada, ou seja, a todo critério pode ser associado um valor que será utilizado no cálculo global de cada alternativa (CAMPOS, 2011; HUNT, 2013). Exemplos desses métodos são a Teoria de Utilidade Multiatributo (KEENEY e RAIFFA, 1993) e os métodos de análise hierárquica, dentre os quais a maior referência é o método AHP (SAATY, 1994). Hajkowicz e Collins (2007) classificaram as metodologias com múltiplos critérios e identificaram, dentre eles, os da Escola Americana da seguinte forma:

- Função Valores Multiatributo, que tem o propósito de agregar as preferências do decisor e possui taxas de substituição, ou pesos, para cada um dos critérios;
- Método de comparação das alternativas ou critérios par-a-par. Com a comparação dos critérios, podem ser atribuídos os seus pesos. Ex: AHP.

Segundo Esslin *et al.* (2001), os métodos descritos acima não admitem a incomparabilidade e se baseiam nos conceitos de transitividade ou preferência tradicional, ou seja, admitem apenas duas situações: a Preferência Estrita (P) e a Indiferença (I). Então o decisor pode escolher somente uma dentre as afirmações quando comparando duas alternativas ou critérios: “a” é preferível à “b”, a P b; “b” é preferível à “a”, b P a; “a” é indiferente à “b”, a I b. Assim, a transitividade está presente no método quando há preferência e quando há indiferença. Por exemplo, se “a” é preferível a “b”; e a alternativa “b” é preferível a “c”, então “a” é preferível a “c”. Da mesma forma, se “a” é indiferente a “b”; e a alternativa “b” é indiferente a “c”, então “a” é indiferente a “c” (HUNT, 2013).

Nesta dissertação, optou-se por se utilizar as duas metodologias da escola Americana de forma conjunta e, para minimizar a subjetividade e parcialidade do Método MAUT, utilizou-se como

alternativa a comparação dos critérios par-a-par por meio da AHP. Para melhor contextualizar os métodos específicos deste trabalho, detalhou-se cada um deles nos tópicos seguintes.

3.4.1. Critérios de Decisão

Os critérios de decisão são componentes do processo multicritério e são definidos como os parâmetros de avaliação para o conjunto de alternativas, sempre traduzindo as reais preferências do decisor (TSOUKIÁS, 2008). Os critérios possibilitam consolidar os processos de tomada de decisão em direção à sustentabilidade social, econômica e ecológica para comparar e escolher os sistemas sanitários descentralizados (LÜTHI *et al.*, 2009). Vale ressaltar que as escalas dos critérios podem ser de natureza qualitativa ou quantitativa, e tem o propósito de graduar e ordenar os critérios por meio dos valores atribuídos a eles (CAMPOS, 2011).

Tais critérios devem ser escolhidos para garantir a sustentabilidade da escolha da alternativa analisada, e devem ser usados em toda a faixa de níveis de planejamento, implementação e operação - do nível macro ao micro -, direcionando o processo de tomada de decisão para as questões relevantes aos diferentes interessados, não focando somente em discussões econômicas e tecno-centradas. Isso permite mais espaço para a implementação de soluções sustentáveis inovadoras de saneamento, no caso deste trabalho, que são adaptadas às necessidades dos usuários do sistema (TISCHNER e SCHMIDT-BLEEK, 1993).

3.4.2. Análise Hierárquica de Processos (AHP)

O *Analytic Hierarchy Process* ou AHP foi um dos primeiros métodos de tomada de decisão com múltiplos critérios e foi formulado por Thomas L. Saaty na década de 1970. Segundo Campos (2011), o método tem como propósito organizar os objetivos ou critérios em uma hierarquia representada pela preferência dos decisores e, no nível inferior da hierarquia, encontram-se as alternativas. As comparações entre os elementos da hierarquia, por exemplo os critérios, são feitas par a par e os cálculos da metodologia são guiados pelo teorema da Álgebra Linear ou teorema de Perron-Frobenius (GOMES, 2007).

Como a comparação é realizada par a par, o método é considerado compensatório. Logo, as vantagens de um atributo podem ser trocadas pelas desvantagens de outro, o que possibilita uma relação de *trade-off* ou compensação. (CAMPOS, 2011)

Do ponto de vista procedimental, essa abordagem consiste em três etapas: (1) construir hierarquias adequadas; (2) estabelecer prioridades entre os elementos das hierarquias por meio de comparações entre pares; (3) verificar a consistência lógica das comparações de pares (SAATY, 1980).

De Montis *et al.* (2004) detalhou os passos da seguinte forma: o primeiro passo consiste em construir hierarquias, ou seja, indicar as relações existentes entre os critérios, possibilitando desmembrar problemas complexos em estruturas simplificadas. Dessa forma, a mente humana consegue tomar decisões, construindo uma estrutura de elementos diferentes e numerosos, que são separados e conectados ao mesmo tempo.

O passo 2 estabelece prioridades entre os elementos baseando-se na comparação par a par, e como resultado estabelecem os pesos dos elementos de um mesmo nível hierárquico. A escala Saaty, exemplificada no tópico de procedimentos metodológicos, é utilizada para comparar par a par os critérios que são levados em consideração na tomada de decisão.

O passo 3 é a proposição de uma análise de consistência para os resultados das taxas de substituição encontradas e, para isso, Saaty propõe uma "razão de consistência" (Consistency Ratio – CR), para avaliar a consistência da matriz, calculada pela razão entre o Índice de Consistência (CI) e o índice de consistência aleatória (RI). Uma razão de consistência de 0,10 ou menos é considerada aceitável; se essa razão for maior que 0,10, é necessário reformular os julgamentos por meio de novas comparações entre pares.

Um ponto positivo da metodologia é que diferentes atores sociais podem ser convidados a atribuir, de forma participativa, os pesos aos critérios de avaliação; nessa perspectiva, os pesos refletem diferentes visões sociais. Na comparação de elementos em pares, também podem ser integrados os diferentes julgamentos dados por cada ator - por meio de uma média aritmética - obtendo-se apenas um peso para cada critério, que expressa sinteticamente os pontos de vista de todos os atores envolvidos. (DE MONTIS *et al.*, 2004)

No presente trabalho, a AHP foi utilizada especificamente para a comparação entre os critérios de decisão e atribuição das taxas de substituição relativas a cada um dos critérios. Isso possibilitou que os pesos - ou taxas de substituição - de cada critério fossem atribuídas por especialistas na área de saneamento, que ponderaram qual critério é mais importante, em

detrimento de seus pares na análise, para o contexto de assentamentos precários localizados no meio urbano.

3.4.3. Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT)

Segundo De Montis et al. (2004), como o próprio nome indica, MAUT é uma metodologia baseada na teoria da utilidade, de Von Neumann e Morgenstern (1947) e, portanto, em uma função de utilidade, que permite a comparação de resultados arriscados por meio do cálculo da utilidade esperada.

As bases do MAUT foram lançadas por Churchman, Ackoff e Arnoff (1957), que primeiro trataram de um problema de decisão de múltiplos critérios usando um método simples de ponderação aditiva. Keeney e Raiffa devotaram muito de seu trabalho ao MAUT e, desde então, o MAUT tem sido aplicado como uma metodologia para agregar as funções de utilidade de critério único a uma função de utilidade de atributos múltiplos, com base nas preferências do tomador de decisão (DE MONTIS *et al.*, 2004).

O MAUT é um método de fácil compreensão e aplicação ao processo de decisão e, além disso, possui uma pontuação de critérios qualitativos e quantitativos simples para análise de resultados e ordenação das alternativas.

Segundo Rangel e Gomes (2010), no MAUT, é necessária a construção de uma função de utilidade multiatributo a ser aplicada a um determinado problema decisório por meio de funções de utilidade parciais. Estas são, na verdade, funções matemáticas que descrevem as performances de cada alternativa, para cada um dos critérios ou atributos daquele problema. Então, o método fundamenta-se no julgamento a partir de uma função de valor que é um modelo matemático para a expressão dos critérios e seus pesos, e de como eles se relacionam para refletir o valor de uma alternativa (DE MONTIS *et al.*, 2004).

Assim, a função utilidade u associa a cada critério x um número $u(x)$ que representa a utilidade, ou seja, a medida de preferência que o decisor atribui ao critério x de cada alternativa. A solução do problema de decisão é determinar a função utilidade, u , e maximizar o seu valor esperado para as alternativas (TROJAN, 2012).

Para preparar o processo de decisão utilizando o MAUT, segundo Dillon e Perry (1977), é necessário observar os seguintes passos:

- Especificar as alternativas de projeto (incluindo as combinações);
- Associar os pesos aos critérios de decisão;
- Elaborar a função de utilidade para cada critério;
- Elaborar a função de utilidade global e utilizá-la para encontrar a utilidade esperada de cada alternativa de projeto;
- Escolher a alternativa com a maior utilidade esperada (a função global deve ser maximizada)

No presente trabalho, a metodologia MAUT foi utilizada para chegar a um valor final para cada alternativa, considerando o desempenho de cada uma delas, para cada um dos critérios levantados na análise. Assim, cada critério recebeu uma nota normalizada em cada alternativa, e com os pesos formulados pela metodologia AHP, chegou-se a uma função de utilidade para síntese do valor total da alternativa de sistema de saneamento descentralizado, possibilitando a hierarquização das alternativas e conseqüentemente chegou-se ao resultado da melhor alternativa indicada para o cenário estudado.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS - MODELO

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver um modelo simplificado para avaliação de sistemas de tratamentos de esgotos descentralizados e auxílio à escolha da melhor alternativa a ser implantada em assentamentos precários urbanos, em específico o Setor Habitacional Santa Luzia - DF (SHSL). Neste capítulo são apresentadas as etapas para criação do modelo, baseando-se em duas metodologias multicritério de auxílio à tomada de decisão, a AHP – para encontrar hierarquização dos critérios e suas respectivas taxas de substituição (pesos), e a MAUT – para cálculo do valor final das alternativas dos sistemas de tratamento.

De forma geral, o modelo de apoio à decisão para escolha de tecnologias descentralizadas de tratamento de esgoto para assentamentos precários urbanos foi dividido em 3 (três) etapas de análise, estruturadas no Fluxograma da Figura 4.1. A estrutura da primeira etapa, relativa à pesquisa exploratória, está detalhada no Capítulo 5. A estrutura da segunda e da terceira etapa, referentes à pesquisa aplicada, encontram-se detalhadas no capítulo 6. Vale ressaltar que o modelo leva em consideração os seguintes aspectos: uso final do efluente; atendimento à legislação ambiental e requisitos de área; e os critérios de decisão para a sustentabilidade técnica, ambiental, social e econômica.

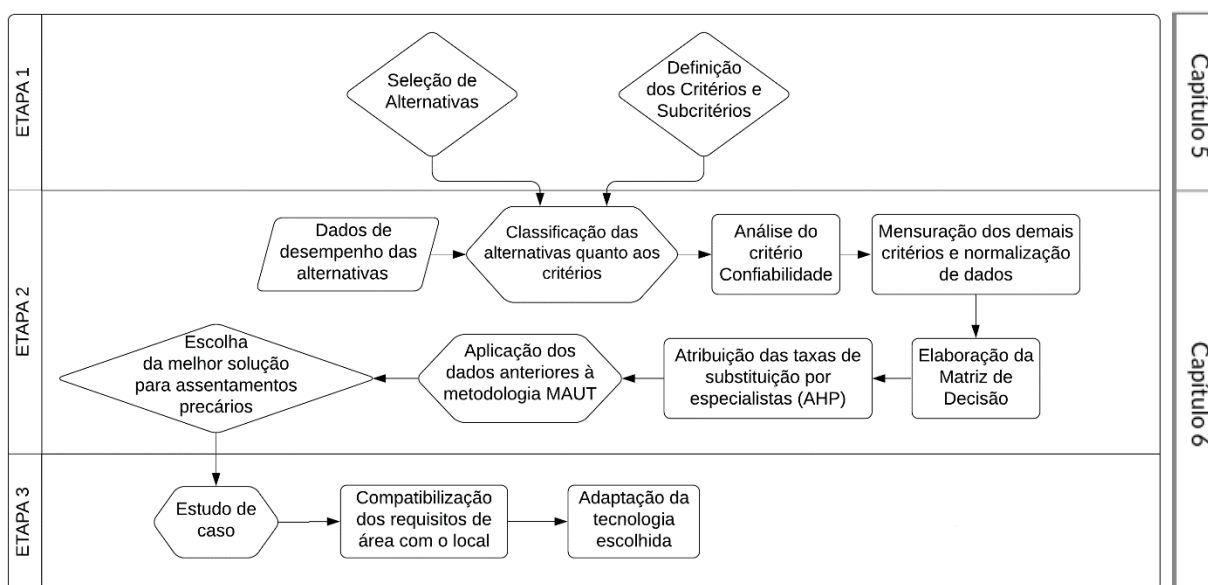


Figura 4.1 – Estruturação do desenvolvimento do Modelo (Fonte: Elaborado pela autora)

A primeira etapa para obtenção do modelo consistiu no levantamento das tecnologias descentralizadas disponíveis e mais utilizadas em pequenas comunidades, considerando as bases

de dados governamentais e levantamentos bibliográficos. Somado a essa etapa se realizou a definição dos critérios e subcritérios para a sustentabilidade, a ser considerados na tomada de decisão.

A segunda etapa contemplou a classificação das alternativas de tratamento quanto aos critérios de decisão e, para isso, a obtenção dos dados foi realizada com levantamento bibliográfico de trabalhos sobre a aplicação de cada alternativa tecnológica e seu respectivo desempenho.

Essa etapa foi dividida em cinco estágios: a) mensuração dos critérios de decisão para a sustentabilidade das alternativas; b) a elaboração da matriz de decisão que abrange todas as informações anteriores para cada tecnologia, com dados normalizados para posterior aplicação no método multicritério; c) a realização de entrevistas semiestruturadas com especialistas para atribuição das taxas de substituição (pesos) de cada critério avaliado; d) avaliação da legislação relevante para a finalidade de uso e disposição final do efluente, a fim de verificar se as alternativas atendem os padrões considerados pelas legislações e diretrizes específicas (confiabilidade às normas); e) aplicação dos dados à metodologia MAUT e, como resultado da etapa, há a hierarquização das alternativas.

A terceira etapa é destinada ao estudo de caso do assentamento de Santa Luzia – DF, que se baseou na compatibilização das características locais do assentamento e a adaptação necessária para a implantação da alternativa escolhida na etapa anterior.

5. ETAPA 1 - ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E CRITÉRIOS DE DECISÃO

5.1. Definição das Tecnologias para formação das Alternativas de Tratamento

Uma fonte de consulta fundamental para o levantamento das tecnologias foi a revisão realizada por Tonetti *et al.* (2018) sobre os sistemas descentralizados mais comuns para o tratamento de esgotos, de onde foram escolhidas as tecnologias avaliadas no presente trabalho para formação das alternativas de sistemas de tratamento descentralizados. Segundo Tonetti *et al.* (2018), apesar de algumas tecnologias que constam em sua revisão não serem abordadas em normas técnicas, elas têm sido usadas frequentemente e possuem respaldo técnico de pesquisas desenvolvidas por universidades, ONGs e outros centros de pesquisa.

A seleção das tecnologias, dentre as 15 apresentadas por Tonetti *et al.* (2018), foi fundamentada em alguns critérios: o primeiro critério é serem sistemas que podem se comportar como unifamiliares, ou seja, que podem servir para uma unidade geradora unifamiliar, mas que também podem ser projetados como sistemas semicoletivos, atendendo mais de uma unidade geradora unifamiliar, com número aproximado de até 20 moradores; e o segundo critério é serem sistemas que tenham a finalidade de tratamento de esgotos domésticos, ou seja, esgoto gerado pelas atividades domésticas, o qual pode ser tratado de forma segregada para águas negras e águas cinzas, ou então tratado de forma mista. As tecnologias adotadas para concepção dos sistemas de tratamento estão listadas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Tecnologias selecionadas para formulação dos sistemas de tratamento.

Etapa	Tecnologia	Código de Identificação
Pré-Tratamento (PT)	Caixa de Gordura	PT1
	Caixa Sifonada	PT2
Tratamento (T)	Wetlands Construídas	T1
	Bacia de Evapotranspiração (Fossa Verde)	T2
	Reator UASB Compacto	T3
	Filtro Anaeróbio	T4
	Tanque Séptico	T5
	Filtro de Areia	T6
Tratamento Complementar/Disposição Final (D)	Vala de Infiltração	D1
	Círculo de Bananeiras	D2

Fonte: Elaborado pela autora

5.2.CRITÉRIOS DE DECISÃO PARA A SUSTENTABILIDADE

Em uma decisão sobre a melhor alternativa tecnológica a ser utilizada em determinado local, é necessária a comparação das opções selecionadas considerando critérios. No presente estudo, para a aplicação do modelo, os critérios foram agrupados nas categorias ambiental, técnica, social, econômica e, além disso, normativa (para análise da conformidade à legislação de disposição final do efluente no solo – confiabilidade às normas).

Segundo Gomes e Gomes (2012), o ideal é que não haja muitos critérios em um mesmo nível de igualdade para não dificultar a percepção das características mais significativas do problema. Por isso, subcritérios foram adicionados aos critérios que possuem uma mensuração mais complexa, facilitando a visualização do que é levado em consideração em cada critério. Ao todo, foram escolhidos 25 critérios, sendo 12 deles de primeira ordem, e 13 subcritérios, conforme pode ser observado na Figura 5.1.

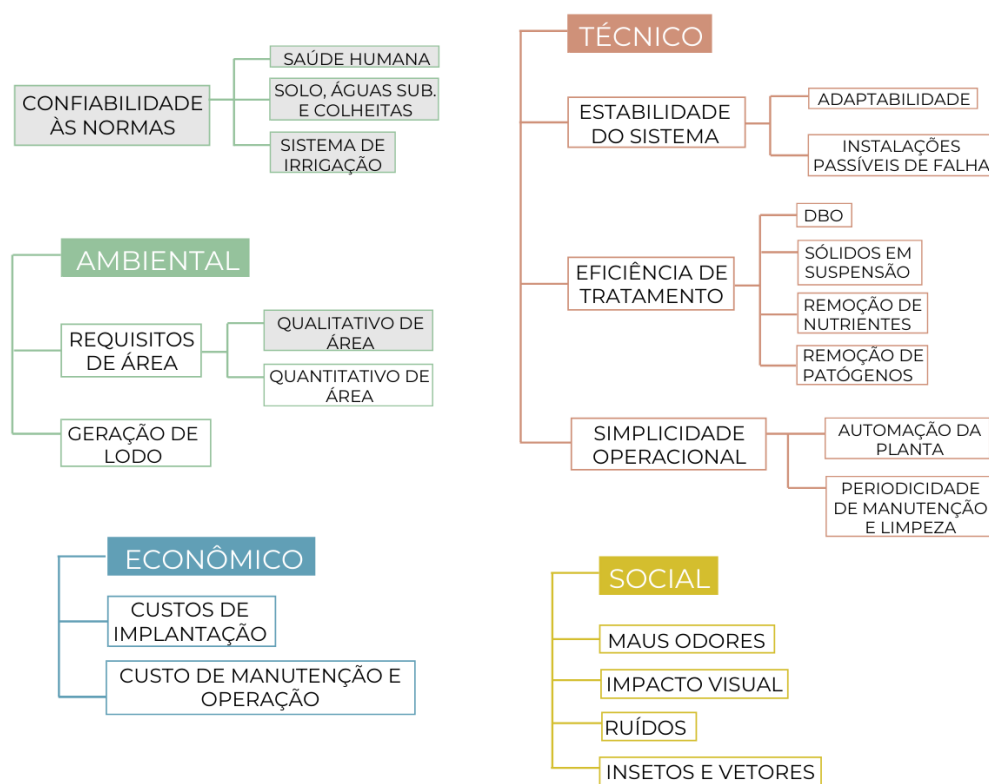


Figura 5.1 – Critérios e subcritérios de decisão para análise das tecnologias descentralizadas

(Fonte: Elaborada pela autora)

Os critérios e subcritérios foram escolhidos considerando os principais potenciais problemas em assentamentos precários urbanos quando se trata de implementar uma tecnologia sustentável, por exemplo, a falta de mão de obra especializada na maior parte do tempo, a falta de recursos financeiros para implantação, operação e manutenção das tecnologias, os possíveis problemas ambientais que podem ser causados caso o sistema não atinja a eficiência de tratamento indicada pela legislação e os problemas que são diretamente percebidos pelos moradores locais, mensurados pelos critérios sociais, apesar de serem critérios que possuem relação direta com o meio ambiente. Assim, por meio dos critérios, é possível comparar a resiliência das alternativas ao serem submetidas aos problemas descritos acima.

Para melhor definição, os Quadros 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5 e 5.6 descrevem o que cada critério e subcritério de Confiabilidade e das áreas Social, Ambiental, Econômica e Técnica significam, respectivamente.

Quadro 5.2 – Definição dos Critérios Sociais selecionados para análise

Área dos Critérios	Critérios	Definição
Social	Maus odores	Verifica a presença de odor em qualquer etapa dos processos de tratamento e os possíveis geradores de odor para serem monitorados e minimizados. (Goffi, 2017)
	Impacto visual	Perturbação causada pela presença da unidade de tratamento de efluentes na paisagem circundante. (Molinos et al. (2014); Molinos et al. (2015))
	Ruídos	Qualquer tipo de poluição sonora que o processo venha ocasionar deve ser considerado, especialmente, em áreas urbanas. (Goffi, 2017)
	Insetos e vetores	Normalmente esta condição está associada ao fator odor, podendo gerar uma série de problemas no tratamento e destinação final do lodo. Além da geração de problemas sanitários graves. (Goffi, 2017)

Fonte: Elaborada pela autora.

Quadro 5.3 – Definição dos Critérios e Subcritérios Ambientais selecionados para análise

Área dos Critérios	Critérios	Definição	Subcritério	Definição
Ambiental	Requisitos de Área	Aspectos quantitativos e qualitativos da área para implementação da alternativa tecnológica.	Qualitativo de Área (CRITÉRIO COMPLEMENTAR)	Caracterização da área do local de implantação, a fim de verificar as adaptações necessárias da alternativa à realidade local, principalmente na tecnologia adotada para disposição final (valas de infiltração e círculos de bananeira). (Souza, 1998)
			Quantitativo de Área	Área necessária para instalação da tecnologia descentralizada (m ²)
	Geração de lodo	Verifica se há geração de lodo por algum processo do sistema de tratamento.	-	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 5.4 – Definição dos Critérios Econômicos selecionados para análise

Área dos Critérios	Critérios	Definição
Econômico	Investimento Inicial/Custo de Implantação (R\$/hab.)	Os custos de implantação são compostos pelas despesas monetárias necessárias para construção da estação de tratamento, máquinas, equipamentos, instalações e tubulações.
	Custos de manutenção /Operação (R\$/hab.ano)	Os custos relativos à operação e manutenção estão relacionados à gestão das estações de tratamento e geralmente incluem os seguintes itens de custo: energia, pessoal, reagentes, gestão e manutenção de resíduos.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 5.5 – Definição dos Critérios e Subcritérios Técnicos selecionados para análise

Área dos Critérios	Critérios	Definição	Subcritério	Definição
Técnico	Estabilidade da Planta	Reflete o comportamento do sistema frente à mudanças externas e/ou emergenciais, como a variação da carga orgânica e vazão, ou falhas em algum equipamento do sistema.	Adaptabilidade	Refere-se à capacidade de resistência às variações/choques, quando o processo é submetido a uma condição crítica, seja quanto à vazão, temperatura, carga orgânica, toxicidade ou outros (Balkema <i>et al.</i> , 2012).
			Instalações passíveis de falha	Refere-se à categorização dos componentes e subcomponentes das unidade de tratamento que são passíveis de falhas e que podem alterar a qualidade do efluente (Eisenberg, 2001).
	Simplicidade Operacional	Nível de habilidade e treinamento exigido do operador, facilidades e dificuldades envolvidas em operações rotineiras para o funcionamento e manutenção da instalação. Esse índice representa o nível de autossuficiência da estação de tratamento de águas residuais (ZENG <i>et al.</i> , 2007; Chalise, 2014)	Autossuficiência do Sistema	Nível de autossuficiência (sistema funciona com baixa ou alta necessidade de mão de obra para operá-lo), necessidade de mão de obra especializada e facilidade de operação e manutenção do sistema.
			Periodicidade de manutenção e limpeza	Periodicidade de manutenção e limpeza do sistema de tratamento.
	Eficiência de Tratamento	O desempenho é geralmente medido em termos de qualidade do efluente final e sua variabilidade. Cada sistema de tratamento apresenta uma faixa média de eficiência de remoção, considerando a concentração de entrada e de saída do processo. (Von Sperling, 2005)	DBO	Os valores de DBO representam a quantidade de oxigênio necessária para a decomposição biológica da matéria orgânica (digestão por bactérias).
			Sólidos em Suspensão	Os sólidos são constituídos de componentes minerais e orgânicos e podem ser classificados de acordo com suas características físicas (tamanho), químicas e de decantabilidade.
			Nutrientes	Remoção de nitrogênio (orgânico, amônia, nitrito e nitrato) e fósforo (orgânico e inorgânico).
			Patógenos	Remoção de coliformes fecais e ovos helmintos.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 5.6 – Definição dos Critérios de Confiabilidade às Normas

Área dos Critérios	Definição	Critérios	Definição
Confiabilidade (CRITÉRIO COMPLEMENTAR)	Avalia a correspondência dos resultados dos parâmetros dos efluentes, tratados nos sistemas levantados neste trabalho, com a legislação correspondente para a disposição final desejada. (Anderson <i>et al.</i> , 2015)	Saúde Humana	Avaliação de parâmetros de qualidade microbiológica da água para reúso agrícola, tendo como pano de fundo o conceito de risco à saúde.
		Solo, Águas subterrâneas e colheitas	Avaliação da sodicidade, toxicidade e salinidade da água de reúso.
		Sistema de irrigação	Avaliação de parâmetros necessários à conservação do sistema de irrigação, para evitar entupimentos em sistemas de irrigação localizados.

Fonte: Elaborado pela autora.

Vale destacar que o critério de Confiabilidade e o subcritério Qualitativo de Área são caracterizados pelas limitações técnicas à implantação das alternativas – que são impostas por regulamentos e diretrizes, no primeiro critério, e pelas condições do local de implantação, no segundo. Devido a esse caráter restritivo dos critérios, eles não foram submetidos à ponderação das taxas de substituição (pesos) pela análise dos especialistas, sendo denominados critérios complementares e avaliados de forma adicional à análise.

6. CLASSIFICAÇÃO DAS ALTERNATIVAS E ESTUDO DE CASO

6.1. ETAPA 2 – Classificação das Alternativas Tecnológicas

A fase de classificação envolve a comparação de desempenhos das alternativas e foi dividida em quatro estágios, descritos nos tópicos a seguir.

6.1.1. Mensuração dos Critérios de Decisão para Sustentabilidade

Esta etapa do trabalho foi realizada para verificar o desempenho das alternativas tecnológicas quanto aos critérios de decisão para a sustentabilidade. Como os critérios possuem caráter qualitativo ou quantitativo, é uma característica fundamental dos métodos multicritério, inclusive na MAUT, o tratamento dispensado para a normalização dos critérios selecionados, visto que, em sua maioria, possuem diferentes escalas de medida entre si.

O valor cardinal de uma alternativa ak é formado por um conjunto de valores $(v_{(1,k)}, v_{(2,k)}, \dots, v_{(m,k)})$ onde cada $v_{(m,k)}$ é o valor assumido pela alternativa ak em cada um dos “m” critérios (HUNT, 2013). No presente trabalho foram utilizadas diferentes escalas para normalização da mensuração dos critérios, tanto os qualitativos quanto os quantitativos. Os critérios/subcritérios qualitativos foram analisados por meio de duas possibilidades de escala, demonstradas nas Tabelas 6.1 e 6.2.

Tabela 6.1 – Escala 1 para conversão de valores dos critérios qualitativos

Classificação	Valor correspondente	Valor normalizado
Menos Favorável	1	0
Intermediários, em classificação decrescente	2	3
	3	5
	4	7
Mais favorável	5	10

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 6.2 – Escala 2 para conversão de valores dos critérios qualitativos

Classificação	Valor Normalizado
Excelente	10
Bom	7
Moderado	5
Pobre	3
Muito Pobre	0

Fonte: Elaborado pela autora

Já os critérios quantitativos foram avaliados com a normalização da **média dos valores (x) máximos e mínimos de cada critério, encontrados para determinada alternativa**. Para se chegar a esse valor ($v_{(j,k)}$), sendo este atribuído ao critério j para a alternativa k, utilizou-se o método para atribuição de utilidade (normalização) (HUNT, 2013). Este método atribui uma utilidade a cada critério, e para isso, nessa pesquisa, utilizou-se uma escala linear de normalização, variando de 0 a 10, ou seja, da pior alternativa à melhor alternativa. Os valores intermediários são calculados pela Equação (6.1) (GOMES; GOMES, 2012).

$$v_{(j,k)}(x) = 10 \times \frac{x - \text{pior valor}}{\text{melhor valor} - \text{pior valor}} \quad (6.1)$$

A Tabela 6.3 demonstra o melhor valor e o pior valor encontrado para alguns dos critérios, **considerando os valores do critério de todas as alternativas tecnológicas**. Esses valores estão representados pelo menor valor e maior valor porque para um determinado subcritério, por exemplo o custo, quanto menor o valor, melhor ele é. Porém, para outros, como o percentual de remoção de DBO, quanto maior, melhor. Assim, os critérios entram no cálculo de normalização considerando se o critério tem sentido de minimização ou maximização.

Assim, quando determinado critério tiver um sentido de minimização, por exemplo, o custo, as performances correspondentes a este critério foram substituídas, na matriz de decisão, pelo seu inverso (GOMES; GOMES, 2012).

Tabela 6.3 – Maior e menor valor dos critérios a serem normalizados

Critério	Unidade	Menor Valor	Maior Valor
Econômico			
Investimento Inicial	R\$/hab	600	1000
Custos de M&O	R\$/hab.ano	0	290
Ambiental			
Quantitativo de Área	m ² /hab	1,3	4,4
Técnico			
Periodicidade de Manutenção	meses	2	12
Instalações passíveis de falha	quantidade	1	4
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	% remoção	67,5	85
Sólidos Suspensos Totais (SST)	% remoção	72,5	90,2

Fonte: Elaborado pela autora

Para a normalização de alguns dos subcritérios do critério Eficiência de Tratamento, como remoção de nutrientes, ovos helmintos e coliformes fecais, foram utilizadas funções de valor, demonstradas na Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Funções de Valor para Critério de Eficiência de Tratamento (Remoções)

PATÓGENOS		
Ovos Helmintos (ovo/L)		Função de valor
<1		10
>1		0
Remoção CF (log)		Função de valor
3-4		7
2-3		4
1-2		1
NUTRIENTES		
Amônia (%)	NT (%)	Função de valor
<45	<60	0
<50	<60	2
>80	<40	4
>80	<70	10
PT (%)		Função de valor
<25		0
<35		5
<60		10

Fonte: Elaborado pela autora

Tais funções de valor atribuem uma nota a uma faixa de valores pré-determinadas para os critérios, e foi formada considerando a incidência desses valores nos resultados encontrados nos trabalhos analisados. Para o desempenho total na remoção de Nutrientes, especificamente, a mensuração considerou a média das funções de valor do fósforo total (FT) e da amônia e nitrogênio total (NT).

6.1.2. Confiabilidade às Normas e Diretrizes

O Critério de Confiabilidade foi utilizado para uma análise complementar das alternativas de tratamento. Esse critério verifica a conformidade dos efluentes tratados por cada alternativa tecnológica aos padrões de qualidade mínimos - determinados por regulamentos e diretrizes nacionais e internacionais - para sua disposição no solo e reúso na agricultura (irrigação).

Neste trabalho, a confiabilidade é relativa à três pontos: saúde humana, considerando parâmetros microbiológicos da água de reúso empregada na irrigação e disposição no solo; conservação do solo, das águas subterrâneas e rendimento das colheitas, trazendo a análise da salinidade, sodicidade e toxicidade do efluente; e conservação do sistema de irrigação, que considera a presença de sólidos na água de reúso.

A mensuração desta etapa consiste em determinar se a alternativa atende ou não os padrões determinados para a disposição final desejada. Logo, os parâmetros de qualidade analisados nesta etapa são relativos ao efluente que será encaminhado à tecnologia de disposição final (círculos de bananeira e valas de infiltração).

Nos casos de atendimento aos parâmetros, a nota atribuída será máxima (10), caso não atenda, a nota atribuída será mínima (0). Ao final desta análise, a soma das notas para confiabilidade será normalizada para determinar quais tecnologias atendem os parâmetros em conformidade com as normas, quais não atendem, e em que nível uma alternativa atende em comparação à outra.

Essa análise ocorre de forma complementar pois a confiabilidade às normas é um critério que decorre de fatores diretamente ligados à parte prática da implantação, como forma de construção, local de implantação, dimensionamento, manutenção e operação do sistema, além de depender também da qualidade do esgoto doméstico a ser tratado pelo sistema. Por esse motivo, os resultados de atendimento às normas e diretrizes presentes em cada referência considerada podem ser sujeitos a uma alta variabilidade, dificultando então a sua mensuração no presente trabalho com uso de dados secundários.

Nos tópicos abaixo há a descrição de cada subcritério da Confiabilidade.

- Confiabilidade para Saúde Humana – Parâmetros Microbiológicos

Para a Confiabilidade no ponto de vista da saúde humana, as referências escolhidas para análise foram as diretrizes da OMS para irrigação com esgotos sanitários, que consideram que a remoção de patógenos por tratamento associada a outras medidas de proteção à saúde (técnicas de irrigação que minimizem o contato esgoto-planta ou a exposição humana e higiene dos alimentos), corresponderia à uma carga de doenças virais tolerável $\leq 10^{-6}$ DALYs (Disability Adjusted Life Years) por pessoa por ano (pppa) (Tabela 6.5). Vale ressaltar que um DALY é

igual a um ano perdido de vida saudável, incorporando os conceitos de morte prematura ou anos vividos com incapacidade devido à fatores de risco e falta de qualidade de vida.

Tabela 6.5 – Parâmetros Microbiológicos - Saúde Humana de acordo com a OMS

Parâmetros Microbiológicos - Organização Mundial da Saúde (2006)	
Irrigação Irrestrita por gotejamento de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo.	E.Coli $\leq 10^5$ (/100ml)
	≤ 1 ovo geohelminthos/L

Fonte: adaptado de WHO (2006)

Como não há marco regulatório em nível nacional que estabeleça padrões e diretrizes de reúso de efluentes de sistemas de tratamentos de esgotos, a escolha foi embasada no argumento de que critérios e padrões muito exigentes podem inviabilizar o emprego de processos de tratamento de esgotos simples e de menor custo, amplamente utilizados no Brasil, sem aumentar de forma significativa a segurança do procedimento de reúso de água. Segundo Souza et al. (2019), se forem adotados padrões mais restritivos, mesmo não tendo relação direta com risco microbiológico, o próprio reúso de água a partir de sistemas descentralizados de esgotos poderá ficar inviabilizado no Brasil.

- Confiabilidade para Conservação do Solo, das Águas Subterrâneas e Rendimento das Colheitas

Acerca da Confiabilidade no âmbito da conservação da qualidade do solo, das águas subterrâneas e do rendimento das colheitas, foram consideradas quatro legislações: as Resoluções CONAMA nº 396, de 7 de abril de 2008, e nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (posteriormente alterada pela Resolução CONAMA nº 460 de 30 de dezembro de 2013); as diretrizes para o reúso da água estabelecidas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 2012); e a Resolução COEMA nº 2 de 02 de fevereiro de 2017.

A Resolução CONAMA nº 396/2008 dispõe sobre a classificação e enquadramento das águas subterrâneas e, em seu artigo nº 27, estabelece que a aplicação e disposição de efluentes e resíduos no solo não pode conferir às águas subterrâneas características em desacordo com seu enquadramento (BRASIL, 2008).

A mesma Resolução apresenta em seu Anexo I uma lista de características de qualidade com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas e seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP) para cada um dos usos considerados como preponderantes. Para garantir a

qualidade das águas subterrâneas de qualquer assentamento, parte-se do pressuposto que as águas são utilizadas para consumo humano, portanto a análise considerou quatro parâmetros da resolução que são influenciados pela disposição de efluentes no solo: Cloretos (mg/L), Nitritos (mg/L), Nitratos (mg/L) e Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L) (Tabela 6.3). Porém, a Resolução ainda é omissa sobre como se deve chegar ao valor máximo permitido para o processo de infiltração no solo e só possui os valores que são mensurados na própria água subterrânea (Souza *et al.*, 2019).

A Resolução CONAMA nº 420/2009 estabelece critérios e valores orientadores para preservação da qualidade do solo e subsolo (águas subterrâneas), bem como diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas (BRASIL, 2009; BRASIL, 2013). Segundo Souza *et al.* (2019), com especial atenção à infiltração de efluentes de sistemas descentralizados de esgotos sanitários no solo, o único valor orientador que merece citação, pela sua ocorrência nesse tipo de efluente, é o de nitrato, estabelecido nessa Resolução com o mesmo valor máximo permissível no padrão de potabilidade brasileiro, assim como a Resolução nº 396/2008 (10 mg/L expresso como N, medido na água subterrânea) (Tabela 6.6). Porém, mais uma vez, não há descrição de valores do parâmetro da água a ser infiltrada no solo, somente os valores que devem ser mensurados na água subterrânea.

Com relação às diretrizes da USEPA (2012), foram considerados parâmetros aplicáveis às interações solo-água da planta que têm relevância na produção agrícola. Isso inclui aspectos de qualidade da água de irrigação e sensibilidade e tolerância das plantas e do solo, como a salinidade, sodicidade e toxicidade da água de irrigação. Na Tabela 6.6 são apresentadas as recomendações da Organização para Agricultura e Alimentação (FAO, 1985), adaptadas pela USEPA (2012), alertando para potenciais problemas na irrigação com água de reúso com o auxílio de uma escala de grau de restrição.

Tabela 6.6 – Parâmetros de Confiabilidade para conservação da qualidade do solo, águas subterrâneas e rendimento das colheitas

DIRETRIZES PARA CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS						
Característica	Unidade	Valor	Fonte			
Nitrato	mg/L	< 10	Resolução CONAMA nº 396/2008 e nº 420/2009 (análise na água subterrânea)			
Nitrito	mg/L	< 1	Resolução CONAMA nº 396/2008 (análise na água subterrânea)			
Cloreto	mg/L	< 250				
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	< 1000				
CE	µS/cm	<1000	Resolução COEMA nº 2/2017 (análise anterior à disposição no solo)			
RAS	(mmolc L - 1) 1/2	<10				
pH	-	5 - 9				
Temperatura	°C	<40°C				
DBO 5 dias, 20°C	mg/L	<120				
DIRETRIZES PARA INTERPRETAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO						
Potencial Problema na Irrigação	Unidade	Grau de Restrição na Irrigação			Fonte	
		Nenhum	Leve à Moderado	Severo		
SALINIDADE (afeta a disponibilidade de água da plantação) ¹						
CE	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0	USEPA (2012)	
TDS	mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000		
INFILTRAÇÃO (afeta a taxa de infiltração de água no solo; avalie usando ECw e SAR juntos) ²						
RAS	e CE	0 - 3	> 0,7	0,7 - 0,2		< 0,2
		3 - 6	> 1,2	1,2 - 0,3		< 0,3
		6 - 12	> 1,9	1,9 - 0,5		< 0,5
		12 - 20	> 2,9	2,9 - 1,3		< 1,3
		20 - 40	> 5,0	5,0 - 2,9		< 2,9
TOXICIDADE ESPECÍFICA DE ÍONS (afeta culturas sensíveis)						
Sódio (Na) ³						
Irrigação superficial	SAR	< 3	3 - 9	> 9		
Irrigação por aspersão	meq/L	< 3	> 3			
Cloreto (Cl) ³						
Irrigação superficial	meq/L	< 4	4 - 10	> 10		
Irrigação por aspersão	meq/L	< 3	> 3			
Boro (B)	mg/L	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0		
EFEITOS DIVERSOS (afeta culturas suscetíveis)						
Nitrato (NO₃-N)	mg/L	< 5	5 - 30	> 30		
Bicarbonato (HCO₃)	meq/L	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5		
pH	Intervalo normal 6,5 - 8,4					

Fonte: elaborado pela autora, adaptado de USEPA (2012), BRASIL (2008) e BRASIL (2009).

¹ CE significa condutividade elétrica, uma medida da salinidade da água, relatada em deciSiemens por metro a 25 ° C (dS/m) ou em milimhos por centímetro (mmho / cm); ambos são equivalentes. ² RAS é a taxa de adsorção de sódio; em uma dada RAS, a taxa de infiltração aumenta à medida que a salinidade da água aumenta. ³ Para irrigação de superfície, a maioria das culturas de árvores e plantas lenhosas são sensíveis ao sódio e cloreto; a maioria das culturas anuais não é sensível. Com a irrigação por aspersão e baixa umidade (<30%), sódio e cloreto podem ser absorvidos pelas folhas de culturas sensíveis.

A restrição de uso indica que a escolha da cultura pode ser limitada ou que um gerenciamento especial pode ser necessário para manter a capacidade total de produção, mas não indica que a água é totalmente inadequada para uso. Além disso, as divisões dos graus de restrição são um tanto arbitrárias porque as mudanças ocorrem gradualmente e não há um ponto de interrupção claro, porém, as recomendações auxiliam uma análise inicial da água para sua aplicação em um ambiente de cultivo. (USEPA, 2012)

A Resolução COEMA nº 2/2017 do estado do Ceará trata sobre orientações técnicas e padrões de disposição controlada de efluentes líquidos poluidores, sanitários ou não, estabelecendo critérios para reúso não potável. Segundo esta Resolução, os padrões que devem ser analisados para disposição no solo são condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, pH, DBO, entre outros que não foram considerados no presente trabalho por serem de difícil mensuração com dados secundários, por exemplo o padrão de sólidos sedimentáveis mensurados em teste de 1 hora em cone Imhoff.

- Confiabilidade para Conservação do Sistema de Irrigação

Por fim, a confiabilidade foi analisada para a conservação do sistema de irrigação. Para isso, considerou-se a referência de Nakayama (1982) *apud*. Almeida (2010), que trata sobre a qualidade da água de irrigação e determina algumas causas do entupimento dos emissores na irrigação localizada, com as restrições de uso divididas entre: nenhuma, moderada e severa (Tabela 6.7).

Tabela 6.7 – Parâmetros de Confiabilidade para conservação do sistema de irrigação localizada

CONFIABILIDADE - Conservação do sistema de irrigação				
Problemas	Unidade	Restrições de Uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
Físicos				
Sólidos em Suspensão	mg/L	< 50	50 - 100	> 100
Químicos				
Ph		< 7	7 - 8	> 8
Sólidos Solúveis	mg/L	< 500	500 - 2000	> 2000
Manganês	mg/L	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ferro	mg/L	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ácido Sulfídrico	mg/L	< 0,5	0,5 - 2	> 2
Biológicos				
Populações Bacterianas	nº max./mL	< 10.000	10.000 - 50.000	> 50.000

Fonte: Nakayama (1982) *apud*. Almeida (2010)

6.1.3. Matriz de Decisão

A Matriz de Decisão (Tabela 6.8) representa a relação entre os critérios (C_m) e as alternativas (a_k). A matriz foi construída com os valores máximos, mínimos e a média de cada critério e para cada alternativa de tratamento, além de incluir a normalização desse valor (N), como demonstrado em tópico anterior.

Tabela 6.8 – Exemplo de Matriz de Decisão

	C1		Cm	
	V _{máx} ou V _{médio}	Valor normalizado	V _{máx} ou V _{médio}	Valor normalizado
A1	V _(1,1)	N _(1,1)	V _(m,1)	N _(m,1)
A2	V _(1,2)	N ₂	V _(m,2)	N _(m,2)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
A _k	V _(1,k)	N _(1,k)	V _(m,k)	N _(m,k)
(...)	(...)	(...)	(...)	(...)
A _n	V _(1,n)	N _(1,n)	V _(m,n)	N _(m,n)

Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.4. Definição das Taxas de Substituição (Pesos)

Para agregar aos critérios, foram definidas taxas de substituição, mais conhecidas como pesos (W_j). Um ponto limitante do MAUT é que ele não confronta diretamente as diferentes alternativas de solução do problema, ou seja, pequenas modificações nos pesos dos atributos podem não ser avaliadas adequadamente, conferindo certa parcialidade na atribuição de pesos do método. (FRANZON, 2018; CASAROTTO e KOPITTKKE, 2000)

Segundo Franzon (2018), uma alternativa para minimizar a subjetividade e a parcialidade do método é comparar os critérios par-a-par, o que permite que sejam encontrados os pesos de cada critério na decisão final. Existem alguns métodos para determinar as taxas de substituição de forma par a par, e nesta pesquisa optou-se pela utilização do método de Análise Hierárquica de Processos – *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

Com esse método, os critérios quantitativos e qualitativos escolhidos para essa pesquisa foram hierarquizados, mensurando com qual intensidade os elementos em um nível influenciam os elementos do nível mais alto seguinte, por exemplo, qual a contribuição de cada subcritério ao critério correspondente. Para determinar a intensidade dos critérios, deve-se comparar par a par todos os elementos, utilizando para isso a escala fundamental de Saaty (Quadro 6.1).

Quadro 6.1 – Escala numérica de Saaty

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Ambos elementos são de igual importância	Ambos elementos contribuem com a propriedade de forma igual
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido sobre o outro
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes	Usados como valores de consenso entre as opiniões
Incremento 0, 1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0, 1	Usados para graduações mais finas das opiniões

Fonte: Roche (2004, p. 6)

A análise comparativa e atribuição das intensidades foi realizada por meio de entrevistas com especialistas da área de esgotamento sanitário, atribuindo os pesos com base em seus conhecimentos sobre as particularidades de assentamentos precários urbanos. Assim, a escolha dos participantes foi pautada na experiência acadêmica dos professores na área de saneamento, em específico na área de tratamento de esgotos em meio urbano.

A opinião de três especialistas foi considerada no trabalho, um deles é professor titular do Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Minas Gerais, outro é professor aposentado pela Universidade de Brasília pelo Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, e outra, professora do curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Brasília.

As entrevistas foram feitas com o auxílio de um questionário de coleta de julgamentos, demonstrado no Apêndice B, e as respostas foram inseridas no AHP-OS, ferramenta baseada na Web para apoiar a tomada de decisão com base na Análise Hierárquica de Processos (AHP) (GOPEL, 2018).

6.1.5. Cálculo do Valor da Alternativa

O valor da alternativa a_k é representado por V_{ak} foi calculado pelo método MAUT. Por ser um modelo multicritério de agregação aditiva, são necessárias duas informações: a performance local

da alternativa potencial (valores normalizados dos critérios) - obtida a partir dos descritores e suas respectivas funções de valor, e as taxas de substituição do modelo, ou pesos, (W), conforme equação a seguir (ENSSLIN *et al.*, 2001). O maior valor de V_{ak} corresponde à melhor alternativa.

$$V_{ak} = \sum_{j=1}^n W_j \cdot v_{(j,k)}$$

Equação 6.1

Sendo:

V_{ak} = Valor global da alternativa **ak**

W_j = Taxa de substituição dos critérios

n = número de critérios do modelo

$v_{(j,k)}$ = Valor parcial da alternativa **ak** no critério j

6.2. ETAPA 3 – Aplicação do modelo ao caso real do SHSL

O presente trabalho se concentrou no assentamento denominado Setor Habitacional Santa Luzia, situado na Cidade Estrutural (DF). Após a mensuração dos critérios e atribuição de pesos a cada um deles, a continuidade e aplicação do modelo considerou o critério “Qualitativo de Área”, que abrange algumas características do local de estudo para que o sistema de tratamento escolhido pela metodologia multicritério alcance um funcionamento aceitável, evitando assim a contaminação do solo e de aquíferos no local.

A Etapa 3 analisou as alternativas em um parâmetro relacionado a uma característica qualitativa do local de implantação no assentamento: o tipo de solo local (Quadro 6.2). A finalidade desse diagnóstico é para caracterizar a área do local de implantação e comparar com as exigências de instalação da alternativa de tratamento, possibilitando uma adequação da alternativa à realidade local, principalmente na tecnologia adotada para disposição final (valas de infiltração e círculos de bananeira).

Vale ressaltar que o critério “Qualitativo de Área” não fez parte do cálculo do valor dos critérios, pois só se aplica para a adaptação da alternativa escolhida às condições locais do assentamento precário, e não para o auxílio à escolha da melhor alternativa.

Quadro 6.2 – Características do subcritério Qualitativo de Área

Característica	Descrição	Fonte
Tipo de Solo local	Necessário o conhecimento do tipo de solo (argiloso, arenoso, etc.) para definir o sistema de disposição final mais adequado a fim de evitar a colmatação e contaminação do solo. (Importante a ausência de rochas no topo para aumentar o polimento final da água no 1º metro de solo)	Tonetti (2018), Silva <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Elaborado pela autora

O tipo de solo local é um padrão ligado à permeabilidade e capacidade de drenagem do solo. O ideal é que essas características permitam que o efluente do sistema de tratamento percole o solo de forma rápida o suficiente para evitar os inconvenientes do alagamento, mas também de forma lenta o suficiente para permitir que o solo atue como uma etapa complementar de tratamento do efluente antes de atingir as águas subterrâneas. Além disso, o solo deve ser suficientemente bem arejado para favorecer a decomposição microbiana dos resíduos e a inativação dos agentes patogênicos. (TONETTI *et al.*, 2018)

Para isso, as alternativas tecnológicas deste trabalho foram formuladas possibilitando a adequação das tecnologias de disposição final do efluente no solo, tanto para solos argilosos quanto para solos arenosos e sem que haja necessidade de muitos recursos ou modificações. O Fluxograma ilustrado na Figura 6.1 demonstra as adaptações necessárias na tecnologia de tratamento complementar e disposição final para que esta se adapte às condições de solo locais.

Além desse fator, vale ressaltar que para a implantação de qualquer tecnologia descentralizada, deve se considerar a profundidade do lençol freático, indicada pela NBR da ABNT nº 13969/1997 como obrigatória uma distância mínima vertical de 1,5 m entre o fundo da unidade de tratamento e o nível máximo da superfície do aquífero.

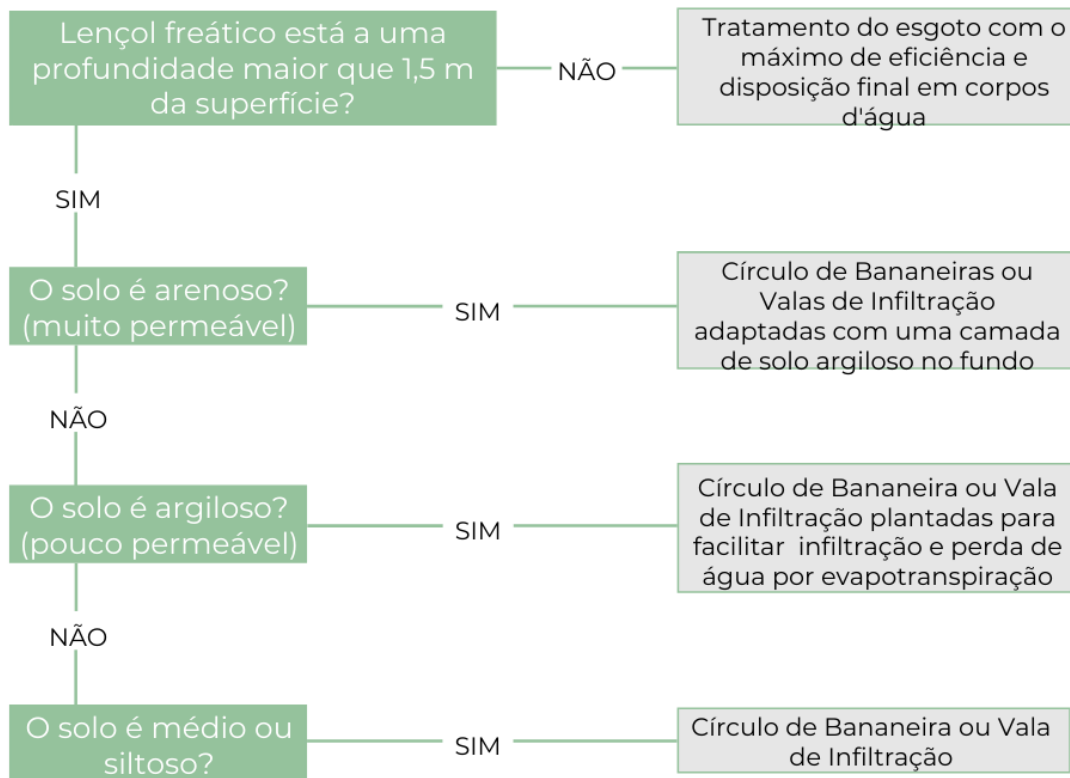


Figura 6.1 – Fluxograma para adaptações das tecnologias de disposição final do efluente. (Fonte: Adaptado de Tonetti, 2018)

7. APLICAÇÃO DO MODELO

7.1. COMPOSIÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

As alternativas de sistemas de tratamento descentralizado de esgoto envolvem operações e processos unitários. Isso implica que o sistema pode ser composto por mais de uma etapa, ou seja, pode ser uma combinação de mais de uma operação e/ou processo unitário, representados pelas tecnologias do Quadro 5.1.

A composição das alternativas para análise neste trabalho foi feita segundo recomendações de Tonetti *et al.* (2018) e do CataloSan, catálogo elaborado pela Fundação Nacional da Saúde (Funasa) sobre soluções sustentáveis para gestão de efluentes domésticos (Paulo *et al.*, 2018). A descrição de cada uma delas se encontra no Quadro 7.1.

Quadro 7.1 – Alternativas de Sistemas Descentralizados de Tratamento de Esgoto avaliadas

	Alternativa	Descrição	Tecnologias
A1	Wetlands Construídos (WC)	Caixa de Gordura + Tanque Séptico + WC + Vala de Infiltração	PT1 + T1 + D1
A2	Bacia de Evapotranspiração (BET)	BET + Caixa de Gordura + Círculo de Bananeira	PT1 + T2 + D2
A3	Filtro de Areia (FLA)	Caixa de Gordura + Tanque Séptico + Caixa Sifonada + FLA + Vala de Infiltração	PT1 + T5 + PT2 + T6 + D1
A4	Filtro Anaeróbio (FAn)	Caixa de Gordura + Tanque Séptico + FAn + Vala de Infiltração	PT1 + T5 + T4 + D1
A5	UASB Compacto	Caixa de Gordura + UASB + Círculo de Bananeira	PT1 + T3 + D2

Legenda: Caixa de Gordura (PT1); Caixa Sifonada (PT2); Wetlands Construídas (T1); Bacia de Evapotranspiração (Fossa Verde) (T2); Reator UASB Compacto (T3); Filtro Anaeróbio (T4); Tanque Séptico (T5); Filtro de Areia (T6); Vala de Infiltração (D1); Círculo de Bananeiras (D2). Fonte: Elaborado pela autora

As alternativas dos sistemas para análise envolvem o tratamento em níveis primário e secundário e, para isso, foi observado quais tecnologias deveriam ser precedidas por pré-tratamento com tanque séptico e quais eram autossuficientes nos dois níveis de tratamento (primário e secundário).

Para alcançar um nível maior de tratamento, os sistemas foram formulados para disposição final no solo. Segundo Campos e Neto (1999), essa prática de disposição abrange técnicas que não deixam de ser formas de irrigação com esgoto - com ou sem excedente de água a ser drenada

após eficiente ação de transformação do sistema solo-planta - no qual sempre ocorrem também certa infiltração, evaporação e formação de biomassa vegetal. Logo, a finalidade de disposição final no solo para infiltração, no presente trabalho, também envolveu a possibilidade de reúso para irrigação, se houver necessidade no assentamento urbano e se a avaliação de confiabilidade às normas de disposição no solo permitirem.

Quanto ao tipo de esgoto a ser tratado nesses sistemas, vale ressaltar que as alternativas foram formuladas considerando a esgotos sem segregação (águas negras e cinzas). A única alternativa que foi formulada considerando a separação dos esgotos foi a alternativa da Bacia de Evapotranspiração, que terá as águas cinzas sendo tratadas diretamente no Círculo de Bananeiras, e as águas negras tratadas na BET, sendo posteriormente destinadas ao Círculo de Bananeiras para disposição final. Além disso, importante frisar que as caixas de gordura são exclusivamente de uso das águas cinzas, com o objetivo de remover gorduras e conseqüentemente evitar entupimento dos canos e interferências nos processos biológicos de tratamento.

7.2.MENSURAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Na análise proposta, adotaram-se apenas as dimensões dos critérios que são possíveis de mensuração rápida e simplificada, utilizando dados secundários de pesquisas já realizadas sobre o desempenho das alternativas. Os pontos a serem mensurados e as formas de valoração de cada critério e subcritério foram elaborados pela autora e estão descritos nos Quadros 7.2, 7.3, 7.4, 7.5 e 7.6, para os critérios Sociais, Ambientais, Econômicos, para a análise de Confiabilidade, e Técnicos, respectivamente.

Quadro 7.2 – Forma de Mensuração dos Critérios Sociais

Área dos Critérios	Critérios	Mensuração/Fórmula
Social	Maus odores (QUALITATIVO)	Normalização dos valores atribuídos a cada alternativa em escala da menos favorável à mais favorável. Quanto menos impacto é causado, ao ser comparada com as alternativas, mais favorável é sua implementação. (Hunt, 2013)
	Impacto visual (QUALITATIVO)	
	Ruídos (QUALITATIVO)	
	Insetos (QUALITATIVO)	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 7.3 – Forma de Mensuração dos Critérios Ambientais

Área dos Critérios	Critérios	Mensuração/Fórmula	Subcritério	Subcritério
Ambiental	Requisitos de Área (Quantitativo de Área)	Para a mensuração do critério requisito de área só será levado em consideração a mensuração do subcritério quantitativo de área.	Qualitativo de Área (QUALITATIVO) (CRITÉRIO RESTRITIVO)	- Nível do Lençol Freático - Tipo de Solo
			Quantitativo de Área (QUANTITATIVO)	Normalização do valor médio da área necessária em metros quadrados (m ²) encontrada na literatura, para cada alternativa, em escala de 0 a 10. Quanto maior a área necessária, menor é o valor normalizado que será atribuído a esse subcritério da alternativa em comparação às outras.
	Geração de lodo (QUALITATIVO) (Von Sperling e Chernicharo, 2005)	Normalização dos volumes de lodo líquido a ser tratado.	-	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 7.4 – Forma de Mensuração dos Critérios Econômicos

Área dos Critérios	Critérios	Mensuração/Fórmula
Econômico	Investimento Inicial/Custo de Implantação (QUANTITATIVO)	Normalização do valor médio em reais (R\$) encontrado na literatura, para cada tecnologia e em cada subcritério de custo, em escala de 0 a 10. Quanto menor o custo, maior é o valor atribuído para o critério.
	Custos de manutenção /Operação (QUANTITATIVO)	
	Custos de área (QUANTITATIVO)	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 7.5 – Forma de Mensuração da Confiabilidade às Normas

Área dos Critérios	Critérios	Mensuração/Fórmula
Confiabilidade Ambiental (CRITÉRIO COMPLEMENTAR) (Pereira e Souza, 2020)	Saúde Humana	Verificação se as alternativas atendem os padrões de qualidade mínimos para disposição no solo e para o tipo de reúso considerado neste trabalho. Às tecnologias que não atenderem os valores de parâmetros mínimos determinados por lei, será atribuída nota 0 para o critério, enquanto para as que atenderem, nota 10.
	Solo, Águas subterrâneas e colheitas	
	Sistema de irrigação	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 7.6 – Forma de Mensuração dos Critérios Técnicos

Área dos Critérios	Critérios	Subcritério	Mensuração
Técnico	Estabilidade do Sistema	Adaptabilidade (QUALITATIVO) (Von Sperling e Chernicharo, 2005)	Normalização dos valores atribuídos a cada alternativa em escala da menos favorável à mais favorável. Quanto maior a capacidade de resistência a variações influentes e cargas de choque de uma alternativa ao ser comparada com as outras, mais favorável é sua implementação.
		Instalações passíveis de falha (QUANTITATIVO) (Zeng et al., 2007)	Mensuração baseada na quantidade de equipamentos e instalações que são passíveis de falha e normalização desse quantitativo para comparação dos sistemas. Quanto maior o número de instalações passíveis de falha, menor é o valor normalizado que este subcritério irá receber para a alternativa, em comparação às outras.
	Simplicidade Operacional	Autossuficiência do Sistema (QUALITATIVO) (Chalise, 2014)	Excelente (10) - alta autossuficiência de operação e, quando necessária, operação manual simples; Moderado (6) - autossuficiência não é tão alta e há necessidade de operação manual em alguns equipamentos (remoção de lodo); Pobre (3) - Necessidade de monitoramento das tecnologias para manutenção com mão de obra mais especializada (remoção de lodo e/ou troca do meio filtrante); Muito Pobre (0) - Alta necessidade de operação manual para funcionamento do sistema.
		Periodicidade de manutenção e limpeza (QUANTITATIVO)	Normalização do valor médio de periodicidade de manutenção (em meses) encontrado na literatura, para cada alternativa, em escala de 0 a 10. Quanto maior a periodicidade de limpeza, maior é o valor normalizado atribuído a este subcritério.
	Eficiência de Tratamento (QUANTITATIVO) (Hunt, 2013)	DBO	Normalização do valor médio das % de remoção encontradas na literatura, para cada alternativa, em escala de 0 a 10. Quando maior a remoção, melhor a nota atribuída nessa escala.
		Sólidos em Suspensão	
		Nutrientes	
Patógenos			

Fonte: Elaborado pela autora.

7.2.1. Matrizes de Resultados

As Matrizes de Decisão para cada área de análise foram formuladas com dados secundários de pesquisas com o objetivo de analisar o desempenho de sistemas de tratamento compostos pelas mesmas tecnologias avaliadas no presente trabalho.

- **Critérios Econômicos**

Os critérios econômicos foram divididos em Investimento inicial e Custo de manutenção e operação do sistema (Tabela 7.1). Para o primeiro critério, os valores calculados foram baseados nos custos máximos iniciais para implantação dos sistemas e foram retirados da publicação de Tonetti *et al.* (2018). O segundo critério foi mensurado considerando os custos de manutenção e operação do tratamento preliminar, das tecnologias principais de tratamento primário e secundário e da disposição final do efluente.

As manutenções das tecnologias de disposição final (vala de infiltração e círculo de bananeiras) e da caixa de gordura foram consideradas sem custos por terem simples manuseio. Para os sistemas que geram lodo - como as alternativas que possuem tanque séptico, filtro anaeróbio ou reator UASB (A1, A3 e A4) - foi considerado o custo de remoção do lodo por um caminhão limpa fossa e posterior destinação adequada para tratamento. Os valores para o segundo critério foram baseados na análise de Tonetti *et al.* (2018) e Paulo *et al.* (2018). Vale ressaltar que, para ambos os critérios, foram considerados os custos por habitante em casos de sistemas unifamiliares para famílias de até 5 pessoas. Porém, vale ressaltar que ao aumentar o número de pessoas, o custo por habitante pode diminuir consideravelmente.

Tabela 7.1 – Matriz dos critérios econômicos

Alternativa	Tecnologia	Investimento Inicial (R\$/hab)		Custo de Manutenção e Operação (R\$/hab.ano)			
		Máx.	N.	Min.	Máx.	Média	N.
A1	Wetlands Construídos	900	3	110	200	155	5
A2	Bacia de Evapotranspiração	600	10	0	0	0	10
A3	Filtro de Areia	1000	0	120	220	170	4
A4	Filtro Anaeróbio	700	7	210	370	290	0
A5	UASB Compacto	600	10	100	180	140	6

Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Tonetti *et al.* (2018) e Paulo *et al.* (2018).

No Apêndice A são apresentados os custos mensurados para cada uma das alternativas, sendo que a coluna “Total” foi utilizada para a o cálculo de normalização do critério econômico, demonstrado na Tabela 7.1.

- **Critérios Sociais**

Os critérios sociais foram avaliados com relação à baixa possibilidade de ocorrência de problemas ambientais por meio de uma escala utilizada por Von Sperling e Chernicharo (2005) que varia da menos favorável à mais favorável (notas de 1 a 5). Assim, quanto maior a possibilidade de problemas em determinado critério, menor é a nota atribuída a ele. Após a atribuição das notas, normalizou-se os valores para cada critério (Tabela 7.2).

Tabela 7.2 – Matriz dos critérios sociais

Alternativa	Maus odores		Impacto Visual		Ruídos		Insetos	
	NOTA	N	NOTA	N	NOTA	N	NOTA	N
A1	2	3	4	7	5	10	2	3
A2	3	5	4	7	5	10	4	7
A3	2	3	3	5	4	7	4	7
A4	2	3	2	3	4	7	4	7
A5	2	3	2	3	4	7	4	7

Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Figueiredo *et al.* (2019) e Von Sperling e Chernicharo (2005)

O critério de Impacto visual foi avaliado no presente trabalho, baseando-se em comparações visuais das tecnologias e hierarquização das alternativas de tratamento. Considerando soluções de baixo custo, o impacto visual dos filtros anaeróbios e de areia, bem como o do reator UASB, foram maiores em comparação a Wetlands e Bacia de evapotranspiração, pois estas duas últimas incorporam vegetação, que por sua vez podem causar menos impacto visual que reatores apoiados sobre o nível do solo. Porém, se forem consideradas as alternativas comerciais, que são projetadas para serem enterradas, o impacto visual dessas últimas soluções será menor, por não aparecerem no campo de visão de forma abrupta. No presente trabalho considerou-se as soluções com menor custo possível, logo, as alternativas que possuem vegetação receberam notas mais favoráveis.

Von Sperling e Chernicharo (2005) avaliaram as alternativas A1, A4 E A5 para os seguintes critérios: maus odores, ruídos e atração de insetos. A alternativa A2 foi avaliada com a base de dados de Figueiredo *et al.* (2019) e, no caso da alternativa A3, em que não foi possível avaliar os critérios sociais, usou-se uma abordagem de raciocínio de comparação da alternativa em relação

às outras, considerando uma variação em escala linear de impacto social. Por exemplo, quanto ao critério de odor, como a alternativa A3 dispõe de Tanque séptico (TS), considerou-se então que teria um impacto semelhante à outras alternativas que também dispõem de TS e, por consequência, a mesma nota. Quanto ao critério de ruídos e insetos, foi considerada a mesma nota da alternativa A4, que também é composta por um filtro associado ao tanque séptico, a qual encontra maior semelhança com a alternativa A3.

- **Critérios Ambientais**

Os critérios ambientais foram analisados quanto aos requisitos de área e à geração de lodo. Os dados para a contabilização da área necessária para implantação de cada alternativa tecnológica foram baseados na publicação de Tonetti *et al.* (2018). Para a mensuração do segundo critério, os dados foram baseados em Von Sperling e Chernicharo (2005).

Os valores calculados e apresentados na Tabela 7.3 se referem à soma da média das áreas necessárias para cada unidade que compõe a alternativa, considerando uma família de até 5 pessoas por residência.

Tabela 7.3 – Quantitativo de área para cada alternativa

	Alternativa	Tecnologias	Área (m ²)
A1	Wetlands Construídos	PT1 + T1 + D1	22
A2	Bacia de Evapotranspiração	PT1 + T2 + D2	12,5
A3	Filtro de Areia	PT1 + T5 + PT2 + T6 + D1	14,25
A4	Filtro Anaeróbio	PT1 + T5 + T4 + D1	13,5
A5	UASB Compacto	PT1 + T3 + D2	6,75

Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Tonetti *et al.* (2018).

O critério de geração de lodo se refere ao lodo que será coletado e encaminhado para tratamento dentro do período indicado para manutenção de cada tecnologia. Para a mensuração da quantidade de lodo produzida pelas alternativas A1 e A3, se considerou apenas o lodo gerado pelos tanques sépticos, pois os filtros de areia e a wetland não geram lodo. Para A4, além do tanque séptico, a geração de lodo ocorre no filtro anaeróbio e, em A5, só se considera a geração pelo reator UASB. Já em A2, não há geração de lodo. A Tabela 7.4 ilustra a Matriz com os valores finais para cada critério e a normalização para cada alternativa de sistema de tratamento.

Tabela 7.4 – Matriz dos critérios ambientais

Alternativa	Requisito de Área		Geração de Lodo (L/hab.ano)			
	Valor (m ² /hab.)	N	Mín.	Máx.	Média	N
A1	4,4	0	110	360	235	7
A2	2,5	6	0	0	0	10
A3	2,85	5	110	360	235	7
A4	2,65	6	290	1360	825	0
A5	1,35	10	70	220	145	8

Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Figueiredo *et al.* (2019) e Von Sperling e Chernicharo (2005)

- **Critérios Técnicos**

Os critérios avaliados na área técnica foram divididos em Simplicidade Operacional, Estabilidade do Sistema e Eficiência de Tratamento. O primeiro foi subdividido nos subcritérios “Autossuficiência do sistema” e “Periodicidade de Manutenção”; o segundo, subdividido em “Adaptabilidade” e “Instalações Falhas”; e o terceiro, em remoção de patógenos, nutrientes, DBO e SST.

O critério de Simplicidade Operacional foi mensurado com dados secundários das pesquisas de Tonetti *et al.* (2018) e Paulo *et al.* (2018). Para o subcritério de autossuficiência do sistema, foram avaliados os níveis de manutenção e a mão de obra necessária para realizá-la (simples ou qualificada), para entender se os sistemas conseguem funcionar de forma independente ou se dependeriam frequentemente de mão de obra qualificada para seu funcionamento. Para análise comparativa entre as alternativas, notas foram atribuídas a cada uma das tecnologias considerando os pontos levantados acima. A nota de autossuficiência do sistema em cada alternativa foi calculada com a média das notas das tecnologias que compõe a alternativa, com exceção das tecnologias de disposição final, pois possuem notas iguais e não iriam influenciar na nota final da alternativa neste subcritério especificamente.

Para a mensuração do subcritério periodicidade de manutenção, foi avaliado o tempo (em meses) entre as manutenções necessárias. Para esta análise, não foram consideradas as tecnologias Tanque Séptico (manutenção anual), Caixa de Gordura (manutenção semestral), Círculo de Bananeiras (semestral/trimestral) ou Valas de infiltração (sem periodicidade), mas apenas as tecnologias principais, que por serem mais variáveis influenciam a periodicidade de manutenção de forma mais significativa.

No Quadro 7.7 dispomos a análise sobre o tipo de manutenção de cada tecnologia, a nota que foi atribuída a cada tecnologia considerando seu tipo de manutenção, e sua periodicidade de manutenção individual.

Quadro 7.7 – Condições de Manutenção das Tecnologias

TECNOLOGIA	MÃO DE OBRA MANUTENÇÃO	MANUTENÇÃO	NOTA – Autossuficiência do Sistema	PERIODICIDADE
CAIXA DE GORDURA	SIMPLES	Retirada da Escuma	10	SEMESTRAL
TANQUE SÉPTICO	QUALIFICADA	Remoção de Lodo e Escuma	5	ANUAL
BET	SIMPLES	Manutenção do jardim e colheita de frutos. Não necessita de descarga do lodo.	10	ANUAL
WETLANDS	SIMPLES	Manutenção das plantas, sempre que necessário, troca do meio filtrante se ocorrer entupimento. Não necessita de descarga do lodo.	7	2 À 4 VEZES NO ANO
UASB	QUALIFICADA	Remoção de Lodo e Escuma	5	ANUAL
FILTRO DE AREIA	SIMPLES	Raspagem da camada superficial de areia (primeiros 5 cm de profundidade), seguida da sua reposição por areia limpa. Não necessita de descarga do lodo.	3	BIMESTRAL
FILTRO ANAERÓBIO	QUALIFICADA	Monitoramento e troca do meio filtrante, em caso de obstrução, e remoção de lodo.	3	ANUAL
VALA DE INFILTRAÇÃO	SIMPLES	Separação de sólidos e gorduras para evitar entupimentos.	10	-
CÍRCULO DE BANANEIRAS	SIMPLES	Colheita de frutas, poda das plantas e retirada de humus.	10	2 À 4 VEZES NO ANO

Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Tonetti *et al.* (2018) e Paulo *et al.* (2018) - *Nota a ser utilizada na mensuração do subcritério “Autossuficiência do sistema”.

Tabela 7.5 – Matriz dos critérios técnicos: Subcritério Simplicidade Operacional

Alternativa	SIMPLICIDADE OPERACIONAL		
	Autossuficiência do sistema	Periodicidade de manutenção	
	NOTA	Nº (meses)	N.
A1	6	4	2
A2	10	12	10
A3	4	2	0
A4	4	12	10
A5	5	12	10

Fonte: Elaborado pela autora. Adaptado de Tonetti *et al.* (2018) e Paulo *et al.* (2018).

O critério de Estabilidade do Sistema (Tabela 7.6) teve sua mensuração baseada em diversas pesquisas que tratam especificamente sobre cada alternativa. Para o subcritério “Instalações Falhas”, foi considerado o número de componentes no sistema que são sujeitos a falhas, sendo que quanto maior a quantidade, menor a nota atribuída à alternativa. O Quadro 7.8 apresenta os componentes sujeitos à falha para cada alternativa.

Quadro 7.8 – Matriz dos critérios técnicos: Subcritério Simplicidade Operacional

Alternativa	Componentes sujeitos a falhas	Qtd.
A1	Meio Filtrante, Sistema do Tanque séptico (caso não remova o lodo), Caixa de gordura (caso não remova a espuma).	3
A2	Caixa de gordura (caso não remova a espuma).	1
A3	Caixa de gordura (caso não remova a espuma), Sistema do Tanque séptico (caso não remova o lodo), Meio Filtrante.	3
A4	Caixa de gordura (caso não remova a espuma), Sistema do Tanque séptico (caso não remova o lodo), Meio suporte, lodo do filtro anaeróbio.	4
A5	Caixa de gordura (caso não remova a espuma), remoção de lodo do sistema, interrupção do sistema UASB.	2

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7.6 – Matriz dos critérios técnicos: Estabilidade do Sistema

Alternativa	ESTABILIDADE DO SISTEMA			
	Adaptabilidade		Instalações falhas	
	NOTA *	N.	**Qtd.	N.
A1	4	7	3	3
A2	2	3	1	10
A3	1	0	3	3
A4	4	7	4	0
A5	3	5	2	6

Fonte: Elaborado pela autora. *Referências Adaptabilidade: Von Sperling e Chernicharo (2005); Beccato (2004); Girão *et al.* (2019). **Referências Instalações Falhas: Tonetti *et al.* (2018) e Paulo *et al.* (2018).

O critério Eficiência de Tratamento considerou o percentual de remoção de DBO, nutrientes, patógenos e SST, comparando o afluente e o efluente final. A Tabela 7.7 mostra os resultados encontrados. Vale ressaltar que para a normalização dos subcritérios de remoção de nutrientes, utilizou-se das funções de valor apresentadas na Tabela 6.4.

Tabela 7.7 – Matriz dos critérios técnicos: Subcritério Eficiência de Tratamento

Alternativa	EFICIÊNCIA DE TRATAMENTO							
	DBO (%)				Sólidos Suspensos Totais (%)			
	Min.	Máx.	Média	N.	Min.	Máx.	Média	N.
A1***	80	90	85	10	87	93	90	9
A2*	-	-	79,8	6	-	-	90,2	10
A3**	-	-	83,2	9	83,7	93,7	88,7	8
A4***	80	85	82,5	8	80	90	85	7
A5***	60	75	67,5	0	65	80	72,5	0
Alternativa	Amônia - N (%)		NT (%)	NT e Amônia - N		PT (%)		N Nutrientes
	Mín./Máx.	Mín./Máx.	N	Mín./Máx.	N	N		
A1***	<50	<60	2	<35	5	4		
A2*	>80	<40	4	<60	10	7		
A3**	<85	<70	10	<25	0	5		
A4***	<45	<60	0	<35	5	3		
A5***	<50	<60	2	<35	5	4		
Alternativa	CF (unidades de log)		Ovos helmintos (ovo/L)		N patógenos			
	Média	N.	<1 ou >1	N				
A1***	3 - 4	7	<1	10	9			
A2*	2 - 3	4	>1	0	2			
A3**	3 - 4	7	<1	10	9			
A4***	1 - 2	1	>1	0	1			
A5***	1 - 2	1	>1	0	1			

Fonte: Elaborado pela autora. *Referências A2: Galbiati (2009) e Figueiredo *et al.* (2019); **Ref. A3: Cruz (2013) e Luna *et al.* (2013); ***Ref. A1, A4 e A5: Von Sperling e Chernicharo (2005). Não há informações disponíveis nas pesquisas utilizadas para DBO (remoção mín. e máx.) nas tecnologias A2 e A3, e nem para SST (remoção mín. e máx. para A2).

- **Confiabilidade**

Os subcritérios de confiabilidade às normas consideram a análise da qualidade do efluente já tratado a ser infiltrado no solo. Por esse motivo, as pesquisas utilizadas como referência não consideram a Vala de Infiltração ou o Círculo de Bananeiras como a tecnologia de tratamento final e a análise é focada no efluente que ainda será destinado às tecnologias de disposição final para infiltração no solo.

O primeiro subcritério avaliado foi o relacionado à saúde humana, considerando parâmetros microbiológicos do efluente, a fim de observar se sua qualidade permite o reúso para irrigação irrestrita por gotejamento de plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo. Os valores limites utilizados foram os determinados pela Organização Mundial da Saúde (2006) (Quadro 7.7).

Quanto ao subcritério que trata das diretrizes para conservação da qualidade do solo e águas subterrâneas, há uma divisão entre análises realizadas na água subterrânea e no efluente antes de ser disposto no solo. Em razão da dificuldade de se encontrar dados secundários relativos à análise de águas subterrâneas após a disposição dos efluentes tratados no solo – em específico tratados pelas alternativas aqui estudadas -, foi concluído que não seria possível uma análise dessa complexidade.

Portanto, para a confiabilidade no âmbito da conservação da qualidade do solo e águas subterrâneas, foram considerados dados da qualidade dos efluentes tratados antes de serem dispostos no solo, utilizando das orientações da Resolução COEMA nº 2/2017 (Quadro 7.9).

Como explicado no item 6.1.2, nos casos de atendimento aos parâmetros, a nota atribuída será máxima (10), caso não atenda, a nota atribuída será mínima (0). Os resultados da Confiabilidade foram obtidos por meio do somatório das pontuações dos parâmetros que cumpriram os limites orientados pelas normas e pela posterior normalização (N) da pontuação final, como demonstrado na Tabela 7.8.

Quadro 7.9 – Confiabilidade – Forma de análise

Item	Pontuação
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS (OMS, 2006)	
CF (<10⁵ NPM/100 ml)	0 - Não atende
	10 - Atende
Ovos Helmintos (<1 ovo/L)	0 - Não atende
	10 - Atende
CONSERVAÇÃO QUALIDADE DO SOLO (Resolução COEMA nº 2/2017 - parâmetros mensurados na água a ser infiltrada)	
CE (< 1.000 µS/cm)	0 - Não atende
	10 - Atende
RAS (<10 (mmolc L⁻¹)^{1/2})	0 - Não atende
	10 - Atende
pH (5-9)	0 - Não atende
	10 - Atende
DBO (<120 mg/L)	0 - Não atende
	10 - Atende

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7.8 – Resultados da análise de Confiabilidade

Alternativa	CONFIABILIDADE														
	PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS (SAÚDE)					CONSERVAÇÃO QUALIDADE DO SOLO (Resolução COEMA nº 2/2017)								VALOR TOTAL	
	CF (NPM/100 ml)			Ovos Helmintos (ovo/L)		CE (µS/cm)		RAS (mmolc. ⁻¹ 1/2)		pH		DBO (mg/L)		VALOR	N
	Mín.	Máx.	N.	<1 ou >1	N	Média	N	Média	N	Média	N	Média	N		
A1	10 ⁴	10 ⁵	10	<1	10	1735	0	4,5	10	8,2	10	51	10	50	8
A2	10 ⁵	10 ⁶	0	>1	0	2450	0	-	-	7,8	10	72	10	30	5
A3	10 ⁴	10 ⁵	10	<1	10	1000	10	1,15	10	7	10	21	10	60	10
A4	10 ⁶	10 ⁷	0	>1	0	990	10	6,1	10	7,2	10	60	10	40	6
A5	10 ⁶	10 ⁷	0	>1	0	643	10	1,43	10	7	10	100	10	40	6

Fonte: Elaborado pela autora. Referências: A1 – Santiago (2008); A2 – Galbiati (2009); A3: Cruz (2013); A4: Varallo *et al.* (2012); A5: Souza Filho (2013). Legenda: N é o resultado normalizado para a análise.

Considerando os dados apresentados, observa-se que, nas ocasiões analisadas, as únicas alternativas que cumprem com os parâmetros microbiológicos são a A1 (Wetland) e a A3 (Filtro de Areia). Assim, para fins comparativos, preferiu-se, nesta pesquisa, não analisar o cenário para reúso na irrigação diretamente, mesmo para plantas que se desenvolvem distantes do solo, visto que a análise iria prosseguir de forma mais complexa apenas para A1 e A3, não sendo completa para todas as alternativas. Logo, os critérios relacionados à qualidade da água para irrigação e à conservação do sistema de irrigação não foram contemplados na avaliação e o reúso direto não foi sugerido como uma solução possível para os outros sistemas avaliados.

Quanto os dados sobre a conservação da qualidade do solo, apenas as alternativas A3, A4 e A5 cumpriram todos os valores considerados e orientados pela Resolução COEMA nº 2/2017. Assim, a única tecnologia que cumpriu todos os parâmetros de análise para que o efluente possa ser encaminhado à disposição no solo foi a A3.

Portanto, ao adotarmos o critério de confiabilidade de forma restritiva, as alternativas A1, A2, A4 e A5 seriam descartadas da avaliação e apenas a alternativa A3 teria viabilidade. Isso demonstra que as tecnologias descentralizadas, apesar de muito utilizadas tanto em meio peri-urbano como rural, ainda precisam de melhorias e adaptações para atender as diretrizes e legislações e, portanto, conferir confiabilidade aos resultados de tratamento.

Porém, é sabido que as tecnologias podem passar por adaptações técnicas ou pelo aprimoramento do tratamento, mediante, por exemplo, outras composições dos sistemas ou até mesmo o acréscimo das tecnologias de disposição controlada no solo na análise, as quais também são definidas como tecnologias de depuração e polimento final de efluentes.

Segundo a OMS (1989), a disposição controlada de efluentes secundários no solo resulta na remoção dos nutrientes, absorvidos pelas plantas e incorporados ao solo; dos sólidos suspensos; e dos patógenos, que são inativados por ação de raios ultravioleta, pela dessecação e pela ação dos predadores biológicos no solo. Portanto, as tecnologias de disposição final no solo têm influência no aprimoramento da qualidade dos efluentes, acarretando um melhor resultado para os critérios de confiabilidade a todas as alternativas consideradas, já que em todas há uma tecnologia de polimento final pela disposição no solo.

Von Sperling e Chernicharo (2005) consideraram que as tecnologias de tratamento de infiltração lenta no solo, por exemplo a irrigação, possuem capacidade de tratamento que atinge o nível de qualidade de ovos helmintos para abaixo de 1 ovo/Le coliformes fecais à 10^3 FC/100ml.

Dessa forma, na segunda etapa da análise, foram utilizados critérios não-restritivos para as 5 alternativas, com o foco em definir a melhor alternativa do ponto de vista técnico, social, econômico e ambiental, sem que pesem os critérios de confiabilidade.

7.2.2. Taxas de Substituição para os critérios

As taxas de substituição, mais conhecidas como pesos, foram determinadas pelos especialistas via questionário de coleta de julgamentos na AHP-OS, ferramenta Web baseada na Análise Hierárquica de Processos (AHP). Após análise dos especialistas, os resultados consolidados são mostrados como importâncias locais e globais na Tabela 7.9, sendo que a primeira indica a importância relativa de cada fator ou critério dentro daquele nível, e a segunda, a importância do critério na análise global de todos os níveis.

Tabela 7.9 – Critérios, subcritérios e pesos associados

CRITÉRIOS/SUBCRITÉRIOS	IMPORTÂNCIA LOCAL	IMPORTÂNCIA GLOBAL
ECONÔMICO	29,20%	
Investimento Inicial	79,45%	23,20%
Custo de Manutenção e Operação	20,55%	6,00%
SOCIAL	35,30%	
Maus Odores	64,70%	22,84%
Impacto Visual	8,00%	2,82%
Ruídos	9,00%	3,18%
Insetos	18,30%	6,46%
AMBIENTAL	14,40%	
Requisitos de Área	30,10%	4,33%
Geração de Lodo	69,90%	10,07%
TÉCNICO	21,40%	
Estabilidade do Sistema	14,90%	
Performance Técnica	62,00%	1,98%
Instalações Passíveis de Falha	38,00%	1,21%
Simplicidade Operacional	51,30%	
Autossuficiência do sistema	17,20%	1,89%
Periodicidade de Manutenção e Limpeza	82,80%	9,09%
Eficiência de Tratamento	33,80%	
DBO	39,50%	2,86%
Sólidos em Suspensão	27,70%	2,00%
Nutrientes	5,10%	0,37%
Patógenos	27,80%	2,01%

Fonte: Elaborado pela autora com dados da análise da ferramenta AHP-OS utilizando considerações de especialistas.

Uma repartição para cada nó da hierarquia é fornecida em forma de tabela pelo programa, mostrando as prioridades resultantes para cada membro individual do grupo, bem como as prioridades consolidadas sob o nó. Como mais de um especialista participou da análise, a plataforma AHP-OS calcula um indicador de consenso AHP para quantificar o consenso do grupo, ou seja, ter uma estimativa do acordo sobre as prioridades futuras entre os participantes. Esse indicador varia de 0% a 100% (zero por cento corresponde a nenhum consenso, 100% ao consenso total) e é uma medida de homogeneidade de prioridades entre os participantes, que também pode ser interpretada como uma medida de sobreposição entre as prioridades dos membros do grupo. Abaixo estão os resultados para o consenso do grupo de especialistas por nó hierárquico e para a análise global dos pesos.

Tabela 7.10 – Consenso da análise entre os especialistas

CRITÉRIO	CONSENSO DO GRUPO	QUALIFICAÇÃO
ECONÔMICO	72,70%	Moderado
SOCIAL	82,30%	Alto
AMBIENTAL	24,40%	Muito Baixo
TÉCNICO	68,60%	Moderado
GLOBAL	74,30%	Moderado

Fonte: Elaborado pela autora com dados da análise da ferramenta AHP-OS.

O consenso do grupo pode ser dividido em três categorias: baixo, moderado e alto. As seguintes porcentagens são atribuídas à cada categoria:

- Consenso muito baixo: abaixo de 50% (discordância)
- Baixo consenso: 50% a 65%
- Consenso moderado: 65% a 75%
- Alto consenso: 75% a 85%
- Consenso muito alto: acima de 85% (concordância excelente)

Observando os dados apresentados, os critérios técnicos e econômicos tiveram percentuais que correspondem ao consenso moderado. O critério social foi o único com alto consenso na análise, o que demonstra que há sobreposição de pesos e ótima concordância de julgamento dos membros do grupo.

Quanto ao critério ambiental, o resultado correspondeu à faixa de valores de consenso muito baixo, indicando que não houve concordância na análise do grupo e uma diversidade de julgamentos. Isso pode ter ocorrido devido às poucas alternativas para análise no critério ambiental, ou devido a problemas na interpretação dos critérios.

Considerando a análise de consenso nos pesos (importâncias) globais, o consenso é classificado como moderado e chega próximo à classificação de alto consenso, o que é considerado um bom valor para análise em grupo. Segundo Laranjeira *et al.* (2018), consensos na faixa entre 60% e 90% são tomados como validadores dos resultados, pois indicam que o problema não é banal a ponto do resultado ser óbvio e, ao mesmo tempo, indica que não há equívocos na modelagem da hierarquia.

7.2.3. Avaliação das Alternativas Tecnológicas

Após a definição da taxa de substituição, os critérios são agregados em uma única avaliação, transformando um modelo que tem múltiplos critérios em um modelo com critério único, que é a pontuação final que uma determinada alternativa recebe (Hunt, 2013). Utilizou-se a fórmula de agregação aditiva para que os valores normalizados que foram atribuídos aos critérios econômico, ambiental, social e tecnológico, demonstrados no tópico 7.2.1, fossem multiplicados pela taxa de substituição e, posteriormente, somados para se chegar ao resultado final (Equação 6.1). Os resultados da avaliação dos critérios para cada alternativa estão consolidados na Tabela 7.11.

Vale lembrar que os resultados alcançados nessa análise foram decorrentes de pontuações e valores atribuídos a cada critério, retirados de trabalhos e pesquisas específicas para a análise de desempenho de cada uma das alternativas estudadas. Contudo, os valores aqui apresentados não anulam a importância de se analisar os resultados de qualquer uma das tecnologias a serem escolhidas e implementadas.

Tabela 7.11 – Valores finais para cada alternativa e hierarquização para melhor escolha

Alternativa	CRITÉRIOS				VALOR	ORDEM DAS ALT.
	Econômico	Ambiental	Social	Técnico		
A1	4	5	4	5	4	4º
A2	10	9	6	8	8	1º
A3	1	6	4	3	3	5º
A4	6	2	4	7	5	3º
A5	9	9	4	6	7	2º

Fonte: Elaborado pela autora.

Como observado, considerando os critérios econômico, ambiental, social e técnico, a melhor alternativa foi a A2 – Bacia de Evapotranspiração. Porém, resta incluir o critério de confiabilidade na análise.

A alternativa A2, designada como a 1ª colocada na primeira hierarquização (Tabela 7.11), obteve a menor nota para o critério de confiabilidade, mesmo tendo as melhores notas em todos os outros critérios de sustentabilidade. Já a única alternativa que obteve nota máxima no âmbito da confiabilidade, a alternativa A3 – Filtro de Areia, foi a tecnologia com as menores notas avaliadas para o critério econômico e técnico, devido ao seu maior custo e maior necessidade de manutenção e probabilidade de falhas.

Observando a incompatibilidade entre os resultados dos critérios de sustentabilidade e do critério complementar de confiabilidade às normas, as soluções possíveis para aprimorá-los são: acrescentar tecnologias de tratamento que tenham a finalidade de aumentar a confiabilidade da alternativa A2 para o efluente ser encaminhado para a disposição no solo; ou então considerar as tecnologias adotadas para disposição no solo (círculo de bananeiras e vala de infiltração) como tecnologias de polimento final, e analisar seus resultados de eficiência e seus reflexos na qualidade do solo e na qualidade das águas subterrâneas. Do contrário, o modelo, por mais que selecione a tecnologia que é mais sustentável, não teria como resultado uma alternativa viável, em função da confiabilidade às normas.

Apesar disso, como dito anteriormente, é importante frisar que a confiabilidade às normas depende de fatores externos e práticos variáveis, não sendo determinante na análise, pois este foi um critério que utilizou dados do efluente tratado antes da disposição final, ou seja, com uma qualidade inferior ao que realmente o efluente pode ter, já que a disposição do efluente no solo também faz parte do polimento e tratamento final, tendo grande influência para aprimorar os resultados.

Observa-se, com a análise, que o processo decisório para elencar a alternativa que mais possui compatibilidade com o assentamento precário no meio urbano, depende de diversos fatores e critérios, o que confirma a necessidade de se utilizar modelos multicritérios de apoio a decisão, principalmente porque, do ponto de vista do gestor, não há possibilidade de não se considerar o critério de confiabilidade às normas para disposição no solo, pois este critério garante que a alternativa não trará riscos ao meio ambiente e nem à comunidade que vive próxima ao local de implantação.

Além disso, é importante frisar que, na metodologia proposta, sempre haverá um certo grau de subjetividade. Destaca-se que o decisor não deve depositar sua certeza em um modelo de suporte à decisão, porém é interessante aproveitar da situação analisada para entender as qualidades e limitações que este modelo oferece para o contexto da tomada de decisão, de tal forma que a incerteza para a decisão seja minimizada, e que a qualidade da decisão seja melhorada, proporcionando ao decisor uma visão macro do problema de decisão e orientando o seu raciocínio para a melhor escolha possível.

7.2.4. Adaptação das Alternativas ao local de Implantação

A adaptação das alternativas, como explanado no tópico 6.2, considerou as características do local de implantação para este estudo, o Setor Habitacional Santa Luzia. Segundo Reatto *et al.* (2004), a região onde se encontra o SHSL no Mapa Pedológico Digital do DF é caracterizada pela presença de uma das principais classes de solos do DF, o Latossolo Vermelho. Os Latossolos ocupam 54.5% da área do DF e são solos altamente intemperizados, configurando formas de relevo conhecidas regionalmente como chapadas.

Os Latossolos apresentam baixo teor de silte (entre 10% e 20%) e argila, variando entre 15% e 80%. Podem ser excessivamente drenados, fortemente drenados e acentuadamente drenados, conforme a natureza da textura, da estrutura e da situação topográfica. São solos com alta permeabilidade de água e a capacidade de água disponível até 2 m de profundidade varia, em média, de 500 a 760 mm para os solos de textura muito argilosa, de 300 a 500 mm para os de textura argilosa e de 260 a 330 mm para os de textura média. (REATTO *et al.*, 2004)

A análise do tipo de solo do local não pôde ser presencial, porém, considerando a alta permeabilidade indicada por pesquisas realizadas na região do DF, em específico para o local de estudo, a implantação do sistema no local deve seguir as orientações propostas pelo fluxograma da Figura 6.1. Assim, para o círculo de bananeira ou vala de infiltração, independente da tecnologia que será escolhida para implantação, é importante adicionar uma camada de solo argiloso no fundo, como barreira à infiltração da água em velocidades elevadas.

8. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O modelo proposto neste trabalho alcançou uma análise suficiente para se chegar a uma decisão para o assentamento precário urbano estudado. Porém, pode ser interessante uma maior variedade de tecnologias descentralizadas analisadas, com diferentes arranjos tecnológicos. É viável também aprimorar os resultados da análise incluindo a tecnologia de disposição final para a avaliação da confiabilidade acontecer após o polimento final, a fim de comparar os resultados de confiabilidade às normas antes e depois da disposição final.

De forma a aperfeiçoar o modelo criado e implementado nesta dissertação, sugere-se incluir no sistema de apoio à decisão as características locais da região de implantação. Assim, as características locais podem ser avaliadas com maior peso na análise da tecnologia a ser implantada e, conseqüentemente, o resultado será mais compatível com a realidade do local. Além disso, na etapa de atribuição de pesos, é importante verificar a opinião dos moradores locais, principalmente nos critérios sociais, que têm maior influência no local de implantação e na rotina das pessoas que vivem no assentamento. Além disso, outros métodos multicritérios também podem ser utilizados na pesquisa para comparar resultados.

9. CONCLUSÃO

O déficit de saneamento básico nos assentamentos precários no meio urbano é uma realidade cujos sistemas de tratamento descentralizados de esgotos domésticos se constituem como uma solução promissora e sustentável, tanto economicamente, quanto tecnicamente, socialmente e ambientalmente.

A seleção de alternativas de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos é considerada uma decisão complexa porque possui mais de dois critérios para análise, os quais não apresentam valores ótimos para cada sistema, gerando conflitos para uma tomada de decisão mais simplificada. Além disso, alguns dos critérios são quantificáveis, e outros só resultantes de julgamento de valor efetuados sobre uma escala, que por sua vez não têm formas e parâmetros iguais para avaliação.

Tendo em vista a dificuldade no processo de tomada de decisão quando este envolve múltiplos critérios, o modelo proposto neste trabalho, que utilizou de forma conjunta duas das metodologias conhecidas como as da escola Americana - AHP e MAUT -, conseguiu diminuir o grau de subjetividade atrelado às metodologias de apoio a tomada de decisão, atribuindo as importâncias (pesos) dos critérios par a par com a metodologia da AHP.

Como resultado da avaliação das 5 (cinco) tecnologias descentralizadas levantadas para o local de estudo do assentamento de Santa Luzia (DF), com os dados de desempenho e atribuição de pesos aqui avaliados, a alternativa tecnológica que teve o melhor desempenho na análise dos critérios de sustentabilidade, foi a Bacia de Evapotranspiração (A2). Já para o critério de confiabilidade, a única alternativa que alcançou desempenho satisfatório foi a alternativa A3 – Filtro de Areia.

Estes fatos evidenciaram uma certa incompatibilidade nos resultados dos critérios de sustentabilidade e o critério de confiabilidade às normas, pois a alternativa que foi levantada como a melhor alternativa nos aspectos sustentáveis, obteve uma das menores notas para a confiabilidade. Portanto, concluiu-se que as tecnologias descentralizadas analisadas no contexto deste trabalho precisam ter seus resultados aprimorados para casos em que a disposição final do efluente é no solo.

Entretanto, há possibilidade de reverter os desempenhos das alternativas, aprimorando o tratamento de cada tecnologia que compõe o sistema, ou então considerando a tecnologia de disposição final e sua eficiência de tratamento na análise, o que melhoraria a qualidade do efluente final que seria disposto no solo, sendo possível cumprir todos os parâmetros de confiabilidade considerados nesta pesquisa.

Deste modo, o modelo proposto contribui para a indicação da tecnologia descentralizada mais sustentável nos aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos, de acordo com os pesos atribuídos pelos especialistas, para um assentamento precário em meio urbano. Quanto ao critério de confiabilidade, o modelo indica o aprimoramento das eficiências de tratamento para a escolha ser de fato viável em todas as esferas analisadas. Além disso, é um modelo que pode ser replicado para outros cenários semelhantes, considerando as diferentes preferências dos decisores e os critérios mais relevantes para o assentamento.

Contudo, é importante considerar também que as alternativas tecnológicas analisadas já representam grande avanço para a qualidade ambiental e para a minimização dos riscos aos moradores locais, pois são tratamentos mais completos ao serem comparados ao cenário de ausência de tratamento, ou onde há somente fossa séptica e sumidouro sem garantia do dimensionamento ter sido realizado de acordo com as normas técnicas correspondentes. Face a esses resultados, embora haja uma classificação hierárquica entre as alternativas, qualquer que seja a tecnologia escolhida, se dimensionada corretamente, trará benefícios ao assentamento que se encontra em uma situação de saneamento precária, considerando a sustentabilidade da tecnologia representada pelos aspectos técnicos, sociais, econômicos e ambientais, além da possibilidade de reaproveitamento de recursos naturais (biomassa, nutrientes e água).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1993). NBR 7229: 1993: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.

ANDERSSON, K.; DICKIN, S.; ROSEMARIN, A. (2016). Towards “Sustainable” Sanitation: Challenges and Opportunities in Urban Areas. *Sustainability*, 8(12), p.1289.

ANDERSSON, K.; ROSEMARIN, A.; LAMIZANA, B.; KVARNSTRÖM, E.; MCCONVILLE, J.; SEIDU, R.; DICKIN, S.; TRIMMER, C. (2016b) Sanitation, Wastewater Management and Sustainability: From Waste Disposal to Resource Recovery; UNEP/GPA/SEI: Stockholm, Sweden.

ALDERSON, M.P., DOS SANTOS, A.B., MOTA FILHO, C.R. (2015). Reliability analysis of low-cost, full-scale domestic wastewater treatment plants for reuse in aquaculture and agriculture. *Ecological Engineering*, 82, 6-14.

ALFONSIN, B. e FERNANDES, E. (2004). Direito à moradia e segurança da posse no Estatuto da Cidade: diretrizes, instrumentos e processos de gestão. Belo Horizonte: Fórum. 368p.

ALMEIDA, O. Á. de. (2010). Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: Florêncio, L; Bastos, R. K. X.; Aisse, M. M. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. PROSAB - ABES. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

BATISTA, M.E.M. (2005) Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a gestão urbana baseado em indicadores ambientais. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

BECCATO, M. A. B. (2004). Elaboração participativa de uma proposta de reestruturação do sistema de tratamento de esgoto da comunidade de Maruja – Parque Estadual da Ilha do Cardoso/SP. São Carlos, SP: USP. 229 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

BRASIL. Atlas do Saneamento – 2011. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm> Acesso em: 28 jun. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 460, de 30 de dezembro de 2013. Altera a Resolução CONAMA no 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. Brasília, DF, 2013.

BRASIL. Fundação João Pinheiro (Orgs.). (2018). Déficit Habitacional no Brasil 2015. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro. 78 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. (2014) Fundação Nacional de Saúde. Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de melhorias sanitárias domiciliares - Funasa / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014. 44 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. (2010). Guia para o Mapeamento e Caracterização de Assentamentos Precários de Interesse Social – ZEIS em Vazios Urbanos. Brasília, DF: Ministério das Cidades. p. 9.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. (2019). Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNS/MDR. 226 p. : il.

CAPODAGLIO, A., CALLEGARI, A., CECCONET, D., MOLOGNONI, D., (2017). Sustainability of decentralized wastewater treatment technologies. *Water Pract. Technol.* 12, 463–477

CARDOSO, A. L. (2016). “Assentamentos Precários no Brasil: Discutindo Conceitos” em *Caracterização e Tipologia de Assentamentos Precários: estudos de caso brasileiros*. Org. por Maria de Piedade Moraes, Cleandro Krause, Vicente Correia Lima Neto. - Brasília, Ipea, 2016. 540 p.

CASAROTTO, N. F.; KOPITTKKE, B. H. (2000). *Análise de Investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial*. 9.ed. São Paulo: Atlas.

CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA). Resolução nº 02, de 02 de fevereiro de 2017. Dispõe sobre os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Ceará, 2017.

CHIAVENATO, I. (2000). *Introdução à Teoria Geral da Administração*. 6 ed. Rio de Janeiro. Editora Campus.

CHURCHMAN, C.W., ACKOFF, R.L. e ARNOFF, E.L. (1957). *Introduction to Operations Research*, New York: Wiley.

CRUZ, L. M. de O. (2013). *Tanque Séptico seguido de filtro de areia para tratamento de esgoto doméstico*. 180 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

BALKEMA, A. J.; PRESIG, H. A.; OTTERPOHL, R.; LAMBERT, F. J. D. (2002) et al. Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment systems. *Elsevier Science Ltd. Urban Water* 4. p. 153-161.

BUENO, L. M. M. (2003). Parâmetros e tipologia. In: *SEMINÁRIO SUBSÍDIOS PARA A ELABORAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE URBANIZAÇÃO E REGULARIZAÇÃO DE ASSENTAMENTOS PRECÁRIOS*. Brasília.

CAMPOS, J. R. e NETO, C. O. de A. (1999). Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 1, p 1-28.

CAMPOS, V. R. (2011). Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento. Tese (doutorado). São Carlos: EESC/USP.

CARVALHO, A. X. Y.; ALBUQUERQUE, C. W.; MOTA J. A.; PIANCASTELLI, M. (Orgs.). Ensaio de Economia Regional e Urbana. Brasília. Ipea, 2008. Cap. 2, p 47-64.

CHALISE, A. R. (2014). Selection of Sustainability Indicators for Wastewater Treatment Technologies. Thesis of Master Degree. Concordia University. Montreal, Quebec, Canada. 2014. 135 p.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG, 2007. v. 5.

CODEPLAN (2016). “Pesquisa distrital por amostra de domicílios – SCIA/Estrutural - PDAD/DF 2015”, Companhia de Desenvolvimento do Planalto Central, Brasília, Brasil.

DA MATA, D.; LALL, S. V.; WANG, H. G. (2007). Favelas e dinâmica das cidades brasileiras. In: CARVALHO, A. X. Y. et al. (Orgs.). Ensaio sobre economia regional e urbana. Brasília: Ipea.

DE MONTIS, A.; DE TORO, P.; DROSTE-FRANKE, B.; OMANN, I.; STAGL, S. (2004). Assessing the quality of different MCDA methods. In: Alternative for Valuing Nature, Oxford, Roudledge, 2004, p. 99-133. Disponível em <http://people.unica.it/adm/files/2008/11/05_de_monti_et_al.pdf>. Acesso em 31 jul. 2020.

DENALDI, R ; FERRARA, L. N. (2018). The environmental dimension of slum upgrading. Ambiente & Sociedade, v. 21, p. 1-20.

DIAS, M. C. (2003). Índice de salubridade ambiental em áreas de ocupação espontânea: estudo em Salvador, Bahia. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

DILLON, J. L. e PERRY, C. (1977). 'Multiattribute utility theory, multiple objectives and uncertainty in ex ante project evaluation', *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 45 (1, 2): 3–27.

EIGENHEER, E. M. (2009). *Lixo – A limpeza urbana através dos tempos*. UERJ, Rio de Janeiro.

EISENBERG, D.; SOLLER, J.; SAKAJI, R.; OLIVIERI, A. (2001). A methodology to evaluation water and wastewater treatment plant reliability. *Water Sci. Technol.* 43, p. 91–99.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G. e NORONHA, S.M. (2001). *Apoio à Decisão: Metodologias para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas*. Florianópolis SC, Editora Insular. 2001.

FIGUEIREDO, I. C. S.; BARBOSA, A. C.; MIYAZAKI, C. K.; SCHNEIDER, J.; COASACA, R. L.; MAGALHÃES, T. M.; TONETTI, A. L. (2019). Bacia de Evapotranspiração (BET): Uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário. *Revista DAE*. núm. 220. São Paulo. Vol. 67. P. 115 – 127. Edição Especial – Novembro 2019.

FIGUEROA, F.; MOL, J.; SOUZA, M. A.; CORDEIRO NETTO, O. (2004). Aplicabilidade do Método de Análise Multiobjetivo TOPSIS à Gestão dos Recursos Hídricos. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, 2004, Goiânia. *Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste*. Porto Alegre: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2004. p. 01-10.

FRANZON, C. (2018). *Desenvolvimento de modelo multicriterial de suporte à decisão para renovação de infraestrutura tecnológica em empresas de mídia*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Brasil. 94 f.

GALBIATI, A. F. (2009). *Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração*. M. Sc. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil. Disponível em: <<http://fazenda.ufsc.br/files/2017/02/2009-GALBIATTI-Tratamentode-aguas-negras-por-tanque-de-evapotranspiracao.pdf>>. Acesso em: 02 de agosto de 2020.

GIRÃO, E. G.; MARMO, C. R; GUILHERME, L. C.; CARDOSO, J. H.; CÂMARA, C. P. (2019). *Tecnologias sociais de eco-habitação*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 30 p.

GOEPEL, K.D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487. Disponível em: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>

GOFFI, A. dos S. (2017). Uso da análise multicritério para a seleção de tecnologias de tratamento de efluentes. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Pato Branco, PR, 2017.113 f.

GOMES, U. A. F. (2009). Intervenções de saneamento básico em áreas de vilas e favelas: um estudo comparativo de duas experiências na Região Metropolitana de Belo Horizonte.

GOMES, L. F. A. M; GOMES, C. F. S. (2012) Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério. 4 ed. Editora Atlas. São Paulo.

HAIKOWICZ, S. A.; COLLINS, K. (2007). A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. *Water Resource Management*, v. 21, p. 1553–1566.

HO, G. (2005) Technology for Sustainability: the role of onsite, small and community scale technology. *Water Science & Technology*, v. 51, n. 10, p. 15-20.

HUNT, C. C. (2013) Modelo Multicritério de Apoio à Decisão Aplicado à Seleção de Sistema de Tratamento de Esgoto para Pequenos Municípios. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro. 118p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2010). Aglomerados Subnormais. Informações Territoriais. Rio de Janeiro.

JENKINS, M.W.; CUMMING, O.; CAIRNCROSS, S. (2015). Pit latrine emptying behavior and demand for sanitation services in Dar Es Salaam, Tanzania. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015, 12, 2588–2611.

JORGENSEN, Pedro. (2012). A braços com as peculiaridades da mercadoria terra urbana, janeiro. Acessível em <http://abeiradourbanismo.blogspot.com.br/2012/01/bracos-com- as-peculiaridades-da.html>.

KEENEY, R., & RAIFFA, H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge & New York: Cambridge University Press.

KIKER, G. A.; BRIDGES, T. S.; VARGHESE, A.; SEAGER, T. P.; LINKOV, I. (2005). Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 1, n. 2, p. 95–108.

LAI, Y., LIU, T. e HWANG, C. (1994). TOPSIS for MODM. *European Journal of Operational Research*. p486 - 500. North Holland.

LALL, S.; WANG, H.; DA MATA, D. (2006). Do urban land regulations influence slum formation? Evidence from Brazilian cities, World Bank. Mimeografado.

LARANJEIRA, F. F.; CARDOSO, C. E. L.; PEREIRA, M, E, C.; ACCIOLY, A. M. de A. (2018). Analytic Hierarchy Process (AHP) para seleção de resultados destaque. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 22 p.

LARSEN T. A.; UDERT. K. M.; LIENERT, J. (2013). *Source separation and decentralization for wastewater management*. London, IWA Publishing.

LEFEBVRE, H. (2008) *Espaço e política*. Belo Horizonte: Editora UFMG.

LEONETI, A.B. (2012) *Teoria dos Jogos e Sustentabilidade na Tomada de Decisão: Aplicação a Sistemas de Tratamento de Esgoto*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

LUTHI C.; MCCONVILLE J.; NORSTROM A.; PANESAR, A.; INGLE, R.; SAYWELL, D.; SCHÜTZE, T. (2009). *Rethinking sustainable sanitation for the urban environment*. 2009.

LUNA, M. L. D.; SOUSA, J. T.; LIMA, V. L. A.; DANTAS NETO, J.; LEITE, V. D. (2013). Tratamento de efluente de tanque séptico em filtros de areia intermitentes. *Revista Educação Agrícola Superior*. 28, 15-20.

NOSSA BRASÍLIA. Mapa das Desigualdades, 2016. Disponível em <https://archive.org/stream/MapaDesigualdades2016V.1.2/MapaDesigualdades2016_V.1.2#page/n1/mode/1up>. Acesso em 03 de maio de 2018.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management* 90.

MENEZES, G.O. (2007) Aplicação do Índice de Salubridade Ambiental em Comunidades Carentes e sua Comparação com Comunidades Padrão: Instrumento para Planos de Gestão Municipal. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

MOLINOS-SENANTE, M.; GÓMEZ, T.; CABALLERO, R.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; SALA-GARRIDO, R. (2015). Assessment of wastewater treatment alternatives for small communities: An analytic network process approach. *Sci. Total Environ.* 532, 676–687, 2015.

MOLINOS-SENANTE, M.; GÓMEZ, T.; GARRIDO, B. M.; CABALLERO, R.; SALA-GARRIDO, R. (2014). Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: a composite indicator approach. *Sci. Total Environ.* 497-498, 607–17, 2014.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. (2013). Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa*. Campina Grande: EDUEPB, pp. 213-232.

OMS – Organização Mundial da Saúde. (2006). *WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and graywater*. Geneva.

PAMPLONA S.; VENTURI M. (2004). *Esgoto à flor da terra. Permacultura Brasil. Soluções ecológicas*. v16.

PAULO, P.L.; GALBIATI, A.F.; MAGALHÃES FILHO, F.J.C. *CataloSan: Catalogue of Sustainable Sanitation Solutions—Domestic Sewage Management*, 1st ed.; Campo Grande, Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde: Campo Grande, Brazil, 2018.

PAVIANI, A. (2011) Patrimônio urbano de Brasília: urbanização com desigualdade socioespacial. Artigo. 9º seminário DOCOMOMO brasil. *Interdisciplinaridade e experiências em documentação e preservação do patrimônio recente*, Brasília.

PDSB. *Plano Distrital de Saneamento Básico (2017). Relatório Síntese*. Governo do Distrito Federal. Brasília, 2017.

- QUEIROZ FILHO, A. P. (2015). As definições de assentamentos precários e favelas e suas implicações nos dados populacionais: abordagem da análise de conteúdo. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 7(3), 340-353.
- RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M. (2010). O apoio multicritério à decisão na avaliação de candidatos. *Produção online*, v. 20, n. 1, p. 92-101.
- REATTO, A.; MARTINS, E. de S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO JR, O. A. de. (2004). Mapa Pedológico digital SIG atualizado do Distrito Federal, escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo. Planaltina: Embrapa Cerrados. 31p.
- ROCHE, H.; VEJO, C. (2004) Analisis multicriterio em la toma de decisiones. *Métodos Cuantitativos aplicados a la administración. Analisis multicritério – AHP*.
- ROLNIK, R. (2002). É possível uma política urbana contra exclusão? *Revista de Serviço Social e Sociedade*, n. 72. São Carlos: Cortez.
- SAATY, T. L. (1994). *Fundamentals of decision making and priority theory: with the analytic hierarchy process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- SAATY, T. L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process for Decision in a Complex World*, Pittsburgh, PA: RWS Publications.
- SANTIAGO, A. F. (2008). Sistema condominial de coleta de esgoto e tratamento em decanto-digestor seguido de alagados construídos. Estudo de caso: município de Nova Redenção-BA. 2008. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SANTOS, E.C. (2013) *Avaliação dos níveis de salubridade em edificações multifamiliares de interesse social na cidade de Campina Grande – PB*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- SERRA, M. V.; DOWALL, D. E.; MOTTA, D.; DONOVAN, M. (2005). *Urban land markets and urban land development: examination of three Brazilian cities: Brasília, Curitiba and Recife*. Brasília: Ipea.

SILVA, R. P. (2014). Urbanização de favelas e o direito à cidade: referências de análise pela experiência da Vila DNOCS, no Distrito Federal / Roberta Pereira da Silva. - 2014. 141 p. 297mm. (UnB - PPG/FAU, Mestre, Arquitetura e Urbanismo).

SLU. (2018) Relatório de Atividades - SLU 1º semestre de 2018. 1 ed., Brasília: Serviço de Limpeza Urbana.

SOUZA, M. A. A.; SANTOS, A. B.; WOLFF, D. B.; BARBOZA, M. G.; MORAIS, N. W. S. M e BITTENCOURT, S. (2019). Aspectos legais e normativos sobre o gerenciamento de água, lodo e emissões gasosas em sistemas descentralizados de coleta e tratamento de esgotos. *In: DOS SANTOS, A. B. (org.). Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais.* Fortaleza: Imprece. p. 664 – 744.

SOUZA, M.A.A. (1998). Um modelo para seleção de processos de tratamento de águas residuárias municipais. In: XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS, Lima, Peru, 1-5 novembro, 98 (meio eletrônico).

SOUZA, M.S. Meio ambiente urbano e saneamento básico. *Revista Mercator*, 1. 2009.

SOUZA FILHO, E. J. (2013). Reúso de esgoto doméstico tratado, baseado em diferentes níveis de reposição nutricional para cultura da melancia no semiárido pernambucano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 58 folhas.

Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA). Rumo à soluções de saneamento mais sustentáveis. Vision Document (2008). Disponível online em: <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/273>. (Acesso em 17 de Maio de 2019).

TISCHNER, U. and SCHMIDT-BLEEK, F. “Designing Goods with MIPS”, *Fresenius Envir. Bull.*, 2, pp.479-484, 1993.

TREIN, C. N.; PELISSARI, C.; HOFFMANN, H.; PLATZER, C. J.; SEZERINO, P. H. Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 351-367, out./dez. 2015.

TROJAN, F. (2012). Modelos multicritério para apoiar decisões na gestão da manutenção de redes de distribuição de água para a redução de custos e perdas. 133p. Tese (Doutorado em Engenharia De Produção). Universidade Federal De Pernambuco, Recife, 2012.

TSOUKIÀS, A. (2008) From decision theory to decision aiding methodology. *European Journal of Operational Research*, v. 187, p. 138–161.

UNICEF. United Nations Children’s Fund. World Health Organization. Progress on Sanitation and Drinking Water: 2015 Update and MDG Assessment; UNICEF/WHO: New York, NY, USA, 2015.

USEPA. United States environmental protection agency. Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) wastewater treatment systems. An introduction to management tools and information for implementing EPA’s Management guidelines. 2005. USEPA: EPA No. 832-B-05-001.

USEPA. United States environmental protection agency. Guidelines for Water Reuse. 2012. USEPA: EPA/600R-12/618.

VARALLO, A. C., SOUZA, C. F. & SANTORO, B. D. L. (2012). Mudanças nas características físico-químicas de um latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface-crespa (*Lactuca sativa, L.*). *Engenharia Agrícola Jaboticabal*, v.2, n.2, 271-279.

VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C.A.L. (2005). Biological wastewater treatment in warm climate regions. 1496 pages. Freely downloadable at IWA Publishing: <http://www.iwapublishing.com/open-access-ebooks/3567>

VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade da Água e ao Tratamento de Esgoto, Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 4ª ed: Belo Horizonte, 2014.

ZENG, G.; JIANG, R.; HUANG, G.; XU, M.; LI, J. (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *J. Environ. Manage.* 82, 250–259. 2007.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2006). Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006a. 213p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2014). Preventing Diarrhoea through Better Water, Sanitation and Hygiene: Exposures and Impacts in Low- and Middle-Income Countries; WHO: Geneva, Switzerland.

APÊNDICE A – Dados para o cálculo da Matriz dos critérios econômicos

Alternativa	Critério	TANQUE SÉPTICO			T. PRINCIPAL			DESTINAÇÃO			TOTAL	
		MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX
A1	Investimento Inicial (R\$/hab)	-	300	-	-	500	-	-	100	-	-	900
	Manutenção / Operação (R\$/hab.ano)	100	180	140	10	20	15	0	0	0	110	200
A2	Investimento Inicial (R\$/hab)	-	-	-	-	500	-	-	100	-	-	600
	Manutenção / Operação (R\$/hab.ano)	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0
A3	Investimento Inicial (R\$/hab)	-	300	-	-	600	-	-	100	-	-	1000
	Manutenção / Operação (R\$/hab.ano)	100	180	140	20	40	30	0	0	0	120	220
A4	Investimento Inicial (R\$/hab)	-	300	-	-	300	-	-	100	-	-	700
	Manutenção / Operação (R\$/hab.ano)	100	180	140	110	190	150	0	0	0	210	370
A5	Investimento Inicial (R\$/hab)	-	-	-	-	500	-	-	100	-	-	600
	Manutenção / Operação (R\$/hab.ano)	-	-	-	100	180	140	0	0	0	100	180

Fonte: Elaborado pela autora. Referências: Tonetti *et al.* (2018) e Paulo *et al.* (2018).

APÊNDICE B - Minuta do questionário para a entrevista com especialistas.

- 1- Nome do participante entrevistado:
- 2- Área de Atuação:
- 3- Caso fosse possível construir um sistema descentralizado de tratamento de esgotos em determinado assentamento precário no meio urbano, qual seria a questão mais importante a ser considerada nessa construção? (Neste tópico a análise será par a par e o entrevistado irá escolher o critério que é mais importante ao se comparar dois critérios distintos, e quanto mais importante esse critério é em comparação ao outro).

Quadro 1 – Análise da Área dos critérios

Critérios Gerais		Igual	Quanto mais importante?								
Técnico	Econômico		2	3	4	5	6	7	8	9	
Técnico	Ambiental		2	3	4	5	6	7	8	9	
Técnico	Social		2	3	4	5	6	7	8	9	
Econômico	Ambiental		2	3	4	5	6	7	8	9	
Econômico	Social		2	3	4	5	6	7	8	9	
Ambiental	Social		2	3	4	5	6	7	8	9	

Quadro 2 – Análise dos Critérios Econômicos

Critérios Econômicos		Igual	Quanto mais importante?								
Investimento Inicial/ Custo de Implantação	Custos de Manutenção/Operação		2	3	4	5	6	7	8	9	

Quadro 3 – Análise dos Critérios Sociais

Critérios Sociais		Igual	Quanto mais importante?								
Maus Odores	Impacto Visual		2	3	4	5	6	7	8	9	
Maus Odores	Ruídos		2	3	4	5	6	7	8	9	
Maus Odores	Insetos		2	3	4	5	6	7	8	9	
Impacto Visual	Ruídos		2	3	4	5	6	7	8	9	
Impacto Visual	Insetos		2	3	4	5	6	7	8	9	
Ruídos	Insetos		2	3	4	5	6	7	8	9	

Quadro 4 – Análise dos Critérios Ambientais

Critérios Ambientais		Igual	Quanto mais importante?								
Requisitos de Área	Geração de Lodo		2	3	4	5	6	7	8	9	

Quadro 5 – Análise dos Critérios Técnicos e Subcritérios associados

Critérios Técnicos		Igual	Quanto mais importante?							
Estabilidade Do Sistema	Simplicidade Operacional		2	3	4	5	6	7	8	9
Estabilidade do Sistema	Eficiência de Tratamento		2	3	4	5	6	7	8	9
Simplicidade Operacional	Eficiência de Tratamento		2	3	4	5	6	7	8	9
Critério Estabilidade do Sistema		Igual	Quanto mais importante?							
Adaptabilidade	Instalações passíveis de falha		2	3	4	5	6	7	8	9
Critério Simplicidade Operacional		Igual	Quanto mais importante?							
Autossuficiência do sistema	Periodicidade de Manutenção e Limpeza		2	3	4	5	6	7	8	9
Critério Eficiência de Tratamento		Igual	Quanto mais importante?							
Remoção de DBO	Remoção de Sólidos em Suspensão		2	3	4	5	6	7	8	9
Remoção de DBO	Remoção de Nutrientes		2	3	4	5	6	7	8	9
Remoção de DBO	Remoção de Patógenos		2	3	4	5	6	7	8	9
Remoção de Nutrientes	Remoção de Sólidos em Suspensão		2	3	4	5	6	7	8	9
Remoção de Nutrientes	Remoção de Patógenos		2	3	4	5	6	7	8	9
Remoção de Patógenos	Remoção de Sólidos em Suspensão		2	3	4	5	6	7	8	9