

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS**

Carolina Lacerda da Cruz

**Uso da Análise Multicritério na Gestão de Esgotamento Sanitário em
Microbacias Rurais, usando ferramentas SIG**

**ITAJUBÁ
2021**

Carolina Lacerda da Cruz

**Uso da Análise Multicritério na Gestão de Esgotamento Sanitário em
Microbacias Rurais, usando ferramentas SIG**

Texto submetido ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Hídrica, como parte das exigências obrigatórias para a Defesa do Mestrado em Engenharia Hídrica.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Paula Moni

ITAJUBÁ

2021

Carolina Lacerda da Cruz

**Uso da Análise Multicritério na Gestão de Esgotamento Sanitário em
Microbacias Rurais, usando ferramentas SIG**

Trabalho de conclusão de curso para
aprovação no Programa de Mestrado
Profissional em Engenharia Hídrica,
na Universidade Federal de Itajubá.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Paula Moni Silva (orientadora)

Profa. Dra. Márcia Viana Lisboa Martins

Profa. Dra. Maria Claudia Costa de Oliveira Botan

Aprovada (x) Aprovada com Restrições () Reprovada ()

ITAJUBÁ

2021

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Gilson e Adelaide, a quem devo toda minha gratidão pelo apoio para me proporcionar a melhor educação. Aos meus irmãos, Gabriel e Emanuel pelo companheirismo e cumplicidade.

Aos meus tios, Fábio e Giuliana e aos meus primos, Davi e Dante por todo suporte, por me incentivarem a iniciar o mestrado e por cuidarem tão bem de mim enquanto estive em Itajubá.

A minha orientadora, Ana Paula, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Aos amigos do mestrado, pelas trocas durante as aulas que contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional, Bruno e Patrícia.

Às amigas que a UNIFEI me deu e sem as quais esse trabalho não seria possível, Ariane e Bianca.

À minha querida colega de apartamento, Gabrielle, pelos bons momentos juntas, e pela amizade.

À Valquiria, que sem saber, despertou meu sonho antigo de vir estudar na Unifei, e por ser presença mesmo de longe.

À Lara e Caren, por estarem do meu lado e por me trazerem confiança nas minhas decisões.

Ao Mateus, pelo companheirismo, pelo amor e pela força nas horas de cansaço.

Ao Pedro por todo auxílio técnico e paciência em passar seus conhecimentos.

Agradeço, em especial, a Beatriz, pois sem ela nada disso seria possível, meu muito obrigada por toda ajuda e empenho.

EPÍGRAFE

“A água de boa qualidade é como a saúde ou a liberdade:
só tem valor quando acaba.” Guimarães Rosa

RESUMO

A disposição inadequada do esgoto doméstico na zona rural pode oferecer sérios riscos à saúde da população local e também ao meio ambiente. Para reduzir este tipo de poluição é necessário a escolha e implantação de sistemas de tratamento de esgoto com critérios técnicos, por parte do poder público ou dos próprios geradores. Deste modo, o objetivo deste trabalho é a seleção de tecnologias de tratamento de esgoto (i) unifamiliares ou (ii) semi-coletivas, utilizando análise multicritério com uso de ferramentas SIG. A metodologia de análise multicritério utilizada, *Analytic Hierarchy Process* (AHP), tem como intuito lidar com vários critérios quantitativos e qualitativos simultaneamente, para selecionar dentre as tecnologias, as melhores opções. Para implementar o método foi usada a microbacia rural da Pedra Preta, localizada no município de Itajubá/MG, como área de estudo de caso. Foram adotados quatro critérios na análise: uso e ocupação do solo, tipo do solo, declividade do terreno e adensamento populacional, aos quais foram relacionados pesos que podem ser replicados em estudos relacionados a microbacias rurais durante a implementação do método AHP. A ferramenta de geoprocessamento usada foi o QGIS, com imagens gratuitas do CBERS 4A e ALOS PALSAR. Os resultados mostraram-se satisfatórios, pois indicaram as áreas adequadas para implantação de sistemas semi-coletivos, que atendem mais de uma residência e os locais para implantação de sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto, como por exemplo, os sistemas alagados construídos (SAC), bacia de evapotranspiração (BET) e os biodigestores.

Palavras chaves: saneamento rural; matriz multicritério; geoprocessamento

ABSTRACT

The inadequate disposal of domestic sewage in rural areas can pose serious risks to the health of the local population and also to the environment. To reduce this type of pollution, it is necessary to choose and implement sewage treatment systems with technical criteria, by the public authorities or by the generators themselves. Thus, the objective of this work is the selection of sewage treatment technologies (i) single-family or (ii) semi-collective, using multicriteria analysis using GIS tools. The multi-criteria analysis methodology used, Analytic Hierarchy Process (AHP), aims to deal with several quantitative and qualitative criteria simultaneously, to select the best options among the technologies. To implement the method, the rural watershed of Pedra Preta, located in the municipality of Itajubá/MG, was used as a case study area. Four criteria were adopted in the analysis: land use and occupation, soil type, terrain slope and population density, to which weights were related that can be replicated in studies related to rural watersheds during the implementation of the AHP method. The geoprocessing tool used was QGIS, with free images from CBERS 4A and ALOS PALSAR. The results were satisfactory, as they indicated the suitable areas for the implementation of semi-collective systems, which serve more than one residence and the places for the implementation of single-family sewage treatment systems, such as the built flooded systems, evapotranspiration basin and the biodigesters.

Key Words: rural sanitation; multicriteria matrix; geoprocessing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre investimentos e déficit de acesso relativos aos serviços de esgotamento sanitário, de 2015 a 2019, segundo a macrorregião geográfica	15
Figura 2 - Esgotamento sanitário rural nas regiões do Brasil	18
Figura 3 - Percentual de domicílios atendidos com esgotamento sanitário por forma de afastamento, nas áreas urbanas e rurais do País, em 2010 e 2017 .	19
Figura 4 - Mapa do panorama das prestadoras de esgotamento sanitário por município no estado de Minas Gerais	22
Figura 5 - Tipos de Sistemas de Tratamento de Minas Gerais	23
Figura 6 - Gradiente entre sistemas centralizados e descentralizados para o tratamento de esgotos.....	24
Figura 7 - Esquema de sistema alagado construído (SAC).....	29
Figura 8 - Dimensões para um jardim filtrante de 10m ²	30
Figura 9 - Bacia de evapotranspiração.....	33
Figura 10 - Esquema de funcionamento do Biodigestor Acqualimp	34
Figura 11 - Representação gráfica das 3 etapas utilizando-se o método AHP	38
Figura 12 - Modelo de estrutura hierárquica do AHP	38
Figura 13 - Localização do bairro Pedra Preta	44
Figura 14 - Imagem e satélite da bacia biográfica do córrego Pedra Preta	45
Figura 15 - Mapa hidrográfico da Microbacia Pedra Preta	46
Figura 16 - Organização sequencial dos procedimentos metodológicos	48
Figura 17 - Localização das moradias na Microbacia Pedra Preta	51
Figura 18 - Ponderação de critérios ou fatores globais e de subcritérios ou subfatores.....	54
Figura 19 - Mapa de declividade da Microbacia do bairro Pedra Preta.....	56
Figura 20 - Mapa de Uso e Cobertura do solo na Microbacia Pedra Preta	57
Figura 21 - Mapa dos tipos de solo na Microbacia Pedra Preta	59
Figura 22 - Mapa de calor de Kernel de moradias na Microbacia Pedra Preta	60
Figura 23 - Mapa Multicritério na Microbacia Pedra Preta.....	62
Figura 24 - Projeção das redes do bairro Pedra Preta	63

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Nível de atendimento de abastecimento de água e esgotamento sanitário, SNIS em 2019.....	13
Tabela 2 - Total de concessões de abastecimento de água e esgotamento sanitário por prestador (Minas Gerais - 2018)	21
Tabela 3 - Valores de materiais para construção de 1 jardim filtrante de 10m ²	31
Tabela 4 - Valores de materiais para construção de 1 BET de 4 m ²	33
Tabela 5 - Tamanho e custo do biodigestor	35
Tabela 6 - Escala Fundamental de Saaty.....	39
Tabela 7 - Matriz de comparação paritária	40
Tabela 8 - Índices randômicos (IR)	42
Tabela 9 - Principais características das imagens CBERS 4A.....	49
Tabela 10 - Tipos de relevo e faixa de declividades.....	50
Tabela 11 - Peso atribuído às classes de ocupação do solo.....	57
Tabela 12 - Valores atribuídos às classes de solo	58
Tabela 13 - Matriz de Comparação paritária dos critérios avaliados.....	60
Tabela 14 - Resultados da ponderação de critérios, a partir da matriz de comparação pareada.....	61
Tabela 15 - Tronco coletor de esgoto para microbacia Pedra Preta	63
Tabela 16 - Custos para implementação da Rede 1	64
Tabela 17 – Custos para implementação da Rede 2	65
Tabela 18 - Custos para implementação da Rede 3	66
Tabela 19 - Tecnologias de tratamento e custo de implementação	67
Tabela 20 - Tecnologias de tratamento e custos de implementação	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais vantagens do uso de sistemas individuais de tratamento de esgotos.....	25
Quadro 2 - Principais métodos de apoio ao multicritério	36
Quadro 3 - Classes de ocupação das terras	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
BET	Bacia de Evapotranspiração
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
EMBRAPA	Empresa brasileira de pesquisa agropecuária
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PET	Programa de Educação Tutorial
PNSR	Programa Nacional de Saneamento Rural
SAC	Sistemas Alagados Construído
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL	13
2.2	O ESGOTAMENTO SANITÁRIO NAS ZONAS RURAIS BRASILEIRAS	16
2.3	SANEAMENTO NO ESTADO DE MINAS GERAIS	20
2.4	SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	23
2.4.1	Tecnologias De Tratamento De Esgoto	27
2.4.1.1	Sistemas Alagados Construídos (SAC)	28
2.4.1.2	Bacia de Evapotranspiração (BET)	31
2.4.1.3	Biodigestor Modificado Acqualimp	34
2.5	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	36
2.5.1	Normalização de Critérios	40
2.5.2	Combinação de Critérios	41
2.5.3	Análise Espacial	43
3	METODOLOGIA	44
3.1	ÁREA DE ESTUDO	44
3.1.1	Caracterização da área de estudo	44
3.1.2	Clima	44
3.1.3	Solos	45
3.1.4	Declividade	45
3.1.5	Recursos Hídricos	46
3.2	CARACTERIZAÇÃO METODOLÓGICA	46
3.2.1	Caracterização das imagens usadas elaboração dos mapas	49
3.2.2	Ferramentas de Sistemas de Informação Geográficas Usadas	49
3.2.3	Elaboração de Mapas de Critérios	49
3.2.3.1	Critérios Relativos	50
3.2.3.2	Normalização dos Critérios	53
3.2.3.3	Ponderação dos critérios	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	MAPAS BÁSICOS DE CRITÉRIOS	56
4.1.1	Mapa de Declividade	56

4.1.2 Mapa de Uso e Cobertura do Solo	57
4.1.3 Mapa de Solos	58
4.1.4 Mapa de Adensamento Populacional	59
4.2.1 Combinação Linear	61
5 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização das cidades associado ao acelerado crescimento populacional ocasiona diversos impactos sobre os recursos hídricos, tanto nos parâmetros qualitativos quanto quantitativos. As práticas inadequadas de lançamento de esgoto sem tratamento nos cursos d'água somadas às ações antrópicas alteram negativamente o ambiente, favorecendo o surgimento de doenças e a poluição dos rios.

As soluções de saneamento são essenciais para a promoção da saúde humana e para a qualidade das águas e dos solos. O acesso a elas constitui direito social integrante de políticas públicas sociais – como as de saúde, saneamento, habitação e segurança alimentar e nutricional – a ser garantido pelo Estado, conforme preconiza a Constituição Federal, em seu artigo 196:

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

O marco regulatório do saneamento básico, Lei nº 11.445/2007 foi atualizado em julho de 2020, com a promulgação da Lei Federal nº 14.026, com a meta de alcançar o acesso universal ao saneamento básico até 2033, garantindo que 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% tenha tratamento e coleta de esgoto (ANA,2020).

Assim como o acesso à água potável, o saneamento é reconhecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), desde 2010, como “direito humano essencial”, além de ser um dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem alcançados até 2030. (SNIS, 2020)

Na história do saneamento no Brasil, as necessidades de áreas mais urbanizadas e economicamente viáveis sempre receberam mais atenção do poder público (FUNASA, 2019). Nas áreas rurais, as demandas têm sido preteridas ao longo dos anos, tornando indispensável o uso de soluções alternativas para serviços básicos

de saneamento, tendo como objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental.

A escolha do melhor processo de tratamento de esgoto é complexa, pois não se restringe às exigências ambientais e de saúde pública. Os aspectos econômicos, sociais, operacionais, políticos e os desejos da comunidade precisam ser levados em consideração para seleção da melhor alternativa à realidade em questão. Para Von Sperling (2014), a seleção da alternativa mais adequada à realidade analisada, deve ser realizada por meio da atribuição de critérios e/ou pesos.

A utilização de métodos para a tomada de decisão surge como uma importante ferramenta para escolha de tecnologias de tratamento de efluentes adequadas para cada tipo de projeto. Neste trabalho é utilizada a metodologia de análise multicritério, Análise Hierárquica de Processos (AHP), que visa tratar diversos critérios quantitativos e qualitativos no processo decisório, considerando os problemas da localidade estudada.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação é propor uma metodologia de escolha de sistema de esgotamento sanitário coletivos ou individuais mais adequado para áreas rurais ou comunidades isoladas, utilizando análise multicritério com ferramentas SIG.

Os seguintes objetivos específicos são necessários para a elaboração deste trabalho:

- Levantar as tecnologias de tratamento de esgoto mais utilizadas em comunidades rurais no Brasil e no mundo;
- Identificar os principais parâmetros utilizados para escolha de tecnologias de tratamento de esgoto;
- Compilar os dados fisiográficos de uma microbacia rural para ser usada como estudo de caso e verificar a possibilidade do seu uso como critério de escolha de sistema de esgotamento sanitário (individual ou coletivo).

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura com os principais tópicos relacionados ao panorama do saneamento básico no Brasil e no estado de Minas Gerais. O Capítulo 3 apresenta a metodologia adotada neste trabalho, mostrando um fluxograma do desenvolvimento da dissertação, através da caracterização metodológica e da área de estudo. No Capítulo 4 são apresentados os resultados, entre eles os mapas gerados e as planilhas de custos. As conclusões, considerações finais e propostas para trabalhos futuros estão elencadas no Capítulo 5.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA DO SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL

Historicamente, no Brasil, as ações de saneamento básico têm sido realizadas com maior intensidade nos centros urbanos, causando déficit de serviços nas cidades menores, nas periferias e também nas áreas rurais (RESENDE E HELLER,2008). Mesmo atualmente, as populações destes pequenos municípios e áreas rurais permanecem à margem do estado, carecendo de serviços públicos em todas as áreas fundamentais, incluindo o saneamento (PNSR, 2018 b). Mas além da falta de ações, infraestrutura física e recursos, um dos gargalos do setor é o desenvolvimento de ações e políticas de forma fragmentada, descontínua e pontual (TEIXEIRA, 2011).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que se constitui no maior e mais importante sistema de informações do setor no Brasil, é um banco de dados que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade sobre a prestação de serviços de água, de esgotos e de manejo de resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2020).

Na Tabela 1 é apresentado os valores médios dos índices de atendimento dos sistemas de água e esgoto e dos índices de tratamento, distribuídos de acordo com as macrorregiões geográficas e a média do Brasil, conforme diagnóstico realizado pelo SNIS em 2019.

Tabela 1 - Nível de atendimento de abastecimento de água e esgotamento sanitário, SNIS em 2019

Macrorregião	Índice de Atendimento com Rede (%)				Índice de Tratamento dos Esgotos (%)	
	Água		Coleta de Esgotos		Esgotos Gerados	Esgotos Coletados
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total	Total
Norte	57,5	70,4	12,3	15,8	22,0	82,8
Nordeste	73,9	88,2	28,3	36,7	33,7	82,7
Sudeste	91,1	95,9	79,5	83,7	55,5	73,4
Sul	90,5	98,7	46,3	53,1	47,0	94,6
Centro-Oeste	89,7	97,6	57,7	63,6	56,8	93,2
Brasil	83,7	92,9	54,1	61,9	49,1	78,5

Fonte: Brasil (2019, p. 58) SNIS.

Os índices de atendimento total em nível nacional com rede em sistema de água (83,7%) são bem maiores se comparados com atendimento de redes em sistemas de esgotamento sanitário (54,1%). Dos esgotos coletados 78,5% são tratados e apenas 49,1% dos esgotos gerados recebem tratamento (SNIS,2019).

A região que possui melhor cobertura total com rede de água e esgoto, dentre as macrorregiões brasileiras, é a região Sudeste, com 91,1% e 79,5 % respectivamente. A macrorregião que possui melhor cobertura relacionada aos esgotos coletados é a Sul, com 94,6% e os piores índices são das macrorregiões Norte, com 22,0% em relação aos esgotos gerados, e Sudeste, com 73,4 % para esgotos coletados (SNIS,2019).

O pior índice de cobertura total para sistema de água e esgoto é a região Norte, com 57,5% e 12,3% respectivamente. Além de apresentar o pior índice de cobertura de rede de distribuição de água (70,0%), quanto rede de coleta esgoto (13,0%) (SNIS,2019).

Apesar do crescente investimento em saneamento nas últimas décadas, a desigualdade de atendimento com os serviços de esgotamento sanitário ainda é muito grande, demonstrando fragilidade na realização de um planejamento uniforme (BRASIL, 2019).

Apenas 6% da rede de distribuição de água e de coleta de esgoto é gerida por empresas privadas e são 104 milhões de pessoas que não possuem acesso a coleta de esgoto, e é estimado pelo governo que seriam necessários 500 bilhões de reais em investimentos para que estes sistemas chegassem a toda a população (ANA, 2020).

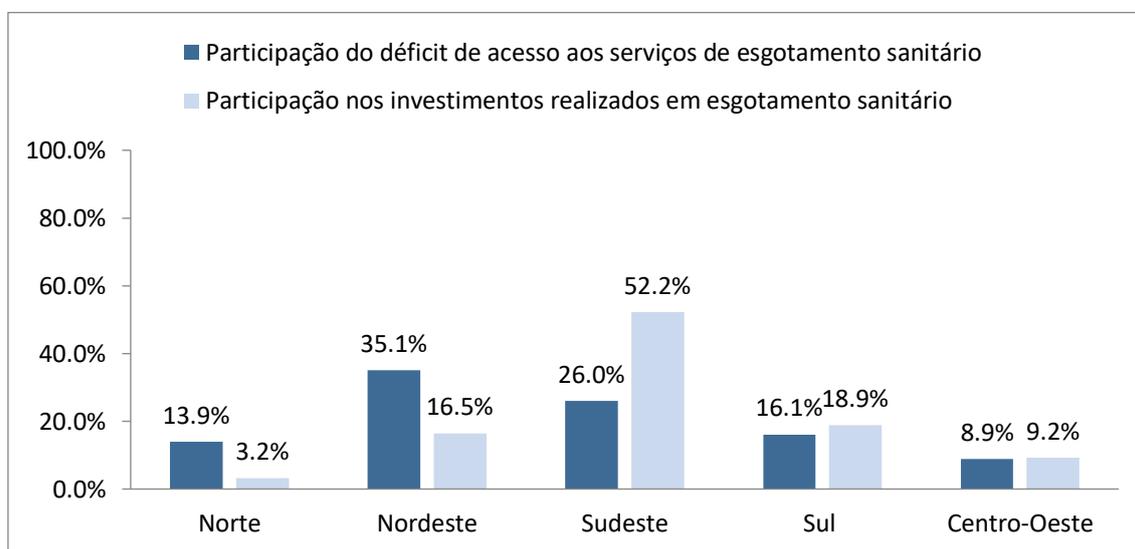
Na Figura 1 é apresentado os dados obtidos do SNIS que mostram a relação entre investimentos e déficit de acesso relativos aos serviços de esgotamento sanitário, segundo as macrorregiões geográficas entre 2005 e 2019.

São amplamente conhecidos no setor de saneamento brasileiro os problemas com a falta de qualidade dos projetos. As dificuldades na obtenção de licenças ambientais em obras de recuperação variaram desde atrasos na liberação de alguns procedimentos até os altos custos de implantação de medidas de recuperação de projetos (CORREIA et al, 2009).

Além disso, existem exemplos de processos licitatórios muito lentos e muitas vezes, após a contratação das obras, ocorrem dificuldades de vários tipos na sua execução nos prazos (SNIS,2019).

Portanto, os resultados da relação entre déficit e investimento em análise devem ser vistos como um sinal sobre a necessidade de uma avaliação mais aprofundada sobre o assunto, a fim de ajudar para que os investimentos cheguem de fato às microrregiões com base na proporção do déficit de acesso (SNIS, 2019).

Figura 1 - Relação entre investimentos e déficit de acesso relativos aos serviços de esgotamento sanitário, de 2015 a 2019, segundo a macrorregião geográfica



Fonte: Brasil (2019, p. 120) SNIS.

A Lei Federal nº 14.026/2020, que atualizou o Marco Regulatório do Saneamento do país, dispõe sobre as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, como um conjunto de serviços de infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Para acompanhar essa alteração do sistema jurídico, adotou-se mudanças na Lei nº 9884/2004, para conferir autoridade à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para revisar a referência dos padrões dos serviços de saneamento; na Lei nº 10.768/2003, para mudar o nome e as responsabilidades do Especialista em Recursos Hídricos; na Lei nº 11.107/2005,

para proibir a prestação de contratos de programas de serviços públicos que trata o art. 175 da Constituição Federal; na Lei nº 12.305/2010, cumprir prazos para destinação final de resíduos ecologicamente correta; na Lei nº 13.089/2015 para estender seu alcance para microrregiões, e a Lei nº 13.529/2017, para permitir que a União participe de um fundo exclusivamente para fins de financiamento de serviços técnicos profissionais (OLIVEIRA et.al, 2021).

O marco regulatório (OLIVEIRA *et al*, 2021) vem sendo debatido a fim de remover os gargalos existentes na legislação de saneamento básico e deficiências correlatas existentes em todo o território nacional.

No entanto, mesmo que a Lei de Diretrizes Nacionais de Saneamento Básico signifique um importante avanço para o saneamento, a sua transformação em agenda pública dependerá unicamente da capacidade regulatória dos prestadores de serviços e do papel da União na implementação (Heller e Rezende, 2013).

2.2 O ESGOTAMENTO SANITÁRIO NAS ZONAS RURAIS BRASILEIRAS

O déficit de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto no Brasil não é democrático. As áreas rurais são as mais atingidas devido à falta de instalações adequadas de saneamento básico. Em todo o mundo, oito em cada dez pessoas são mal servidas por serviços de abastecimento de água para consumo humano básico, vivem em áreas rurais. Além disso, sete em cada dez pessoas sem serviços de saneamento vivem em áreas rurais (WHO, 2019).

Estas regiões, podem, inclusive, estar muito próximas ou ser contíguas às regiões atendidas pelos serviços municipais de saneamento e, mesmo assim, estarem desconectadas destes (Tonetti, 2018).

Segundo dados do Programa Saneamento Brasil Rural (PSBR), aprovado em dezembro de 2019 por meio do Portaria nº 3.174, nas áreas rurais o acesso adequado ao esgotamento sanitário é de apenas 20,6%. Portanto, em média 24 milhões dos brasileiros ainda enfrentam o problema da falta de instalações de saneamento básico nas comunidades rurais (EMBRAPA, 2020).

Ao longo da história essas áreas foram negligenciadas no contexto local. Fatores como dispersão geográfica, localização em áreas de difícil acesso; limitações financeiras ou de pessoal por parte dos municípios estão na origem

da falta de investimento em saneamento no meio rural (FUNASA, 2019). Apesar de não serem justificativa para a ausência de iniciativas públicas e privadas na área, elas se traduzem nos baixos índices de cobertura, especialmente na área de esgotamento sanitário (LUZ *et al*, 2016).

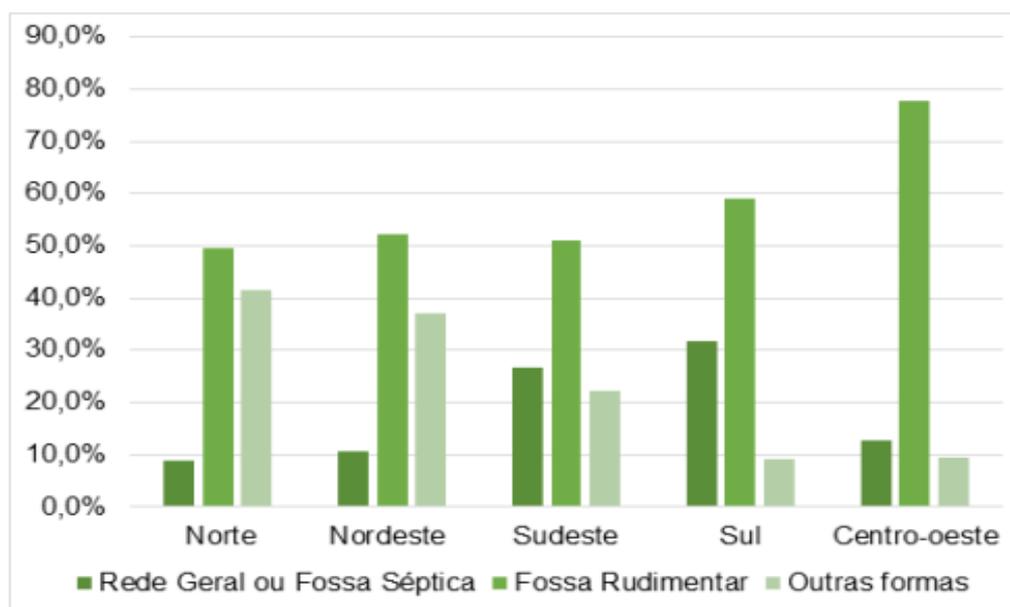
A ausência de soluções adequadas para a coleta e tratamento dos esgotos sanitários, resulta em condições precárias de saneamento, favorece a proliferação de doenças parasitárias e infecciosas que se propagam através do contato da pele com solo e resíduos contaminados, e através do uso ou ingestão de água contaminada (RODRIGUEZ E MORALES, 2019). Além de ser a causa da degradação dos corpos hídricos. Assim, o afastamento e tratamento de efluentes, são fundamentais para resguardar a saúde pública e preservar o meio ambiente (PLANSAB,2019).

Além de proporcionar melhorias nas condições sanitárias locais, os serviços de saneamento melhoram a qualidade de vida da população beneficiada, superando entraves tecnológicos, políticos e gerenciais (FUNASA, 2007).

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Rural - PNSB (FUNASA, 2019), um fato preocupante é a existência de fossas rudimentares nas áreas rurais fora dos padrões exigidos pela NBR 7229 (ABNT,1993) ou simplesmente por um canal direto para os mananciais ou sumidouros.

Na Figura 2 é ilustrada a situação do saneamento rural nas regiões do Brasil.

Figura 2 - Esgotamento sanitário rural nas regiões do Brasil



Fonte: FUNASA (2019)

Muito pouco é mencionado a respeito do esgotamento sanitário específico para áreas rurais ou comunidades isoladas. Na Lei nº. 11.445/2007, o termo rural aparece uma vez, no Artigo 48, parágrafo VII, sendo assim descrito:

Art. 48. A União, no estabelecimento de sua política de saneamento básico, observará as seguintes diretrizes: VII - garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares (BRASIL, 2007).

Com o Marco Regulatório do Saneamento Básico (BRASIL, 2020), no Art. 49, percebe-se a preocupação com a inclusão de áreas menos privilegiadas da sociedade, como áreas rurais e comunidades a fim de contribuir para o desenvolvimento nacional, reduzir as desigualdades na região do Brasil e afetar diretamente a geração de emprego e renda, a inclusão social e a melhoria da saúde pública.

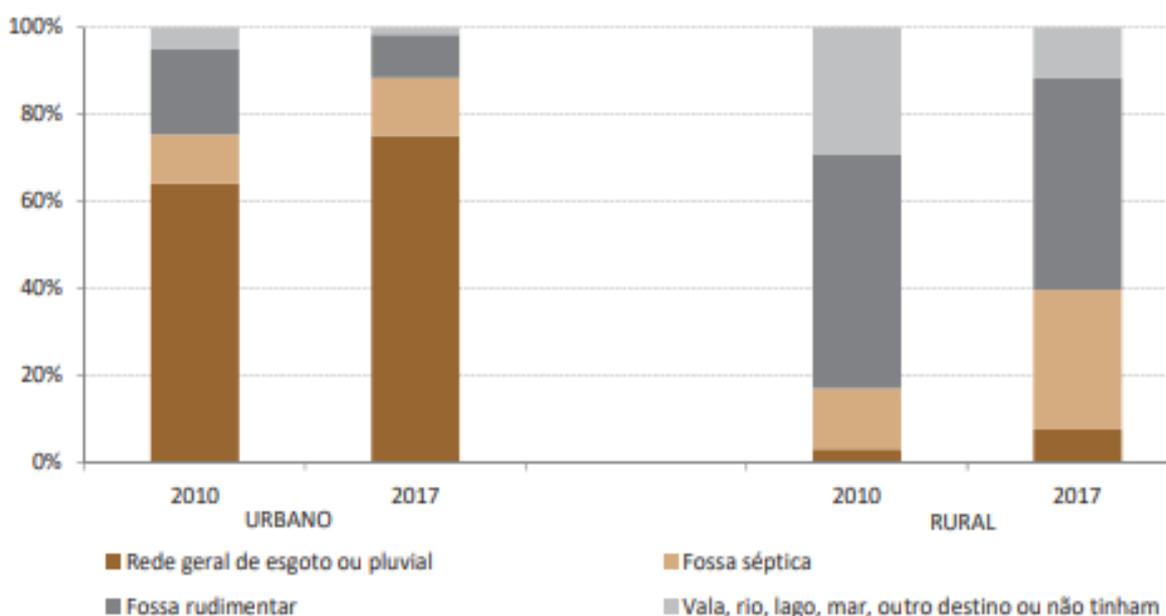
Art. 52. Parágrafo 1º, o Plano Nacional de Saneamento Básico deverá: III - Contemplar programa específico para ações de saneamento básico em áreas rurais; IV - Contemplar ações específicas de segurança hídrica; e V - Contemplar ações de saneamento básico em núcleos urbanos informais ocupados por

populações de baixa renda, quando estes forem consolidados e não se encontrem em situação de risco. (BRASIL, 2019).

Com este novo Marco, as preocupações das pequenas comunidades de hoje, que não têm sido levadas a sério nas questões de segurança hídrica, são reveladas, a fim de garantir este recurso extremamente importante para a vida.

Com relação ao déficit de atendimento, na Figura 3 é mostrado o percentual de domicílios atendidos com esgotamento sanitário nas áreas urbana e rural do País, em 2010 e 2017. Na área urbana, o percentual de acesso à rede geral de esgoto ou pluvial aumentou de 64,1%, em 2010, para 75,2% em 2017, e permanece como a principal forma de afastamento do esgoto sanitário. Ainda assim, em 2017, 9,9% dos domicílios urbanos utilizavam fossa rudimentar e 1,6% destinavam o esgoto sanitário para valas, rios, lagos, mar ou outro destino, o que corresponde a 7,0 milhões de domicílios com déficit.

Figura 3 - Percentual de domicílios atendidos com esgotamento sanitário por forma de afastamento, nas áreas urbanas e rurais do País, em 2010 e 2017



Fonte: Censo e PNAD-Contínua (2019)

Nos domicílios rurais, o déficit relativo é ainda maior. Apesar do aumento significativo no percentual de domicílios atendidos com fossa séptica de 13,9%, em 2010, para 32,0% em 2017, verifica-se que 48,6% dos domicílios rurais, em 2017, destinavam os esgotos sanitários para fossas rudimentares e 11,7% para

valas, rios, lagos, mar ou outro destino, perfazendo um total de 5,4 milhões de domicílios sem solução adequada para o afastamento dos esgotos sanitários.

Apesar das pesquisas indicarem pequenos avanços na melhoria da situação de esgotamento sanitário na zona rural, ainda é precária a situação na maioria das localidades e a universalização ainda é uma meta distante. Como consequência, as comunidades rurais do Brasil, principalmente aquelas de regiões mais pobres, ainda são alvo de constantes riscos e vulnerabilidade social (TEIXEIRA, 2014).

2.3 SANEAMENTO NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Até 1960, como no Brasil, Minas Gerais não tinha políticas públicas específicas na área de saneamento básico. Apenas em 1963, as diretrizes de saneamento básico entraram na agenda de políticas públicas do estado. Pode-se dizer que, entre os anos 1960 e 1970, serviços de água e saneamento eram executados normalmente por secretarias municipais, como a Secretaria de Água e Esgoto - Demae de Belo Horizonte e pela Companhia Mineira de Água e Esgoto = Comag, criada para definir e implementar essas diretrizes na esfera estadual (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2012).

Com a criação do Plano Nacional de Saneamento - Planasa, nos anos 70, o Demae/BH se uniu à Comag, dando origem, em 1974, à Companhia de Saneamento de Minas Gerais - Copasa, que, posteriormente, assumiu a responsabilidade de prestar serviços na área de saneamento básico (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2012).

A partir de 1994, o estado de Minas Gerais passa a contar com uma política de saneamento por meio da Lei Estadual 11.720 (MINAS GERAIS, 1994), que só se alterou em janeiro de 2007, quando o governo federal sancionou a Lei nº.11.445 (FIGUEIREDO, 2021).

De acordo com os censos demográficos brasileiros, em 2000, cerca de 82% dos domicílios em Minas Gerais possuíam rede geral de abastecimento de água e 69% com rede coletora de esgoto. Em 2010, esses percentuais eram respectivamente de 86% e 75% (IBGE, 2000; 2010).

Vários são os elementos que justificam esses avanços ínfimos no saneamento básico no estado. A frágil e fragmentada estrutura estatal, que

consegue oferecer à população apenas soluções escassas e pontuais; a falta de coordenação de ações e informações dos atores estaduais envolvidos no planejamento, execução e gestão das atividades básicas de saúde; e a sobreposição de recursos técnicos e financeiros (MINAS GERAIS, 2016).

Embora o novo marco do saneamento mantenha o princípio da universalização dos serviços, a sua orientação e promoção da privatização não falam a favor dela, visto que a população deficitária é justamente aquela que vive no meio rural, em pequenas comunidades, nas periferias das grandes cidades e em habitações de aglomerados subnormais, ou seja, a população carente com pouca ou nenhuma solvência e, portanto, não é do interesse das empresas.

Em 2020, iniciaram-se os trabalhos de elaboração do Plano Estadual de Saneamento Básico - Pesb-MG, que tem como principal objetivo, a evolução dos níveis de saneamento básico.

O Pesb-MG fixou metas para o avanço do atendimento a curto (2022-2026), médio (2027-2031) e longo prazo (2032-2041) e para que estes se concretizem, é necessário levar o serviço de água para 2,3 milhões de habitantes. No caso do esgotamento sanitário, a população sem acesso ao serviço é ainda maior, igual a 3,9 milhões.

A prestação simultânea de serviços de água e esgoto por fornecedores não é uma prática muito comum no estado (Tabela 2). A Copasa e a Copanor são responsáveis por 78,6% das concessões de água e por 34,6% das de esgotamento sanitário (BRASIL, 2019a).

Tabela 2 - Total de concessões de abastecimento de água e esgotamento sanitário por prestador (Minas Gerais - 2018)

Prestadores	Esgotamento Sanitário						S/I*	Total
	Pref	Copasa	Copanor	SAAE	Privado			
Abastecimento de água	Pref	124	-	-	-	-	3	127
	Copasa	332	190	27	2	-	27	578
	Copanor	6	-	38	-	-	5	49
	SAAE	4	1	-	89	-	2	96
	Privado	-	-	-	-	3	-	3
Total	466	191	65	91	3	37	853	

Nota: *S/I sem informação. Dados organizados por ordem decrescente da coluna total. Havia 47 municípios na base do SNIS sem informações sobre concessões ou prestadores e 237 de esgotamento sanitário que foram complementados pelos dados da pesquisa Seis-FJP(2016)* e pelo Siságua. Os portes populacionais seguiram a estratificação utilizada pelo Pesb: até 10.000 habitantes (pequeno porte); de 10.000 a 100.000 habitantes (médio porte); acima de 100.000 habitantes (grande porte).

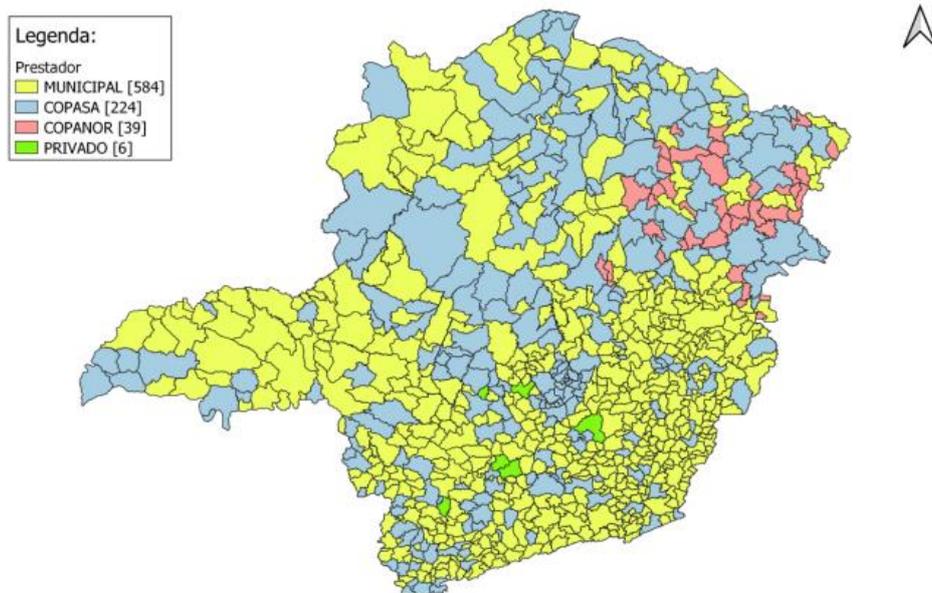
Fonte: Fundação João Pinheiro, 2016; Brasil, 2019^a

Minas Gerais possui 853 municípios, e a prestação concomitante dos dois serviços ocorre apenas em 124 municípios, pelas prefeituras, e em 89, pelo Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto (SAAE). A Copasa opera os serviços de água e esgoto conjuntamente em 190 municípios, dos 578 que está presente.

É importante ressaltar que esses subsídios não são necessariamente suficientes para atender as necessidades de cada município, às vezes apenas para atender parte da sede ou uma determinada localidade. No entanto, esses resultados de coleta e tratamento devem ser avaliados com cautela, pois o acesso aos serviços de esgotamento sanitário não significa que os serviços sejam prestados com qualidade, pois estações podem estar em condições instáveis de operação, lançamento de efluentes desconforme a lei ambiental, esgoto transbordando pela rede coletora, além de ligações clandestinas e vazamentos (MINAS GERAIS, 2021).

Na Figura 5 é mostrada a distribuição espacial das prestadoras de serviços de água e esgoto em Minas Gerais.

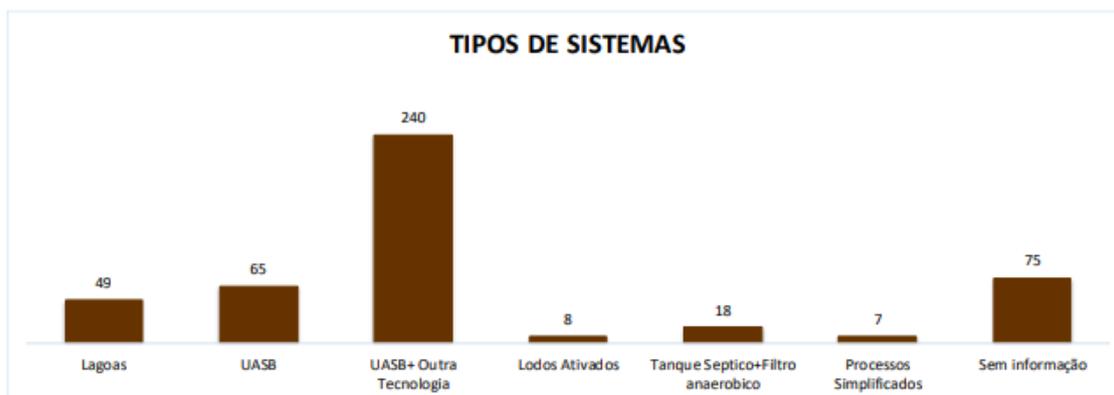
Figura 4 - Mapa do panorama das prestadoras de esgotamento sanitário por município no estado de Minas Gerais



Fonte: Fundação João Pinheiro (2021)

Quanto aos tipos de sistemas mais presentes no estado de Minas Gerais, na Figura 5, observa-se que o UASB seguidos de outras tipologias.

Figura 5 - Tipos de Sistemas de Tratamento de Minas Gerais



Fonte: Minas Gerais, 2021

2.4 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O esgotamento sanitário é definido como o conjunto de atividades construídas por meio de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, condução, tratamento e disposição final dos resíduos sanitários, desde as interligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente (BRASIL, 2007).

O processo de avaliação e seleção do sistema de tratamento de efluentes mais adequado para um local envolve diversos fatores, tais como: características da população atendida e custos relacionados à construção, operação e manutenção do sistema (Massoud et al., 2009). Além disso, é fundamental avaliar o sistema de gestão de efluentes mais adequado para cada contexto. Os sistemas de tratamento higiênico de águas residuais existentes consistem basicamente em duas abordagens: centralizada e descentralizada (Tonetti et al., 2018).

A) Sistemas centralizados

O sistema centralizado tem sido utilizado no tratamento de águas residuais de áreas urbanizadas com altas densidades populacionais. Esses sistemas geralmente são de propriedade pública e coletam grandes quantidades de águas residuais tratadas e distante das fontes de produção.

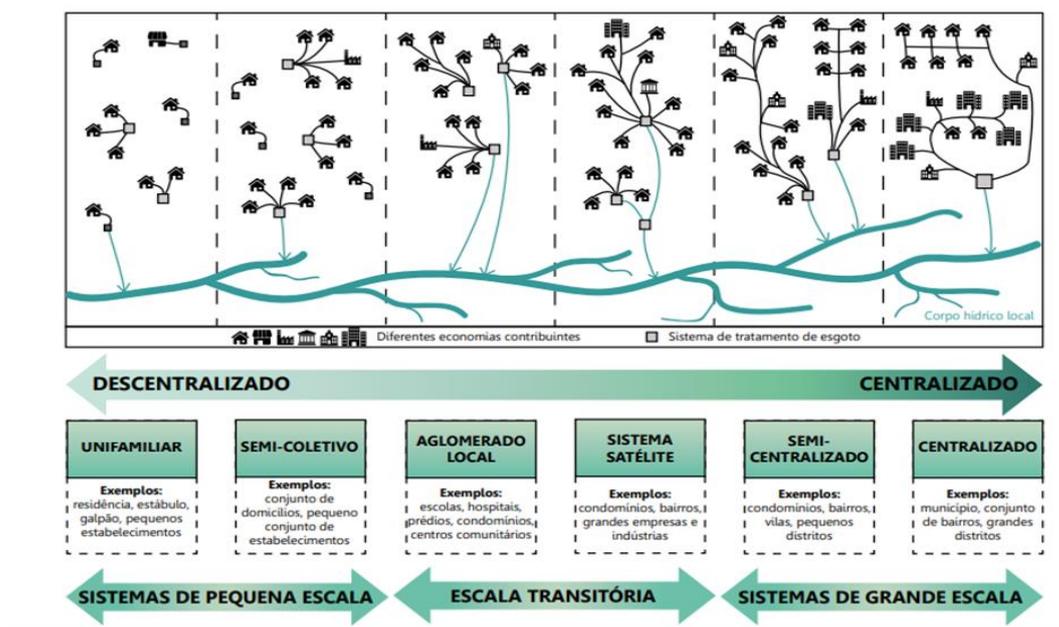
O sistema centralizado se caracteriza pela implantação de uma rede coletora que encaminha o esgoto para uma única unidade de tratamento de esgoto (ETE) que atende a várias residências (multifamiliar) (VON SPERLING, 2014).

B) Sistemas descentralizados

Na literatura, existem várias classificações e nomenclaturas propostas para sistemas descentralizados (*onsite*, individual, *cluster*, *semi-centralized*) mas o consenso é que existem muitas possibilidades. O potencial está entre dois extremos, pequenos sistemas descentralizados (unifamiliares) e grandes sistemas centralizados (grandes estações de tratamento de esgoto). Bueno (2017) resume a diversidade de sistemas descentralizados na Figura 6.

Nesta dissertação, apenas dois termos são usados para facilitar o entendimento: unifamiliar e semi-coletivo. Os sistemas unifamiliares (ou individuais) referem-se a sistemas que atendem a uma família que vive muito próximas. Os sistemas semi-coletivos são aqueles que atendem a um pequeno grupo de residências ou espaços destinados ao comércio ou prestação de serviço, mas que necessitam de uma rede coletora de esgoto.

Figura 6 - Gradiente entre sistemas centralizados e descentralizados para o tratamento de esgotos



Fonte: Tonetti et. al., 2018, adaptado de Bueno, 2017

Sistemas descentralizados apresentam menor demanda por menos recursos financeiros na implementação, contribui com a sustentabilidade local (METCALF & EDDY, 2003) e a oportunidade de reuso de água e nutrientes localmente (GIKAS e TCHOUBANOUGLOS, 2008). Além de outras vantagens, adaptadas de Bueno (2017), divididas em quatro áreas: social, econômica, ambiental e operacional (Quadro 1).

Quadro 1 - Principais vantagens do uso de sistemas individuais de tratamento de esgotos

Área	Vantagens
Social	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuem para melhoria da saúde da população local; - Podem gerar trabalho e renda; - Podem ajudar a produzir alimentos, 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; - 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 reuso 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 casos, 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: Tonneti, et al 2018

Embora os sistemas descentralizados tenham várias vantagens sobre os sistemas centralizados, há muitos desafios que precisam ser superados para que sua implementação seja eficiente, viável e segura para comunidades remotas, especialmente no caso de sistemas de menor escala. O primeiro desafio é selecionar as tecnologias de

tratamento de efluentes mais adequadas para cada situação. Esta é uma tarefa complexa que envolve a avaliação simultânea de muitas variáveis (Tonneti et al, 2018).

Hoje, existe uma ampla variedade de tecnologias disponíveis para áreas isoladas (FUNASA, 2015; MARTINETTI, 2015), mas ainda não se chegou ao consenso sobre qual seria a mais adequada do ponto de vista técnico. A decisão deve considerar as especificidades locais, dado que existem diferenças significativas entre as regiões brasileiras no que tange às suas características ambientais, socioeconômicas e culturais (GASI, 1988).

Quando se discute a escolha de um sistema descentralizado de tratamento de esgoto, os aspectos ambientais são os mais abordados. Alguns dos principais problemas ambientais relacionados à implantação, segundo a Agência dos Estados Unidos de Proteção Ambiental (USEPA, 2002), são a sobrecarga e contaminação de solos com baixa capacidade de infiltração ou de solos com boa drenagem localizados em locais muito adensados, a contaminação da água por nitratos, fosfatos e patógenos provenientes de sistemas localizados muito próximos a reservas de água superficiais ou subterrâneas e a eutrofização de corpos d'água superficiais.

As características do local de instalação são pertinentes para a escolha mais adequada da tecnologia de tratamento de esgoto (MARTINETTI, 2015).

- a) Presença de água encanada nos banheiros;
- b) Qual o tipo de esgoto gerado (águas de vaso sanitário, águas cinzas ou esgoto doméstico);
- c) Área disponível para a implantação do sistema (tamanho da área e declividade do terreno);
- d) Tipo de solo local (arenoso, argiloso);
- e) Profundidade do lençol freático;
- f) Presença de nascentes e cursos d'água superficiais;
- g) Clima da região.

A escolha da tecnologia de tratamento de efluentes também está relacionada aos custos de implantação, operação e manutenção. Os custos de implantação são os custos de materiais e mão de obra necessários para a instalação inicial. Outro fator importante para a implementação bem-sucedida de sistemas descentralizados de pequeno e médio porte é a aceitação do cidadão e sua participação no processo de seleção de tecnologia (Tonneti et al, 2018).

Segundo Ellingsen (2011), a descentralização do sistema de tratamento de águas residuais é uma abordagem técnica para o saneamento onde a ênfase está na aplicação de soluções localmente adequadas e de baixo custo. A autora relata ainda que, ao construir uma estação de tratamento de águas residuais perto do local de produção de águas residuais, a cobertura em grande escala das águas residuais é desnecessária e o alto custo desta solução pode ser evitado.

Em 1972, nos Estados Unidos, a *Clean Water Act* (CWA) previa que, com exceção de áreas rurais remotas, o uso de sistemas descentralizados era uma medida provisória adotada, enquanto os sistemas centralizados não fossem escaláveis. No entanto, muitas localidades rurais, periurbanas e urbanas podem não ser conectadas ao sistema centralizado devido a desafios econômicos, logísticos e políticos. Isso leva à necessidade de aumentar a confiabilidade e o desempenho de sistemas coletivos (LARSEN et al., 2013).

Withers et al. (2012) explicam que, uma vez que os custos de instalação e manutenção dos sistemas centralizados são tão altos, parece razoável e apropriado para o usar a fossa séptica ou outros sistemas descentralizados de tratamento devam continuar a fazer parte da infraestrutura de tratamento de efluentes em áreas menos povoadas.

2.4.1 Tecnologias De Tratamento De Esgoto

As tecnologias mais adequadas à realidade do saneamento rural devem buscar melhorar as condições de saúde das comunidades por meio de técnicas simples de baixo custo, que respeitem a cultura e os conhecimentos locais, e que sejam ambientalmente sustentáveis (SUSANA, 2008). Nesse contexto, as

tecnologias de base ecológica e as tecnologias sociais fornecem opções mais adequadas.

Para esta dissertação, as tecnologias selecionadas para o tratamento de esgoto em comunidades isoladas, baseada no Manual de Saneamento elaborado pela Funasa (FUNASA, 2015) e nas normas técnicas da ABNT (ABNT, 1993 e 1997), mas também sobre os resultados de pesquisas com sistemas novos ou modificados e sua aplicação prática em comunidades isoladas. As soluções unifamiliares foram preferidas e, quando apropriado, sistemas semi-coletivos também foram discutidos.

As soluções aqui apresentadas têm implementação, operação e operação simplificadas, capazes de garantir a remoção eficiente e de baixo custo da matéria orgânica dos efluentes.

Embora algumas dessas alternativas de tratamento ainda não estejam contempladas nas atuais normas técnicas, elas são utilizadas rotineiramente em comunidades isoladas, além de possuir suporte técnico, pois são tema de pesquisa desenvolvido em centros de pesquisa, universidades, prefeituras e ONGs.

Foram identificadas quatro soluções de tratamento de efluentes: sistemas alagados construídos (SAC); tanque de evapotranspiração (BET); fossa biodigestora econômica (FBE); fossa séptica.

2.4.1.1 Sistemas Alagados Construídos (SAC)

Para von Sperling (2014), terras úmidas construídas, banhados artificiais, wetlands são denominações equivalentes. Os sistemas são constituídos por lagoas ou canais rasos, que abrigam plantas aquáticas e que dependem de mecanismos biológicos, químicos e físicos para tratar as águas residuais. Esses sistemas geralmente possuem camadas impermeáveis de argila ou membrana sintética. Existem basicamente dois tipos de pântanos construídos:

a) Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Subsuperficial

Nesse tipo de sistema, o suporte para o crescimento das plantas consiste em um leito (0,4 e 0,6 m) de pequenas pedras, cascalho ou areia. O nível da

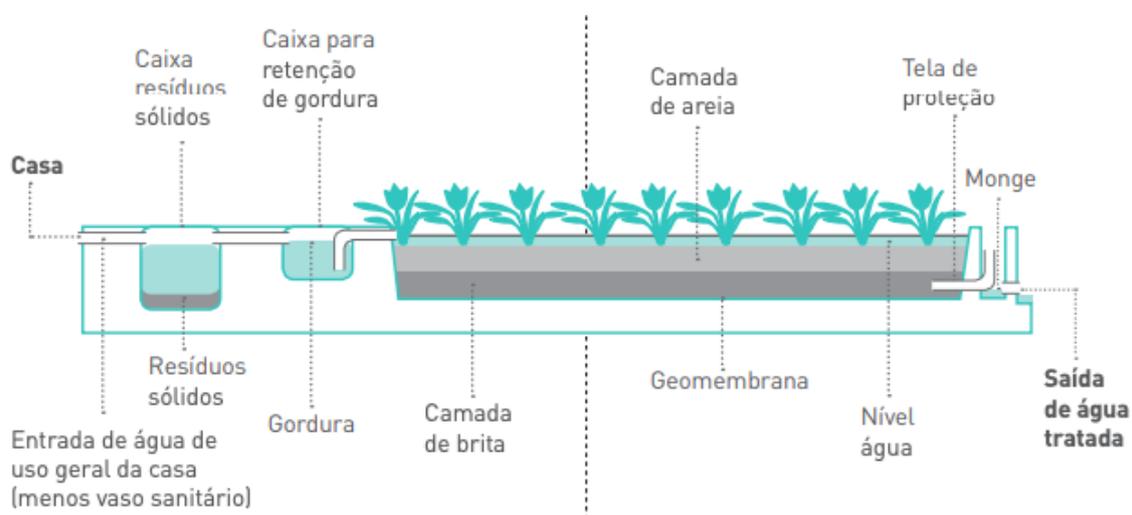
água está abaixo da superfície do leito e os efluentes fluem em contato com as raízes e rizomas das plantas (VON SPERLING, 2014).

b) Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Superficial

Processo adequado para receber águas residuais de bacias de estabilização e outros processos de tratamento de águas residuais. Formada por plantas aquáticas que flutuam e / ou criam raízes em uma camada de solo abaixo, a água flui livremente entre as folhas e caules das plantas. Para as áreas com vegetação a lâmina d'água está entre 0,6 e 0,9 m, enquanto para as áreas de água livre variam de 1,2 a 1,5 m (VON SPERLING, 2014).

Os Sistemas alagados construídos (SAC), Figura 7, além de ser um sistema com design natural, fácil construção e de operação, apresentam custo benefício bastante vantajoso, surgindo a partir desse cenário, como um tratamento alternativo para descontaminação natural baseado em um modelo de áreas alagadas, à imagem de áreas de brejo, pântanos e várzeas (EMBRAPA,2013).

Figura 7 - Esquema de sistema alagado construído (SAC)



Fonte: Embrapa, 2015

As metodologias de implantação e modelos variam de acordo com o efluente tratado e eficiência final desejada para a remoção dos poluentes do curso d'água, além das possibilidades de paisagismo (TONETTI, 2018).

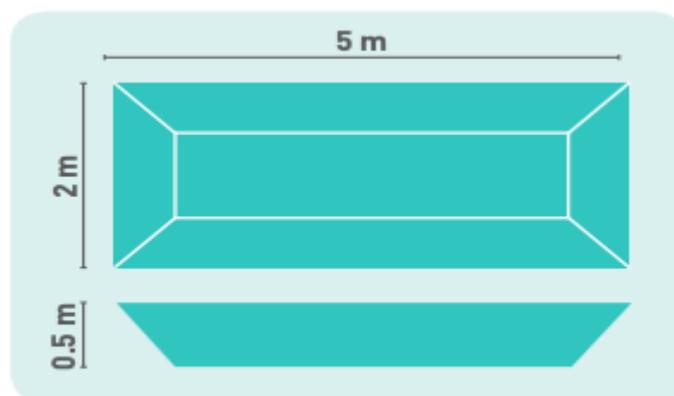
O tratamento biológico depende da utilização de áreas úmidas e plantas aquáticas, sendo necessário avaliar a tolerância climática e nas condições de inundação, adaptação ecológica, resistência a poluentes, disseminação e desempenho adequado do sistema para remoção de poluentes (COOPER,1998).

No Brasil, as plantas mais utilizadas são a taboa (*Thypha*), papiro (*Cyperus*), biri (*Canna*) e gramíneas como o capim Tifton (*Cynodon*). Outras plantas podem ser usadas, desde que tenham bom crescimento e propagação em ambientes alagados (TONETTI, 2018).

O destino do esgoto após tratamento pelo SAC deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais.

Na Tabela 3 é apresentado o custo de instalação de um jardim filtrante de 10 m², considerando uma casa com cinco pessoas, baseado no Sistema Nacional de Pesquisas e Custos e Índices, de setembro de 2021. O tanque deve ter dois metros quadrados por morador e 50 cm de profundidade (Figura 8).

Figura 8 - Dimensões para um jardim filtrante de 10m²



Fonte: Embrapa, 2015

O tanque precisa ser mais comprido do que largo, para que haja mais eficiência no sistema (EMBRAPA, 2015).

Tabela 3 - Valores de materiais para construção de 1 jardim filtrante de 10m²

Materiais	Quantidade	Valor em Real	Total
Geomembrana de EPDM ou PVC 1,0mm	10 m ²	32,12	321,20
Manta geotêxtil	10 m ²	20,44	204,40
Brita n2	6 m ²	70,00	420,00
Areia grossa	7 m ²	75,00	525,00
Mudas	-	-	-
Caixa d'água de 100 L com tampa	1 un	209,00	209,00
Caixa de gordura DN 100 com tampa	1 un	106,42	106,42
Tubulação de 100 mm	2 un	36,83	73,66
Conexões	8 un	15,00	120,00
Mão de obra			1500,00
TOTAL			3.479,68

Fonte: Sinapi, 2021

2.4.1.2 Bacia de Evapotranspiração (BET)

A Bacia de evapotranspiração (BET), (Figura 5), é um sistema de tratamento de água negra criado pelo permacultor americano Tom Watson e adaptado ao longo do tempo por vários culturologistas brasileiros. Ele consiste em um tanque impermeabilizado, que faz o aproveitamento da água e dos nutrientes presentes no esgoto através de diferentes camadas de material filtrante e plantado com espécies vegetais (Galbiati, 2009).

A BET é formada por uma caixa de alvenaria impermeabilizada, que possui uma estrutura interna em forma de câmara, cujo exterior é preenchido com diferentes materiais filtrantes (FUNASA, 2015).

As águas residuais entram no sistema através do compartimento localizado no fundo do tanque, depois penetram através de camadas de material filtrante, onde ocorre o processo de decomposição anaeróbica. À medida que o volume de efluentes aumenta, o efluente do processo também começa a preencher as camadas superiores até atingir a areia e o solo através do qual se move por ascensão capilar até a superfície onde estão localizadas as espécies vegetais selecionadas são plantadas. Por meio da evapotranspiração, a água é removida do sistema, enquanto os nutrientes são introduzidos na biomassa da planta (GALBIATI, 2009).

Segundo Venturi (2004), o tamanho de construção da BET é de 1 a 1,2 m em profundidade, com área de 10m² (2 m x 5 m), para uma família de 5 pessoas. Portanto, será de pelo menos 2m² por pessoa, dependendo do clima da região. Para resolver o problema de empirismo utilizado para construir o tanque, Galbiati (2009) propôs a seguinte equação (Equação 1), para determinar suas dimensões:

$$A = \frac{n \cdot Q_d}{ET_0 \cdot k_{tevap} - P \cdot k_i} \quad (1)$$

Onde

A = área superficial do tanque, em m²;

n = número médio de usuários do sistema;

Q_d = vazão diária por pessoa, em l.d-1, de acordo com o tipo de descarga e o número de utilizações por pessoa;

k_{tevap} = coeficiente de evapotranspiração do tanque;

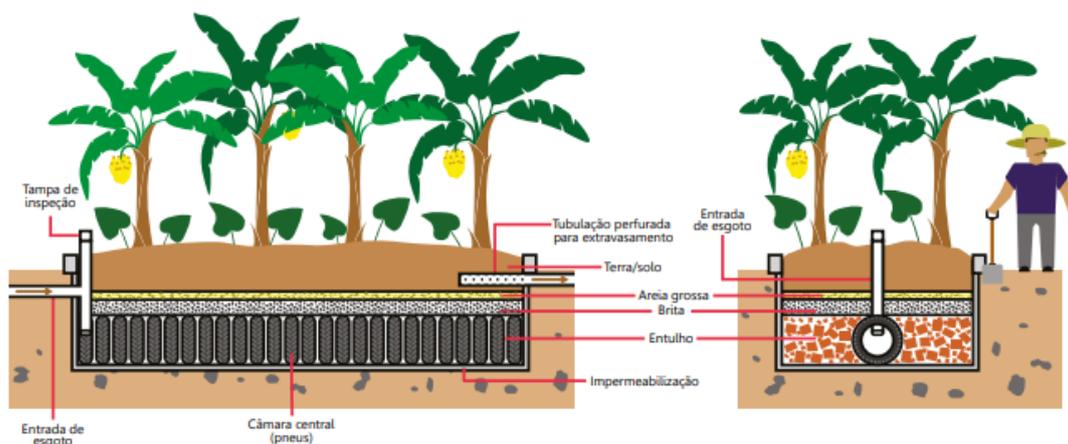
ET₀ = evapotranspiração de referência média do local, em mm.d-1;

P = pluviosidade média do local, em mm.d-1;

k_i = coeficiente de infiltração, variando de 0 a 1.

Dentro do sistema, os pneus dos carros são inseridos verticalmente na área central da caixa, formando uma tubulação. Os lados entre o pneu e a parede da BET são preenchidos com entulho de construção até que o pneu esteja completamente coberto (Figura 9). Em seguida, o entulho é coberto com uma camada de geotêxtil e sobre esta camada, 20 cm de espessura de brita, 20 cm de espessura de areia grossa e por último 20 cm de espessura de terra, onde será o plantio. Os pneus recebem o efluente da fossa séptica interna e o distribuem horizontalmente na área preenchida com entulho, rocha e areia, onde ocorrerá a transformação do material através das bactérias aeróbias (CRISPIM *et al.*, 2019).

Figura 9 - Bacia de evapotranspiração



Fonte: Tonetti (2018)

As plantas são parte fundamental do sistema, são responsáveis por aumentar o poder de evaporação da matéria líquida, através da transpiração (perda de água das plantas e do solo pela transpiração) e deve ser dada preferência a espécies de crescimento rápido e alta demanda por água como *Canna indica Lily* (Bananeirinha de jardim) e *Heliconia rostrata* (Caeté) (CRISPIM *et al.*, 2019).

Para manutenção do sistema BET, é necessário para gerenciar as plantas e eliminar sólidos que se acumulam na fossa séptica (o material deve ser removido por empresas especializadas) (CRISPIM *et al.*, 2016).

Na Tabela 4 é apresentado o custo de instalação de uma BET de 4 m², baseado no Sistema Nacional de Pesquisas e Custos e Índices, de setembro de 2021.

Tabela 4 - Valores de materiais para construção de 1 BET de 4 m²

Materiais	Quantidade	Valor em Real	Total
Areia grossa	3 m ²	75,00	225,00
Pedra brita n ^o 1	3 m ²	69,63	208,89
Lajota 6 furos	2000 unidades	1,34	2680,00
Cimento	10 sacos	30,00	300,00
Cal	4 sacos	17,60	70,40
Ferragem (treliça)	2 unidades	45,50	91,00
Lona plástica	40 m ²	1,70	68,00

Impermeabilizante	3 litros	22,04	66,12
Tubulação de 100 mm	2 unidades	36,83	73,66
Conexões	8 unidades	15,00	120,00
Mão de obra			1500,00
TOTAL			5.403,07

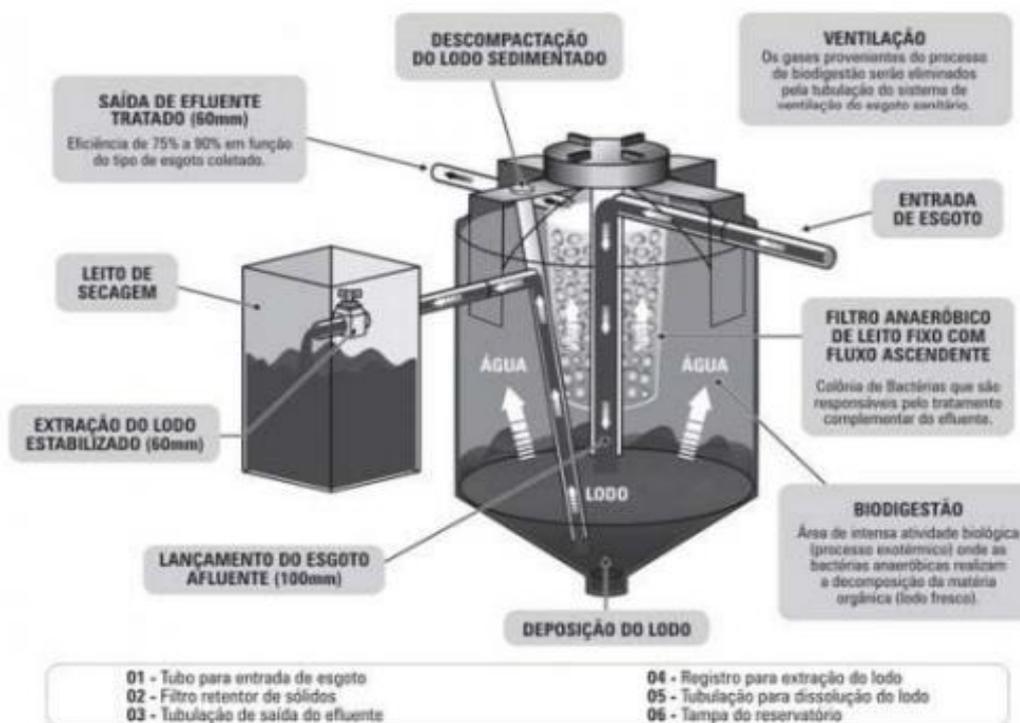
Fonte: Adaptado pela autora, (CRISPIM *et al.*, 2016).

O sistema apresentado tem uma excelente relação custo x benefício, com razoável implantação para pequenas instalações agrícolas, além de apresentar excelentes resultados no tratamento de águas residuárias (CRISPIM *et al.*, 2016).

2.4.1.3 Biodigestor Modificado Acqualimp

O Biodigestor Acqualimp é uma mini estação de tratamento de efluentes residenciais de polietileno de alta densidade (PEAD) com sistema de sucção que permite ao usuário tratar e utilizar diretamente os resíduos (ACQUALIMP, 2017). Este tanque biológico é fabricado em três tamanhos, com capacidades para 300, 1600 e 3000 L. O tanque de 300 L tem um diâmetro de 0,9 m, uma altura de 1,5 metros, e atende até quatro pessoas em uma residência com consumo médio. O processo usado nesta tecnologia é semelhante ao de uma fossa séptica.

Figura 10 - Esquema de funcionamento do Biodigestor Acqualimp



Fonte: Acqualimp (2017)

Apesar de substituir a fossa séptica e tanques anaeróbios, os demais itens de tratamento de esgoto como caixa de gordura e sistema de destinação final, sumidouro ou vala de infiltração, ainda são necessários para que o sistema funcione (ACQUALIMP, 2017).

As águas residuais são descarregadas para dentro do biodigestor, onde as bactérias presentes proporcionam a decomposição da matéria orgânica. O lodo gerado se concentra no fundo cônico do biodigestor, facilitando sua extração na caixa de secagem. O efluente vai para filtro biológico/separador trifásico, onde passa por mais uma etapa de depuração, que separa as partículas sólidas para evitar a colmatação do sistema de infiltração, para onde o efluente tratado é direcionado. Os gases formados durante o processo saem pelo sistema, naturalmente (ACQUALIMP, 2017).

O biodigestor pode ser instalado enterrado ou semi-enterrado. O período de limpeza do lodo é de 12 a 18 meses, conforme utilização, preferencialmente na época da seca. A extração é feita por diferença de carga hidráulica, não havendo necessidade de bombeamento ou preenchimento de água. A parte líquida do lodo estabilizado será absorvida pelo solo, ficando apenas a matéria orgânica que após secar, se transforma em um pó preto (ACQUALIMP, 2017).

Na Tabela 5 é apresentado o custo, a capacidade de cada biodigestor considerando um número médio de pessoas, baseado nos custos repassados pela empresa Acqualimp em dezembro de 2021.

Tabela 5 - Tamanho e custo do biodigestor

Capacidade (L)	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Número de pessoas	Valor
600	165	89	4 ¹ a 6 ²	R\$1549,00
1300	198	118	10 ¹ a 13 ²	R\$ 2385,00
3000	223	207	23 ¹ a 30 ²	R\$7500,00

¹: Considerando uso residencial urbano padrão médio (130 litros/pessoa/dia)

²: Considerando uso residencial urbano padrão baixo (100 litros/pessoa/dia)

Fonte: Acqualimp, 2017

2.5 ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Escolher a melhor alternativa de tratamento de esgoto a ser implementado em cada residência é uma decisão complexa e precisa ser feita levando em consideração vários critérios.

Para Castro (2007), os métodos multicritérios têm sido aplicados de forma pertinente em diversos domínios do conhecimento na agregação de indicadores, objetivando o suporte à decisão. Deve-se levar em consideração aspectos econômicos, sociais, ambientais, políticos bem como quaisquer outros que se mostrem relevantes à comparação de um determinado conjunto de alternativas. Para a realização de uma análise global, são necessários métodos baseados na otimização do resultado de um grupo de funções, devido ao conflito de interesses e diferentes pontos de vista de múltiplos decisores.

Existem muitos métodos de apoio à decisão de multicritério, que são recomendados de acordo com as condições encontradas no ambiente da tomada de decisão e segundo diferentes perspectivas desde a análise do contexto, atores, e a estrutura de preferências associadas ao problema.

Segundo uma perspectiva clássica destaca-se duas grandes escolas de pensamento: a Escola Americana, onde se destaca-se o método AHP que tem como finalidade hierarquizar os objetivos ou critérios em conformidade com a(s) preferência(s) do decisor(es) (TORRES,2014); e a Escola Francesa, que determina a superação de uma alternativa em relação à outra, utilizando comparações entre alternativas por meio de relações binárias.

Existem ainda métodos interativos, alternativos e híbridos, utilizados pela literatura acadêmica. No Quadro 2 é apresentado os principais métodos multicriteriais de apoio à decisão e as referências de cada um dos métodos apresentados.

Quadro 2 - Principais métodos de apoio ao multicritério

Método	Referências
Elimination Et Choix Traduisant la REalité (ELECTRE)	Electre I (Roy, 1968), Electre II (Roy; Bertier, 1971); Electre III (Roy; Hugonnard, 1981); Electre IV (Roy; Hugonnard, 1981); Electre IS (Roy; Skalka, 1985); Electre TRI (YU, 1992; Mousseau; Slowinski; Zielniewicz, 2000)
Preference Ranking Organization Method for Enriched Evaluation (PROMETHEE)	Brans, Marechal e Vincke (1984) e Brans, Vincke e Marechal (1986)

Regime	Hinloopen, Nijkamp e Rietveld (1983)
Multiattribute Utility Theory (MAUT)	Fishburn (1970) e Keeney e Raiffa (1976)
Simple Multi Attribute Rating Technique (SMART)	Edwards (1977)
Analytic Hierarchy Process (AHP)	Satty (1977) e Satty (1980)
Analytic Network Processes (ANP)	Satty (1996)
Measuring Attractiveness by a Categorical Basead Evaluation Technique (MACBETH)	Bana e Costa e Vansnick (1994)

Fonte: Adaptado Rodriguez, Costa e Carmo, 2013.

Para Olson (2001), os estudos comparativos entre as diversas modalidades de apoio multicritério à decisão, demonstram que não existe nenhuma metodologia padrão em todos os contextos de decisão envolvendo múltiplos critérios. Para se tomar a melhor decisão, seja ela individual ou por grupos, é preciso ter o objetivo bem definido e estruturado, considerando todas as informações existentes.

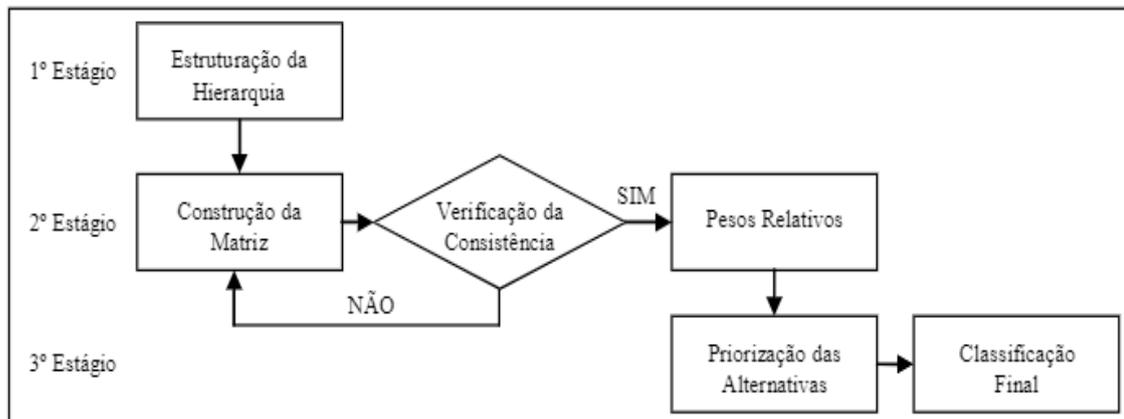
Dentre os métodos multicritérios destacam-se o método *Analytic Hierarchy Process*, sendo muito usada a sua sigla de referência AHP. Um dos métodos multiatributo mais utilizados e difundidos no mercado mundial (Gomes, 2007) devido ao seu pioneirismo seu caráter simples e intuitivo. Desenvolvida em meados de 1970 pelo pesquisador Tomas L. Saaty, fundamenta-se em decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (Saaty, 1991).

Considerando Silva e Nunes (2009), o processo de decisão utilizando o método AHP pode ser agrupado em 3 etapas (Figura 11):

- I. Construção da hierarquia de decisão: a primeira etapa do método AHP consiste na decomposição do problema/decisão em uma hierarquia composta, no mínimo, de um objetivo, critérios e alternativas.
- II. Comparação entre os elementos da hierarquia: a segunda etapa consiste em estabelecer prioridades entre os elementos para cada nível da hierarquia, por meio de uma matriz de comparação pareada. O primeiro ponto a ser considerado é a determinação de uma escala de valores para comparação, que não deve exceder um total de nove fatores, a fim de se manter a matriz consistente.

- III. Priorização das alternativas e definição das classes de vulnerabilidade através da priorização dos itens para se chegar a classificação final.

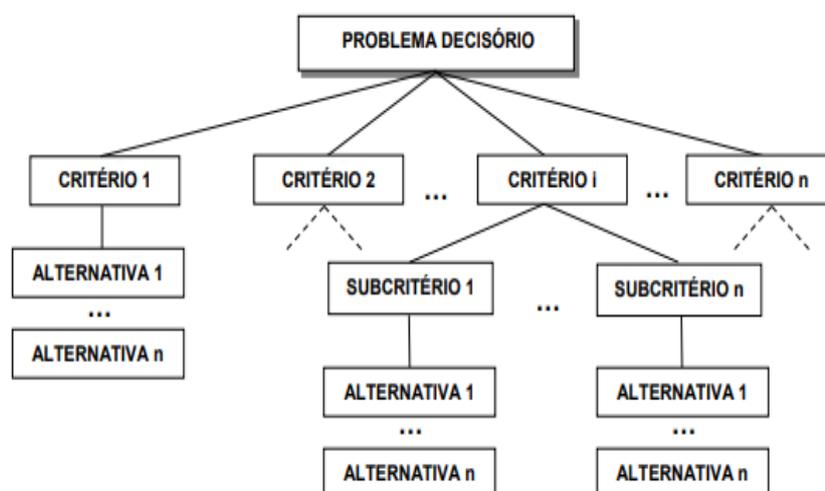
Figura 11 - Representação gráfica das 3 etapas utilizando-se o método AHP



Fonte: SILVA;NUNES (2009: 5438)

A ideia básica do AHP é que um problema decisório pode ser estruturado de maneira hierárquica onde avalia-se cada um de seus elementos individualmente sob a ótica desses critérios ou até mesmo subcritérios. Dessa forma, um problema complexo é desmembrado em problemas menores para se chegar a solução final. A Figura 12 ilustra a estrutura hierárquica, igualmente conhecida como Árvore de Critérios.

Figura 12 - Modelo de estrutura hierárquica do AHP



Fonte: (Passos, 2002)

Após elaborar os critérios, as análises poderão ser feitas através de dados concretos ou uma projeção hipotética sobre os elementos. O método AHP, converte as deliberações em valores numéricos que podem ser processados e comparados sobre toda a extensão do problema. A finalidade dessa etapa é definir o quanto um critério é mais importante que o outro dentro de toda a abordagem.

Os pesos são atribuídos aos critérios, de acordo com sua importância. As alternativas são avaliadas com base nesta importância relativa, por meio de comparações em pares, usando a Escala Fundamental de Saaty (Tabela 6), atribuindo valores tanto quantitativos como qualitativos às análises.

Tabela 6 - Escala Fundamental de Saaty

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Equiparada	Contribuição equiparada para o objetivo
3	Importância Moderada	Um objetivo ligeiramente favorável em detrimento de outro.
5	Importância Forte	Um objeto fortemente favorável em detrimento de outro.
7	Importância Muito Forte	Um objeto fortemente favorável em detrimento de outro; domínio demonstrado na prática.
9	Importância Absoluta	É a maior ordem de afirmação possível de um objetivo em detrimento de outro.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos sucessivos	Possível necessidade de se interpolar julgamentos numéricos.

Fonte: Adaptado de Carvalho e Mingoti (2005).

Saaty (1991) sugere que para definir esses valores sejam feitas diversas análises paritárias onde os critérios são comparados entre si dois a dois. Esses diagnósticos são armazenados em uma matriz quadrada chamada matriz de comparações paritárias. A tabela 7 ilustra uma matriz de comparações paritárias genérica.

Tabela 7 - Matriz de comparação paritária

Critérios	Crit 1	...	Crit p	...	Crit m
Crit 1	1	
...
Crit p		...	1	...	
...
Crit m		1

Fonte: Saaty, 1991

Utiliza-se a Escala Fundamental de Saaty para preencher a matriz, relacionando valores numéricos com valores verbais, usando a escala 1-9, independente do tipo de critério usado, seja ele quantitativo ou qualitativo, ou subjetivo. A matriz de comparações paritárias representa o quanto um critério é mais atraente que o outro (SILVA, 2007).

É importante notar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade, no formato de frações. Cada matriz é avaliada para verificar a coerência dos julgamentos, gerando uma "razão de coerência" que será igual a 1 se todos os julgamentos forem coerentes (SILVA, 2007).

2.5.1 Normalização de Critérios

Na análise multicritério, os dados (valores) envolvidos, via de regra, possuem unidades diferentes, o que impede sua síntese instantânea. Para normalizar as unidades consideradas, é realizada a normalização (padronização), para a mesma escala são atribuídos valores a cada critério, conforme indicado (Calijuri et al, 2002).

Segundo Ramos (2000), o procedimento mais adequado para normalizar critérios para variáveis contínuas é aplicar uma função fuzzy, que deve ser cuidadosamente selecionada e calibrada. Nos critérios para escalas nominais, os valores padrões devem ser atribuídos arbitrariamente, de acordo com a escala padrão adotada.

A teoria dos conjuntos fuzzy, desenvolvida por Lofti A. Zadeh em 1965, é uma extensão da teoria de conjuntos clássica e está intimamente relacionada aos conceitos básicos de funções de pertinência. Segundo Eastman (2003), de acordo com a lógica fuzzy, um conjunto de valores é transformado em outro conjunto de valores, expresso na escala padrão.

2.5.2 Combinação de Critérios

As comparações entre os critérios são feitas com base em avaliações das partes interessadas, que atribuem valores a cada alternativa, com base em julgamentos objetivos ou subjetivos. No entanto, devido à liberdade que o método confere para categorizar os critérios e alternativas, podem surgir contradições entre os julgamentos feitos (PEREIRA *et al*,2019).

Para estabelecer um parâmetro que pudesse determinar um nível aceitável de inconsistência com base no número de comparações feitas, (Satty,2008) propôs uma razão de consistência (CR), de acordo com a Equação 2.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Onde:

CR (*Consiste Ratio*): razão de consistência

RI (*Random Index*): julgamentos aleatórios calculados por Satty para matrizes de diferentes tamanhos, conforme Tabela 7.

CI (*Consistency Index*): índice de consistência calculado de acordo com a equação (4):

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n-1} \quad (3)$$

Em que:

λ_{Max} auto valor máximo

n: quantidade de itens (critérios ou subcritérios)

Tabela 8 - Índices randômicos (IR)

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty, 1987

Saaty (1997) sugere que um conjunto de decisões pode ser considerado válido se a razão de consistência permanecer abaixo de 0,1 ou 10%. Taxas com valores muito acima deste parâmetro aproximam-se de resultados aleatórios e precisam de revisão.

A literatura apresenta vários métodos para combinar ou sintetizar critérios, de acordo com uma determinada regra de decisão, entre os quais: Booleano, Combinação Linear Ponderada (CLP) ou *Weighted Linear Combination* (WLC) e Média Ponderada Ordenada (MPO) ou *Ordered Weighted Average* (OWA) (EASTMAN, 2003).

Em análise multicritério, dentro de processos de tomada de decisão espacial, Ramos (2000) considera Combinação Linear Ponderada e a Média Ponderada Ordenada, as melhores alternativas. O método utilizado nesta pesquisa, combinar ou agregar os critérios usados é a Combinação Linear Ponderada (CLP). Este método combina fatores usando uma média ponderada, que é dada pela Equação 4:

$$S = \sum_i w_i x_i \quad (4)$$

Onde:

S = valor final do escore;

w_i = peso do fator e

x_i = valor normalizado do fator.

De acordo com Ferreira et al. (2011), por meio dessa equação, determinada no processo de atribuição de pesos das variáveis de intervenção, são combinadas imagens normalizadas (fuzzy). O valor de cada pixel correspondente a uma determinada variável é multiplicado pelo seu fator correspondente e então é adicionado para obter a imagem correspondente ao

mapa final desejado. Como a soma dos pesos é expressa em unidades, a pontuação ou valor final é calculado na mesma escala que a pontuação do coeficiente normalizado.

2.5.3 Análise Espacial

O Geoprocessamento tem grande potencial para resolver problemas em diferentes áreas do conhecimento, incluindo meio ambiente, permitindo compreender a distribuição espacial dos fenômenos ambientais, apoiada por mapas (FALCÃO, 2013).

A partir de bancos de dados e geografias (mapas), as ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem exibir a imagem espacial definida pelo fenômeno observado, ou seja, pode medir os atributos e relacionamentos, levando em consideração a posição espacial (CÂMARA *et al.*, 2004).

O uso de ferramentas de geoprocessamento, como o SIG, com potencial sobreposição de planos de informação de dados espaciais, e inteligência artificial, aumenta a amplitude com a capacidade utilizando o método de avaliação multicritério, com foco em análises de adequação para o uso da terra, na avaliação e planejamento da paisagem, em avaliações de impacto ambiental e no planejamento do uso da terra (MALCZEWSKI, 2004).

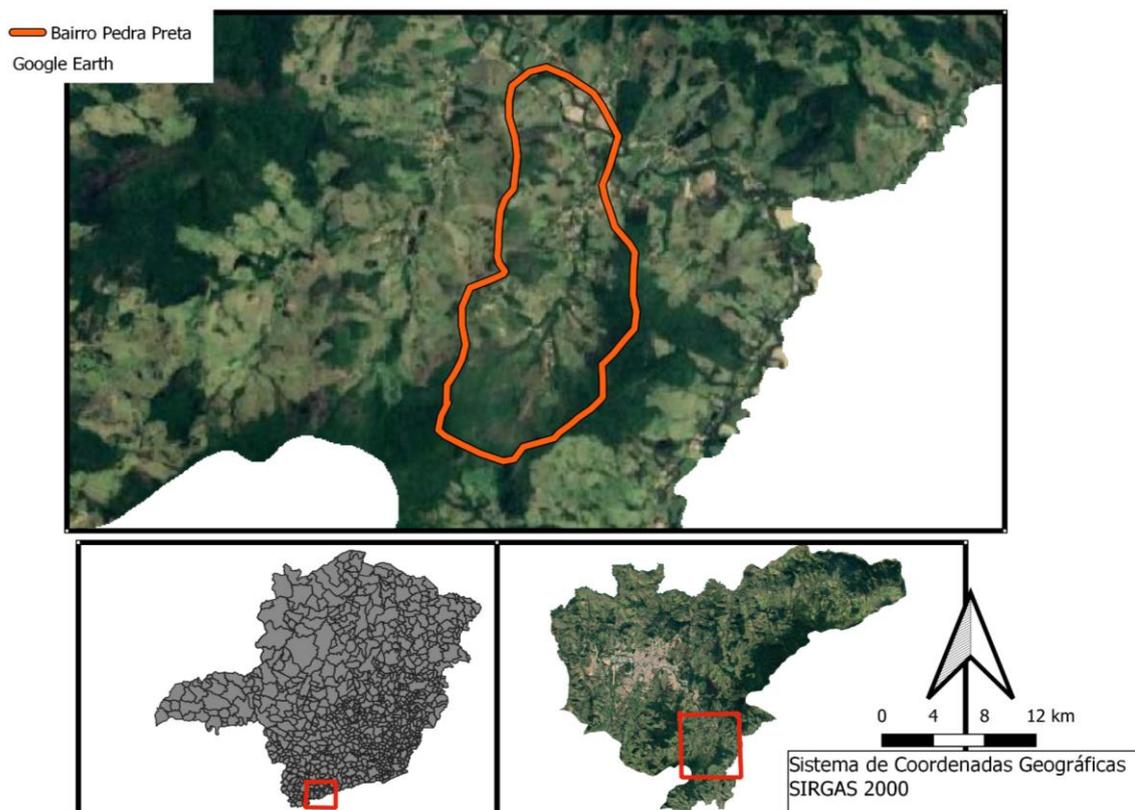
3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Caracterização da área de estudo

O bairro Pedra Preta está localizado no município de Itajubá, no estado de Minas Gerais (Figura 13). O bairro mantém características rurais, localizado dentro da Área Especial Rural (AERU) definida pelo Plano Diretor do Município de Itajubá (Itajubá, 2019). Estima-se que a população residente gira em torno de 500 habitantes em uma área de 352,5 hectares.

Figura 13 - Localização do bairro Pedra Preta



Fonte: Elaborado pela autora

3.1.2 Clima

A precipitação média anual gira em torno de 1490 mm. O clima da região é definido em duas estações: verão com bastante chuvas e inverno bem seco. Durante

junho a setembro, há um período curto de estiagem com redução drástica das temperaturas.

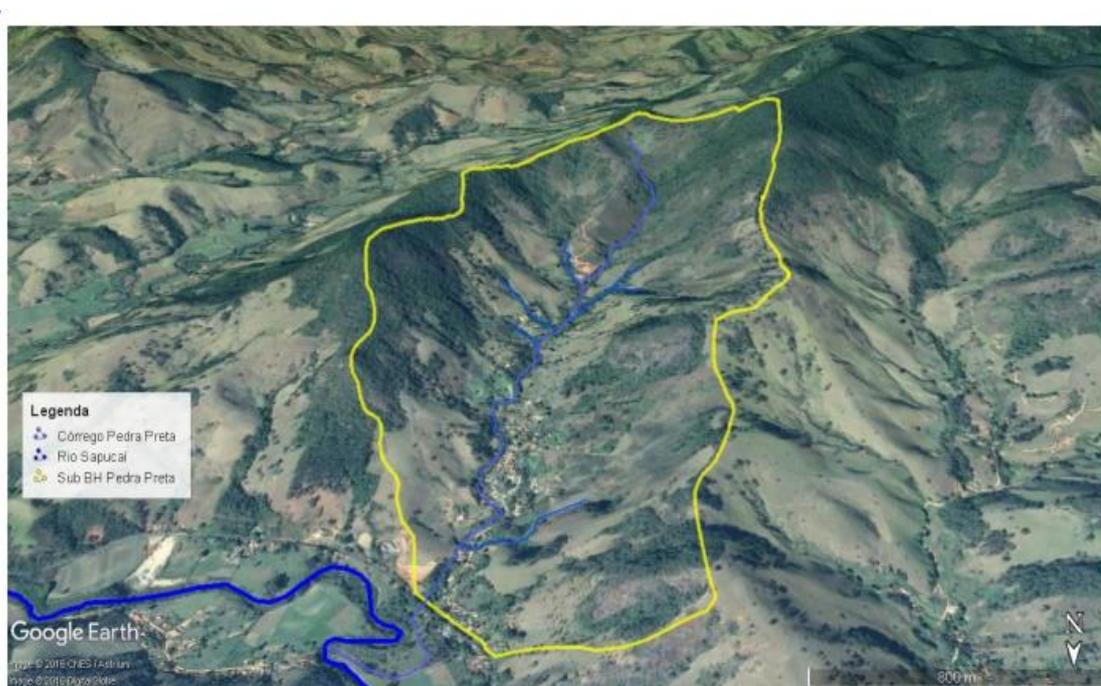
3.1.3 Solos

Solos nas áreas mais altas são classificados como latossolos vermelho-amarelo e cambissolos. Em encostas mais íngremes, depósitos de “talus” com presença de fragmentos rochosos. Esses depósitos apresentam grande instabilidade, que é estabilizada pela cobertura arbórea.

3.1.4 Declividade

A topografia da região é caracterizada por um planalto decorrente dos movimentos de ascensão e subsidências de blocos, comuns na região da Mantiqueira, com altitudes variando de 860 metros até cristas com 1530 metros. Na Figura 14 é apresentado o mapa de declividade em perspectiva.

Figura 14 - Imagem e satélite da bacia biográfica do córrego Pedra Preta

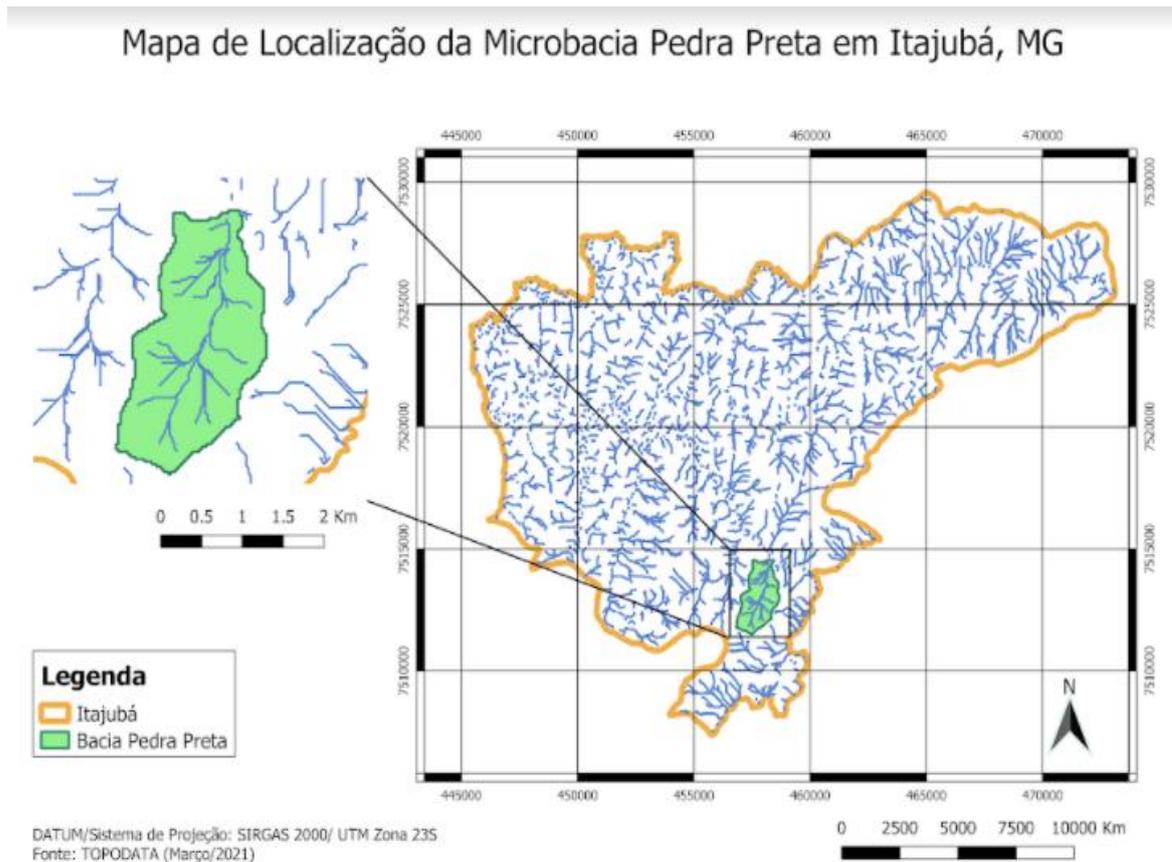


Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, 2016

3.1.5 Recursos Hídricos

A microbacia da Pedra Preta, possui área de drenagem em torno de 3,50 km² (Figura 15). O córrego Pedra Preta possui cerca de 3.700 metros de extensão, desde as nascentes a montante até sua foz, no rio Sapucaí.

Figura 15 - Mapa hidrográfico da Microbacia Pedra Preta



Fonte: Elaborada pela autora

3.2 CARACTERIZAÇÃO METODOLÓGICA

A organização sequencial dos procedimentos do método utilizado neste estudo está ilustrada na Figura 16, cuja descrição geral é a seguinte:

A primeira etapa apresenta a definição dos dados de linha de base da microbacia do bairro Pedra Preta.

A segunda etapa se refere à elaboração dos mapas básicos dos critérios relativos (Declividade, Uso e Cobertura do Solo, Tipo de Solo, Declividade e Moradias considerados na abordagem multicritério.

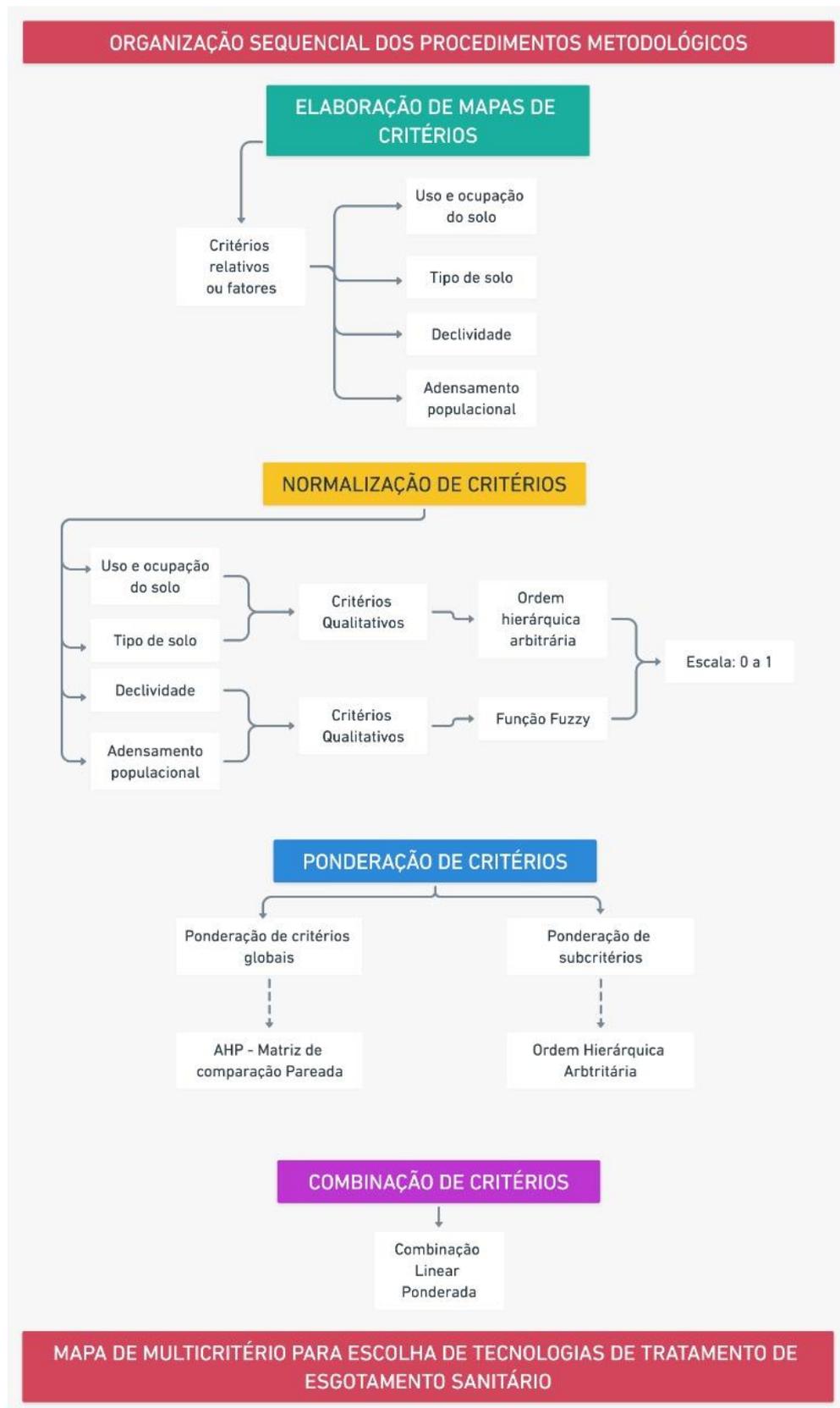
A terceira etapa inclui atividades de padronização (escala de zero a 1) dos critérios qualitativos (Uso e Cobertura do Solo e Tipo de Solo), utilizando ordem hierárquica arbitrária e dos critérios quantitativos (Declividade e Moradias) utilizando função fuzzy.

A quarta etapa diz respeito à ponderação dos critérios e subcritérios.

A quinta etapa se refere à combinação de critérios, através de uma combinação linear ponderada.

A sexta etapa é relativa à elaboração do mapa final de multicritério da microbacia do bairro Pedra Preta.

Figura 16 - Organização sequencial dos procedimentos metodológicos



3.2.1 Caracterização das imagens usadas elaboração dos mapas

Foram utilizadas imagens do satélite CBERS 4A, com e resolução espacial de 8 metros das bandas B1, B2, B3, B4, B5 e banca pancromática, com resolução de 2 metros (Tabela 8), disponibilizado de forma gratuita pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Os dados do ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros.

Tabela 9 - Principais características das imagens CBERS 4A

Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPN)	
Característica	Dado
Bancas Espectrais	P: 0,45 – 0,90 μm B1: 0,45 – 0,52 μm B2: 0,52 – 0,59 μm B3: 0,63 – 0,69 μm B4: 0,77 – 0,89 μm
Largura da faixa margeada	92 km
Resolução Espacial	2 m (pancromática) 8 m (multiespectral)
Visada Lateral de Espelho	Não
Taxa Bruta de Dados	1800.8 Mbps 450.2 Mbps

Fonte: INPE, 2019

3.2.2 Ferramentas de Sistemas de Informação Geográficas Usadas

Todo o processamento, interpretação dos dados e elaboração dos mapas foi realizada no *software* livre, QGIS (v3.16.5 “Hannover”).

3.2.3 Elaboração de Mapas de Critérios

Na análise multicritério, os critérios relativos apresentam grau de contribuição para o processo em consideração. São quatro os critérios relativos considerados neste estudo: Declividade, Uso e cobertura do Solo, Tipo de Solo e Adensamento Populacional.

Bertoni e Lombardi Neto (2005) consideram que as diferenças nas propriedades do solo permitem que alguns solos erodam mais do que outros, mesmo quando variáveis como precipitação, declividade, cobertura do solo e outros métodos sejam levados em consideração.

A declividade muito alta pode causar erosão dependendo do uso e cobertura e do solo presente na região, não sendo recomendado que tecnologias descentralizadas sejam empregadas

Os critérios de ocupação e tipo de solo são de natureza qualitativa, pois suas categorias correspondem às regiões nominalmente representadas. Cada um desses critérios representa uma contribuição igual, maior ou menor para o processo em análise, em comparação com os outros critérios (FALCÃO,2013).

Da mesma forma, uma classe contribui para o mesmo processo no mesmo nível, mais ou menos, que outras classes com os mesmos critérios. Portanto, cada camada desses mapas qualitativos é um subcritério ou um subitem, por exemplo, "vegetação densa" é um subcritério do critério de "ocupação do solo" e "luvisolos", um subcritério do critério "tipo de solo" (FALCÃO, 2013).

3.2.3.1 Critérios Relativos

a) Declividade

As classes de declividade da microbacia da Pedra Preta foram elaboradas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), coletado pelo satélite ALOS PALSAR. A grade de declividade é desenvolvida em porcentagem. Os valores foram classificados usando como base os dados da EMBRAPA (Tabela 10) acerca das declividades e suas categorias correspondentes, como apresentado abaixo:

Tabela 10 - Tipos de relevo e faixa de declividades

Classe de relevo	Declividade (%)
Plano	0 – 3
Suave Ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte Ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	> 75

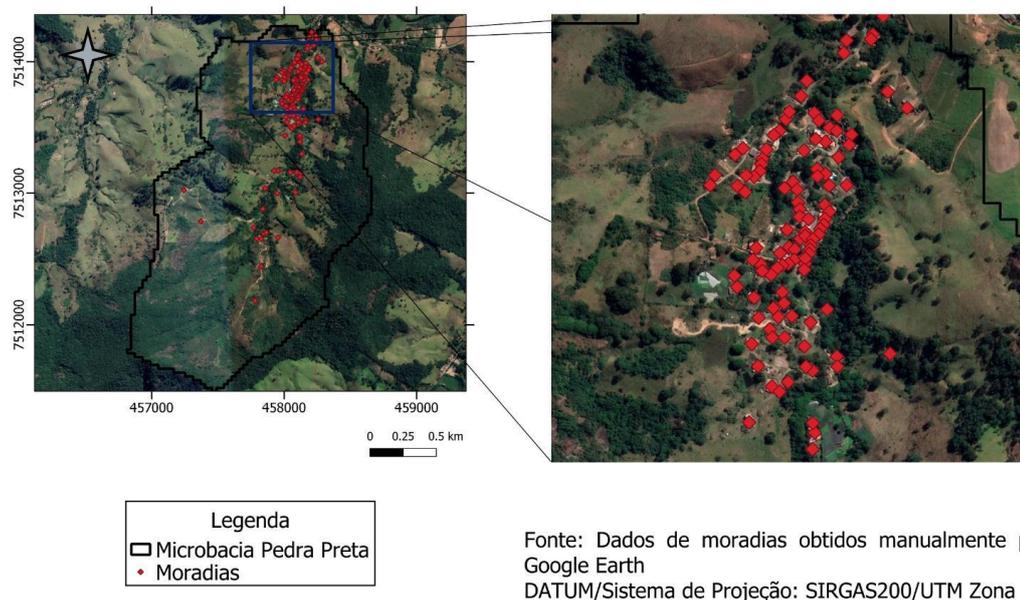
Fonte: EMBRAPA

b) Adensamento populacional

O mapa de localização das moradias da microbacia do Pedra Preta foi elaborado a partir de dados coletados manualmente por marcadores em cada residência da área estudada utilizando o *Google Earth* (Figura 17).

Figura 17 - Localização das moradias na Microbacia Pedra Preta

Mapa de localização de moradias na Microbacia Pedra Preta, Itajubá -MG



Fonte: Elaborado pela autora

Para utilizar esses dados em uma análise multicritério, foi feita uma estimativa da ocorrência ou influência de domicílios ao longo da bacia hidrográfica. Com o arquivo KML originado, usa-se o QGIS de forma a caracterizar-se a geometria dos pontos, utilizando-se a função de análise espacial Estimador de Densidade Kernel.

Seleciona-se como parâmetros 70 metros de raio e para o *Kernel shape* a opção Quártico. Do *raster* gerado, converte-se o formato do raster e modifica-se o Tipo de dado de saída para UInt16, o que fará com que os limites calculados para o raster sejam números inteiros. Para finalizar, realiza-se o processo de normalização, em que define-se pela Calculadora raster que os limites fiquem de 0 a 1, padronizando para a análise multicritério.

c) Uso e Ocupação do Solo

O mapa de classes de ocupação das terras da microbacia da Pedra Preta foi elaborado a partir da fusão das imagens do CBERS 4A com resolução espacial de 8 metros com a banda pancromática de resolução de 2 metros. Com a distribuição das classes temáticas (Vegetação Densa, Área Urbana e Pastagem em conjunto com Solo Exposto), como é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Classes de ocupação das terras

Vegetação Densa	áreas ocupadas por uma vegetação natural arbórea arbustiva densa, com árvores de médio porte, de adensamento muito alto e homogêneo, dificultando o deslocamento de pessoas e limitando a intensidade da ação antrópica, e que apresenta baixo uso agropecuário
Pastagens	áreas de vegetação aberta, inclusive com pequenas manchas de solo exposto; áreas de pasto nativo, recuperado nas épocas de chuva; áreas destinadas ao plantio de culturas agrícolas, como milho e feijão; áreas de plantio de palma;
Solo Exposto	áreas ocupadas pela agricultura de autoconsumo, no período das chuvas, e por atividades extensivas de pecuarização, no período da seca; áreas onde ocorrem erosões, principalmente laminar, e que apresentam um alto nível de risco à degradação; áreas antes destinadas ao plantio de culturas de autoconsumo e que se encontram abandonadas, com solo exposto; áreas antes destinadas ao plantio de palma, sem substituição de uso por outras culturas e sem pasto;

Fonte: Adaptado Falcão, 2013.

Para o desenvolvimento do mapa, temos como metodologia a classificação supervisionada com o tipo *Maximum Likelihood*. Este processo consiste em coleta de amostras para cada categoria desejada a ser investigada e representada, e o algoritmo do complemento permitido no QGIS, SCP, irá identificar os valores dos pixels e agrupá-los pela estatística a partir da amostra inserida. Previamente a esse processo, é agregada as bandas 1,2,3 e 4, obtidas pelo satélite CBERS 4A, mesclando-as e criando uma camada raster de composição colorida.

Foram coletadas ao total 40 amostras divididas para as categorias temáticas. Ainda com o uso do complemento SCP, é filtrado a aproximação dos pixels com o

comando de *Classification Sieve*, para auxiliar na conclusão da classificação supervisionada com menor margem de erro.

Posteriormente, para a parte da análise de multicritério os valores arbitrários referentes ao peso de importância de cada categoria são: 0,7 para Área Urbana, 0,49 para Pastagem/Solo Exposto e por fim 0,12 para Vegetação Densa. A camada é convertida para raster com o Valor burn-in da coluna referente a esses pesos. Deve-se observar que para esse tópico não há necessidade de normalização dado que os valores atribuídos já estão entre 0 e 1.

d) Tipos de Solos

As principais classes de solo e respectivas associações que compõem o mapa de solos predominantes na microbacia da Pedra Preta, segundo vetor disponibilizado pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, no portal virtual de dados para download, no qual contém divisões de todos os tipos de solos no território brasileiro, foi recortado pela camada referente a microbacia Pedra Preta, resultando que a área estudada apresente somente dois tipos de solo, sendo eles Argissolo e Latossolo. Para fator no multicritério o valor arbitrário determinado para cada tipo de solo é 0,5, sendo encerrado com a conversão para o formato raster (Falcão, 2013).

3.2.3.2 Normalização dos Critérios

Para combinações de mapas durante uma análise multicritério, os dados de cada mapa devem ser representados na mesma escala, portanto devem ser normalizados, para permitir uma análise comparativa de pixel por pixel.

Neste estudo, foi realizada uma normalização da faixa de valores no mapa de uso e ocupação do solo, tipo de solo, declividade e adensamento populacional para que fossem expressos na faixa de 0 a 1.

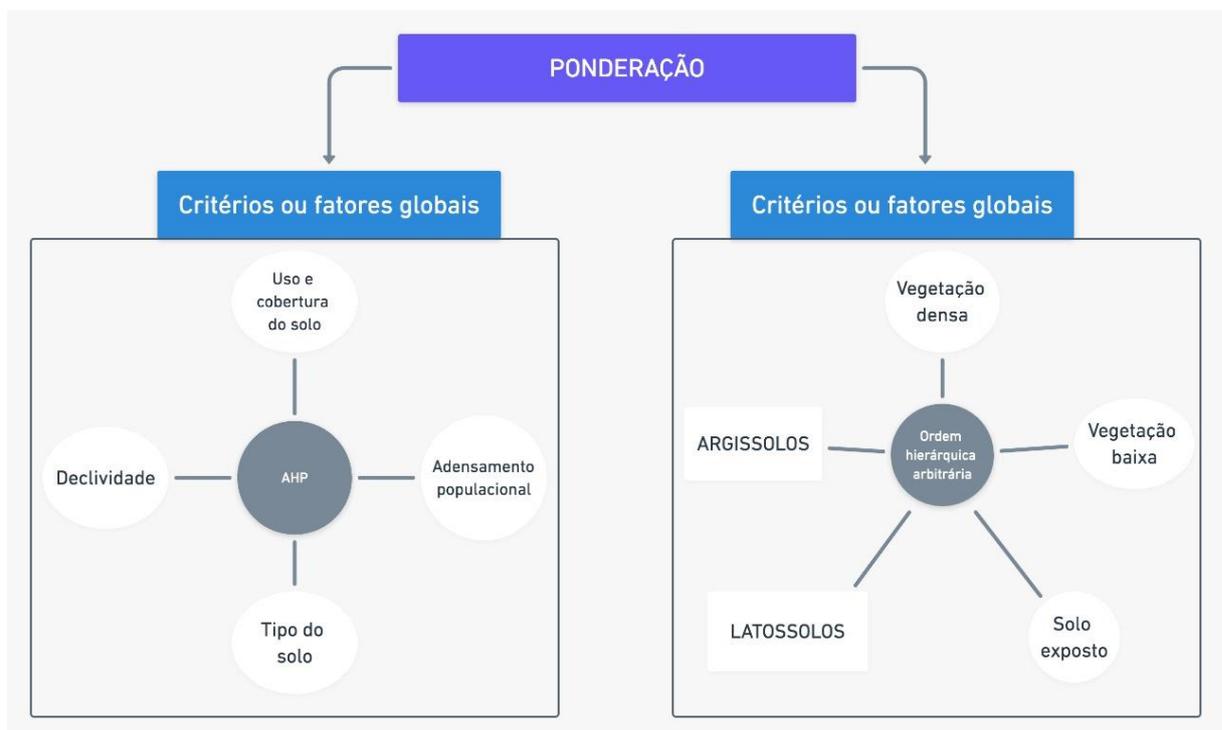
3.2.3.3 Ponderação dos critérios

Foi utilizada uma comparação de pares, seguindo a metodologia de Saaty (1980), Analytic Hierarchy Process (AHP). Esse método, segundo Ramos (2000), deve ser atribuído sempre que for necessário expressar as preferências de um grupo de tomadores de decisão.

As atribuições realizadas neste trabalho estão apresentadas na Figura 6, descritas da seguinte forma:

- Definir a importância relativa dos critérios gerais ou fatores relacionados ao processo a ser analisado (Uso e Cobertura do Solo, Tipo de Solo, Declividade e Moradias), atribuindo-lhes pesos, utilizando o método AHP;
- Definir a importância relativa dos subcritérios do critério qualitativo geral de Uso e Cobertura do Solo (Vegetação Densa, Solo Exposto/Pastagens, Área Urbana), utilizando ordem hierárquica arbitrária, com escala de valores de zero a 1;
- Definir a importância relativa entre os subcritérios qualitativo Tipo de Solo (Argissolos e Latossolos), utilizando ordem hierárquica arbitrária, com escala de valores de zero a 1.

Figura 18 - Ponderação de critérios ou fatores globais e de subcritérios ou subfatores



Fonte: Elaborado pela autora

Definiu-se a ordem de importância dos critérios, elaborando uma matriz quadrada com os valores resultantes do julgamento à ponderação de critérios e de subcritérios.

Ao final do preenchimento da matriz de comparação, foi verificada a razão de consistência, que deve ser menor que 0,1, indicadora da probabilidade de que as avaliações dessa matriz foram geradas aleatoriamente. Caso não se alcance este valor de consistência, o processo de avaliação deve ser retomado, reavaliar a ponderação e logo após, realizar um novo preenchimento da matriz.

Para identificação e leitura, as abrangências dos valores encontrados são divididas em cinco categorias, das quais o vermelho simboliza um nível “Alto” para o uso de tecnologia semi-coletiva, verde para “baixo” favorecendo a tecnologia individual, e o amarelo que é o intermédio dos tipos de tecnologias podendo ser melhor analisado com um olhar mais próximo de cada caso da região inserida, e por fim, as categorias transitórias entre as três principais explicitadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

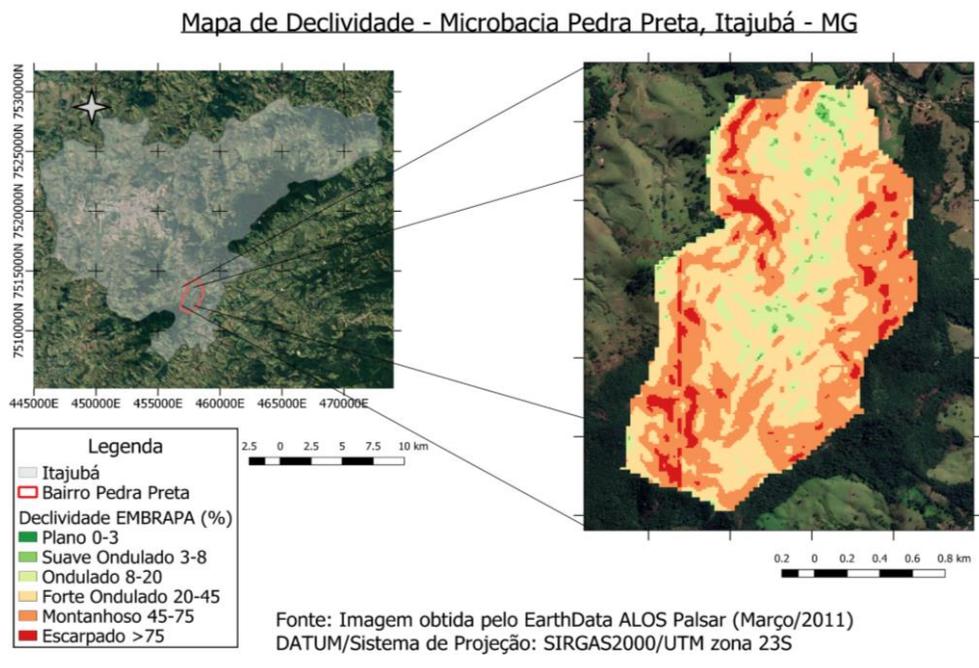
4.1 MAPAS BÁSICOS DE CRITÉRIOS

4.1.1 Mapa de Declividade

A Figura 19 representa o mapa temático das classes de declividade, onde a cor vermelha e laranja representam áreas mais elevadas dentro da microbacia, já a cor verde escura e clara, representam áreas com a declividade mais plana.

Nas encostas mais íngremes, é frequente a presença de fragmentos rochosos. Estes sedimentos são muito instáveis, estabilizados graças à cobertura arbórea (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, 2016).

Figura 19 - Mapa de declividade da Microbacia do bairro Pedra Preta



Fonte: Elaborado pela autora

Áreas mais íngremes podem oferecer maiores riscos à degradação e erosão do solo, sendo a declividade menor mais recomendada para instalação das tecnologias de tratamento, como o SAC e a BET.

4.1.2 Mapa de Uso e Cobertura do Solo

Os valores atribuídos às classes de ocupação do solo estão discriminados na Tabela 11.

Tabela 11 - Peso atribuído às classes de ocupação do solo

	Descrição	Peso
1	Vegetação Densa	0,120
2	Pastagem Solo	0,490
3	Área Urbana	0,700

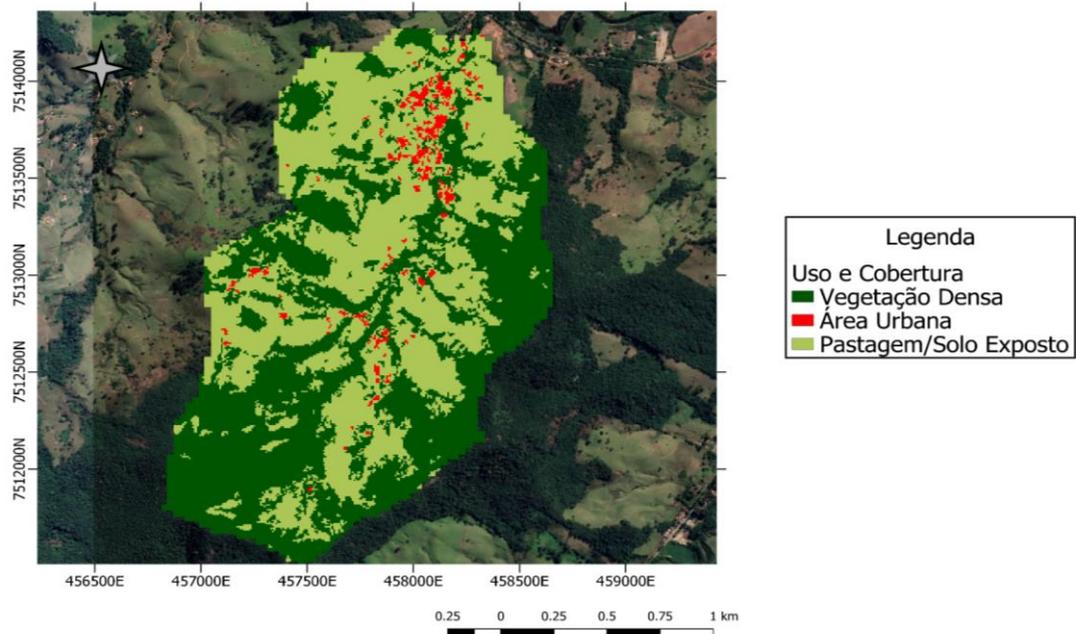
Fonte: Elaborada pela autora

Na Figura 20, a classe de Área Urbana é a que apresenta maior potencial de instalação de uma tecnologia semi-coletiva de tratamento de esgoto com peso (0,70), seguida pela classe de Pastagem/Solo (0,49). A classe menos indicada é a de Vegetação Densa com (0,12) devido a falta de residências nas proximidades.

A área urbana, que neste caso representa um aglomerado de casas na área rural, favorece os tipos de tratamento semi-coletivos, como as fossas sépticas e as bacias de evapotranspiração. As áreas de vegetação densa podem oferecer maior risco à degradação e erosão do solo, onde haveria uma maior dificuldade de manutenção e implementação de qualquer sistema de tratamento de esgoto, favorecendo o uso dos biodigestores.

Figura 20 - Mapa de Uso e Cobertura do solo na Microbacia Pedra Preta

Mapa uso e cobertura do solo na Microbacia Pedra Preta, Itajubá - MG



Fonte: Elaborada pela autora

4.1.3 Mapa de Solos

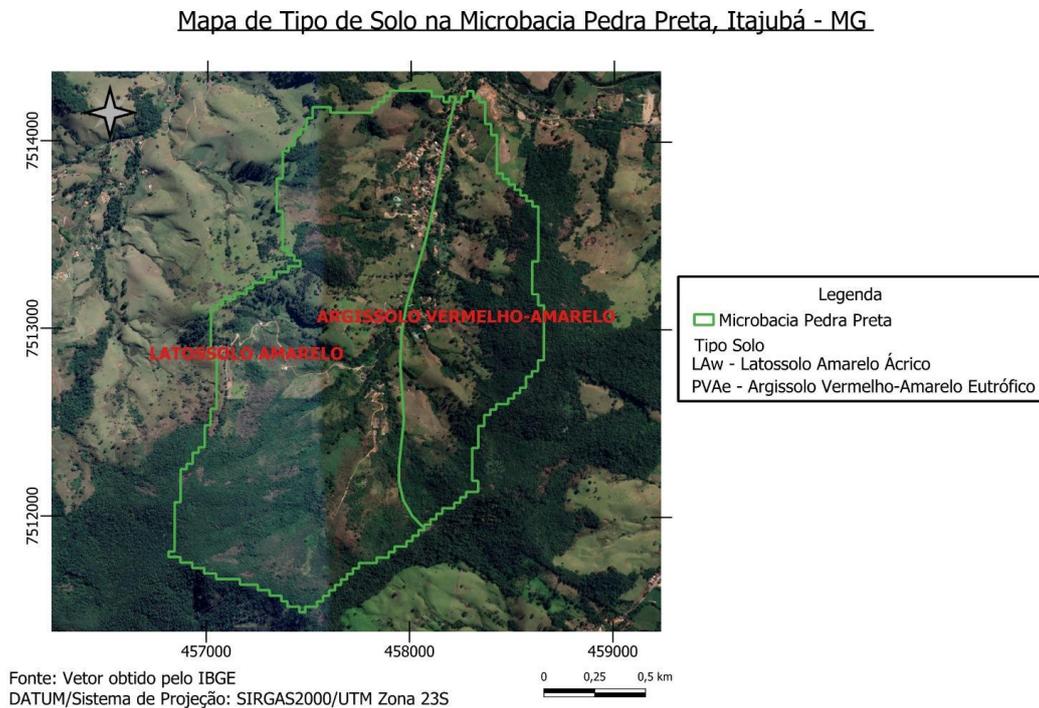
Os valores atribuídos às classes de solo com ocorrência na área da microbacia Pedra Preta estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores atribuídos às classes de solo

Ordem	km	Tipo de Solo	Risco
Argissolo	154,3132	Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico	0,500
Latossolo	672,4739	Latossolo Amarelo Ácrico	0,500

As classes de solos presentes na microbacia Pedra Preta não oferecem nenhum risco na implementação das tecnologias de tratamento de esgoto, portanto, receberam pesos iguais, no valor de 0,5. Na Figura 21 é representado como fica a divisão da microbacia.

Figura 21 - Mapa dos tipos de solo na Microbacia Pedra Preta



Fonte: Elaborado pela autora

4.1.4 Mapa de Adensamento Populacional

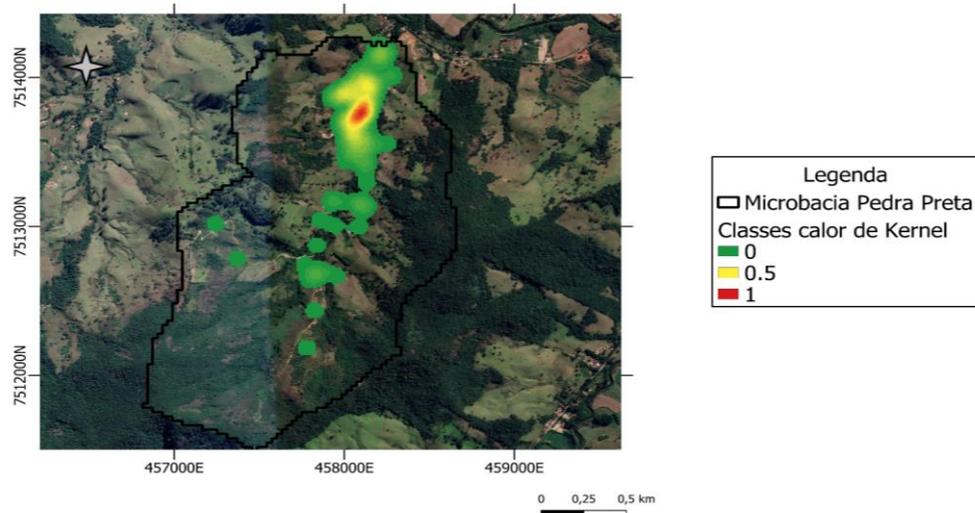
O total de pontos mapeados foi de 131 unidades, com 58 unidades localizadas na área interna e 73 unidades localizadas nas proximidades externas da microbacia Pedra Preta.

Na Figura 22, é apresentado o mapa temático com a localização das residências existentes na microbacia. Nas áreas com maior densidade populacional, visto que este atributo é feito na estimativa, observa-se uma cor mais escura, indicando valores de maior valor de pixels, indicando uma maior contribuição na produção de esgoto, segundo o enfoque multicritério.

Áreas com maior influência das moradias, favorecem tecnologias que sejam semi-coletivas como as fossas sépticas, lagoas e bacias de evapotranspiração, já os locais mais afastados favorecem o uso de biodigestores.

Figura 22 - Mapa de calor de Kernel de moradias na Microbacia Pedra Preta

Mapa de calor Kernel de moradias na Microbacia Pedra Preta, Itajubá - MG



Fonte: Dados de moradias obtidos manualmente pelo Google Earth
DATUM/Sistema de Projeção: SIRGAS2000/UTM Zona 23S

Fonte: Elaborado pela autora

Seguindo a metodologia AHP, definiu-se a seguinte ordem de importância dos critérios para o processo de escolha da melhor tecnologia de tratamento de esgoto.

- Primeira maior importância - Adensamento Populacional;
- Segunda maior importância – Uso e Cobertura do Solo;
- Terceira maior importância – Declividade;
- Quarta maior importância – Tipos de Solo.

A Tabela 13 ilustra as etapas realizadas na modelagem dos dados ambientais, com o algoritmo AHP.

Tabela 13 - Matriz de Comparação paritária dos critérios avaliados

	Ocupação do solo	Tipo de Solo	Declividade	Moradias
Uso e Cobertura do solo	1	5	7	8
Tipo de Solo	0,2	1	2	4
Declividade	0,142	0,5	1	2
Adensamento populacional	0,125	0,25	0,5	1

Fonte: Elaborada pela autora

Após o julgamento de importância relativa e preenchimento da matriz de comparação pareada, foi obtida uma razão de consistência de valor 0,042 estando de acordo com o que preconiza a metodologia de Saaty, ou seja, valor inferior a 0,1.

A matriz de processamento dos valores de importância relativa entre critérios, com razão de consistência aceitável, gerou os pesos de cada critério, a ser considerado na análise multicritério (Tabela 14).

Tabela 14 - Resultados da ponderação de critérios, a partir da matriz de comparação pareada

Critérios	Pesos
Uso e Cobertura	0,62
Tipo de Solo	0,21
Declividades	0,11
Adensamento populacional	0,06
TOTAL	1,00

Fonte: Elaborado pela autora

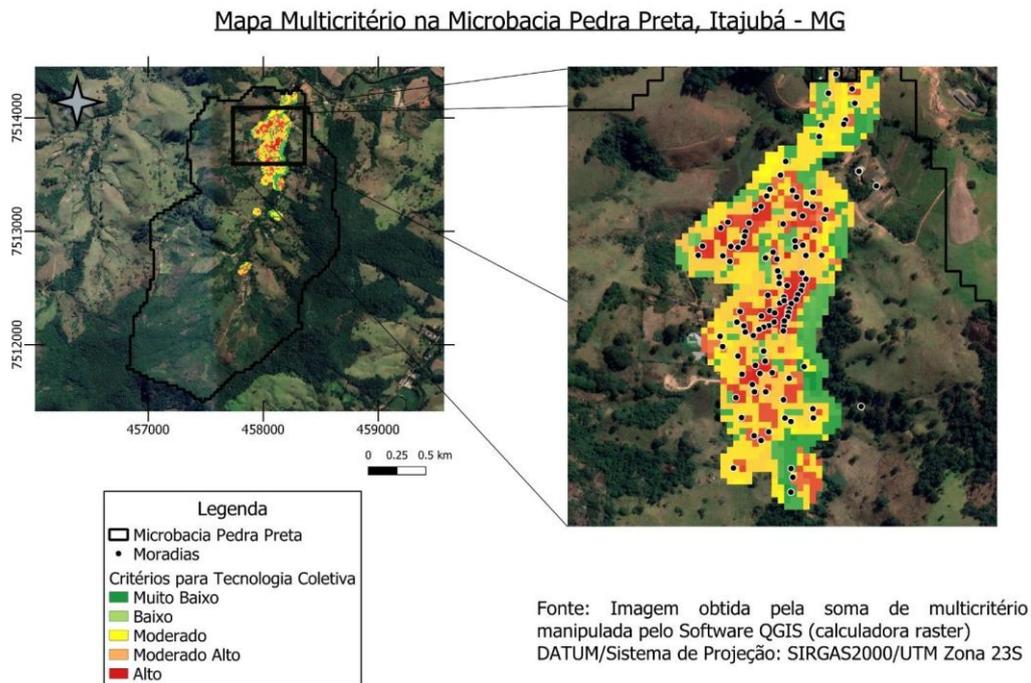
Com os dados apresentados na Tabela 12, observa-se uma grande participação neste processo do critério Uso e Cobertura do Solo, com 62%, seguido pela contribuição do critério Tipo de Solo (21%). Os critérios que participam com menores valores de ponderação são Declividade (11%) e Adensamento Populacional, com 6%.

4.2.1 Combinação Linear

A aplicação da Combinação Linear Ponderada gerou um plano de informação que corresponde ao mapa multicritério Pedra Preta, com valores apresentados em faixa de cores.

Na Figura 23 é representado o mapa final para determinar a escolha da tecnologia de tratamento adequada. Valores mais baixos da escala correspondem a tecnologias individuais, e valores mais altos, correspondem a implementação da rede coletora seguida de uma fossa séptica convencional.

Figura 23 - Mapa Multicritério na Microbacia Pedra Preta

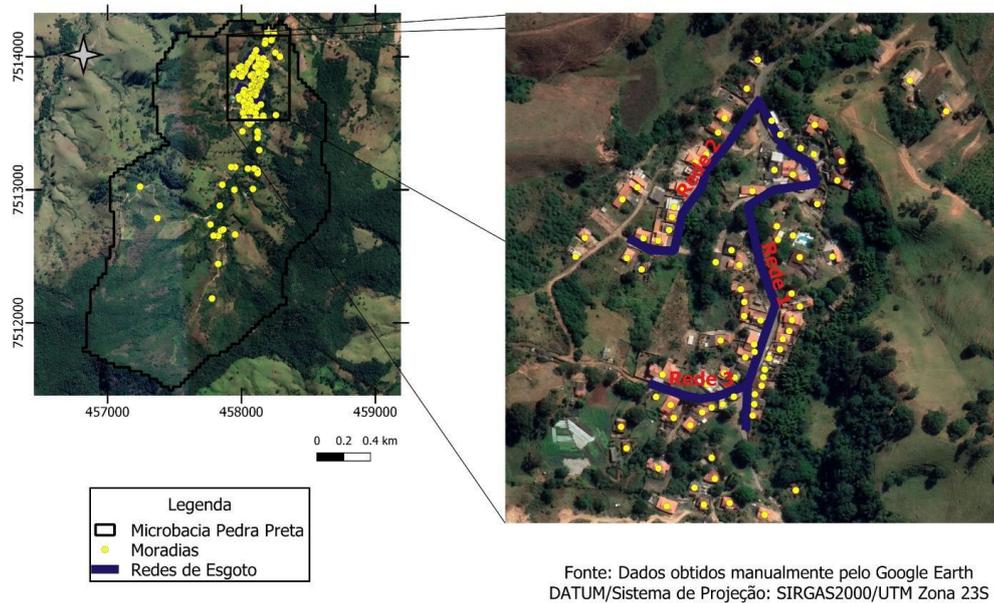


Fonte: Elaborado pela autora

De acordo com o mapa multicritério gerado, fez-se uma projeção das possíveis redes (Figura 24), onde houve maior incidência da cor vermelha, que representa as tecnologias semi-coletivas.

Figura 24 - Projeção das redes do bairro Pedra Preta

Mapa Localização Redes de Esgoto - Microbacia Pedra Preta, Itajubá - MG



Fonte: Elaborado pela autora

Na Tabela 15 é apresentada as características de cada uma das redes previstas.

Tabela 15 - Tronco coletor de esgoto para microbacia Pedra Preta

Rede	Tamanho (m)	Quantidade de casas
Rede 1	384	34
Rede 2	208	13
Rede 3	92,8	11

Fonte: Elaborado pela autora

Utilizando dados da Empresa de Obras Públicas (EMOP) 09/2021, levantou-se os custos para implementar as redes e as fossas sépticas no bairro Pedra Preta, como é representado nas Tabelas 16, 17 e 18.

Através dos custos levantados nesta dissertação, elaborou-se a Tabela 19 com as vantagens e desvantagens de cada tecnologia e os custos de implementação.

Tabela 16 - Custos para implementação da Rede 1

Item	Descrição do serviço	Unidade	Quantidade	V.Unit (R\$)	V. Total (R\$)
06.001.0243-0	Assentamento de tubulação PVC, com junta elástica, para coletor de esgotos, com diâmetro nominal de 150 mm, aterro e soca até a altura da geratriz superior do tubo, considerando o material da própria escavação, inclusive tubo e junta.	m	390	10,80	4212,00
06.272.0003-0	Tubo PVC, conforme ABNT 7362, para esgoto sanitário, com diâmetro nominal de 150 mm, inclusive anel de borracha, fornecimento	m	64	51,03	3265,92
06.085.0060-0	Embasamento para berço de tubulação de esgoto sanitário, feito em brita N3	m ³	16,38	138,93	2275,67
15.002.0633-0	Fossa séptica, de câmara única, tipo cilíndrica, de concreto pré-moldado, medindo 2000x2400mm, Fornecimento e colocação	un	2	2913,70	5827,4
15.002.0664-0	Filtros anaeróbio de anéis de concreto pré-moldado medindo 2000x2000, fornecimento e colocação	un	2	2788,76	5577,52
Total					21.158,51

Tabela 17 – Custos para implementação da Rede 2

Item	Descrição do serviço	Unidade	Quantidade	V.Unit (R\$)	V. Total (R\$)
06.001.0243-0	Assentamento de tubulação PVC, com junta elástica, para coletor de esgotos, com diâmetro nominal de 150 mm, aterro e soca até a altura da geratriz superior do tubo, considerando o material da própria escavação, inclusive tubo e junta.	m	210	10,80	2268,00
06.272.0003-0	Tubo PVC, conforme ABNT 7362, para esgoto sanitário, com diâmetro nominal de 150 mm, inclusive anel de borracha, fornecimento	m	35	51,03	1786,05
06.085.0060-0	Embasamento para berço de tubulação de esgoto sanitário, feito em brita N3	m ³	8,82	138,93	1225,37
15.002.0630-0	Fossa séptica, de câmara única, tipo cilíndrica, de concreto pré-moldado, medindo 2000x2000mm, Fornecimento e colocação	un	1	2913,70	2913,70
15.002.0664-0	Filtros anaeróbio de anéis de concreto pré-moldado medindo 2000x2000, fornecimento e colocação	un	1	2788,76	2788,76
Total					10.981,88

Tabela 18 - Custos para implementação da Rede 3

Item	Descrição do serviço	Unidade	Quantidade	V.Unit (R\$)	V. Total (R\$)
06.001.0243-0	Assentamento de tubulação PVC, com junta elástica, para coletor de esgotos, com diâmetro nominal de 150 mm, aterro e soca até a altura da geratriz superior do tubo, considerando o material da própria escavação, inclusive tubo e junta.	m	95	10,80	1026,00
06.272.0003-0	Tubo PVC, conforme ABNT 7362, para esgoto sanitário, com diâmetro nominal de 150 mm, inclusive anel de borracha, fornecimento	m	16	51,03	816,48
06.085.0060-0	Embasamento para berço de tubulação de esgoto sanitário, feito em brita N3	m ³	3,99	138,93	554,34
15.002.0630-0	Fossa séptica, de câmara única, tipo cilíndrica, de concreto pré-moldado, medindo 2000x2000mm, Fornecimento e colocação	un	1	2913,70	2913,70
15.002.0664-0	Filtros anaeróbio de anéis de concreto pré-moldado medindo 2000x2000, fornecimento e colocação	un	1	2788,76	2788,76
Total					8.099,28

Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA *et al.*, 2017)

Tabela 19 - Tecnologias de tratamento e custo de implementação

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens	Dimensão	Custo*	Referências Bibliográficas
Jardins Filtrantes – Wetlands (águas cinzas ou pós-tratamento de águas negras)	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil manutenção; - Tolerante à variação de cargas hidráulicas e de contaminantes; - Eficaz na remoção de nutrientes e patógenos; - Se integra à paisagem natural 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta demanda de área; - Susceptível à colmatação e salinização do solo; - Necessidade de manejo dos vegetais. 	10 m ²	R\$3478,68	Embrapa (2015) Dornelas (2008)
BET	<ul style="list-style-type: none"> - Não possui efluentes; - Aproveita integralmente a energia e nutrientes para a produção de alimentos; - Elemento de paisagismo; - Ausência de odores - Risco de exposição mínimo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de manejo dos vegetais; - Susceptível à colmatação; - Ainda pouco estudado no meio científico. 	4 m ²	R\$5.403,07	Galbiati (2009) Pamplona & Venturi (2004) SINAPI (2021)
Biodigestor Modificado Acqualimp (águas negras e cinzas)	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil instalação; - Manuseio seguro do lodo, que já está estabilizado; - Possibilidade de aproveitamento do efluente e do lodo na agricultura; 	<ul style="list-style-type: none"> - Produção de efluente com baixa qualidade visual; - Partida lenta 	1300 L 10~13 pessoas	R\$1500,00	Acqualimp (2017)

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens	Dimensão	Custo*	Referências Bibliográficas
Fossa Séptica Tradicional (águas negras e cinzas)	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil instalação; - Resiste às variações de efluente; - Não necessita de inóculo; 	<ul style="list-style-type: none"> - Depende de manutenção externa - Alto índice de falha nos projetos - Negligência dos usuários em sua manutenção - Baixa eficiência de remoção de nutrientes e patógenos. 	<ul style="list-style-type: none"> 2mx2,4m 2mx2m 2mx2m 	<ul style="list-style-type: none"> R\$21158,51 R\$10981,88 R\$8099,28 R\$40.239,67 	<ul style="list-style-type: none"> Nascimento & Castro (2005) Jordão & Pessoa (1995) EMOP (2021)

Fonte: Elaborado pela autora

Com isso, tem-se a Tabela 20, que apresenta o custo referente ao quantitativo de casas presentes no bairro.

Tabela 20 - Tecnologias de tratamento e custos de implementação

Tecnologia	Custo (unidade)	Quantidade de casas	Quantidade de tecnologias	Valor Total
Fossa séptica	R\$ 40.239,67	58	4	R\$40.239,67
Biodigestor	R\$ 1.500,00	17	17	R\$25.500,00
BET	R\$ 5.403,07	28	14	R\$75.642,98
Jardim Filtrante	R\$ 3.478,68	28	14	R\$48.701,52
Total		131		

5 CONCLUSÃO

O esgoto deve ser tratado para o bem de todos. A escolha da metodologia deve ser baseada em critérios técnicos, econômicos, ambientais, sociais e urbanísticos. Este trabalho buscou apresentar uma metodologia, que pode ser replicada, da escolha entre o tratamento de esgoto individual ou coletivo para áreas rurais.

Foi feita uma caracterização da microbacia rural, através da elaboração de diversos planos de informação como uso e cobertura do solo, declividade, tipo de solo e adensamento populacional.

Com relação a análise multicritério a escolha dos pesos a serem atribuídos a cada critério foi o ponto mais complexo deste item, pois não foram encontradas referências sobre este assunto específico. Dessa forma os pesos foram determinados a partir de uma análise baseada em inúmeros tentativas através de cálculos da matriz pareada. Sendo assim, (0,62) para uso e cobertura do solo, (0,21) para tipos de solo, (0,11) para declividade e (0,06) para adensamento populacional, são os pesos indicados para estudos relacionados a microbacias rurais.

Para as tecnologias semi-coletivas, a rede coletora seguida da fossa séptica, se mostrou mais interessante tecnicamente e financeiramente para o aglomerado de casas na zona rural por abastecer um maior número de casas de forma econômica. Além da facilidade de realizar a manutenção e a limpeza quando necessário.

Para as casas mais isoladas, é recomendado tecnologias descentralizadas unifamiliares. Sugere-se o biodigestor Acqualimp, onde não houver espaço para implementação, pelo seu baixo custo, facilidade de instalação e manutenção eficiente e segura. Onde houver maior área livre, bacias de evapotranspiração e jardins filtrantes atendem de forma objetiva as demandas de saneamento.

A área escolhida para estudo de caso está inserida em um programa com várias ações a serem implementadas pelo programa PROMANCIAIS. A partir dos resultados deste trabalho serão instalados biodigestores e bacias de

evapotranspiração. Estas serão acompanhadas ao longo do tempo podendo gerar trabalhos futuros.

Por fim, ressaltamos a importância da elaboração deste tipo de estudo com o objetivo de subsidiar um planejamento rural adequado, visando a melhoria das condições de saneamento e saúde pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. **Agência Nacional de Águas** – Novo Marco do Saneamento. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/ANA/> >. Acesso em: 02 maio de 2020.

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

Andrade, A. M.; Oliveira, L. A. D.; Rezende, A. A. P. **Metodologias participativas e saneamento rural na zona da mata de Minas Gerais**. In: Cadernos de Agroecologia. Anais do II SNEA, Vol. 12, N° 1, Jul. 2017.

ACQUALIMP, Manual de instalação biodigestor Acqualimp, 2017. Disponível em <<https://www.acqualimp.com/lps-downloads/manual-de-instalacao-biodigestor-acqualimp.pdf>> Acesso em: 19 de novembro de 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO-SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2017**, Brasília: SNS/MDR, 2019. 226 p.: il., 2019

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO. **SNIS Série Histórica**. Disponível em < Acesso em: 26 de janeiro de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO-SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto 2017**, Brasília: SNS/MDR, 2019. 226 p.: il., 2019

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: série histórica. Brasília, DF: Secretaria Nacional de Saneamento, atual. out. 2019a. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>.

BRASIL. Plano Nacional de Saneamento Básico: versão revisada. Brasília, DF: [Secretaria Nacional de Saneamento], 2019b. Disponível em: https://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Conselhos_Resolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf. Acesso em: 20 jun. 2020

BRASIL. Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Marco Legal do Saneamento Básico. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm>. Acesso em: 20 jul. 2020.

Bueno, D. A. C. 2017. Tratamento de esgotos por filtros anaeróbios operados com variados tempos de detenção hidráulica seguidos de filtros de areia. Dissertação de Mestrado. FEC/UNICAMP.

CARVALHO, G. S.; MINGOTI, S. A. **Manual do Usuário**: programas para realização da análise hierárquica. UFMG. Instituto de Ciências Exatas. 2005.

CASTRO, L. M. A. **Proposição de Metodologia para a Avaliação dos Efeitos da Urbanização nos Corpos de Água**. 2007. 297 f. Tese (Doutorado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí. **Diagnóstico das Nascentes da Microbacia Hidrográfica do Córrego Pedra Preta –Itajubá /MG**. 2016.

CRISPIM, Jefferson de Queiroz *et al.* ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO: UMA FORMA DE MELHORAR A QUALIDADE DE VIDA DO AGRICULTOR FAMILIAR. **Educação Ambiental em Ação**, Paraná, v. 76, n. , p. 1-9, 11 set. 2016. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2437>. Acesso em: 12 nov. 2021.

CRISPIM, Jefferson de Queiroz *et al.* Sistema de Tratamento de Esgoto modelo Bacia de Evapotranspiração (BET). **Cartilha Técnica de Tratamento de**

Efluentes Domésticos, Paraná, v. 1, n. 1, p. 1-28, 15 maio 2019. Disponível em: <https://campomourao.unespar.edu.br/editora/documentos/sistema-de-tratamento-de-esgoto-modelo-bacia-de-evapotranspiracao-bet>. Acesso em: 12 nov. 2021.

EMBRAPA. **Esgotamento Sanitário Rural**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-saneamento-basico-rural>. Acesso em: 11 nov. 2021.

FIGUEIREDO, Vânia Santos. **Environmental sanitation and the quality of water offered to the population of the city of ROMARIA - MG**. Thesis (Doctorate in Geography). Institute of Geography. Federal University of Uberlândia, IG /UFU. Uberlândia - MG, 193 f. 2021.

Fonseca, A. R. 2008. **Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil**. Dissertação (mestrado). Rio de Janeiro.

FUNASA. 2007. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento: orientações técnicas**. 3ª Edição. Brasília: Funasa

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações. Saneamento: base de dados: pesquisa Seis – 1ª rodada. Belo Horizonte: FJP, 2012. Disponível em: <http://http://novosite.fjp.mg.gov.br>

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações. Saneamento: base de dados: pesquisa Seis – 3ª rodada. Belo Horizonte: FJP, 2016. Disponível em: <http://novosite.fjp.mg.gov.br/saneamento/> . Acesso em: 8 nov. 2020.

Gikas, P.; Tchoubanoglous, G. 2009. **The role of satellite abd decentralized strategies in water resources management**. Journal of Envir. Management 90. Pgs 144- 152

GOMES L.F.A.M. **Teoria da Decisão**. São Paulo: Editora Thompson, 2007. 116p. (Coleção Debates em Administração). Bibliografia: p. 1-20. ISBN 85-221-0529-4.

Heller, L.; Rezende, S. 2013. **Planejamento em saneamento básico: aspectos teórico-metodológicos**. Fundação Vale. 21 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2000**. [Censo Demográfico: microdados]. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/administracao-publica-e-participacaopolitica/9663-censo-demografico-2000.html?=&t=microdados>. Acesso em: 20 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. [Censo Demográfico: microdados]. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/administracao-publica-e-participacaopolitica/9663-censo-demografico-2000.html?=&t=microdados>. Acesso em: 20 dez. 2020

Kiker, G. A.; Bridges, T. S.; Varghese, A; Seager, T. P.; Linkov, I. **Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental. Decision Making. Integrated** Environmental Assessment and Management, v. 1, n. 2, p. 95-108, 2005.

Landau, E. C.; Moura, L.; Luz, A. V. 2016. **Capítulo 4. Esgotamento Sanitário nos Domicílios Urbanos e Rurais do Brasil em 2010**. In: Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010: domicílios urbanos e rurais. Landau, E. C.; Moura, L. (org). Brasília, DF : Embrapa. 975 p.

MARANGON, B.B; PEREIRA, A.S.A de P .**Projeto de sistema de esgotamento sanitário para clube de lazer na zona rural do município de Raul Soares**.2018.76p.Trabalho de Conclusão de Curso(Engenharia Ambiental)-Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Martinetti, T. H. 2015. **Análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para habitações unifamiliares**. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 310 p.

Metcalf e Eddy. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. (org). 4ª ed. New York: McGraw Hill-USA. 1819p.

MINAS GERAIS. Secretaria de Planejamento e Gestão. **Edital de licitação**: concorrência nº 1501560 - 68/2016. Contratação de serviço de pesquisa para elaboração do Plano Estadual de Saneamento Básico no Estado de Minas Gerais (PESB-MG). Belo Horizonte: SEPLAG, 2016. 104 p. Disponível em: <http://www.compras.mg.gov.br/images/stories/arquivoslicitacoes/2017/SEPLAG/16.02.2017/edital-concorrencia-pesb-068.2016-secir.arsae.seplag-.pdf> .

MINAS GERAIS. **Lei Estadual nº 11.720**, de 28 de dezembro de 1994. Dispõe Sobre a Política Estadual de Saneamento Básico e dá outras Providências. Minas Gerais, MG. Disponível em: Acesso em 28 novembro de 2021.

Minas Gerais. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Panorama de abastecimento de água e esgotamento sanitário 2021 / Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. --- Belo Horizonte: Semad, 2021. 106 p.: il

OLIVEIRA, Thaíssa Jucá Jardim *et al.* CONCEITOS E TECNOLOGIAS PARA O MANEJO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM PEQUENAS COMUNIDADES RURAIS. In: CONGRESSO ABES/ FENASAN, 29., 2017, São Paulo: Abes - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017. p. 1-15. Disponível em: <https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2018/11/II-439.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2021.

OLIVEIRA, Carlos Roberto de; JEREZ, Daniela Malheiros; GUREVICH, Eduardo Isaías; OLIVEIRA, Gustavo Justino de; OLIVEIRA, José Carlos de; FERREIRA, Kaline; MACHADO, Maria Luiza; SOUZA, Mariana Campos de; PINHEIRO, Patricia Regina; OLIVEIRA, Raul Miguel Freitas de. **Novo Marco do Saneamento no Brasil**. Indaiatuba/Sp: Foco, 2021. 216 p.

OLSON DL. 2001. Comparison of three multicriteria methods to predict known outcomes. *European Journal of Operational Research*, **130**(3): 576-587

PASSOS, A. C. **Avaliação Multicritério de Material de Emprego Militar**. 2002. 79f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas) – Faculdades Ibmec, Rio de Janeiro.

PEREIRA, João Vicente *et al.* Apoio à decisão na prevenção de acidentes de trânsito: uma aplicação do método AHP e PROMETHEE. **Singular**: Engenharia, Tecnologia e Gestão, Distrito Federal, v. 2019, n. 01, p. 36-47, 01 fev. 2019.

PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA – AHP – COMO AUXÍLIO NA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIEDADE (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 23, p. 4-26, 2012. DOI: 10.7154/RDG.2012.0023.0001. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47203>. Acesso em: 17 maio. 2021.

PNSR. 2018 b. **Capítulo 4: Análise situacional**. Consulta pública Programa Nacional de Saneamento Rural. Disponível em: <<http://pnsr.desa.ufmg.br/consulta/>> PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAJUBÁ. Plano Diretor. Disponível em: <http://www.itajuba.mg.gov.br/secretariaspmi/semup/plano-diretor//> Acesso em: 30 abril de 2020

RODRIGUEZ, D; COSTA, H; CARMO, L. **Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: Mapeamento da produção em**

periódicos publicados no Brasil. Gestão e Produção, São Carlos, v. 20, n. 1, p. 134-146, 2013.

RODRIGUES, A. L. A; MORALES, C. A. S. **Saneamento Básico: Estudo De Caso De Propriedades Rurais Do Município De Santa Margarida Do Sul.** AGRARIAN ACADEMY: Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 6, n. 12, p. 108-119, dez./2019. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2019B/saneamento.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2021.

SAATY, T. L. **How to make a decision:** the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, v. 48, 1990. pp. 9-26.

SAATY, R. W. The Analytic Hierarchy Process - What it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SOUZA, C. M. N. Relação Saneamento-Saúde-Ambiente: os discursos preventivista e da promoção da saúde. Saúde Soc., v.16, n.3, p.125- 137, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-12902007000300012.

SOUZA, Elza Maria de; GRUNDY, Emily. Promoção de Saúde, epidemiologia social e capital social : inter-relações e perspectivas para a saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.20, n.5, p 1354-1360,set/out.2004

SILVA, C. A. da; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, INPE, 2009. pp. 5435-5442.

SILVA, Diva Martins Rosa e. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais.** 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Industrial, Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Cap. 3.

Teixeira, J. B. 2014. **Saneamento Rural no Brasil**. In: Panorama do saneamento básico no Brasil. Volume 7: Cadernos temáticos para o panorama do saneamento básico no Brasil. Sonaly Cristina Rezende (org). Ministério das Cidades: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília.

Tonetti, A. L. et al. 2018. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP. Biblioteca/Unicamp. 153 p.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de Esgotos Domésticos em Comunidades Isoladas. Referencial para a escolha de soluções. 1ª Edição Outubro 2018**. Biblioteca Unicamp, Campinas-SP. 2018. 153 Páginas
USEPA. 2002. **Onsite Wastewater Treatment Systems Manual**. Office of Water/ Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency. Washington, DC.

TORRES, C. J. F. **Desenvolvimento Metodológico para Apoio à Tomada de Decisão sobre o Programa de Efetivação do Enquadramento dos Corpos D'Água**. 2014. 176 f. Dissertação (Mestrado Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 2014).

VON SPERLING SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 4ª edição revisada. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014