



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais



DISSERTAÇÃO

AVALIAÇÃO ECONÔMICA E SOCIAL DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Jéssica Vieira

CAMPO GRANDE – MS

Abril 2024

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

Jéssica Vieira

**AVALIAÇÃO ECONÔMICA E SOCIAL DE SISTEMAS
DESCENTRALIZADOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

Dissertação apresentada visando à obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, área de concentração: *Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos*.

Orientador: Prof. Dra. Paula Loureiro Paulo

Co-orientador: Dra. Priscila de Moraes Lima

Aprovado em:

Banca Examinadora

Dra. Paula Loureiro Paulo
Presidente

Dra. Karina Guedes Cubas do Amaral

Dr. Fernando Jorge Correa Magalhães Filho

Campo Grande, MS
Abril 2024

AGRADECIMENTOS

Encerro mais uma grande etapa da minha vida, mas não atravessei esta jornada sozinha. Por isso, preciso agradecer algumas pessoas e entidades que tiveram um papel fundamental para que eu pudesse alcançar o tão sonhado título de Mestre em Tecnologias Ambientais. Deixo aqui registrado os meus agradecimentos:

Primeiramente, a Deus pelo dom da vida e o discernimento por me guiar sempre pelo melhor caminho.

Aos meus Pais e grandes incentivadores, José Tadeu Sampaio Vieira e Maria Helena Pereira Vieira, por não medirem esforços para me proporcionar educação de qualidade e por sempre apoiarem incondicionalmente as minhas decisões, sempre com muito amor e cuidado.

Ao meu companheiro de vida, Diego Fernando Perinasso Candido, por toda paciência, apoio, empatia e principalmente pelas palavras de incentivo nos momentos difíceis. Ter você ao meu lado foi essencial.

À Professora Doutora Paula Loureiro Paulo, pela oportunidade e confiança depositada durante todo o período de desenvolvimento da tese. Obrigada pela orientação, compreensão e auxílio prestado durante esta caminhada.

À minha paciente Coorientadora Doutora Priscila de Moraes Lima, pela disponibilidade, discussões e ideias sugeridas, que foram fundamentais para a construção deste trabalho.

Ao meus professores da graduação Dr. Guilherme Henrique Cavazzana e Dr. Fernando Jorge Correa Magalhães Filho, por todo incentivo e provocação para ingressar em uma pós-graduação.

Aos meus colegas que tornaram a trajetória do mestrado mais alegre e colaborativa.

Aos membros da banca Dra. Karina Guedes Cubas do Amaral, Dr. Fernando Jorge Correa Magalhães Filho pelas contribuições pertinentes para o enriquecimento do trabalho.

À Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) por proporcionar todo o estudo e aprendizagem adquiridos no mestrado.

À todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão deste trabalho, meu muito obrigada.

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro, por meio de bolsa, do Projeto Resíduos Sólidos: Disposição Legal como parte do Convênio de Cooperação Técnica e Científica celebrado entre o Ministério Público de Mato Grosso do Sul (MPMS) e a Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul (UEMS) especificado pelo Termo de Convênio n. 1076/2020-UEMS/MPMS.

RESUMO

Os sistemas de tratamento de esgoto descentralizados surgem como uma solução à busca da universalização do saneamento básico. Existe uma diversidade de tecnologias de tratamento descentralizado de águas residuárias disponíveis e capazes de cumprir os padrões de lançamento e/ou reuso, quando existentes, e fornecer serviços adequados e benefícios ao meio ambiente. No entanto, escolher a alternativa de esgotamento sanitário mais sustentável é um desafio. A avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) e Análise do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) são ferramentas que podem auxiliar na tomada de decisão quanto a opção mais adequada de um conjunto de tecnologias de tratamento para um determinado cenário. Neste contexto, o presente trabalho avaliou de forma comparativa, a partir de ACCV e ACV-S, nove cenários com diferentes configurações de sistemas de tratamento descentralizados para residências unifamiliares em áreas periurbanas no Brasil. Os nove cenários avaliados representaram diferentes práticas de gestão de águas residuárias, com o lançamento direto no solo, destinação à fossa rudimentar, tanque séptico e sumidouro e para a rede de esgoto sanitário. Tecnologias com separação na fonte para recuperação de água, nutrientes e matéria orgânica também foram consideradas, como o tanque de evapotranspiração (TEvap), para água proveniente da bacia sanitária (água escura) e sanitário seco compostável (fezes), *wetlands* construídos para água cinza e tanque de armazenamento para água amarela (urina). Foi elencado um grupo de indicadores econômicos: custo de construção (CAPEX), custo de operação e manutenção (OPEX), custo total (CT) e valor presente líquido (VPL) e um grupo de indicadores sociais: saúde e segurança do trabalhador; mão de obra; saúde e segurança do usuário; monetização; condição de vida segura e saudável e desenvolvimento econômica, divididos em três *stakeholders* (trabalhadores, usuário e comunidade). Na análise dos impactos sociais e econômicos dos cenários propostos por meio da ACV-S e da ACCV, os cenários com melhor desempenho na sustentabilidade econômica e social, foi o cenário com a configuração EvaTAC para o tratamento de água cinza e posterior reuso e TEvap para o tratamento de água escura, situando-se em primeiro lugar nas duas dimensões. Galgado principalmente pelo reuso da água cinza, se comparado com o cenário que possui o mesmo sistema de tratamento, mas quando não se reusa a água cinza. Cenários com a fossa rudimentar lograram um baixo desempenho na dimensão social e intermediários na dimensão econômica, devido a pequena quantidade de material utilizado na implantação e operação. Os resultados da aplicação da metodologia contribuem para a reflexão sobre os cenários e as tecnologias descentralizadas de esgotamento sanitário que podem ser empregadas em áreas periurbanas no Brasil por uma visão econômica e social, aprimorando a tomada de decisão.

Palavras-chave: Impactos econômicos, impactos sociais, esgotamento sustentável, reaproveitamento.

ABSTRACT

Decentralized sewage treatment systems emerge as a solution to the search for universal basic sanitation. There is a diversity of decentralized wastewater treatment technologies available and capable of complying with release and/or reuse standards, when existing, and providing adequate services and benefits to the environment. However, choosing the most sustainable sewage alternative is a challenge. Social Life Cycle Assessment (ACV-S) and Life Cycle Cost Analysis (ACCV) are tools that can assist in decision-making regarding the most appropriate option for a set of treatment technologies for a given scenario. In this context, the present work comparatively evaluated, based on ACCV and ACV-S, nine scenarios with different configurations of decentralized treatment systems for single-family homes in peri-urban areas in Brazil. The nine scenarios evaluated represented different wastewater management practices, with direct discharge into the ground, disposal in rudimentary septic tanks, septic tanks and sinks, and in the sanitary sewage network. Technologies with source separation for recovery of water, nutrients and organic matter were also considered, such as the evapotranspiration tank (TEvap), for water from the toilet (dark water) and dry compostable toilet (feces), wetlands built for gray water and storage tank for yellow water (urine). A group of economic indicators was listed: construction cost (CAPEX), operation and maintenance cost (OPEX), total cost (TC) and net present value (NPV) and a group of social indicators: worker health and safety; labor; user health and safety; monetization; safe and healthy living conditions and economic development, divided into three stakeholders (workers, user and community). In the analysis of the social and economic impacts of the scenarios proposed through ACV-S and ACCV, the scenarios with the best performance in economic and social sustainability were the scenario with the EvaTAC configuration for gray water treatment and subsequent reuse and TEvap for the treatment of dark water, ranking first in both dimensions. Increased mainly by the reuse of gray water, compared to the scenario that has the same treatment system, but when gray water is not reused. Scenarios with a rudimentary septic tank achieved low performance in the social dimension and intermediate in the economic dimension, due to the small amount of material used in implementation and operation. The results of applying the methodology contribute to reflection on scenarios and decentralized sewage technologies that can be used in peri-urban areas in Brazil from an economic and social perspective, improving decision-making.

Keywords: Economic impacts, social impacts, sustainable depletion, reuse.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	x
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1. Saneamento Básico	15
3.1.1. Esgotamento Sanitário.....	16
3.2. Tratamento de Esgoto Descentralizado	17
3.2.1. Fossa Rudimentar	20
3.2.2. Tanque Séptico seguido de Sumidouro	20
3.2.3. Tanque de Evapotranspiração e Tratamento de Água Cinza - EvaTAC	21
3.2.4. Tanque de Evapotranspiração - TEvap.....	22
3.2.5. Sanitário Seco Compostável.....	23
3.2.6. Tanque de Armazenamento de Água Amarela - Urina	24
3.3. Sustentabilidade	25
3.3.1. Sustentabilidade Aplicada a Sistemas de Esgotamento Sanitário	25
3.3.2. Dimensão Econômica	26
3.3.3. Dimensão Social	27
3.3.4. Método multicritério de tomada de decisão	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1. Cenários e dimensionamento das tecnologias avaliadas.....	30
4.1.1. Cenário 1A.....	31
4.1.2. Cenário 1B.....	31
4.1.3. Cenário 1C.....	32
4.1.4. Cenário 2A.....	33
4.1.5. Cenário 2B.....	34
4.1.6. Cenário 3A.....	35
4.1.7. Cenário 3B.....	36
4.1.8. Cenário 3C.....	36
4.1.9. Cenário 3D.....	36
4.2. Análise do Custo do Ciclo de Vida – ACCV.....	37
4.3. Avaliação do Ciclo de Vida Social - ACV-S.....	40

4.4. Sustentabilidade econômica e social.....	42
5. RESULTADOS	44
5.1. Dimensão Econômica	44
5.1.1. CAPEX	44
5.1.2. OPEX e CT.....	52
5.1.3. VPL.....	59
5.2. Dimensão Social	60
5.2.1. Trabalhadores	60
5.2.2. Consumidores “usuários”.....	62
5.2.3. Comunidade e sociedade (entorno imediato/vizinhança).....	64
5.3. Sustentabilidade Econômica e Social	67
5.4. Avaliação Ambiental	68
6. DISCUSSÃO	70
6.1. Avaliação Econômica (ACCV)	70
6.2. Avaliação Social (ACV-S)	72
6.3. Sustentabilidade Econômica e Social	73
7. CONCLUSÃO.....	74
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Caracterização das águas residuárias residenciais, seus possíveis tratamentos e reuso.	19
Figura 02: Fossa rudimentar	20
Figura 03: Tanque séptico seguido de sumidouro	21
Figura 04: O sistema combinado. O efluente entrando no AnC, passando pelo meio filtrante no CEvaT e vai para o SSHF-CW para formar o sistema combinado.	22
Figura 05: Vista em corte transversal do tanque de evapotranspiração (TEvap) mostrando as diferentes camadas de substrato e a câmara de recepção anaeróbia (AnC).....	23
Figura 06: Vista em corte transversal do Sanitário Seco Comportável,	24
Figura 07: Bacia Sanitária com separação de urina e fezes.....	24
Figura 08: Fases da ACV.	26
Figura 09: Cenários com diferentes configurações de sistema de tratamento descentralizados unifamiliares.	30
Figura 10: Estrutura hierárquica do problema. Custo de implantação (CAPEX); Custo de operação (OPEX); Valor presente líquido (VPL); Custo total (CT).	43
Figura 11: Resultado com todos os indicadores sociais compilados.....	66
Figura 12: Resultado com todos os indicadores sociais compilados.....	67
Figura 13: Resultado final com todos os impactos sociais, econômicos e ambientais.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Cenários de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto avaliadas	37
Tabela 02: Resumo do custo de implantação de cada tecnologia.....	38
Tabela 03: Resumo do custo de operação e manutenção de cada tecnologia.....	39
Tabela 04: Conjunto de indicadores e critérios sociais.	40
Tabela 05: Pontuação pertinente aos critérios dos indicadores sociais.	42
Tabela 06: Escala de cores utilizada para agrupar os resultados da ACV-S.....	42
Tabela 7: Cenário 1A Fossa rudimentar e 1B Fossa rudimentar + disposição no solo.	45
Tabela 8: Cenário 1C Fossa séptica seguida de sumidouro.	45
Tabela 9: Cenário 2A Fossa séptica + EvaTAC sem reúso de água cinza.	45
Tabela 10: Cenário 2B EvaTAC + Tevap.	46
Tabela 11: Cenário 3A Fossa séptica + EvaTAC + Tanque de Urina.....	47
Tabela 12: Cenário 3B EvaTAC + Tevap + Tanque de urina	48
Tabela 13: Cenário 3C ETE + EvaTAC + Tanque de urina.....	49
Tabela 14: Cenário 3D EvaTAC + Banheiro seco + Tanque de urina	50
Tabela 15: CAPEX de todos os cenários.....	51
Tabela 16: OPEX e CT do cenário 1A	52
Tabela 17: OPEX e CT do cenário 1B	52
Tabela 18: OPEX e CT do cenário 1C	52
Tabela 19: OPEX e CT do cenário 2A (sem reúso de água cinza).....	52
Tabela 20: OPEX e CT do cenário 2B	53
Tabela 21: OPEX e CT do cenário 3A	53
Tabela 22: OPEX e CT do cenário 3B	54
Tabela 23: OPEX e CT do cenário 3C	54
Tabela 24: OPEX e CT do cenário 3D	55
Tabela 25: OPEX de todos os cenários.	55
Tabela 26: CT de todos os cenários.....	57
Tabela 27: Custo total considerando a água e o adubo que vai deixar de gastar reutilizando os recursos.....	58
Tabela 28: Fluxo de caixa positivo considerando água de reúso e adubo.	59
Tabela 29: VPL com taxa de 2%	59
Tabela 30: VPL com taxa de 14,25%	59
Tabela 31: Saúde e Segurança do Trabalhador	60
Tabela 32: Mão de obra.....	61
Tabela 33: Saúde e segurança do usuário	62
Tabela 34: Monetização.....	63
Tabela 35: Condição de vida segura e saudável	64
Tabela 36: Desenvolvimento econômico	65
Tabela 37: Resultado final dos indicadores sociais.....	67
Tabela 38: Resultado final dos impactos ambientais	68

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACV-S	Avaliação do Ciclo de Vida Social
AHP	Analytic Hierarchy Process (Método Analítico Hierárquico)
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASCV	Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida
BD	Banco de dados
CAPEX	Capital Expendure (Custo de Construção)
CCV	Custos do Ciclo de Vida
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Custo total
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IWA	<i>International Water Association</i>
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
ONG	Organização Não Governamental
OPEX	Operational Expendure (Custo de Operação e Manutenção)
SA8000	<i>Social Accountability 8000</i>
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SuSanA	Aliança de Saneamento Sustentável
TEvap	Tanque de evapotranspiração
UF	Unidade Funcional
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
VPL	Valor presente líquido
WC	<i>Wetlands</i> Construídos

1. INTRODUÇÃO

Em 2010 o acesso à água potável e saneamento foi reconhecido pela Assembleia Geral da ONU como um direito humano fundamental para a redução da pobreza, melhoria da qualidade de vida, crescimento econômico e sustentabilidade ambiental (ONU, 2010). No entanto, 46% da população mundial não tem acesso aos serviços de saneamento básico gerenciados com segurança, e apenas cerca de 20% do esgoto gerado globalmente recebe algum tipo de tratamento (OMS/Unicef, 2021; ONU 2017).

Similarmente ao cenário mundial, no Brasil apenas 62,5% da população total do país é atendida com rede coletora de esgoto (rede geral ou pluvial) e 49,0 milhões de pessoas ainda usavam soluções de esgotamento sanitário precárias. (IBGE, 2022). A Lei nº 14.026/2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, expõe que os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento básico, deverão definir metas de universalização que garantam o atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033.

Para alcançar metas tão desafiadoras, somente as infraestruturas convencionais de tratamento de esgoto centralizados não são capazes de levar a universalização deste serviço. Deste modo, novas abordagens para o fornecimento de sistemas de tratamento são necessárias (Bieker *et al.*, 2010), principalmente para áreas rurais, periurbanas, comunidades afastadas, de baixa densidade demográfica e de difícil acesso a redes de esgoto (Massoud *et al.*, 2009). Sendo assim, os sistemas de tratamento descentralizados são vistos como uma solução na busca da universalização do serviço de esgotamento sanitário e um meio para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

A Aliança de Saneamento Sustentável – SuSanA, define que o objetivo principal de um sistema de saneamento é proteger e promover a saúde humana, assegurar um ambiente saudável e anular o ciclo de disseminação de doenças. Já um sistema de saneamento para ser considerado sustentável deve ser economicamente viável, socialmente aceitável, técnica e institucionalmente apropriado, enquanto protege o meio ambiente, os recursos naturais e a saúde humana (SuSanA, 2017).

Neste sentido, o desenvolvimento científico e tecnológico abre caminhos para vários processos de tratamento capazes de cumprir os padrões de lançamento, quando existentes, e de garantir a recuperação de recursos e a manutenção da qualidade do meio ambiente. Contudo, a pura disponibilidade de uma tecnologia não é por si só suficiente, os sistemas devem ser baseados no contexto da tecnologia social, como forma de inclusão social e economicamente

sustentável, apropriado às condições locais de forma acessível (Dagnino, 2014; Oliveira; Von Sperling, 2011).

Na literatura encontra-se facilmente publicações com Avaliações Ambientais do Ciclo de Vida de sistemas de tratamento de esgoto (Rebello *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2023; Lutterbeck *et al.*, 2017; Corominas *et al.*, 2020). No entanto, trabalhos que abordem de uma forma mais holística, voltada para sustentabilidade econômica e social de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados são limitados devido aos desafios associados à elaboração de avaliações social do ciclo de vida e do custo do ciclo de vida de forma conjunta, buscando uma alternativa economicamente viável e socialmente aceita.

Dessa forma, o desafio de propor um grupo de indicadores para analisar a sustentabilidade econômica e um grupo de impactos sociais de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados envolve a necessidade de preencher a lacuna entre os conceitos teóricos e as medidas práticas além da necessidade de considerar todos os aspectos do ponto de vista da sustentabilidade econômica e social.

Neste contexto, em decorrência da necessidade de sistemas adequados de esgotamento sanitário para as áreas não abrangidas pelo sistema centralizado e da proteção ao meio ambiente, o presente trabalho objetiva avaliar comparativamente, nove cenários de tratamento de esgoto descentralizado, a partir de uma análise do Custo do Ciclo de Vida e Avaliação do Ciclo de Vida Social, que representaram diferentes práticas de gestão de águas residuárias, como lançamento direto no solo, fossa rudimentar, tanque séptico e sumidouro, sistema de esgoto sanitário público, tanque de evapotranspiração (TEvap), sanitário seco compostável, *wetlands* construídos (EvaTAC) e tanque de armazenamento para água amarela (urina). Os cenários abrangem desde a coleta de águas residuárias até seu tratamento e disposição ou até a recuperação de recursos.

Para facilitar a escolha da tecnologia de tratamento de esgoto descentralizado mais adequada, considerando critérios econômicos e sociais, esta pesquisa oferece uma avaliação holística. O objetivo é fornecer uma interpretação acessível para partes interessadas e tomadores de decisão, abordando um problema complexo. A pesquisa identifica indicadores e impactos, ajudando na seleção da alternativa mais sustentável do ponto de vista econômico e social dentre diversas opções; o que proporciona uma estrutura para uma tomada de decisão mais informada.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar os impactos econômicos e sociais de nove cenários com diferentes arranjos tecnológicos como soluções alternativas para esgotamento sanitário descentralizado.

2.2. Objetivos específicos

- Definir categorias de impacto sociais e econômicos para os cenários definidos;
- Analisar os impactos sociais dos cenários propostos por meio da Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S);
- Analisar os impactos econômicos dos cenários propostos por meio da Análise Custo de Ciclo de Vida (ACCV);
- Analisar a sustentabilidade econômica e social dos cenários auxiliando na promoção da tomada de decisão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Saneamento Básico

O acesso à água potável e ao saneamento básico de qualidade está inteiramente conectado às questões do desenvolvimento sustentável em todo o mundo. Atualmente, 2 bilhões de pessoas no mundo não têm água potável, 46% da população mundial não tem acesso aos serviços de saneamento básico gerenciados com segurança e apenas cerca de 20% do esgoto gerado globalmente recebe algum tipo de tratamento (OMS/Unicef 2021; ONU 2017). A falta de sistemas adequados de tratamento de água e esgoto ainda se mostra um desafio global e ocasiona diversos impactos, principalmente para saúde humana, como doenças feco-orais, que são as principais causadoras de doenças diarreicas (Cairncross *et al.*, 2010).

No Brasil, a Política Nacional de Saneamento Básico - PNSB, tem suas diretrizes estabelecidas pela Lei nº 11.445 de 7 de janeiro de 2007. Esta lei define o saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; drenagem e manejo de águas pluviais, incluindo a limpeza e fiscalização das respectivas redes urbanas. Em 15 de Julho de 2020, a Lei 14.026 foi sancionada para atualizar o marco legal do saneamento básico, instituindo a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com maior incentivo à participação da iniciativa privada no setor e tornando a Agência Nacional das Águas – ANA regulamentadora dessa prestação de serviços.

O Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento-SNIS, disponibiliza anualmente o diagnóstico com o nível de atendimento de água e esgoto dos municípios brasileiros. Conforme o relatório de 2022, o Brasil apresentou um quadro similar ao cenário mundial, com baixos índices de acesso ao saneamento básico seguro. 30,4 milhões de pessoas não possuíam água encanada e apenas 56% da população total do país era atendida com rede coletora de esgoto. Os outros 44%, utilizavam medidas alternativas à rede de coleta e tratamento centralizado para lidar com os dejetos, seja mediante o uso de sistemas de tratamento descentralizados, seja lançando o esgoto *in natura* diretamente em corpos d'água ou no solo. Em relação ao índice de tratamento de esgoto no Brasil, 47,8% de todo o esgoto gerado não é tratado (SNIS, 2022).

Em 2015 a ONU lançou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que consiste em uma agenda mundial composta por 17 objetivos e 169 metas a serem atingidos até 2030. Entre esses objetivos incluem o ODS 6: Água limpa e saneamento para todos e a meta

6.3 especifica que a proporção de águas residuárias não tratadas devem ser reduzidas à metade até 2030 (ONU, 2017). Durante a última década, houve um progresso global no acesso ao saneamento seguro, no entanto, a ONU relata que a taxa de progresso precisa ser pelo menos dobrada para alcançar os ODS (Ecosoc, 2019).

Dessa forma, o saneamento ecológico (EcoSan), também conhecido como saneamento focado em recursos apresenta-se como uma alternativa aos sistemas de tratamento de esgoto convencionais, trazendo uma nova perspectiva em soluções para saneamento, tendo como enfoque principal o aumento da disponibilidade hídrica pela economia e recuperação e reúso seguro de água, nutrientes e matéria orgânica (Beler-Baykal, 2015; Lam *et al.*, 2015).

De acordo com Winblad & Simpson-Hébert (2004) o saneamento ecológico baseia-se no fluxo cíclico de recursos, materiais e energia, com reaproveitamento local de nutrientes e água contidos no esgoto doméstico através da separação na fonte, tratamento descentralizado e reúso. O saneamento é uma vertente de extrema importância, sendo assim, medidas são necessários de modo a cumprir com os ODS e garantir a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida da população.

3.1.1. Esgotamento Sanitário

De acordo com as agências das Nações Unidas bilhões de pessoas em todos o mundo não possuem um serviço de saneamento adequado (OMS e UNICEF,2020). O Atlas Esgotos publicado em 2017 pela ANA, contempla o diagnóstico da situação do esgotamento sanitário no Brasil, destacando suas implicações na qualidade dos corpos d'água receptores. O documento expõe que o déficit nos serviços de coleta e tratamento de esgoto tem resultado no lançamento diário de 5.516t de DBO nos corpos de água, o que corresponde a 60,6% da carga orgânica gerada diariamente. Tal fato resulta em consequências negativas aos usos múltiplos dos recursos hídricos (ANA, 2017).

Este problema é agravado pela rápida urbanização e a falta de planejamento, resultando em poluição local severa e efeitos negativos à saúde humana, ao ecossistema, à biodiversidade, à segurança alimentar e à sustentabilidade dos recursos hídricos (Sustainable Development Solutions Network, 2015).

A gestão adequada de águas residuais, por meio de soluções centralizadas ou descentralizadas, é capaz de melhorar a qualidade de vida da população atendida. Sistemas centralizados coletam, tratam e dispõem de grandes volumes de esgoto, sendo comumente utilizados em regiões com alta densidade populacional e elevado nível de urbanização. No entanto, esse tipo de sistema envolve grandes instalações, exigem técnicas avançadas de

tratamento, grande quantidade de área, assim como altos investimentos financeiros para implantação e operação (Massoud; Tarhini; Nasr, 2009). Já os sistemas descentralizados, em sua maioria, atendem zonas rurais, periurbanas, comunidades de baixa densidade populacional ou locais que a topografia não permite a implantação de sistemas centralizados (Risch *et al.*, 2010).

3.2. Tratamento de Esgoto Descentralizado

Os sistemas descentralizados de esgoto, são definidos principalmente por sistemas em que as águas residuárias, que não estão conectadas a uma estação de tratamento de esgoto centralizado, são tratadas por alternativas próximas da fonte geradora (Wilderer; Schreff, 2000). Sendo assim, apresentam-se como uma alternativa para ampliar o acesso ao esgotamento sanitário, principalmente no que se refere a menor necessidade de recursos e a sustentabilidade ambiental (MASSOUD *et al.*, 2009).

Sistemas descentralizados podem variar de sistemas *onsite* (no local) e sistemas de *cluster* (em grupo). Os sistemas *onsite* coletam, tratam, destinam e/ou recuperam as águas residuárias de uma residência ou edifício. Os sistemas de *cluster* coletam e tratam as águas residuárias de mais de uma residência ou edifícios, e as transportam para um único sistema de tratamento e destinação final em um local próximo das fontes geradoras (USEPA, 2005). Massoud, Tarhini e Nasr (2009) ainda classificam os sistemas descentralizados em um terceiro nível, o de grandes blocos, com edifícios de universidades, escolas, shopping e hospitais, que realizam a coleta, tratamento e destinação, podendo realizar também a recuperação e reutilização das águas residuárias, feita próxima ao local.

A tecnologia mais amplamente utilizada para sistemas de tratamento de esgoto descentralizados em todo o mundo é o tanque séptico (Richards *et al.*, 2016). Historicamente, no Brasil, o tanque séptico e a fossa rudimentar são as alternativas descentralizadas mais utilizadas como solução para o afastamento do esgoto sanitário (Brasil, 2019). Nota-se a utilização do termo afastamento, uma vez que a fossa rudimentar não é alternativa de tratamento e/ou de um sistema de esgotamento sanitário apropriado e eficiente.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, em 2022, a forma mais utilizada de afastamento de esgotamento sanitário nos municípios brasileiros, é a rede coletora de esgoto ou pluvial, que atende a 62,5% dos domicílios, seguida pela fossa séptica com 13,2%, fossa rudimentar com 19,4% e escoadouros em valas, rio, lago e mar ou outros destinos com 4,9%. Dessa forma, grande parte da população brasileira ainda se encontra suscetível às doenças ou enfermidades causadas pela exposição aos patógenos, resultantes da ausência de soluções

adequadas para a coleta e tratamento dos esgotos sanitários (Brasil, 2019).

Os sistemas de tratamento descentralizados estão cada vez mais capazes de satisfazer os requisitos necessários para o tratamento de esgoto e apresentam algumas vantagens em relação ao tratamento centralizado (Nansubuga *et al.*, 2016). Com esses sistemas, pode-se evitar os grandes diâmetros das tubulações e as grandes distâncias a serem percorridas, reduzir a necessidade de expandir a rede de coleta e a estação de tratamento existentes para suprir às projeções de crescimento futuras (Metcalf; Eddy, 2016). Também podemos citar, os baixos custos operacionais, a aplicação em escala unifamiliar ou plurifamiliar, a possibilidade de separação na fonte e a reutilização do efluente tratado como parte de uma economia circular que é fundamental para alcançar a sustentabilidade do sistema (Brunner *et al.*, 2018).

Sabe-se que a segregação de efluentes na fonte é uma das principais alternativas para o tratamento descentralizado, quando focado na recuperação de recursos. Neste contexto, a água cinza, que pode ser definida como toda a água residuária gerada em um imóvel, exceto as parcelas oriunda da bacia sanitária e mictório, e que representa mais da metade de todo esgoto doméstico gerado, é considerada uma fonte potencial de água de reuso (Eriksson *et al.*, 2002).

Outra potencial fonte de reuso é a água amarela, denominada como a água residuária proveniente do mictório e/ou bacia sanitária com compartimento de separação para coleta de urina, contendo água de descarga e urina (Costazi *et al.*, 2010). A água amarela, com manejo adequado, pode ser utilizada no solo como fertilizante, pois grande parte dos nutrientes que são essenciais à agricultura, como nitrogênio, fósforo e potássio, são encontrados na urina humana (Jönsson; 2004). Mesmo contendo menos nutrientes que a urina, a água marrom, composta por fezes e água produzida na bacia sanitária com separação de urina, após receber o tratamento necessário, representa um valioso condicionador de solos (Jönsson; 2004). No entanto, constitui a porção que demanda maior atenção e cuidado, por conter elementos patogênicos transmissores de doenças, como bactérias, vírus e vermes provenientes das fezes (Paulo *et al.*, 2021).

O Catálogo de Soluções Sustentáveis de Saneamento Gestão de Efluentes Domésticos - CataloSan (Paulo *et al.*, 2018), apresenta ainda outros tipos de segregação de águas residuárias. A água cinza é dividida em duas, água cinza escura (contém a água da pia da cozinha)

e água cinza clara (restante da água cinza, exceto a da pia da cozinha) e a fração do esgoto doméstico proveniente da bacia sanitária, que contém a água marrom e água amarela (fezes e urina), são denominadas água escura.

A segregação dos efluentes domésticos aumenta o potencial do saneamento sustentável, que se refere à eficiência de recursos e ao ciclo de material por meio da redução da demanda de água potável e recuperação segura de água, nutrientes e matéria orgânica, promovendo uma economia mais circular (Beler-Baykal, 2015; Lam *et al.*, 2015). A Figura 01 apresenta um resumo dos tratamentos e rotas de reutilização possíveis de serem aplicados com os diferentes tipos de águas residuárias domésticas, conforme princípios do saneamento ecológico.



Figura 01: Caracterização das águas residuárias residenciais, seus possíveis tratamentos e reuso.

Fonte: Adaptado de Ganrot (2005).

A caracterização dos diferentes tipos de águas residuárias é de fundamental importância para o desenvolvimento de sistemas ecológicos de esgotamento sanitário. Por essa diversidade de possibilidades e diferentes abordagens possíveis, é importante conhecer as alternativas tecnológicas de tratamento existentes e entender aquelas que cabem à cada situação, buscando a sustentabilidade dos sistemas de tratamento.

3.2.1. Fossa Rudimentar

As fossas rudimentares são projetadas e construídas de forma empírica, sem nenhum tipo de projeto ou avaliação das condições locais de instalação. É uma prática primitiva, definida como a escavação no solo, sem nenhum tipo de revestimento interno, que consiste basicamente em um buraco no terreno onde é despejado o esgoto bruto, ocorrendo o processo de filtração e decomposição no solo, conforme demonstra a Figura 02 (Figueiredo *et al.*, 2019).

Segundo o IBGE (2022) 49,0 milhões de pessoas (24,3%) ainda usavam soluções de esgotamento sanitário precárias. A Fossa rudimentar era a forma de esgotamento sanitário de 19,4% da população total do Brasil. De acordo com os dados da PLANSAB, no Brasil, 48,6% do total de domicílios nas áreas rurais destinaram o esgoto para fossas rudimentares em 2017, devido à sua simplicidade construtiva, baixo custo e desconhecimento de alternativas sustentáveis (Brasil, 2019). Os principais impactos relacionados ao sistema englobam a contaminação do solo, da água e do lençol freático por patógenos e nitrato, proliferação de vetores e risco à saúde pública (Figueiredo *et al.*, 2019).



Figura 02: Fossa rudimentar

Fonte: Paulo *et al.*, (2021).

3.2.2. Tanque Séptico seguido de Sumidouro

O tanque séptico seguido de sumidouro é o sistema mais utilizado para as áreas que não são atendidas pela rede de esgotamento sanitário em todo o mundo. No Brasil, 62,5% da população tem acesso à rede coletora de esgoto e 13,2% têm solução individual não ligada à rede, mas considerada adequada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), como fossa séptica (IBGE, 2022). No entanto, essa configuração apresenta capacidade limitada na remoção de matéria orgânica e ausência de eficiência na remoção de nutrientes e patógenos (Von Sperling & Chernicharo, 2005).

O tanque séptico, consiste em uma unidade de tratamento primário de esgoto doméstico,

normatizado pela NBR 7229 (ABNT, 1993), no qual é feita a separação e a transformação da matéria sólida que se acumula, formando o lodo de fundo, enquanto os materiais flutuantes e as gorduras formam a espuma na parte de cima. O sistema é constituído de um tanque enterrado, que recebe o esgoto e retém a parte sólida e o efluente líquido resultante do tratamento anaeróbio é infiltrado no solo utilizando o sumidouro, que é uma unidade de infiltração vertical que permite a penetração do efluente do conjunto séptico, conforme demonstra a Figura 03 (Paulo *et al.*, 2018).

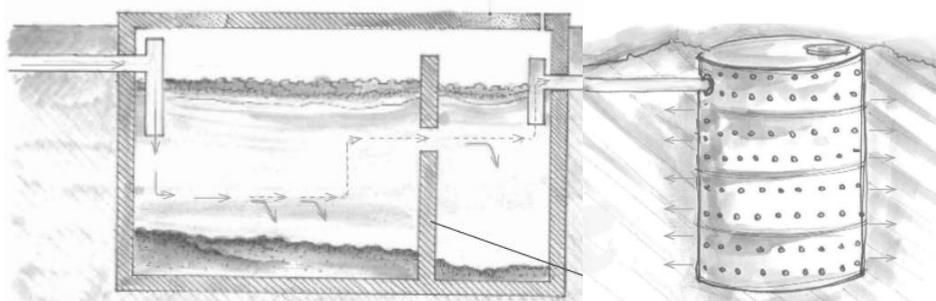


Figura 03: Tanque séptico seguido de sumidouro

Fonte: Paulo *et al.*, (2018).

3.2.3. Tanque de Evapotranspiração e Tratamento de Água Cinza - EvaTAC

O EvaTAC é um sistema de tratamento descentralizado de água cinza, composto por um conjunto híbrido, com a combinação de um tanque de evapotranspiração e tratamento de fluxo vertical (CEvaT) com câmara de digestão anaeróbia interna (AnC) como pré-tratamento para um *wetland* construído de fluxo horizontal subsuperficial (SSHF-CWs). Tem como objetivo o reaproveitamento de águas cinzas, conforme pode ser observado na Figura 04 (Paulo *et al.*, 2013).

Os *Wetlands*, são reconhecidos como uma tecnologia confiável com baixos requisitos operacionais (Vymazal, 2011). Os sistemas são constituídos por uma lagoa artificial, substrato, plantas, regime hídrico e fauna, que aperfeiçoam a exploração dos ciclos biogeoquímicos dos *wetlands* naturais (Philippi e Sezerino, 2004).

A água cinza entra no EvaTAC pela câmara de digestão anaeróbia (AnC) em seguida ocorre a ascensão da água cinza pelo leito filtrante (brita nº 2 e 4) e posteriormente para o solo o qual serve de suporte para espécies vegetais plantadas que promovem a remoção de nutrientes do efluente e melhoram o aspecto paisagístico do sistema, funcionando como um pré-tratamento para o *wetlands*. Através de uma tubulação o efluente passa para o SSHF-CW, preenchido com pedrisco, brita e plantas, onde irá ocorrer a remoção dos contaminantes e em seguida, a água cinza tratada segue para uma tubulação, sendo possível o seu reuso (Paulo *et al.*, 2009).

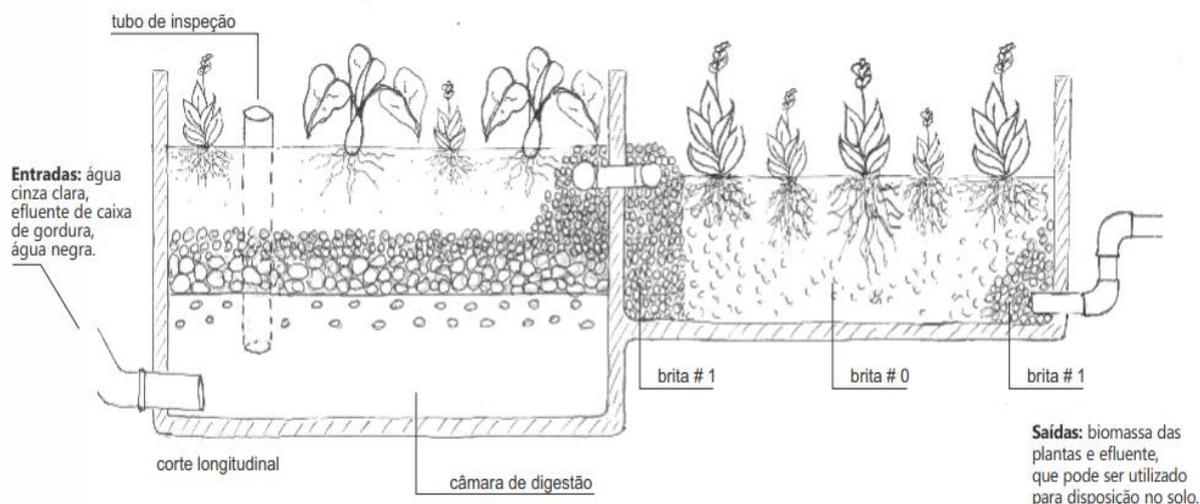


Figura 04: O sistema combinado. O efluente entrando no AnC, passando pelo meio filtrante no CEvaT e vai para o SSHF-CW para formar o sistema combinado.

Fonte: Paulo *et al.* (2018)

3.2.4. Tanque de Evapotranspiração - TEvap

O TEvap é um sistema baseado em solo e plantas, utilizado para o tratamento de água escura, fração do esgoto doméstico proveniente de sanitários, contendo basicamente água, urina, fezes e papel higiênico, visando a descarga de líquido zero. Como pode ser observado na Figura 05E, o TEvap consiste em um tanque impermeável, com uma câmara linear, no centro, construída de alvenaria, com seu entorno preenchido com uma camada cascalho, uma de brita, uma de areia e por último uma camada de solo, onde são plantadas as plantas de rápido crescimento e alto consumo de água (Paulo *et al.* 2018).

A água escura entra no sistema através de uma câmara de alvenaria (anaeróbia) no fundo do tanque e, em seguida, permeia para cima através de camadas de cascalho e brita. Nesta parte inferior do TEvap, ocorre a digestão anaeróbia da água escura. Quando o nível da água no sistema sobe, as camadas superiores, de brita e areia, também ficam inundadas, até que o nível da água atinja a camada superior, do solo, de onde as forças capilares, vento e calor, bem como captação pelas raízes das plantas eliminam a água por evapotranspiração, enquanto os nutrientes são removidos por incorporação na biomassa das plantas (Paulo *et al.*, 2013).

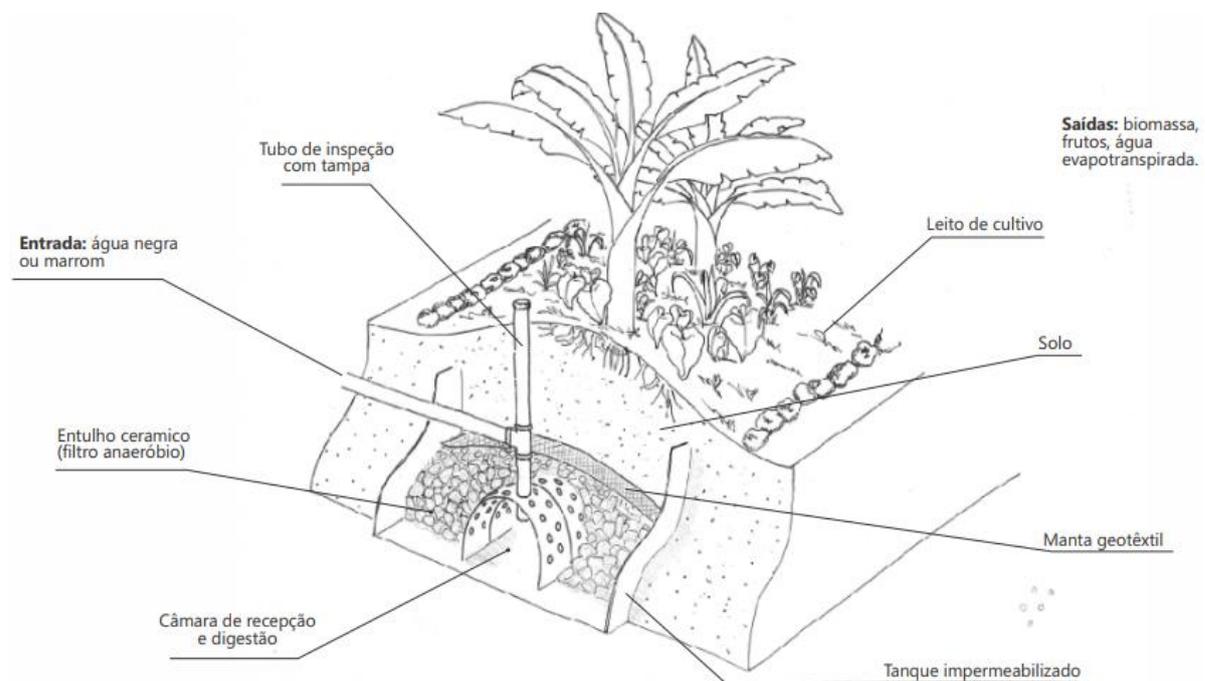


Figura 05: Vista em corte transversal do tanque de evapotranspiração (TEvap) mostrando as diferentes camadas de substrato e a câmara de recepção anaeróbia (AnC).

Fonte: Paulo *et al.*, (2018).

3.2.5. Sanitário Seco Compostável

O sanitário seco compostável (Figura 06) é uma opção combinada de interface com o usuário e tratamento, que apresenta condições para que os excrementos sejam coletados e armazenados favorecendo a ação dos microrganismos com posterior foco na reutilização (Rieck *et al.*, 2012). A cada uso, as fezes devem ser cobertas com uma mistura de papel higiênico e materiais secantes, como serragem. Este material retém os maus odores, controla a umidade e ajuda a promover a aeração do material (Huuhtanen & Laukkanen, 2009).

Os sanitários secos compostáveis possuem uma bacia sanitária sem descarga e com separação, onde a urina segue para um tanque de armazenamento e as fezes, papel higiênico e o material secante, segue para uma câmara de armazenamento, desidratação e compostagem. A câmara possui dois compartimentos, enquanto um é utilizado, no outro acontece o repouso do material. As câmaras são construídas em alvenaria, com 45° de inclinação, cobertas com uma chapa metálica pintada de preto, uma chaminé, também pintada de preto e uma porta metálica com janela e tela. A circulação de ar dentro da câmara promove a desidratação do material e neutralização de patógenos. O composto deve permanecer armazenado por no mínimo 6 meses, antes da retirada para utilização agrícola para o enriquecimento do solo ajudando a fechar o ciclo de nutrientes (Paulo *et al.*, 2018).

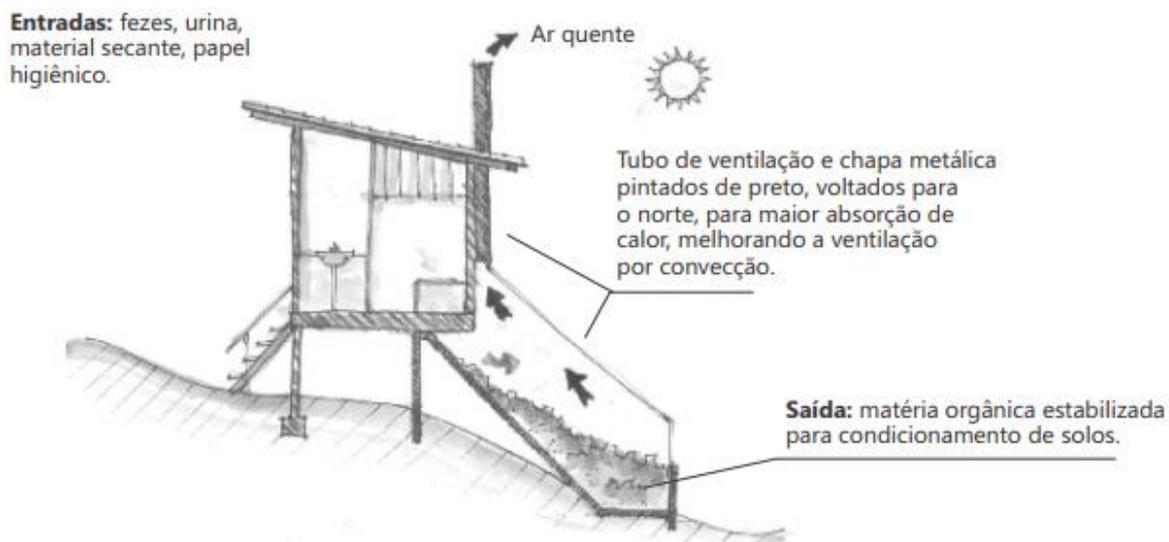


Figura 06: Vista em corte transversal do Sanitário Seco Comportável,

Fonte: Paulo *et al.* (2018).

3.2.6. Tanque de Armazenamento de Água Amarela - Urina

A separação da urina é realizada com o uso de mictórios, para urina masculina, ou bacia sanitária separadora de urina e fezes, utilizando duas canalizações uma para água marrom e outra para a água amarela, que vai ser direcionada para o tanque de armazenamento, conforme demonstra a Figura 07 (Paulo *et al.*, 2018). A urina deve ficar armazenada em um tanque fechado por 2 meses ou mais com o objetivo de neutralizar a presença de possíveis patógenos, pelo aumento do seu pH (OMS, 2016).

Os sistemas de separação e o armazenamento da urina humana são eficientes e de grande importância para a recuperação de nutrientes, que são essenciais na agricultura, como nitrogênio, fósforo e potássio. O armazenamento temporário permite o acesso quando necessário a esses nutrientes (Jönsson, 2002).

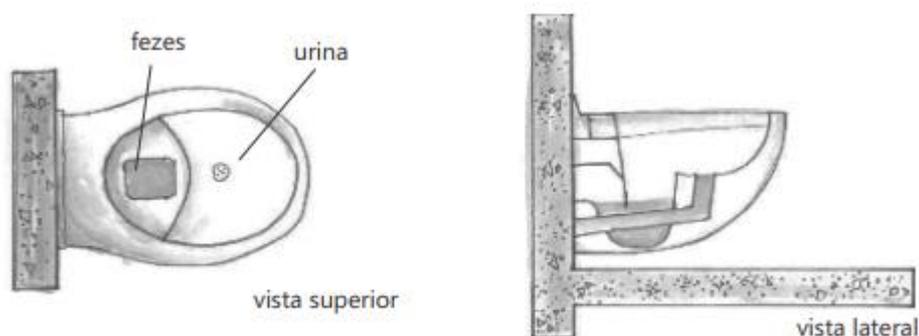


Figura 07: Bacia Sanitária com separação de urina e fezes.

Fonte: Paulo *et al.*, (2018).

3.3. Sustentabilidade

O conceito de desenvolvimento sustentável foi definido em 1987, por meio do relatório *Nosso Futuro Comum*, publicado pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento em nome das Nações Unidas como "Desenvolvimento sustentável é aquele que busca atender as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades" (Wced, 1987). Em 2005 o termo foi reafirmado, com destaque para os aspectos econômicos, sociais e ambientais como pilares cruciais da sustentabilidade (ONU, 2005).

3.3.1. Sustentabilidade Aplicada a Sistemas de Esgotamento Sanitário

Os sistemas de tratamento de esgoto têm a função de reduzir os impactos do lançamento de efluentes no meio ambiente, no entanto, apresentam-se como um elemento impactante, nas três dimensões da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) ao longo do ciclo de vida (Sanches, 2009). Desta forma, o conceito de sustentabilidade, aplicado a sistemas de saneamento básico implica que as estações de tratamento de esgoto (ETE) sejam consideradas uma fonte de recursos e não somente como mitigadoras de impactos ambientais. É essencial pensar na ETE como um sistema integrado que vise, além do tratamento dos esgotos, com separação na fonte ou não, a recuperação e valorização dos subprodutos (Paulo et.al., 2019). A separação na fonte das águas residuárias domésticas visa a recuperação de água, nutrientes e matéria orgânica, o que aumenta o potencial do saneamento sustentável (Beler-Baykal, 2015; Lam *et al.*, 2015)

A Aliança de Saneamento Sustentável – SuSanA, define que o objetivo principal de um sistema de saneamento é assegurar um ambiente saudável, proteger e promover a saúde humana e anular o ciclo de disseminação de doenças. No entanto, para um sistema de saneamento ser considerado sustentável deve ser socialmente aceitável, técnica e institucionalmente apropriado e economicamente viável, enquanto protege o meio ambiente, os recursos naturais e a saúde humana (SuSanA, 2017). Neste contexto, os serviços de saneamento básico são considerados fundamentais, auxiliando a redução da pobreza, o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental (ONU, 2015).

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surgiu para fazer frente à necessidade de um método capaz de compreender e abordar a proteção ambiental e os impactos dos produtos, processos ou atividades sobre o meio ambiente e identificar oportunidades para fazer mudanças e melhorias para reduzir os impactos ambientais (Perriman, 1993). A ACV

abrange todo o ciclo de vida de um produto, processo ou atividade, abrangendo desde a extração e o processamento de matérias-primas a reciclagem e descarte final (UNEP e SETAC, 2009). Atualmente, a metodologia de ACV é padronizada por duas normas internacionais, a ISO 14040: 2009 e ISO 14044: 2009. Segundo a referida norma, um estudo de ACV é composto por quatro fases iterativas apresentadas na Figura 08.

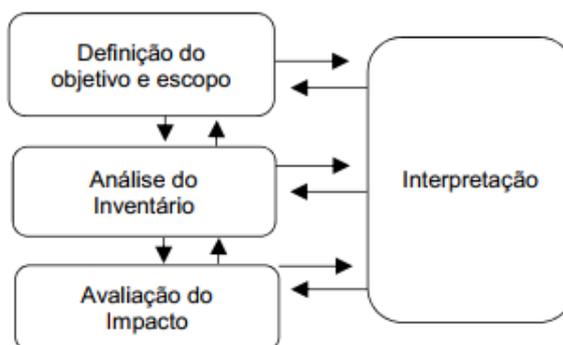


Figura 08: Fases da ACV.

Fonte: Adaptado ABNT (2009a)

3.3.2. Dimensão Econômica

Ao contrário da metodologia da ACV, que é padronizada por normas ISO, a Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) não é estruturada por um padrão internacional específico (SWARR *et al.*, 2011). No entanto, a ACCV de um sistema pode ser definida simplesmente como a soma de todos os custos incorridos durante sua vida útil, ou seja, o total de custos de aquisição e propriedade (Dhillon, 2013). Desta forma, a ACCV considera, além do custo inicial, todos os custos subsequentes esperados, assim como o valor residual e quaisquer outros benefícios quantificáveis a serem auferidos. Auxiliando na verificação dos custos existentes em cada parte do processo de um determinado produto ou serviço, facilitando a identificação de gastos com investimento, operação, manutenção, transporte até o final da sua vida útil (Swarr *et al.*, 2011; Dhillon, 2013; Gundes, 2016).

A técnica da ACCV é frequentemente utilizada quando há uma decisão sobre compra de um ativo que exigirá custos substanciais de operação e manutenção durante toda sua vida útil, calculando os custos com base em todo o ciclo de vida e não apenas no preço inicial de compra (Dragos e Neamtu, 2013). Desta forma, do ponto de vista econômico, para garantir um ranking comparativo de diferentes alternativas de investimento e a adoção da melhor solução, podemos encontrar um cenário que seja preferível pagar um custo inicial elevado, mas incorrer em custos subsequentes menores devido à operação e manutenção das propriedades de qualquer ativo, usando uma abordagem de longo prazo como ferramenta para a tomada de decisão (Woodward, 1997; Toniolo *et al.*, 2020).

O Valor Presente Líquido (VPL), é uma ferramenta para comparar o valor monetário atual de um investimento em relação ao valor desse investimento no futuro (Huppes *et al.*, 2004). Através do cálculo do valor presente equivalente de todos os fluxos de caixas futuros, deduz-se os investimentos necessários para gera-los, a partir de uma taxa mínima de atratividade (TMA), resultando no valor presente dos custos e benefícios futuros (Gitman, 2010).

A viabilidade de um projeto analisado pelo método do VPL é indicada pela medida do lucro ou do prejuízo de um projeto de investimento e deve ser maior do que zero para que seja considerado viável. Isso significa que o valor do projeto tem de ser maior do que seu custo, descontada uma taxa de juros denominada de taxa de atratividade. Utilizando o VPL como critério de decisão na escolha do projeto mais viável economicamente, a escolha será do que atingir o maior saldo positivo, ou seja, a maior receita líquida (Lachtermacher *et al.*, 2018).

Segundo Balkema *et al.* (2002) os critérios de Custo de Construção – CAPEX (*Capital Expenditure*” significa despesas de capital) e Custo de Operação e Manutenção – OPEX (*Operational Expenditure*” significa despesas operacionais) são indicadores comumente utilizados para a análise da dimensão econômica.

O CAPEX é obtido a partir do dimensionamento das tecnologias de tratamento, levantamento detalhado dos custos com materiais, equipamentos, maquinários e mão de obra. Já o OPEX é composto pelo custo de operação e manutenção, despesas com energia requerida, remoção do lodo produzido, taxas, necessidade de operador para o sistema e conserto de equipamentos. Ressalta-se ainda que, quando os custos de construção, operação e manutenção de diferentes tecnologias são comparados, é essencial levar em consideração a vida útil de cada sistema (Molinos-Senate *et al.*, 2014).

Hanjra *et al.* (2015) realizou uma avaliação econômica e financeira de soluções de recuperação de recursos e reuso de efluentes, comparando as duas metodologias. A análise financeira considera os custos e benefícios, buscando analisar a capacidade dos benefícios financeiros e gerar receita para suprir os custos financeiros. Já uma análise econômica, considera os custos e benefícios financeiros, ambientais e sociais e suas externalidades. Os autores concluíram que embora os custos financeiros sejam maiores do que os benefícios financeiros, os benefícios econômicos normalmente são indicativos de investimentos em diferentes opções de reutilização, constatando que as duas análises devem ser levadas em consideração na tomada de decisão.

3.3.3. Dimensão Social

Os indicadores de impactos sociais são cada vez mais reconhecidos como ferramentas que fornecem um quadro geral do sistema analisado facilitando a interpretação, resumindo as questões multidimensionais e apoiando tomadores de decisão (Singh *et al.* 2009). A OMS (2000), sugere um grupo de 8 principais indicadores de desempenho, para avaliar o status de operação e manutenção de sistemas de tratamento de água e esgoto em países em desenvolvimento. Dentro dessa seleção podemos identificar 4 indicadores voltados para a dimensão social: opinião e satisfação do usuário, gestão da comunidade / família, pessoal e controle de trabalho. Outra ferramenta que fornece mecanismos de gerir e avaliar as dimensões sociais, são os indicadores disponibilizados pelo Instituto ETHOS que possui cerca de 47 indicadores, sendo 16 voltados para a dimensão social, com suas respectivas correlações com os Princípios do Pacto Global, Indicadores GRI (Global Reporting Initiative) e Objetivos de Desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas (ETHOS, 2021).

Uma técnica que vem ganhando espaço é a avaliação do ciclo de vida social (ACV-S), que pode ser descrita como uma ferramenta capaz de avaliar os impactos sociais e socioeconômicos dos produtos e serviços e seus potenciais impactos positivos e negativos ao longo de seu ciclo de vida (UNEP/SETAC, 2009).

O Programa Ambiental das Nações Unidas (PNUMA), elaborou em 2009 o primeiro guia "Diretrizes para Avaliação do Ciclo de Vida Social de Produtos" (UNEP; SETAC,2009). Em 2020, foi lançado um novo guia "Diretrizes para Avaliação do Ciclo de Vida Social de Produtos e Organizações 2020" com atualizações, acréscimo nas categorias e subcategorias de *stakeholders* e impactos associados, fornecendo uma perspectiva organizacional que auxilia na tomada de decisões (UNEP, 2020).

Na mesma linha, Padilla-Rivera *et al.* (2016) avaliaram os aspectos sociais associados às instalações de tratamento de águas residuárias e desenvolveram uma metodologia que propõe o uso de 25 indicadores que foram separados entre quatro diferentes *stakeholders*: comunidade e sociedade, trabalhadores, consumidores e cadeia de suprimento. Para realizar a avaliação dos indicadores, os autores transformaram os dados qualitativos em semiquantitativos, formulando uma escala variou de 1 a 4 (sendo 1 a pior e 4 a melhor avaliação).

3.3.4. Método multicritério de tomada de decisão

A tomada de decisão, quando se avaliam alternativas com múltiplos critérios, torna-se mais complexa sendo necessário a utilização de métodos mais sofisticados (Tzeng; Huang, 2011). A Análise Multicritério é uma ferramenta amplamente utilizada em estudos de sustentabilidade, permitindo que diversos critérios sejam levados em conta simultaneamente

(Garayo *et al.*, 2020).

Os métodos de Análise Multicritério possuem caráter científico e subjetivos ao mesmo tempo, sendo algo inerente ao processo de decisão. Esses métodos trazem consigo a capacidade de agregar todas as características consideradas importantes, inclusive as qualitativas, envolvendo a seleção de uma alternativa dentro de um conjunto finito de escolhas viáveis com base na avaliação de cada uma contra um determinado conjunto de critérios a partir da preferência dos decisores (Gomes, Araya e Carignano, 2004; Costa, 2002; Benítez *et al.*, 2012).

Garayo *et al.* (2020) através de uma pesquisa bibliográfica entre 2009 e 2020 selecionaram 28 artigos com foco em avaliação de sustentabilidade em sistemas de saneamento, dentre eles 14 artigos utilizaram algum método de análise multicritério para a tomada de decisão. Netto *et al.* (2001) concluíram que na avaliação da performance de unidade de tratamento de efluentes, a análise multicritério mostra-se bastante indicada, pois além de ser necessário atingir a vários objetivos e critérios específicos, como ambientais e econômicos, também envolve vários agentes decisores.

Dentre essas metodologias de análise multicritério destaca-se o método de análise hierárquica (AHP, *Analytic Hierarchy Process*), proposto como uma ferramenta simples para solucionar problemas complexos de forma estruturada, sendo um dos mais conhecidos e utilizados no mundo e um dos mais utilizados na avaliação de sustentabilidade em sistemas de saneamento (Costa, 2002; Garayo *et al.*, 2020). O método de análise hierárquica (AHP), objetiva a escolha de alternativas em um processo que considera diferentes critérios de avaliação. Esse método baseia-se em três princípios de pensamento analítico: construção de hierarquia, definição de prioridades e consistência lógica (Costa, 2002).

Na primeira etapa da aplicação do método o problema é organizado em uma estrutura hierárquica que vai de uma meta geral a critérios e alternativas em níveis sucessivos (organograma) para facilitar a compreensão e avaliação. A existência dessa hierarquia de decisão é o aspecto principal da AHP (Gomes; Araya; Carignano, 2004). O objetivo principal do problema de decisão é estruturado no primeiro nível hierárquico (topo), no segundo nível estão os critérios e no último nível da hierarquia estão as alternativas consideradas para atingir o objetivo. Esta forma hierárquica permite a visualização dos componentes, sua complexidade e relação (Gomes; Araya; Carignano, 2004; Marins; Lima, 2010).

Na segunda etapa da AHP são definidas as prioridades de cada alternativa, através de uma matriz de comparação dos pares de cada elemento de um mesmo nível hierárquico. Tomadores de decisão atribuem pontuações, utilizando a “escala de Saaty”, normalmente indo de 1 a 9. Por fim, após criar a matriz de comparação e atribuir os pesos, calcula-se uma medida

global para cada uma das alternativas, classificando-as em prioridades (Oecd, 2008; Marins; Lima, 2010; Bottero *et al.*, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Cenários e dimensionamento das tecnologias avaliadas

Para o desenvolvimento deste estudo foram analisados nove cenários com diferentes configurações de tecnologias de tratamento descentralizado de esgoto sanitário, como pode ser observado na Figura 09, baseado nos cenários utilizados por Souza *et al.* (2023).

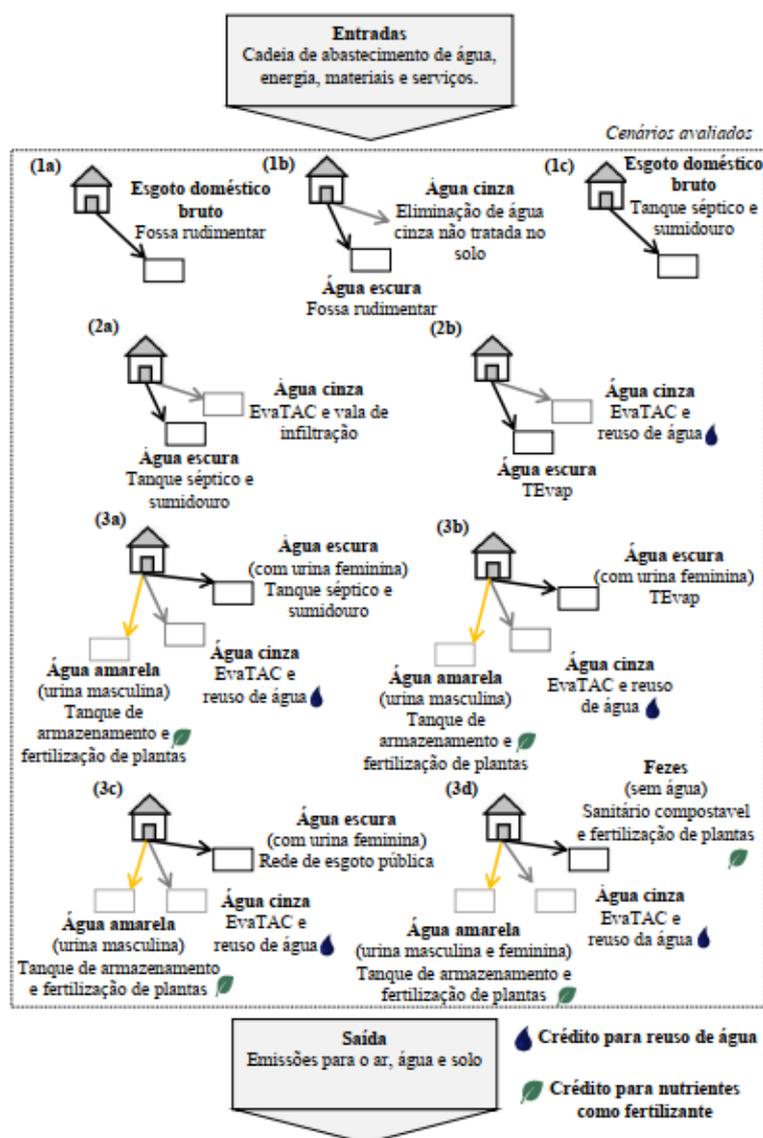


Figura 09: Cenários com diferentes configurações de sistema de tratamento descentralizados unifamiliares. Tanque de evapotranspiração (TEvap); Tanque de evapotranspiração e tratamento de água cinza (EvaTAC).

Fonte: Souza *et al.*, (2023).

Os nove cenários foram desenhados de modo a abarcar diferentes práticas de gestão de

águas residuárias considerando áreas remotas onde muitas vezes encontram-se apenas soluções rudimentares, áreas com sistemas de tratamento convencional por fossa séptica (opção mais procurada quando não há rede pública de esgoto disponível); ou ainda áreas mais próximas de cidades (periurbanas) com alguma infraestrutura, sendo possível ligar a residência à rede coletora de esgoto e tratamento em uma ETE. Também foram comparados sistemas com separação de águas residuárias na fonte para recuperação de recursos. Estes cenários representam algumas das situações encontradas em áreas rurais e periurbanas do Brasil.

Para dimensionar o sistema, foi considerado uma residência unifamiliar com 4 moradores, sendo 2 homens e 2 mulheres e uma vida útil de 15 anos para os sistemas de ETE. Estipulou-se um consumo médio de água de 150,0 L.hab⁻¹.d⁻¹ com coeficiente de retorno de 80% (Von Sperling *et al.*, 2005), gerando 120,0 L.hab⁻¹.d⁻¹ de efluente. Assumiu-se também que 30,0 L.hab⁻¹.d⁻¹ é de água escura gerada a partir da descarga do vaso sanitário e os 90,0 L.hab⁻¹.d⁻¹ restantes correspondem à água cinza (somando todas as frações da cozinha, lavanderia, lavabo e chuveiro). O reúso de água para fins não potáveis reduz a demanda de água potável fornecida, enquanto o uso de nutrientes do composto de urina e fezes na adubação reduz a demanda de fertilizante químico. O dimensionamento seguiu os parâmetros utilizados por Souza *et al.* (2023).

4.1.1. Cenário 1A

O cenário 1A considera que todo o esgoto gerado vai ser encaminhado para a fossa rudimentar. Sendo considerado o pior caso dos cenários avaliados, apresentando condições precárias e desfavoráveis ao meio ambiente e comumente encontrado na zona rural. Como a fossa é uma prática inadequada de lançamento de esgoto, não há normas técnicas para o seu projeto.

Desse modo, o formato da fossa foi assumido como um furo cilíndrico de 1,2m de diâmetro, uma profundidade de 1,6m e um volume de 1,8 m³ e que é a dimensão da via sumidouro (Figueiredo *et al.*, 2019). Como não há manutenção da fossa, considerou-se que a cada 6 meses deve ser aberta uma nova cova para o descarte de esgoto no Cenário 1A.

4.1.2. Cenário 1B

Como mostrado anteriormente, a fossa rudimentar ainda é uma prática comum, principalmente nas áreas rurais do Brasil. Porém, em muitos casos é comum encontrar situações em que apenas a água residuária proveniente da bacia sanitária é destinada à esta, de forma que não se enche rapidamente, enquanto a água cinza simplesmente escorre para o solo a céu aberto

sem nenhum tipo de tratamento. Este cenário também apresenta condições precárias e desfavoráveis ao meio ambiente, resultando em poluição dos lençóis freáticos, contaminação do solo e disseminação de doenças.

No Cenário 1B, apenas as águas escuras (sanitário) e a água cinza da cozinha foram enviadas para a fossa, enquanto as águas cinzas da lavanderia, lavatório e chuveiro simplesmente escoam para o solo sem nenhum tipo de tratamento. Para este cenário, assumimos que o período de preenchimento da fossa é de 1 ano.

4.1.3. Cenário 1C

A fossa séptica seguida de sumidouro é a solução aceitável mais popular para imóveis localizados em regiões não servidas por sistema de esgotamento sanitário público. A construção do sistema deve estar de acordo com as diretrizes estabelecidas nas normas técnicas NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997). O efluente é encaminhado para a fossa séptica e passa por um processo de decantação, no qual a parte sólida é depositada no fundo para ser decomposta por bactérias anaeróbias. Em seguida, o efluente segue para um segundo tanque denominado sumidouro com a função de infiltrar esse efluente tratado no solo.

A caixa gordura foi considerada apenas para a fração de efluentes provenientes da cozinha para todos os cenários, exceto em 1a e 1b. Para o dimensionamento da caixa de gordura foi considerada a norma ABNT NBR 8160 (1999), com capacidade de retenção de 31 L.

A fossa séptica está presente nos cenários 1C, 2A e 3A.

O volume da fossa séptica foi calculado pela Equação 01, conforme NBR 7229 (ABNT, 1993), onde:

V: volume útil em litros (L);

N: número de pessoas (cap.);

C: contribuição de esgoto por pessoa dia ($L \cdot cap^{-1} \cdot d^{-1}$);

T: tempo de detenção hidráulica em dia (d);

K: taxa de acúmulo de lodo em dia (d);

Lf: contribuição por pessoa por dia de lodo fresco ($L \cdot cap^{-1} \cdot d^{-1}$)

$$V = 1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot Lf) \quad (\text{Equação 01})$$

Foram considerados os seguintes parâmetros: 4 pessoas (N) gerando $120 L \cdot cap^{-1} \cdot d^{-1}$ (C) de efluente com tempo de detenção hidráulica de 1 dia (T) e taxa de acúmulo de lodo de 97 dias (K) (considerando intervalo de limpeza de 2 anos e temperatura média do mês mais frio do ano acima de $20^{\circ}C$) com aporte de lodo fresco de $1 L \cdot cap^{-1} \cdot d^{-1}$ (Lf). O dimensionamento da fossa

séptica baseou-se num compartimento cilíndrico em manilha de concreto com 1,9 m³ de volume útil (1,7 m de altura útil; 2,0m de altura total e 1,2 m de diâmetro). O lodo será retirado a cada 2 anos da fossa séptica por caminhão de empresas terceirizadas de limpa fossa.

Equação 02 foi utilizada para calcular a área de infiltração do sumidouro, onde A é a área de infiltração (m²), CV é o volume diário de contribuição (L.d⁻¹) e Ci é o coeficiente de infiltração (ou percolação) (L.m⁻² .d⁻¹).

$$A = CV/Ci \quad \text{(Equação 02)}$$

Dessa forma, considerou-se uma vazão de efluente de 480 L.d⁻¹ e um coeficiente de infiltração de 80 L.m⁻².d⁻¹, típico de um solo arenoso como o comumente encontrado em Campo Grande, estado do Mato Grosso do Sul no Brasil. A área do sumidouro foi estimada em 6 m², adotando uma forma cilíndrica em manilhas de concreto furadas, foram necessários 1,2 m de diâmetro; 1,6 m de altura útil e 2,0 m de altura total para o sumidouro. Embora a fossa séptica tenha sido utilizada para tratar esgoto bruto apenas no Cenário 1C, já que foi utilizada para tratar apenas água escura e água da pia da cozinha nos Cenários 2A e 3A, o mesmo dimensionamento foi mantido em todos os cenários com fossa séptica para garantir o cumprimento das normas técnicas.

4.1.4. Cenário 2A

O efluente é segregado no sistema e a água cinza clara, sem contribuição da pia da cozinha, é coletada separadamente da água escura (sanitários mais pia da cozinha). A água escura é tratada pelo sistema de fossa séptica seguida por sumidouro descrito e dimensionado no Cenário 1C, enquanto a água cinza clara é tratada no EvaTAC, e posteriormente, é descarregada em valas de infiltração. Embora esse cenário contribua para o paisagismo, não foi associado à uma prática de reúso de água.

Para o dimensionamento do EvaTAC, foram utilizados os parâmetros recomendados por da Silva *et al.* (2017) e Magalhães Filho *et al.* (2018). As dimensões do EvaTAC foram definidas da seguinte forma: câmara de digestão anaeróbia (AnC) e leito filtrante no CEvaT (tanque de evapotranspiração e tratamento) com 2,0 m de comprimento, 1,0 m de largura e 1,05 m de altura; HSSF-CW (Área úmida construída com fluxo horizontal da sub-superfície) com 4,0 m de comprimento, 1 m de largura e 0,6 m de altura. O EvaTAC foi construído em alvenaria e a câmara de digestão anaeróbia (AnC) do CEvaT foi feita de tijolos perfurados, dispostos horizontalmente com 2,0 m de comprimento, 0,4 m de largura interna e 0,5 m de altura,

permitindo que o líquido escorra lateralmente enquanto o conteúdo sólido permanece dentro da câmara para digestão bacteriana. Assim, após sair da câmara de digestão anaeróbia, a água cinza sobe para o leito filtrante de brita e posteriormente para o solo, que serve de suporte para as plantas que retiram nutrientes do efluente e melhoram o aspecto paisagístico do sistema.

As camadas do EvaTAC, de baixo para cima, foram definidas da seguinte forma: CEvaT: brita nº 4 (50% porosidade; 0,6 m de altura), brita nº 2 (48% porosidade; 0,15 m de altura), manta geotêxtil (2,0 m por 1,0 m) e solo (0,30 m de altura); HSSF-CW: cascalho fino (44% de porosidade; 0,60 m de altura) e somente na entrada e na saída um espaço de 0,2 m de largura foi preenchido com cascalho nº 2. A borda do EvaTAC foi 10 cm acima do solo para evitar a entrada de água da chuva. A espécie vegetal utilizada foi o Beri (*Canna x generalis*), 60 unidades, considerando 10 plantas por metro quadrado. Na maioria dos cenários utilizando o sistema EvaTAC, a água cinza tratada foi reutilizada para fins não potáveis, exceto no Cenário 2A (mesmo que este cenário ainda contribua para o paisagismo).

As trincheiras de infiltração foram dimensionadas de acordo com a NBR 13,969 (ABNT, 1997) e a Equação 03, considerando o volume de contribuição de água cinza de 320 L.d⁻¹ (volume diário de água cinza de 80 L.cap⁻¹ d⁻¹), e o coeficiente de infiltração de 80 L.m⁻².d⁻¹. Assim, foram assumidas as seguintes dimensões para a trincheira de infiltração: profundidade de 0,5 m, largura de 0,5 m e comprimento de 2,8 m. Foram construídas em paralelo duas trincheiras de infiltração idênticas e com as mesmas dimensões, para efeitos de alternância, acompanhadas de uma caixa de distribuição para controle do caudal e duas caixas de inspeção. As trincheiras de infiltração foram preenchidas com cascalho nº 4 (50% de porosidade).

$$V = N \cdot C \cdot T \quad \text{(Equação 03)}$$

Onde:

V: volume útil em litros (L)

N: número de pessoas (cap.)

C: contribuição de esgoto por pessoa por dia (L.cap⁻¹ .d⁻¹)

T: tempo de detenção hidráulica em dia (d).

4.1.5. Cenário 2B

A água escura é direcionada para o TEvap, onde o efluente é parcialmente degradado na câmara de digestão anaeróbia. A água que sai da câmara de digestão tem fluxo ascendente e passa pelas camadas de cascalho, areia e solo, chegando às raízes das plantas. A água cinza é

enviada para o EvaTAC e reutilizada para fins não potáveis. O dimensionamento do Cenário 2A foi adotado para o EvaTAC deste cenário. No entanto, no EvaTAC dos cenários 2B, 3A, 3B, 3C e 3D, a água cinza tratada foi reutilizada para fins não potáveis. Assim, foi considerado um reservatório de polietileno de 500 litros, uma bomba de 372 W, um filtro de polipropileno de 25 µm e um clorado de pastilha. Por fim, foram localizadas trincheiras de infiltração no final do sistema para receber possíveis transbordamentos.

O sistema TEvap , que está presente nos cenários 2B e 3B, foi utilizado para tratar a água escura e a água cinza da cozinha. O TEvap não necessita de lançamento do efluente tratado no solo, mesmo tendo seu tanque totalmente impermeabilizado. Excepcionalmente, em períodos de chuva forte pode haver algum transbordamento. Para esta ocasião, foram utilizadas trincheiras de infiltração para receber o transbordamento, nas quais foram consideradas duas trincheiras a serem utilizadas de forma intercambiável de 0,5 m de profundidade, 0,5 m de largura e 2,8 m de comprimento cada, seguindo o mesmo dimensionamento do item 4.1.4 do EvaTAC.

O dimensionamento do TEvap foi baseado em Paulo *et al.* (2019, 2018 e 2013) considerando uma profundidade máxima de 1 m e área de superfície de 2 m² por pessoa. Dessa forma, adotou-se um volume total de 8 m³ no TEvap com 2 m de largura e 4 m de comprimento. A câmara de digestão anaeróbia do TEvap também foi feita de tijolos perfurados dispostos horizontalmente, conforme descrito no sistema EvaTAC, com as seguintes dimensões: 4,0 m de comprimento; 0,4 m de largura interna e 0,4 m de altura. Após passar pela câmara de digestão anaeróbia do TEvap , o efluente é direcionado para o leito filtrante com camadas compostas de brita nº 4 (45 cm de altura), seguidas de brita grossa (4,8 - 9,5 mm granulometria; 50% de porosidade; camada de 10 cm de altura), areia (granulação de 0,15 - 4,75 mm; camada de 10 cm de altura) e solo (camada de 35 cm de altura). Plantas como Banana (*Musa cavendishii*) (1 unidade) e Beri (*Canna x generalis*) (40 unidades) foram plantadas no topo do TEvap .

4.1.6. Cenário 3A

O esgoto é segregado em três fluxos: água escura, água cinza e água amarela (apenas urina masculina). A água escura é tratada em uma fossa séptica seguida por um sumidouro, enquanto a água cinza é direcionada para o EvaTAC, produzindo água para reúso não potável. A água amarela (urina masculina) é coletada em mictórios e enviada para um tanque para ser armazenado por 2 meses antes de ser usado como fertilizante (OMS, 2016).

A urina dos homens foi coletada em mictórios (Cenários 3A, 3B e 3D) que é armazenada por 2 meses para sanitização antes de ser utilizada como fertilizante (OMS, 2016) . Assumi-

se a utilização de urinol sem água seguida da estabilização com hidróxido de cálcio (evitando a hidrólise enzimática da ureia) (Flanagan e Randall, 2018). Foi assumida uma dosagem de 10 g Ca(OH)_2 por litro de urina (Randall *et al.*, 2016). Considerando um volume de urina de $1,37 \text{ L}\cdot\text{cap}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ (Meinzinger e Oldenburg, 2009), e o período de armazenamento de 2 meses antes de sua aplicação no solo. Um tanque de armazenamento de 200 L de capacidade foi suficiente para urina de masculina (Cenários 3A, 3B e 3C). O fertilizante de urina foi aplicado ao solo manualmente.

4.1.7. Cenário 3B

O esgoto é segregado em água cinza, água escura e água amarela (urina masculina). A água escura é tratada no TEvap, enquanto a água cinza é tratada no EvaTAC para reutilização da água e a água amarela da urina masculina é armazenada por 2 meses para ser usada como fertilizante. Portanto, a única diferença entre este cenário e o Cenário 3A está relacionada à tecnologia de tratamento de águas escuras.

4.1.8. Cenário 3C

No Brasil, quando há rede coletora de esgoto disponível, é obrigatória a ligação dos imóveis a ela. Portanto, neste cenário, assumiu-se que a água escura (sem urina masculina) e a água cinza da cozinha são enviadas para o sistema de esgotamento sanitário público, a água cinza clara é tratada no EvaTAC para produzir água para reutilização não potável e a água amarela da urina masculina é armazenada por 2 meses para ser usada como fertilizante. Para as águas escuras, a infraestrutura e operação do sistema de esgotamento sanitário foram contabilizados para ligação domiciliar, rede coletora e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) operada com reatores UASB.

A ETE não foi dimensionada e nem considerada no cálculo do CAPEX (custo de implantação), apenas no cálculo do OPEX (custo de operação) contabilizando a taxa cobrada pela concessionária Águas Guariroba para o tratamento de esgoto no município de Campo Grande -MS.

4.1.9. Cenário 3D

Neste cenário, é utilizado o sanitário seco compostável, no qual as fezes são enviadas para um sanitário seco, composto por uma câmara de armazenamento, desidratação e compostagem. A água amarela da urina das mulheres é coletada em bacias sanitárias com separadores de urina e a dos homens é coletada nos mictórios. A partir daí ambas são enviadas

para um tanque de armazenamento, por dois meses, para uso posterior como fertilizante. A água cinza escura (com o efluente da pia da cozinha), é direcionada para o EvaTAC para produzir água de reúso não potável.

Um banheiro seco compostável foi proposto no Cenário 3D, no qual as fezes foram enviadas para uma câmara de compostagem seca. A compostagem é realizada por microrganismos em condições aeróbias, portanto, para garantir a circulação do ar, assumiu-se que o composto dentro da câmara era revolvido semanalmente pelos próprios moradores com o uso de uma enxada. Para o projeto do banheiro de compostagem, considerou-se a excreção de $130 \text{ g.cap}^{-1}.\text{d}^{-1}$ de fezes (cerca de 0,14 litros/dia) e assumiu-se uma proporção de serragem para fezes de 3:1, respectivamente (75% serragem e 25% fezes) (Rose *et al.*, 2015). Foram consideradas duas câmaras de compostagem de fezes de cerca de 0,80 m de largura, 1,0 m de comprimento e 1,0 m de altura (cada uma das câmaras), com as faces voltadas para o sol, sendo utilizadas de forma intercambiável por seis meses, utilizando duas bacias sanitárias com separação de urina e fezes. O fundo das câmaras tem inclinação de 45°, facilitando o deslizamento das fezes e serragem para que o composto mais estabilizado fique mais próximo da porta de acesso para retirada. O sistema possui uma chaminé de ventilação preta para controle de odores, chapa metálica preta para reter calor e duas portas de acesso com janelas teladas, facilitando a entrada de ar, sendo uma para cada compartimento.

Cada cenário possui uma configuração diferente de sistemas de tratamento descentralizado de esgoto, desse modo, alguns cenários são compostos por mais de uma tecnologia, combinadas de forma distintas, como pode ser observado na Tabela 01.

Tabela 01: Cenários de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto avaliadas

Cenário	Descrição
1A	Fossa rudimentar
1B	Fossa rudimentar + disposição de água cinza no solo
1C	Caixa de gordura + fossa séptica + sumidouro
2A	Caixa de gordura + fossa séptica + sumidouro + EvaTAC + vala de infiltração
2B	Caixa de gordura + TEvap + vala de infiltração + EvaTAC + reservatório de água de reúso + vala de infiltração
3A	Caixa de gordura + fossa séptica + sumidouro + EvaTAC + reservatório de água de reúso + vala de infiltração + tanque de armazenamento de urina
3B	Caixa de gordura + TEvap + vala de infiltração + EvaTAC + reservatório de água de reúso + vala de infiltração + tanque de armazenamento de urina
3C	Caixa de gordura + ETE municipal + EvaTAC + reservatório de água de reúso + vala de infiltração + tanque de armazenamento de urina
3D	Caixa de gordura + EvaTAC + reservatório de água de reúso + vala de infiltração + banheiro seco compostavel + tanque de armazenamento de urina

4.2. Análise do Custo do Ciclo de Vida – ACCV

Segundo Dhillon (2013), a ACCV não é estruturada por um padrão internacional específico. No entanto, em situações práticas, os indicadores econômicos são decisivos na escolha de uma tecnologia. Segundo Balkema *et al.* (2002), os critérios de Custo de Construção - CAPEX e Custo de Operação e Manutenção – OPEX são indicadores comumente utilizados para a análise da dimensão econômica.

Dessa forma, nesta pesquisa foram levantados os indicadores de custo de implantação e os custos de operação e manutenção dos sistemas. A partir deste levantamento foi calculado o Custo Total (CT) que representa a soma de todos os custos de implantação, operação e manutenção no período de 15 anos. Nas Tabelas 02 e 03 resume-se os custos envolvidos na implantação e operação das tecnologias.

Tabela 02: Resumo do custo de implantação de cada tecnologia.

CUSTOS ENVOLVIDOS NA IMPLANTAÇÃO					
Fossa rudimentar	Fossa séptica + sumidouro	TEvap + vala de infiltração	Evatac + vala de infiltração	Tanque de armazenamento de urina	Banheiro seco compostavel
Tubo PVC	Anel de concreto	Tela de metal	Brita	Reservatório de polietileno 200l	Brita
Tampa de concreto	Anel de concreto furado	Brita	Solo		Tijolo cerâmico
Mão de obra	Tampa de concreto pré-moldadas	Cascalho grosso	Plantas		Laje protendida (pré-moldada)
			Manta geotêxtil		
	Brita	Solo	Tijolo cerâmico		Areia
	Tubo PVC	Areia	Areia		Cimento
	TE PVC, 90°	Cimento	Cimento		Placa de metal preta
	Caixa de gordura	Plantas	Tubo PVC		Porta de metal com tela
	Mão de obra	Tijolo cerâmico	Tubo PVC furado		Chaminé de aço galvanizado
		Tubo PVC	TE PVC, 90°		Mão de obra
		Tubo PVC furado	Joelho PVC		Água
		Joelho PVC	Caixa de gordura		
		TE PVC, 90°	Caixa de distribuição		
		Água	Caixa de inspeção		
		Caixa de distribuição	Mão de obra		
		Caixa de inspeção	Escavadeira (bobcat)		
		Mão de obra	Água		
		Escavadeira (bobcat)	Reservatório de polietileno 500l		

CUSTOS ENVOLVIDOS NA IMPLANTAÇÃO						
Fossa rudimentar	Fossa séptica + sumidouro	TEvap + vala de infiltração	Evatac + vala de infiltração	Tanque de armazenamento de urina	Banheiro seco compostavel	
				Filtro de água 25 micra		
				Clorador de pastilhas		
				BOMBA DE 372W		

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 03: Resumo do custo de operação e manutenção de cada tecnologia.

CUSTOS ENVOLVIDOS NA OPERAÇÃO						
Fossa rudimentar	Fossa séptica + sumidouro	TEvap + vala de infiltração	EvaTAC + vala de infiltração	Tanque de armazenamento de urina	ETE municipal	Banheiro seco compostavel
Abertura de uma nova fossa	Serviço de limpeza de fossa	Saco de lixo	Saco de lixo	Hidróxido de cálcio	Taxa do serviço público de esgoto	Serragem
				Pastilha de cloro		
				Refil do filtro		
				Energia elétrica		

Fonte: elaborado pela autora.

Os valores de CAPEX foram obtidos a partir do dimensionamento de todos os sistemas de tratamento e, posteriormente, o levantamento e somatória de todos os custos necessários para a implantação. O OPEX foi composto pela somatória das despesas com energia, remoção do lodo, necessidade de mão de obra e/ou serviços, matéria prima e taxas pertinentes, destinados a operação e manutenção dos sistemas. Para quantificar os custos despendidos com a construção, operação e manutenção utilizou-se o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao ano de 2022, e quando os itens não constavam nesse documento, foram feitos orçamentos em fornecedores de materiais, equipamentos ou empresas prestadoras de serviços, localizados no município de Campo Grande-MS.

Em seguida, foi calculado o Valor Presente Líquido - VPL de cada cenário, conforme a Equação 04 No fluxo de caixa foram consideradas todas as entradas e saídas no período estipulado e foram consideradas duas taxas de juros. A partir da análise de um período de 15 anos (2007 a 2022) foram selecionadas a maior e a menor taxa de juros aplicadas neste período, correspondendo a 2% e 14,25% ao ano, respectivamente.

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (\text{Equação 04})$$

VPL: Valor presente líquido;
 FCj: Fluxo de caixa no período j;
 i: Taxa de juros (taxa de atratividade)
 J: Prazo.

Ainda, quando comparando-se os custos de implantação, operação e manutenção de diferentes tecnologias, deve-se considerar a vida útil de cada sistema. Dessa forma, para este estudo adotou-se uma vida útil de 15 anos para todos os sistemas analisados. Sendo assim, foram realizados os cálculos dos 4 indicadores mencionados, conforme a fórmula apresentada.

4.3. Avaliação do Ciclo de Vida Social - ACV-S

Os indicadores sociais representam o impacto que o esgotamento sanitário apresenta à sociedade. Apesar disso, por serem, em sua maioria, de natureza qualitativa ou de difícil quantificação, frequentemente não são abordados na avaliação de sustentabilidade. Procedimento esse contestável, tendo em vista que esses indicadores representam um papel importante na implementação da tecnologia (Balkema *et al.*, 2002).

Para elaborar a ACV-S, foi utilizada a metodologia sugerida pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - UNEP no guia Diretrizes para a Vida Social Avaliação do Ciclo de Produtos e Organizações 2020. A UNEP (2011) define quatro fases para elaboração do estudo: objetivo e escopo do estudo; inventário; avaliação de impacto e interpretação. Concomitante à essas etapas, são consideradas as seguintes categorias de *stakeholders*: trabalhadores, consumidores e comunidade local, a partir das quais são definidas as subcategorias e os indicadores de impacto.

Para cada categoria de *stakeholders* foram elaborados indicadores e critérios, como pode ser visto na Tabela 04, selecionados de acordo com o sugerido pelo guia da UNEP e estudo realizado por Padilla-Rivera *et al.* (2016), em que são apresentados os principais aspectos sociais associados às estações de tratamento de águas residuárias. Em seguida, os indicadores foram ponderados de acordo com a relevância e importância para a ACV-S dos sistemas de tratamento de esgoto descentralizados analisados.

Tabela 04: Conjunto de indicadores e critérios sociais.

<i>Stakeholders</i>	Indicador	Crítérios
Trabalhador	Saúde e Segurança do Trabalho	Possui risco de contaminação
		Utilização de produtos químicos perigosos

<i>Stakeholders</i>	Indicador	Critérios
		Emissão de odor
	Mão de Obra	Complexidade de construção
		Complexidade da operação e manutenção
Consumidores “Usuários”	Saúde e Segurança do usuário	Possui risco de contaminação
		Emissão de odor
		Proliferação de vetores
		Risco de contaminação pelo reúso da água*
		Risco de contaminação da utilização do adubo**
	Monetização	Redução do consumo de água e adubo
Comunidade	Condições de vida segura e saudável – Comunidade	Emissão de odor
		Risco de contaminação do solo e/ou da água
		Proliferação de vetores
	Contribuição para o desenvolvimento econômico local	Geração de emprego
		Aumento do consumo de produtos e serviços

* Apenas para os cenários com reúso de água.

** Apenas para os cenários com produção de adubo.

Fonte: elaborado pela autora.

Assim como para a ACCV, cada indicador possui suas unidades e valores atrelados que foram verificados a partir de um questionário, formulado e direcionado a um grupo de tomada de decisão. Tal grupo ponderou cada critério de acordo com a significância de cada indicador com base em seus conhecimentos sobre as particularidades de cada tecnologia e os desafios do saneamento descentralizado. Assim, a escolha dos participantes foi pautada na experiência acadêmica dos profissionais na área de saneamento, em específico na área de tratamento de esgoto.

Um ponto importante a salientar, é que a presente análise não se trata de um estudo de caso real. Desse modo, foi solicitado que especialistas da área fizessem esse julgamento de como os sistemas analisados podem impactar a dimensão social.

A análise comparativa e as respostas atribuídas para cada critério foram realizadas por meio de um questionário enviado para um grupo de 11 experts da área de saneamento, sendo, Professores (docentes), Pesquisadores de departamentos de Engenharia Sanitária e/ou Ambiental de universidades federais, particulares e instituições fora do Brasil. Engenheiros

Civis ou Sanitaristas e ou Ambientais que atuam com projeto e/ou construção de empreendimentos com sistema de tratamento de esgoto descentralizado também participaram.

As respostas individuais dos questionários (para cada um dos 11 integrantes do grupo de tomada de decisão) foram compiladas em um único resultado que representasse a preferência da maioria dos avaliadores. Tendo como base a pontuação que cada critério possuía, conforme Tabela 05, resultando em uma nota para cada cenário em cada um dos indicadores, apresentado no final de cada tabela. Dessa forma, considera-se que quanto maior a nota final, pior é o desempenho social do cenário. Foram considerados 16 critérios e 6 indicadores sociais divididos em 3 *stakeholders*.

Tabela 05: Pontuação pertinente aos critérios dos indicadores sociais.

Opções de resposta em cada critério	Pontuação
Sem	0
Baixo / pouco	1
Moderado	2
Alto / muito	3
Não	0
Sim	1
Não monetiza	0
Monetiza	1

O julgamento de preferência foi atribuído a partir de uma somatória das notas correspondente a alternativa mais votada de cada indicador. E a partir desse resultado compilado, foi calculado a média e em seguida normalizados, resultando em uma pontuação para cada cenário. Considerando uma escala de cores em que cada cenário seria enquadrado, conforme Tabela 06. Tal escala foi utilizada para determinar as preferências desse grupo de tomada de decisão. O questionário encaminhado ao grupo encontra-se no apêndice e as respostas foram compiladas e apresentadas no capítulo de resultados.

Tabela 06: Escala de cores utilizada para agrupar os resultados da ACV-S

Escala de cores	Grau de sustentabilidade social	Intervalo de pontos
	Alto	2 - 11
	Moderado	12 - 21
	Baixo	22 - 31

4.4. Sustentabilidade econômica e social

A AHP (Processo de Hierarquia Analítica) é um dos métodos mais aplicados na avaliação de sustentabilidade em sistemas de saneamento. E nesta pesquisa, para a análise

comparativa econômica e social dos 9 cenários, utilizamos apenas a parte inicial da metodologia, formulando uma estrutura hierárquica do problema objetivando uma melhor visualização.

Neste método, o objetivo principal do problema de decisão é estruturado em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão e avaliação. Para a aplicação desta metodologia é necessário que tanto os critérios quanto as alternativas possam ser estruturadas de forma hierárquica (organograma). Sendo assim, o nível da hierarquia superior é o problema (objetivo principal) que se deseja resolver (qual é o cenário mais sustentável do ponto de vista econômico e social para o tratamento de esgotamento sanitário?), o segundo nível representa, separadamente, as dimensões avaliadas que influenciam esse objetivo (dimensões econômica e social) e no terceiro nível, abaixo de cada dimensão, os indicadores individuais, que são conectados as alternativas (cenários) disponíveis para escolha, sendo o último nível. Esta forma hierárquica permite a visualização dos componentes, sua complexidade e inter-relação. Como pode ser observado na Figura 10.

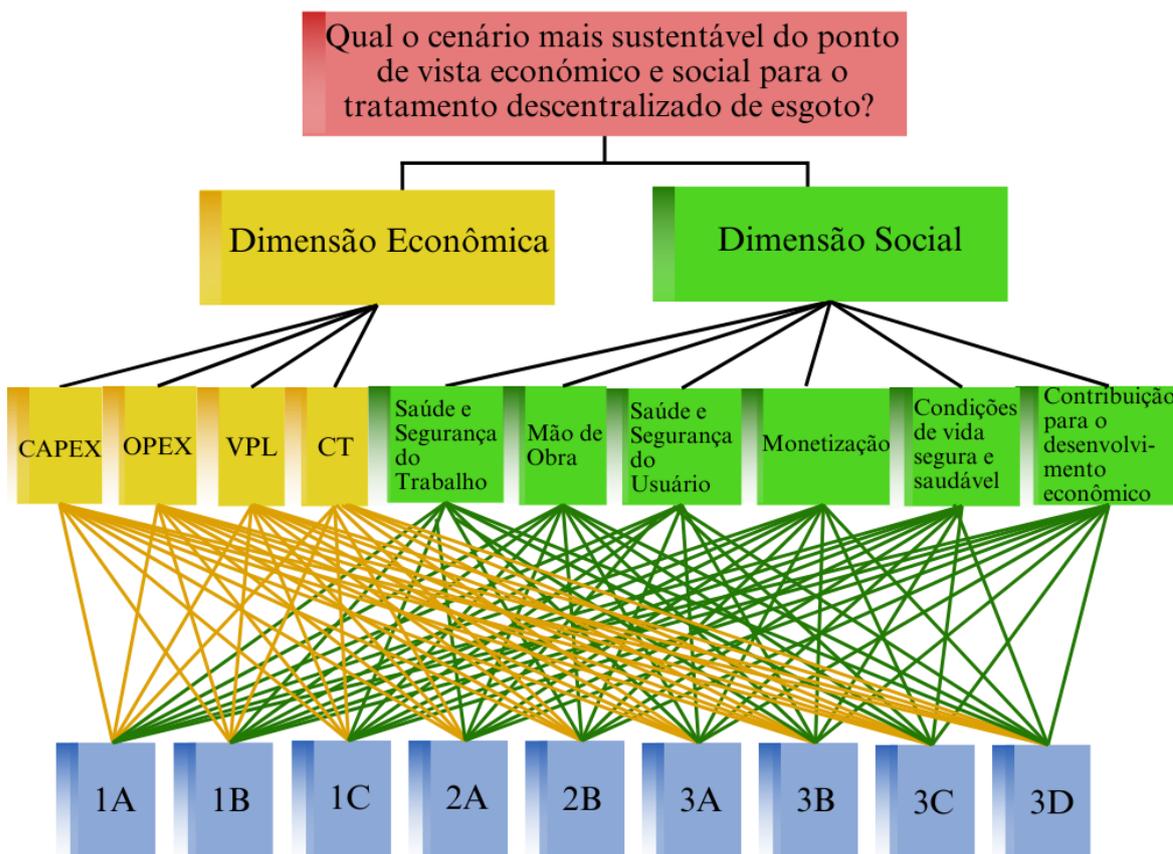


Figura 10: Estrutura hierárquica do problema. Custo de implantação (CAPEX); Custo de operação (OPEX); Valor presente líquido (VPL); Custo total (CT).

Fonte: elaborado pela autora.

Após os resultados da Análise do Custo do Ciclo de Vida e da Avaliação do Ciclo de Vida Social, foi realizada uma análise crítica comparativa dos nove cenários com sistemas descentralizados de tratamento e reuso, para demonstrar os pontos positivos e negativos de cada sistema. Os resultados foram apresentados separadamente para cada dimensão e também combinados em um único escore. Para garantir a comparabilidade, os impactos selecionados dentro de cada dimensão foram primeiramente normalizados. Basicamente, após atribuir uma pontuação a cada indicador, a avaliação de impacto envolveu a normalização das pontuações utilizando o procedimento de normalização mín/máx, conforme descrito por Molinos-Senante et al. (2014).

Esses indicadores normalizados foram então somados, criando uma pontuação de índice composto para cada dimensão em cada cenário. Esta pontuação do índice composto representa o desempenho global de um cenário em todos os indicadores dentro de uma dimensão específica. Além disso, as pontuações do índice composto foram combinadas para gerar uma pontuação global de sustentabilidade econômica e social para cada cenário, proporcionando uma avaliação abrangente do desempenho de cada cenários. Fornecendo dados e informações para auxiliar a tomada de decisão para o contexto em questão.

5. RESULTADOS

5.1. Dimensão Econômica

Os indicadores econômicos analisados foram o Custo de Construção – CAPEX; Custo de Operação e Manutenção – OPEX, Custo Total – CT e o Valor Presente Líquido – VPL. Os valores de OPEX foram cotados em comércios, empresas e prestadores de serviços especializados. O CT corresponde a somatória do CAPEX e do OPEX, os resultados desses indicadores são demonstrados nas tabelas 16 a 27. O último indicador foi calculado a partir da equação do VPL considerando o fluxo de caixa de cada cenário e um taxa de atratividade de 2% e 14,25 ao ano, considerando a menor e a maior taxa de juros aplicada entre os anos de 2007 a 2022 (tabelas 26 e 27). Vale ressaltar que, ambos os indicadores, foram dimensionados para uma família de 4 pessoas sendo 2 homens e 2 mulheres em um período de 15 anos de operação.

5.1.1. CAPEX

As tabelas de 7 a 15 apresentam os resultados do custo de implantação dos nove cenários. Na tabela 15 os nove cenários foram divididos em três cores, a verde representa os cenários com menor CAPEX, amarelo um custo de implantação intermediário e a vermelha os

maiores custos.

Tabela 7: Cenário 1A Fossa rudimentar e 1B Fossa rudimentar + disposição no solo.

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Tubo PVC (DN 100mm)	0,5	m	R\$ 20,00	SINAPI1
Tampa de concreto (DN 1,20m)	1	un.	R\$ 246,25	SINAPI1
Mão de obra (servente)	8	h	R\$ 143,68	SINAPI1
CAPEX			R\$ 409,93	

Tabela 8: Cenário 1C Fossa séptica seguida de sumidouro.

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Anel de concreto fechado DN 1,2m	1	un.	R\$ 438,65	SINAPI1
Anel de concreto aberto DN 1,2m	3	un.	R\$ 938,88	SINAPI1
Anel de concreto furado DN 1,2m	4	un.	R\$ 1.251,84	SINAPI1
Pedra britada n. 4	0,37	m ³	R\$ 29,32	SINAPI1
Tampa de concreto pré-moldada	2	un.	R\$ 318,64	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm	2,5	m	R\$ 100,00	SINAPI1
TE PVC, 90°, 100 mm	2	un.	R\$ 45,48	SINAPI1
Caixa de gordura	1	un.	R\$ 171,42	SINAPI1
Mão de obra (pedreiro e servente)	20	h	R\$ 802,40	SINAPI1
CAPEX			R\$ 4.096,63	

Tabela 9: Cenário 2A Fossa séptica + EvaTAC sem reúso de água cinza.

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Anel de concreto fechado DN 1,2m	1	un.	R\$ 438,65	SINAPI1
Anel de concreto aberto DN 1,2m	3	un.	R\$ 938,88	SINAPI1
Anel de concreto furado DN 1 m	4	un.	R\$ 798,64	SINAPI1
Tampa de concreto pré-moldada	2	un.	R\$ 318,64	SINAPI1
Pedra britada n. 0	2,38	m ³	R\$ 188,59	SINAPI1
Pedra britada n. 1	0,476	m ³	R\$ 32,67	SINAPI1
Pedra britada n. 2	0,59	m ³	R\$ 40,71	SINAPI1
Pedra britada n. 4	2,03	m ³	R\$ 139,47	SINAPI1
Solo	0,66	m ³	R\$ 169,71	SINAPI1
Planta (Beri)	60	un.	R\$ 1.500,00	Floricultura
Manta geotêxtil	2	m ²	R\$ 15,98	Loja especializada

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Tijolo cerâmico 8 furos	220	un.	R\$ 206,80	SINAPI1
Tijolo cerâmico maciço	1350	un.	R\$ 1.107,00	SINAPI1
Areia	0,843	m ³	R\$ 57,32	SINAPI1
Cimento	597,71	kg	R\$ 442,31	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm	6,5	m	R\$ 260,00	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm furado	7,6	m	R\$ 81,47	SINAPI1
TE PVC, 90°, DN 100 mm	5	un.	R\$ 113,70	SINAPI1
Caixa de gordura	1	un.	R\$ 171,42	SINAPI1
Caixa de distribuição	1	un.	R\$ 57,74	SINAPI1
Caixa de inspeção	2	un.	R\$ 108,00	SINAPI1
Mão de obra (pedreiro e servente)	60	h	R\$ 2.407,20	SINAPI1
Água	0,339	m ³	R\$ 20,34	Tarifa cobrada pela concessionária.
CAPEX			R\$ 9.606,24	

Tabela 10: Cenário 2B EvaTAC + Tevap.

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Tela de metal (15mm)	21	m ³	R\$ 127,89	SINAPI1
Pedra britada n. 0	2,38	m ³	R\$ 188,59	SINAPI1
Pedra britada n. 1	0,476	m ³	R\$ 32,67	SINAPI1
Pedra britada n. 2	0,59	m ³	R\$ 40,71	SINAPI1
Pedra britada n. 4	5,24	m ³	R\$ 336,77	SINAPI1
Cascalho grosso	0,88	m ³	R\$ 35,22	SINAPI1
Solo	3,46	m ³	R\$ 889,70	SINAPI1
Planta (Bananeira)	1	un	R\$ 50,00	Floricultura
Planta (Beri)	100	un.	R\$ 2.500,00	Floricultura
Manta geotêxtil	2	m ²	R\$ 15,98	Loja especializada
Tijolo cerâmico com 8 furos	616	un.	R\$ 579,04	SINAPI1
Tijolo cerâmico maciço	1412	un.	R\$ 1.157,84	SINAPI1
Areia	2,191	m ³	R\$ 148,99	SINAPI1
Cimento	928,51	kg	R\$ 687,10	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm	7	m	R\$ 280,00	SINAPI1
Tubo PVC DN 25 mm	1	m	R\$ 13,65	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm furado	13,2	m	R\$ 141,50	SINAPI1
Joelho PVC 25mm	2	un.	R\$ 10,34	SINAPI1
Joelho PVC 100mm	2	un.	R\$ 20,24	SINAPI1
TE PVC, 90°, 100 mm	3	un.	R\$ 68,22	SINAPI1

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Caixa de gordura	1	un.	R\$ 171,42	SINAPI1
Caixa de distribuição	2	un.	R\$ 115,48	SINAPI1
Caixa de inspeção	4	un.	R\$ 216,00	SINAPI1
Reservatório de polietileno 500l	1	un.	R\$ 267,43	SINAPI1
Filtro de água 25 micra	1	un.	R\$ 150,00	Loja CG
Clorador de pastilhas	1	un.	R\$ 270,00	Loja CG
Bomba de 372w	1	un.	R\$ 273,25	Loja CG
Mão de obra	75	h	R\$ 2.808,40	SINAPI1
Escavadeira (bobcat)	1	diária	R\$ 600,00	Locadora CG
Água	0,485	m³	R\$ 21,75	Tarifa cobrada pela concessionária.
CAPEX			R\$ 12.418,78	

Tabela 11: Cenário 3A Fossa séptica + EvaTAC + Tanque de Urina

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Anel de concreto fechado DN 1,2m	1	un.	R\$ 438,65	SINAPI1
Anel de concreto aberto DN1,2m	3	un.	R\$ 938,88	SINAPI1
Anel de concreto furado DN 1 m	4	un.	R\$ 798,64	SINAPI1
Tampa de concreto pré-moldada	2	un.	R\$ 318,64	SINAPI1
Pedra britada n. 0	2,38	m³	R\$ 188,59	SINAPI1
Pedra britada n. 1	0,476	m³	R\$ 32,67	SINAPI1
Pedra britada n. 2	0,59	m³	R\$ 40,71	SINAPI1
Pedra britada n. 4	2,03	m³	R\$ 130,47	SINAPI1
Solo	0,66	m³	R\$ 169,71	SINAPI1
Planta (Berí)	60	un.	R\$ 1.500,00	Floricultura
Manta geotêxtil	2	m²	R\$ 15,98	Loja especializada
Tijolo cerâmico 8 furos	220	un.	R\$ 206,80	SINAPI1
Tijolo cerâmico maciço	1350	un.	R\$ 1.107,00	SINAPI1
Areia	0,843	m³	R\$ 57,32	SINAPI1
Cimento	597,71	kg	R\$ 442,31	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm	6,5	m	R\$ 260,00	SINAPI1
Tubo PVC DN 25 mm	1	m	R\$ 13,65	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm furado	7,6	m	R\$ 81,47	SINAPI1
Joelho PVC, 25mm	2	un.	R\$ 10,34	SINAPI1
TE PVC, 90°, 100 mm	5	un.	R\$ 113,70	SINAPI1
Caixa de gordura	1	un.	R\$ 171,42	SINAPI1
Caixa de distribuição	1	un.	R\$ 57,74	SINAPI1

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Caixa de inspeção	2	un.	R\$ 108,00	SINAPI1
Reservatório de polietileno 500l	1	un.	R\$ 267,43	SINAPI1
Filtro de água 25 micra	1	un.	R\$ 150,00	Loja CG
Clorador de pastilhas	1	un.	R\$ 270,00	Loja CG
Bomba de 372w	1	un.	R\$ 273,25	Loja CG
Reservatório de polietileno 200l	1	un.	R\$ 200,00	Loja CG
Mão de obra (pedreiro e servente)	68	h	R\$ 2.728,16	SINAPI1
Escavadeira (bobcat)	1	diária	R\$ 600,00	Locadora CG
Água	0,339	m³	R\$ 20,34	Tarifa cobrada pela concessionária.
CAPEX			R\$ 11.711,87	

Tabela 12: Cenário 3B EvaTAC + Tevap + Tanque de urina

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Tela de metal (15mm)	21	m³	R\$ 127,89	SINAPI1
Pedra britada n. 0	2,38	m³	R\$ 188,59	SINAPI1
Pedra britada n. 1	0,476	m³	R\$ 32,67	SINAPI1
Pedra britada n. 2	0,59	m³	R\$ 40,71	SINAPI1
Pedra britada n. 4	5,24	m³	R\$ 336,77	SINAPI1
Cascalho grosso	0,88	m³	R\$ 35,22	SINAPI1
Solo	3,46	m³	R\$ 889,70	SINAPI1
Planta (Bananeira)	1	un	R\$ 50,00	Floricultura
Planta (Beri)	100	un.	R\$ 2.500,00	Floricultura
Manta geotêxtil	2	m²	R\$ 15,98	Loja especializada
Tijolo cerâmico com 8 furos	616	un.	R\$ 579,04	SINAPI1
Tijolo cerâmico maciço	1412	un.	R\$ 1.157,84	SINAPI1
Areia	2,191	m³	R\$ 148,99	SINAPI1
Cimento	928,51	kg	R\$ 687,10	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm	7	m	R\$ 280,00	SINAPI1
Tubo PVC DN 25 mm	1	m	R\$ 13,65	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm furado	13,2	m	R\$ 141,50	SINAPI1
Joelho PVC 25mm	2	un.	R\$ 10,34	SINAPI1
Joelho PVC 100mm	2	un.	R\$ 20,24	SINAPI1
TE PVC, 90°, 100 mm	3	un.	R\$ 68,22	SINAPI1
Caixa de gordura	1	un.	R\$ 171,42	SINAPI1
Caixa de distribuição	2	un.	R\$ 115,48	SINAPI1
Caixa de inspeção	4	un.	R\$ 216,00	SINAPI1

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Reservatório de polietileno 500l	1	un.	R\$ 267,43	SINAPI1
Filtro de água 25 micra	1	un.	R\$ 150,00	Loja CG
Clorador de pastilhas	1	un.	R\$ 270,00	Loja CG
Bomba de 372w	1	un.	R\$ 273,25	Loja CG
Reservatório de polietileno 200l	1	un.	R\$ 200,00	Loja CG
Mão de obra	78	h		SINAPI1
Escavadeira (bobcat)	1	diária	R\$ 600,00	Locadora CG
Água	0,485	m³	R\$ 21,75	Tarifa cobrada pela concessionária.
CAPEX			R\$ 12.739,14	

Tabela 13: Cenário 3C ETE + EvaTAC + Tanque de urina

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Pedra britada n. 0	2,38	m³	R\$ 188,59	SINAPI1
Pedra britada n. 1	0,476	m³	R\$ 32,67	SINAPI1
Pedra britada n. 2	0,59	m³	R\$ 40,71	SINAPI1
Pedra britada n. 4	1,66	m³	R\$ 106,69	SINAPI1
Solo	0,66	m³	R\$ 169,71	SINAPI1
Planta (Beri)	60	un.	R\$ 1.500,00	Floricultura
Manta geotêxtil	2	m²	R\$ 15,98	Loja especializada
Tijolo cerâmico 8 furos	220	un.	R\$ 206,80	SINAPI1
Tijolo cerâmico maciço	1350	un.	R\$ 1.107,00	SINAPI1
Areia	0,843	m³	R\$ 57,32	SINAPI1
Cimento	597,71	kg	R\$ 442,31	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm	4	m	R\$ 160,00	SINAPI1
Tubo PVC DN 25 mm	1	m	R\$ 13,65	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm furado	7,6	m	R\$ 81,47	SINAPI1
Joelho PVC, 25mm	2	un.	R\$ 10,34	SINAPI1
TE PVC, 90°, 100 mm	3	un.	R\$ 113,70	SINAPI1
Caixa de gordura	1	un.	R\$ 171,42	SINAPI1
Caixa de distribuição	1	un.	R\$ 57,74	SINAPI1
Caixa de inspeção	2	un.	R\$ 108,00	SINAPI1
Reservatório de polietileno 500l	1	un.	R\$ 267,43	SINAPI1
Filtro de água 25 micra	1	un.	R\$ 150,00	Loja CG
Clorador de pastilhas	1	un.	R\$ 270,00	Loja CG
Bomba de 372w	1	un.	R\$ 273,25	Loja CG
Reservatório de polietileno 200l	1	un.	R\$ 200,00	Loja CG

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Mão de obra (pedreiro e servente)	48	h	R\$ 2.728,16	SINAPI1
Escavadeira (bobcat)	1	diária	R\$ 600,00	Locadora CG
Água	0,339	m³	R\$ 20,34	Tarifa cobrada pela concessionária.
CAPEX			R\$ 8.245,40	

Tabela 14: Cenário 3D EvaTAC + Banheiro seco + Tanque de urina

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Pedra britada n. 0	2,54	m³	R\$ 201,27	SINAPI1
Pedra britada n. 1	0,476	m³	R\$ 32,67	SINAPI1
Pedra britada n. 2	0,59	m³	R\$ 40,71	SINAPI1
Pedra britada n. 4	1,66	m³	R\$ 106,69	SINAPI1
Solo	0,66	m³	R\$ 169,71	SINAPI1
Planta (Beri)	60	un.	R\$ 1.500,00	Floricultura
Manta geotêxtil	2	m²	R\$ 15,98	Loja especializada
Tijolo cerâmico 8 furos	220	un.	R\$ 180,40	SINAPI1
Tijolo cerâmico maciço	1350	un.	R\$ 1.269,00	SINAPI1
Tijolo 6 furos	533	un.	R\$ 458,38	SINAPI1
Laje protendida (pré moldada)	7,12	m²	R\$ 483,45	Loja de material de construção
Areia	1,571	m³	R\$ 106,83	SINAPI1
Cimento	1135,8	kg	R\$ 840,49	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm	4	m	R\$ 160,00	SINAPI1
Tubo PVC DN 25 mm	1	m	R\$ 13,65	SINAPI1
Tubo PVC DN 100 mm furado	7,6	m	R\$ 81,47	SINAPI1
Joelho PVC, 25mm	2	un.	R\$ 10,34	SINAPI1
TE PVC, 90°, 100 mm	3	un.	R\$ 68,22	SINAPI1
Caixa de gordura	1	un.	R\$ 171,42	SINAPI1
Caixa de distribuição	1	un.	R\$ 57,74	SINAPI1
Caixa de inspeção	2	un.	R\$ 108,00	SINAPI1
Reservatório de polietileno 500l	1	un.	R\$ 267,43	SINAPI1
Filtro de água 25 micra	1	un.	R\$ 150,00	Loja CG
Clorador de pastilhas	1	un.	R\$ 270,00	Loja CG
Bomba de 372w	1	un.	R\$ 273,25	Loja CG
Reservatório de polietileno 400l	1	un.	R\$ 234,90	Loja CG
Placa de metal preta	1	un.	R\$ 134,90	Internet
Porta de metal com janela e tela	2	un.	R\$ 355,38	Internet
Chaminé de aço galvanizado	1	un.	R\$ 140,00	Loja de material de construção

Descrição	Quantidade	Unidade	Custo total	Fonte
Mão de obra (pedreiro e servente)	78	h	R\$ 3.129,36	SINAPII
Escavadeira (bobcat)	1	diária	R\$ 600,00	Locadora CG
Água	0,6	m ³	R\$ 22,86	Tarifa cobrada pela concessionária
CAPEX			R\$ 11.654,50	

Tabela 15: CAPEX de todos os cenários

Cenário	Tecnologias	CAPEX
1A	Fossa rudimentar	R\$ 409,93
1B	Fossa rudimentar + solo	R\$ 409,93
1C	Fossa séptica	R\$ 4.096,63
3C	ETE + EvaTAC + Tanque de urina	R\$ 8.245,40
2A	Fossa séptica + EvaTAC sem reúso	R\$ 9.606,24
3D	EvaTAC + Banheiro seco + Tanque de Urina	R\$ 11.654,50
3A	Fossa séptica + EvaTAC + Tanque de Urina	R\$ 11.711,87
2B	EvaTAC + TEvap	R\$ 12.418,78
3B	EvaTAC + TEvap + Tanque de urina	R\$ 12.739,14

Conforme apresentado na tabela 15 os menores valores de CAPEX estão nos cenários 1A e 1B (R\$ 409,93). Mesmo possuindo o menor custo de implantação, são consideradas práticas ambientalmente inadequadas de descarte de esgoto doméstico, descarregando o efluente sem nenhum tratamento preliminar poluindo e contaminando o solo. Porém, essa prática ainda é encontrada principalmente em áreas rurais.

Os cenários que possuem um custo de implantação intermediário são os 1C, 3C e 2A. Podemos destacar o cenário 3C com um CAPEX intermediário, pois não foi considerado a implantação da ETE municipal, nesse caso, foram somados os custos para construção do EvaTAC e do tanque de urina. A fossa séptica (1C) é a solução mais popular para sistemas de ETE em regiões não atendidas por um sistema público de esgoto, tanto por sua facilidade na construção quando pelo baixo preço de implantação, se considerarmos apenas práticas adequadas ao meio ambiente, excluindo o 1A e 1B, o 1C teria o menor CAPEX dentre os cenários analisados.

Outro item que merece atenção é o TEvap, tanque de evapotranspiração, que foi considerado construído em alvenaria. No entanto, esta tecnologia pode ser barateada dependendo do material escolhido para a impermeabilização e construção, como por exemplo substituindo a câmara de tijolos furados por uma câmara de pneus usados e trocando as britas

por ladrilho e tijolos quebrados, reutilizando resíduos de construção civil. Considerando que os cenários com a tecnologia do TEvap ficariam com um CAPEX menor se trocar esses materiais no momento da construção, reaproveitando pneus usados e entulho cerâmico.

Os maiores valores de CAPEX ficaram com os cenários 3B e o 2B, os dois são configurados com um EvaTAC, um TEvap e valas de infiltração sendo consideradas as tecnologias com maior custo de implantação pela grande quantidade de materiais utilizados. Os dois possuem valores semelhantes e a única diferença ente os cenários é a presença do tanque de armazenamento de urina no 3B resultando em um valor total de CAPEX de R\$ 12.739,14 o mais alto entre os nove.

5.1.2. OPEX e CT

As tabelas a seguir demonstram os resultados dos custos de manutenção e operação de cada cenário e o Custo Total (CT) correspondendo a somatória do CAPEX e do OPEX.

Tabela 16: OPEX e CT do cenário 1A

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Construção de uma nova fossa rudimentar	a cada 6 meses	R\$ 12.297,90	SINAPI1
OPEX		R\$ 12.297,90	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 12.707,83	

Tabela 17: OPEX e CT do cenário 1B

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Construção de uma nova fossa rudimentar	1 vez ao ano	R\$ 6.148,95	SINAPI1
OPEX		R\$ 6.148,95	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 6.558,88	

Tabela 18: OPEX e CT do cenário 1C

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Empresa de limpa fossa	a cada 2 anos	R\$ 2.400,00	Empresa especializada
OPEX		R\$ 2.400,00	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 6.496,63	

Tabela 19: OPEX e CT do cenário 2A (sem reúso de água cinza)

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Empresa de limpa fossa	a cada 2 anos	R\$ 2.400,00	Empresa especializada

Poda das plantas a cada 6 meses feita pelo morador (sem necessidade de trabalho técnico). Sacos de lixo com 30 unidades de 100l	1,0 un.	R\$ 69,00	Mercado CG
OPEX		R\$ 2.469,00	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 12.075,24	

Tabela 20: OPEX e CT do cenário 2B

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Poda das plantas a cada 6 meses feita pelo morador (sem necessidade de trabalho técnico). Sacos de lixo com 30 unidades de 100l	2,0 un.	R\$ 138,00	Mercado
Pastilhas de cloro 7 pacotes de 50un	7,0 un.	R\$ 420,00	Loja especializada
Refil do filtro	Troca a cada 6 meses	R\$ 840,00	Loja especializada
Energia elétrica	10mim/dia	373,68	Tarifa cobrada pela concessionária Energisa
OPEX		R\$ 1.771,68	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 14.190,47	

Tabela 21: OPEX e CT do cenário 3A

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Empresa de limpa fossa	a cada 2 anos	R\$ 2.400,00	Empresa especializada
Poda das plantas a cada 6 meses feita pelo morador (sem necessidade de trabalho técnico). Sacos de lixo com 30 unidades de 100l	1,0 un.	R\$ 69,00	Mercado
Hidróxido de cálcio	10g por litro de urina	R\$ 7.020,00	Loja especializada
Pastilhas de cloro 7 pacotes de 50un	7,0 un.	R\$ 420,00	Loja especializada
Refil do filtro	Troca a cada 6 meses	R\$ 840,00	Loja especializada
Energia elétrica	10mim/dia	373,68	Tarifa cobrada pela concessionária Energisa
OPEX		R\$ 11.122,68	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 22.834,55	

Tabela 22: OPEX e CT do cenário 3B

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Poda das plantas a cada 6 meses feita pelo morador (sem necessidade de trabalho técnico). Sacos de lixo com 30 unidades de 100l	2,0 un.	R\$ 138,00	Mercado
Hidróxido de cálcio	10g por litro de urina	R\$ 7.020,00	Loja especializada
Pastilhas de cloro 7 pacotes de 50un	7,0 un.	R\$ 420,00	Loja especializada
Refil do filtro	Troca a cada 6 meses	R\$ 840,00	Loja especializada
Energia elétrica	10mim/dia	373,68	Tarifa cobrada pela concessionária Energisa
OPEX		R\$ 8.791,68	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 21.530,83	

Tabela 23: OPEX e CT do cenário 3C

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Poda das plantas a cada 6 meses feita pelo morador (sem necessidade de trabalho técnico). Sacos de lixo com 30 unidades de 100l	1,0 un.	R\$ 69,00	Mercado
Hidróxido de cálcio	10g por litro de urina	R\$ 7.020,00	Loja especializada
Pastilhas de cloro 7 pacotes de 50un	7,0 un.	R\$ 420,00	Loja especializada
Refil do filtro	Troca a cada 6 meses	R\$ 840,00	Loja especializada
Energia elétrica	10 mim/dia	373,68	Tarifa cobrada pela concessionária Energisa
Taxa do serviço de esgotamento municipal	mensal	R\$ 14.016,24	Tarifa cobrada pela concessionária Águas Guariroba em CG
OPEX		R\$ 22.738,92	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 30.984,32	

Tabela 24: OPEX e CT do cenário 3D

Descrição	Frequência/ quantidade	Custo total	Fonte
Poda das plantas a cada 6 meses feita pelo morador (sem necessidade de trabalho técnico). Sacos de lixo com 30 unidades de 100l	1,0 un.	R\$ 69,00	Mercado
Hidróxido de cálcio	10g por litro de urina	R\$ 14.040,00	Loja especializada
Pastilhas de cloro 7 pacotes de 50un	7,0 un.	R\$ 420,00	Loja especializada
Refil do filtro	Troca a cada 6 meses	R\$ 840,00	Loja especializada
Energia elétrica	10min/dia	R\$ 373,68	Tarifa cobrada pela concessionária Energisa
Serragem	1,68l/dia	R\$ 2.759,40	Loja especializada
OPEX		R\$ 18.502,08	
Custo Total - CT (CAPEX + OPEX)		R\$ 30.156,58	

Os valores de OPEX com consumo de energia apresentados nas tabelas 20, 21, 22, 23 e 24 foram calculados a partir da tarifa aplicada pela concessionária Energisa no município de Campo Grande - MS. O valor do kWh (Quilowatt-hora) no período analisado é de R\$ 1,09425, a bomba, com potência de 372W, ficará ligada por 10 mim/dia = 0,17h/dia, 30 dias no mês, todos os meses do ano em 15 anos. O cálculo do consumo kW/h foi calculado conforme a Equação 05 sem considerar as perdas.

$$\text{Consumo} = \text{Potência da bomba (Watts)} \times \text{h/dia} \times \text{n}^\circ \text{ dia} / 1000 \quad (\text{Equação 5})$$

$$\text{Consumo} = (372\text{W} \times 0,17\text{h/dia} \times 30\text{dias}) / 1000 = 1,8972 \text{ kWh/mês}$$

$$1,8972 \text{ kWh/mês} \times 180 \text{ (12 meses} \times 15 \text{ anos)} = 341,496 \text{ kWh em 15 anos.}$$

$$\text{Valor: } 341,496 \text{ kWh} \times 1,09425 = \mathbf{373,68}$$

A Tabela 25, apresenta o custo com a taxa de tratamento de esgoto cobrado pela concessionária Águas Guariroba no Município de Campo Grande - MS que equivale a 6,18 R\$/m³, a cobrança incide sobre 70% do consumo da água da residência, que foi estimada em 150 L.cap⁻¹.d⁻¹, totalizando 12,6 m³/mês.

Tabela 25: OPEX de todos os cenários.

Cenário	Tecnologias	OPEX
2B	EvaTAC + TEvap	R\$ 1.771,68

Cenário	Tecnologias	OPEX
1C	Fossa séptica	R\$ 2.400,00
2A	Fossa séptica + EvaTAC sem reúso	R\$ 2.469,00
1B	Fossa rudimentar + solo	R\$ 6.148,95
3B	EvaTAC + TEvap + Tanque de urina	R\$ 8.791,68
3A	Fossa séptica + EvaTAC + Tanque de Urina	R\$ 11.122,68
1A	Fossa rudimentar	R\$ 12.297,90
3D	EvaTAC + Banheiro seco + Tanque de urina	R\$ 18.502,08
3C	ETE + EvaTAC + Tanque de urina	R\$ 22.738,92

Nas tabelas 25 e 26 os nove cenários foram divididos em três cores, a verde representa os cenários com menor custo, amarelo com valores intermediário e a vermelhe os maiores custos.

Conforme a Tabela 25, o cenário 2B apresenta o menor custo de operação e manutenção seguido pela fossa séptica em segundo lugar. Os cenários 1A e 1B possuem OPEX elevado, considerando que após o enchimento da fossa, será construída uma nova em um período de seis meses para o 1A e um ano para o 1B.

O cenário 3C que possui a ETE municipal em sua composição, tem o maior OPEX, pois foi considerado a taxa cobrada pela concessionária Água Guariroba no município de Campo Grande-MS para o tratamento e disposição final do esgoto doméstico, resultando em um elevado custo operacional.

Outro item que aumentou os custos de alguns cenários foi o tanque de armazenamento de urina, sendo utilizado uma dosagem de 10 g de Hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para cada litro de urina (Randall *et al.*, 2016). Essa quantidade foi significativa no custo de operação. Durante a pesquisa foi verificada a substituição do Hidróxido de Cálcio por Ácido Acético (vinagre), um produto facilmente encontrado em qualquer mercado. No entanto, nessa configuração o custo seria 41% mais alto em relação à utilização de Hidróxido de Cálcio, considerando a utilização de 1 litro de vinagre para cada 3 litros de urina.

No cenário 2A não vai ocorrer o reuso da água cinza, o efluente passara pelo EvaTAC e seguirá para uma vala de infiltração. Nos outros cenários a água cinza passa pelo EvaTAC e é direcionada ao tanque de armazenamento com bomba, clorador e filtro, para posterior reuso não potável. A energia elétrica utilizada na bomba foi calculada a partir do custo aplicado pela concessionária Energisa na cidade de Campo Grande - MS, aumentando o OPEX nos cenários 2B, 3A, 3B, 3C, 3D.

Tabela 26: CT de todos os cenários

Cenário	Tecnologias	CT
1C	Fossa séptica	R\$ 6.496,63
1B	Fossa rudimentar + solo	R\$ 6.558,88
1A	Fossa rudimentar	R\$ 12.707,83
2A	Fossa séptica + EvaTAC sem reúso	R\$ 12.075,24
2B	EvaTAC + TEvap	R\$ 14.190,47
3B	EvaTAC + TEvap + Tanque de urina	R\$ 21.530,83
3A	Fossa séptica + EvaTAC + Tanque de urina	R\$ 22.834,55
3D	EvaTAC + Banheiro seco + Tanque de urina	R\$ 30.156,58
3C	ETE + EvaTAC + Tanque de urina	R\$ 30.984,32

Analisando o CT, demonstrado na Tabela 26, o cenário 3C é o que apresenta o maior valor, mesmo com seu CAPEX baixo o cenário foi afetado pelo seu OPEX alto e galgou a última posição do custo total. Demonstrando a importância de analisar o OPEX e não só o valor de construção dos sistemas.

Os cenários com o tanque de armazenamento de urina ficaram nas últimas posições puxados pelo OPEX, tecnologia está que demanda alta quantidade de Hidróxido de Cálcio Ca(OH)_2 .

O cenário 1C, Fossa séptica e sumidouro, possui o menor custo total, seguido pelo 1B e 1A, que mesmo sendo práticas ambientalmente inadequadas ainda são encontradas em áreas rurais e periurbanas no Brasil,

Em quarto e quinto lugar apresentam-se os cenários 2A e 2B, nos quais observa-se que a fossa séptica possui um custo elevado de manutenção e um custo baixo de implantação já o TEvap possui custo baixo de OPEX mas um custo alto de CAPEX. Entretanto, esta tecnologia pode ser construída com materiais alternativos que podem baratear seus custos de implantação. Outra informação importante é que no cenário 2B a água cinza passa por um sistema de filtro e cloração e segue para um tanque de armazenamento com posterior reúso, já no cenário 2A a água cinza sai do EvaTAC para uma vala de infiltração. Dessa maneira, o OPEX e CAPEX do EvaTAC do cenário 2A é menor que nos outros cenários (2B,3A, 3B, 3C e 3D).

Analisando os valores considerando a quantia que será economizada com o reúso da água cinza produzida na residência e a utilização da urina e do composto produzido no banheiro seco para adubação, obtemos novos resultados de OPEX e CT. O usuário do sistema deixa de dispor recursos na compra de adubo e o consumo de água potável na residência é diminuído.

Analisando desta forma, os cenários que possuem reúso de água cinza e utilização da urina e composto do banheiro seco como adubo deixaria de gastar dinheiro com esses itens, que foram computados no fluxo de caixa como positivos (entrada). Deste modo, o valor

economizado entraria como um crédito no OPEX. Resultando em uma nova configuração que pode ser observado na Tabela 27 e 28.

Tabela 27: Custo total considerando a água e o adubo que vai deixar de gastar reutilizando os recursos

Cenário	OPEX	Fluxo de caixa - Entrada (econômica) (considerando água de reuso e adubo)	OPEX (considerando o fluxo de caixa - economia)	Custo total – CT	Nota final normalizada
2B	R\$ 1.771,68	R\$ 9.096,67	-R\$ 7.324,98	R\$ 5.093,80	0
1C	R\$ 2.400,00	-	-	R\$ 6.496,63	0,088
1B	R\$ 6.148,95	-	-	R\$ 6.558,88	0,092
3B	R\$ 8.791,68	R\$ 9.938,32	-R\$ 1.146,63	R\$ 11.592,51	0,41
2A	R\$ 2.469,00	-	-	R\$ 12.075,24	0,44
1A	R\$ 12.297,90	-	-	R\$ 12.707,83	0,48
3A	R\$ 11.122,68	R\$ 9.938,32	R\$ 1.184,37	R\$ 12.896,24	0,48
3D	R\$ 18.502,08	R\$ 9.938,32	R\$ 8.563,76	R\$ 20.218,26	0,95
3C	R\$ 22.738,92	R\$ 9.938,32	R\$ 12.800,61	R\$ 21.046,01	1

O cenário 2B, passa a ser o mais economicamente viável, saindo da quinta posição (tabela 26) para a primeira (tabela 27), com o menor CT dos itens analisados. O fluxo de entrada positivo de R\$9.096,67, valor que o usuário deixará de gastar reutilizando a água cinza, supera o valor gasto na operação dos sistemas (R\$ 1.771,68). Deste modo, o cenário 2B fica com custo zero no OPEX e um crédito (caixa positivo) de R\$ R\$7.324,98 que foi subtraído do Custo Total que sai de R\$ 14.190,47 para R\$ 5.093,80.

No cenário 3B o fluxo de caixa também é positivo, possuindo uma economia (entrada) de R\$ 9.938,32, valor maior que os gastos de saída (zerando o OPEX) com um montante de R\$ 8.791,68, resultando em um fluxo de caixa (credito) de R\$ 1.146,63 que foi subtraído do custo total, saindo de R\$ 21.530,83 para R\$ 11.592,51.

Os cenários 3B e 3A sobem duas posições com um fluxo de caixa de R\$ 9.938,32, considerando o reúso de água e do adubo, subtraindo esse valor do OPEX diminuindo o CT final. Já nos cenários 3D e 3C mesmo com a economia de R\$ 9.938,32 continuaram sendo os cenários com custo total mais elevados.

O cenário 2A acabou caindo de posição por não reutilizar a água cinza na residência, indo de quarto lugar para sexto. Dispensando-se as técnicas ambientalmente inadequadas (1A

e 1B), o cenário sai de segundo para quinto lugar, considerando o custo total (OPEX + CAPEX).

5.1.3. VPL

Na Tabela 28 é demonstrado o fluxo de caixa de entrada considerando o reúso da água cinza, a urina e o composto do banheiro seco como adubo. Para calcular a economia de água, foi utilizada a tarifa aplicada pela concessionária de abastecimento de água, Águas Guariroba do município de Campo Grande – MS, sendo de 8,86 R\$/m³.

Tabela 28: Fluxo de caixa positivo considerando água de reúso e adubo.

FLUXO DE CAIXA			
Entrada	Quantidade anual	Quantidade em 15 anos	Valor (15 anos)
Adubo	3kg	45kg	R\$ 841,65
Água de Reúso	68,68 m ³	1.030,20 m ³	R\$ 9.096,67
Total:			R\$ 9.938,32

Tabela 29: VPL com taxa de 2%

Cenário	Tecnologias	Valor Presente Líquido – VPL (2%)
2B	EvaTAC + TEvap	-R\$ 6.144,07
3B	EvaTAC + TEvap + Tanque de urina	-R\$ 11.756,92
3A	Fossa séptica + EvaTAC + Tanque de Urina	-R\$ 12.597,93
3D	EvaTAC + Banheiro seco + Tanque de urina	-R\$ 18.990,37
3C	ETE + EvaTAC + Tanque de urina	-R\$ 19.210,63

Tabela 30: VPL com taxa de 14,25%

Cenário	Tecnologias	Valor Presente Líquido – VPL (14,25%)
2B	EvaTAC + TEvap	-R\$ 9.456,47
3A	Fossa séptica + EvaTAC + Tanque de Urina	-R\$ 12.130,18
3B	EvaTAC + TEvap + Tanque de urina	-R\$ 12.275,43
3C	ETE + EvaTAC + Tanque de urina	-R\$ 13.422,13
3D	EvaTAC + Banheiro seco + Tanque de urina	-R\$ 15.117,79

Com a fórmula do VPL foi possível calcular a viabilidade econômica dos cenários através da economia de água por águas cinzas reutilizadas, e substituindo o adubo químico pela urina e composto do banheiro seco, por meio dos cenários 2B, 3A, 3B, 3C e 3D. Com tecnologias descentralizadas e unifamiliares, considerando um período de 15 anos e uma taxa de atratividade de 2% (tabela 29) e 14,25% (tabela 30), podemos constatar que nenhum dos cenários apresentou valores positivos. Significando que em um período de 15 anos nenhum cenário alcançou a viabilidade econômica. O cenário que chegou mais próximo foi o 2B, no entanto só atingiria um VPL positivo em um período de 36 anos de funcionamento com uma taxa de 2%. No entanto, este período poderia ser diminuído mudando a forma de construção do

EvaTAC e reutilizando materiais. Outra maneira seria o governo fornecer incentivos a reutilização de água cinza como desconto em impostos ou financiamento de projetos.

5.2. Dimensão Social

Para a elaboração do inventário social foram consideradas as seguintes categorias de *stakeholders*: I) trabalhadores, II) consumidores e, III) comunidade local e sociedade (UNEP/SETAC, 2020).

É importante ressaltar que essas respostas são subjetivas, uma vez que diferentes tomadores de decisão podem classificá-las de modo diferente. No entanto, as preferências entre os especialistas foram utilizadas para facilitar a comparação entre os cenários a partir de indicadores qualitativos. Calculando a média dos valores escolhidos e normalizando o resultado final.

5.2.1. Trabalhadores

Considerando o grupo de *stakeholders* trabalhadores, foram elaborados dois indicadores, considerando a construção e operação dos sistemas, Saúde e segurança do trabalhador, com três critérios (tabela 31) e mão de obra, contendo dois critérios (tabela 32).

Tabela 31: Saúde e Segurança do Trabalhador

Nº	Cenário	Possui risco de contaminação	Critérios			Média	Nota Final Normalizada
			Utilização de produtos químicos perigosos	Emissão de odor			
		<u>1/2/3*</u>	<u>0/1**</u>	<u>0/1/2/3***</u>			
1A	Fossa Rudimentar	2,73	0	2,55	5,27	1	
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	2,73	0	2,55	5,27	1	
1C	Tanque séptico + sumidouro	1,82	0	1,64	3,45	0,13	
2A	Tanque séptico // EvaTAC	1,82	0,09	1,45	3,36	0,09	
2B	TEvap// EvaTAC	1,55	0,55	1,09	3,18	0	
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,91	0,64	1,45	4	0,39	
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,82	0,64	1,45	3,91	0,35	
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,73	0,64	1,73	4,09	0,43	

N°	Cenário	Critérios			Média	Nota Final Normalizada
		Possui risco de contaminação	Utilização de produtos químicos perigosos	Emissão de odor		
		<u>1/2/3*</u>	<u>0/1**</u>	<u>0/1/2/3***</u>		
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	2,09	0,64	1,82	4,55	0,65

* 1: baixo; 2: moderado; 3: alto.

** 0: não; 1: sim.

*** 0: sem; 1:pouca; 2:moderada; 3:muita.

Tabela 32: Mão de obra

N°	Cenário	Critérios		Média	Nota Final Normalizada
		Complexidade de construção	Complexidade da operação e manutenção		
		<u>1/2/3*</u>	<u>1/2/3*</u>		
1A	Fossa Rudimentar	1,09	1,18	2,27	0
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	1,09	1,27	2,36	0,03
1C	Tanque séptico + sumidouro	1,82	1,36	3,18	0,34
2A	Tanque séptico // EvaTAC	1,91	1,82	3,73	0,55
2B	TEvap// EvaTAC	2,27	1,91	4,18	0,72
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	2,27	2,18	4,45	0,83
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	2,27	2,18	4,45	0,83
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	2,55	2,36	4,91	1
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	2,36	2,46	4,82	0,97

* 1: baixa; 2: moderada; 3: alta.

No indicador Saúde e Segurança do Trabalhador, os cenários 1A e 1B obtiveram a mesma nota, nos mesmos critérios, considerados pelos especialistas com um alto risco de contaminação e emissão de odor, na construção e/ou operação dos cenários. O fato de a fossa rudimentar ser basicamente um buraco escavado no solo sem nenhuma proteção ao meio ambiente e a saúde pública, justifica essa nota. Outro cenário que teve uma nota ruim foi o 3D, com alto risco de contaminação e moderada emissão de odor, justificado pelo banheiro seco que necessita de revolvimento do material compostável. Os cenários 1C, 2A e 2B tiveram as melhores pontuações nesse indicador com as menores notas.

Já no indicador Mão de obra, os cenários 1A, 1B e 1C ficaram com as melhores

pontuações pela facilidade em sua construção e operação. No entanto, vale lembrar que a fossa rudimentar é considerada uma prática ambientalmente inadequada. No quesito complexidade, o cenário 3C ficou com a pior nota, motivado principalmente pela ETE.

5.2.2. Consumidores “usuários”.

Considerando o grupo de *stakeholders* usuários, foi elaborado dois indicadores, Saúde e segurança do usuário contendo cinco critérios conforme apresentado na tabela 31 e Monetização contendo um critério apresentado na tabela 32, estes indicadores apresentam um impacto positivo na análise, considerando que o cenário ira monetizar quando o usuário obter uma diminuição no consumo de água potável utilizando a água de reúso e/ou no consumo de adubo comercial.

Tabela 33: Saúde e segurança do usuário

N°	Cenário	Critérios					Média	Nota Final Normalizada
		Possui risco de contaminação	Emissão de odor	Proliferação de vetores	Risco de contaminação pelo reúso da água*	Risco de contaminação da utilização do adubo**		
		1/2/3***	0/1/2/3****	1/2/3***	1/2/3***	1/2/3***		
1A	Fossa Rudimentar	2,73	2,64	2,82	-	-	8,19	0,69
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	2,73	2,64	2,82	-	-	8,19	0,69
1C	Tanque séptico + sumidouro	1,64	1,54	1,73	-	-	4,91	0,15
2A	Tanque séptico // EvaTAC	1,36	1	1,64	-	-	4	0
2B	TEvap// EvaTAC	1,45	0,91	1,45	1,73	-	5,54	0,25
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,91	1,54	1,91	1,73	1,82	8,91	0,81
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina.	1,73	1,27	1,64	1,73	1,82	8,19	0,69
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina.	1,73	1,45	1,73	1,73	1,82	8,46	0,73

N°	Cenário	Critérios					Média	Nota Final Normalizada
		Possui risco de contaminação	Emissão de odor	Proliferação de vetores	Risco de contaminação pelo reúso da água*	Risco de contaminação da utilização do adubo**		
		1/2/3***	0/1/2/3****	1/2/3***	1/2/3***	1/2/3***		
3D	Banheiro seco compostável// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina.	2,09	1,82	2,27	1,73	2,18	10,09	1

* Água de reúso do EvaTAC (para fins não potável).

** Urina e fezes.

*** 1: baixo; 2: moderado; 3: alto.

**** 0: sem; 1:pouca; 2:moderada; 3:muita.

Tabela 34: Monetização

N°	Cenário	Critérios	
		Redução do consumo de água e adubo	Nota Final Normalizada
		<u>0/1*</u>	
1A	Fossa Rudimentar	0	0
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	0	0
1C	Tanque séptico + sumidouro	0,09	0,1
2A	Tanque séptico // EvaTAC	0,27	0,3
2B	TEvap// EvaTAC	0,91	1
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	0,91	1
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	0,91	1
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	0,91	1
3D	Banheiro seco compostável// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	0,91	1

* 0: não monetiza; 1: monetiza.

No indicador saúde e segurança do usuário, os critérios de Risco de contaminação pelo reúso da água e Risco de contaminação da utilização do adubo, foram considerados apenas nos cenários com reúso de água cinza e recuperação de nutrientes através do tanque de armazenamento de urina e do composto proveniente do banheiro seco (2B, 3A, 3B, 3C e 3D).

Seguindo o mesmo padrão dos outros indicadores, os cenários com fossa rudimentar tiveram as piores pontuações. Seguidos pelos cenários 3D, elevado principalmente pelo banheiro seco e 3A por conta do tanque de armazenamento de urina e da fossa séptica.

O indicador Monetização está atrelado a um impacto positivo ao usuário. Desse modo, a nota obtida foi diminuída da pontuação final, como pode ser observado na figura 11, considerando uma escala de quanto maior a nota pior o cenário e quando menor a nota melhor

o cenário no quesito social. Os cenários que possuem tecnologias de separação na fonte para recuperação de água, nutrientes e matéria orgânica, representados pelos cenários 2B, 3A, 3B, 3C e 3D tiveram pontuação 1 nos critérios redução do consumo de água e adubo.

5.2.3. Comunidade e sociedade (entorno imediato/vizinhança)

Considerando o grupo de *stakeholders* comunidade e sociedade, foram elaborados dois indicadores: Condições de vida segura e saudável, contendo três critérios conforme apresentado na tabela 33 e Contribuição para o desenvolvimento econômico, contendo um critério apresentado na tabela 34. Estes indicadores apresentam impacto positivo na análise, considerando a capacidade que cada cenário possui de geração de emprego e aumento do consumo no comércio local de produtos e serviços.

É importante frisar que para o *Stakeholder* “Comunidade e Sociedade” foram considerados como uma extrapolação da unidade funcional, para um conjunto habitacional utilizando os mesmos cenários. Desta forma, potencializando o impacto causado neste *stakeholders*, facilitando a mensuração dos critérios analisados nos indicadores: Condições de vida segura e saudável e Contribuição para o desenvolvimento econômico.

Tabela 35: Condição de vida segura e saudável

Nº	Cenário	Critérios			Média	Nota Final Normalizada
		Emissão de odor	Risco de contaminação do solo e/ou da água	Proliferação de vetores		
		<u>0/1/2/3*</u>	<u>1/2/3**</u>	<u>1/2/3**</u>		
1A	Fossa Rudimentar	2,36	2,91	2,73	8	0,94
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	2,54	2,91	2,82	8,27	1
1C	Tanque séptico + sumidouro	1,63	2,18	1,73	5,54	0,4
2A	Tanque séptico // EvaTAC	1,36	1,91	1,82	5,09	0,3
2B	TEvap// EvaTAC	0,91	1,27	1,54	3,72	0
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,45	1,73	1,91	5,09	0,3
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,45	1,45	1,73	4,63	0,2
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,54	1,36	1,64	4,54	0,18

N°	Cenário	Critérios			Média	Nota Final Normalizada
		Emissão de odor	Risco de contaminação do solo e/ou da água	Proliferação de vetores		
		<u>0/1/2/3*</u>	<u>1/2/3**</u>	<u>1/2/3**</u>		
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,82	1,64	1,81	5,27	0,34

* 0: sem; 1:pouca; 2:moderada; 3:muita.

** 1: baixo; 2: moderado; 3: alto.

Tabela 36: Desenvolvimento econômico

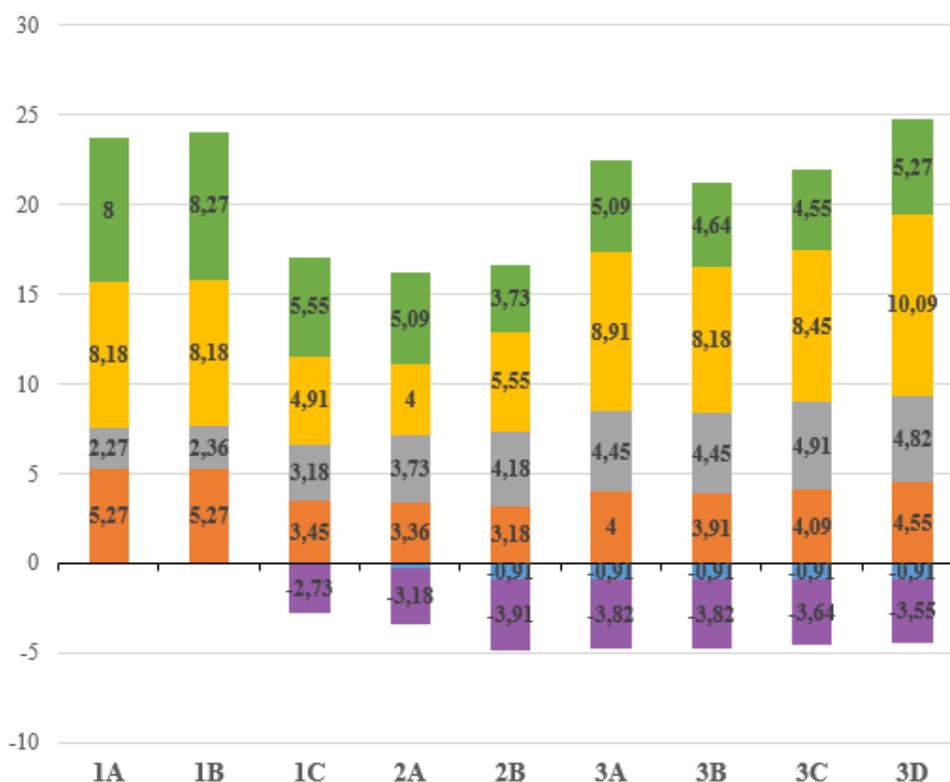
N°	Cenário	Critérios		Média	Nota Final Normalizada
		Geração de emprego	Aumento do consumo de produtos e serviços		
		<u>1/2/3*</u>	<u>1/2/3*</u>		
1A	Fossa Rudimentar	-	-	0	0
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	-	-	0	0
1C	Tanque séptico + sumidouro	1,36	1,36	2,72	0,70
2A	Tanque séptico // EvaTAC	1,55	1,63	3,18	0,81
2B	TEvap// EvaTAC	1,91	2	3,91	1
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,82	2	3,82	0,98
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,82	2	3,82	0,98
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,73	1,91	3,64	0,93
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	1,64	1,91	3,55	0,91

* 1: baixo; 2: moderado; 3: alto.

No indicador Condição de vida segura e saudável, 1A e 1B alcançaram a pior nota em todos os critérios. Mostrando o consenso dos especialistas sobre a precariedade desse tipo de disposição final. A melhor pontuação ficou com o cenário 2B nos dois indicadores do grupo de *stakeholders* comunidade e sociedade.

Os cenários 1A e 1B não pontuaram nos indicadores “desenvolvimento econômico” e possuíram as piores notas nos demais indicadores. Este indicador possui um impacto positivo na comunidade, deste modo ele foi subtraído na soma total dos indicadores, pois na escala utilizada quanto maior a pontuação pior o cenário analisado. Deste modo, dos cenários 2B ao 3D foram subtraídos as maiores pontuações na nota final.

Na figura 11 observa-se o resultado dos indicadores sociais compilados por cenários. O cenário 2B teve a melhor pontuação sendo considerado o mais socialmente aceito entre os especialistas, obtendo uma boa pontuação em todos os indicadores, seguido pelo cenário 2A, 3B e 1C. Os piores cenários considerando a esfera social foram 1A e 1B, praticamente empatados, compostos por fossa rudimentar, uma prática ambientalmente inadequada, que pode causar contaminação do solo, da água e do lençol freático por patógenos e nitrato, proliferação de vetores e risco a saúde pública, impactando tanto o ambiental como a sociedade.



	1A	1B	1C	2A	2B	3A	3B	3C	3D
■ Contribuição para o desenvolvimento econômico	0	0	-2,73	-3,18	-3,91	-3,82	-3,82	-3,64	-3,55
■ Condições de vida segura e saudável	8	8,27	5,55	5,09	3,73	5,09	4,64	4,55	5,27
■ Monetização	0	0	-0,09	-0,27	-0,91	-0,91	-0,91	-0,91	-0,91
■ Saúde e segurança do usuário	8,18	8,18	4,91	4	5,55	8,91	8,18	8,45	10,09
■ Mão de obra	2,27	2,36	3,18	3,73	4,18	4,45	4,45	4,91	4,82
■ Saúde e segurança do trabalhador	5,27	5,27	3,45	3,36	3,18	4	3,91	4,09	4,55
■ TOTAL	23,73	24,09	14,27	12,73	11,82	17,73	16,45	17,45	20,27

Figura 11: Resultado com todos os indicadores sociais compilados.

Na tabela 37 os resultados estão em uma escala de cores, o verde representa o cenário com as melhores pontuações no quesito social, variando de seis a treze pontos, passando pelo amarelo com um janela de quatorze a vinte e um pontos e indo para os piores cenários representados pela cor vermelha, variando de vinte e dois a trinta pontos.

Tabela 37: Resultado final dos indicadores sociais.

Nº	Cenário	Média	Somatória das médias normalizadas	Nota final normalizada
2B	TEvap// EvaTAC	11,82	-1,02	0
2A	Tanque séptico // EvaTAC	12,73	-0,18	0,23
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	16,45	0,09	0,30
1C	Tanque séptico + sumidouro	14,27	0,23	0,33
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	17,73	0,35	0,37
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	17,45	0,42	0,38
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	20,27	1,05	0,55
1A	Fossa Rudimentar	23,73	2,63	0,97
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	24,09	2,72	1

5.3. Sustentabilidade Econômica e Social

Após apresentar os resultados da Análise do Custo do Ciclo de Vida e da Avaliação do Ciclo de Vida Social separadamente, na figura 12 pode ser observado os resultados combinados em um único escore. Para garantir a comparabilidade, os impactos selecionados dentro de cada dimensão foram primeiramente normalizados. Basicamente, após atribuir uma pontuação a cada indicador, a avaliação de impacto envolveu a normalização das pontuações utilizando o procedimento de normalização mín/máx, conforme descrito por Molinos-Senante et al. (2014). Sendo o menor valor 0 e o maior valor 1.

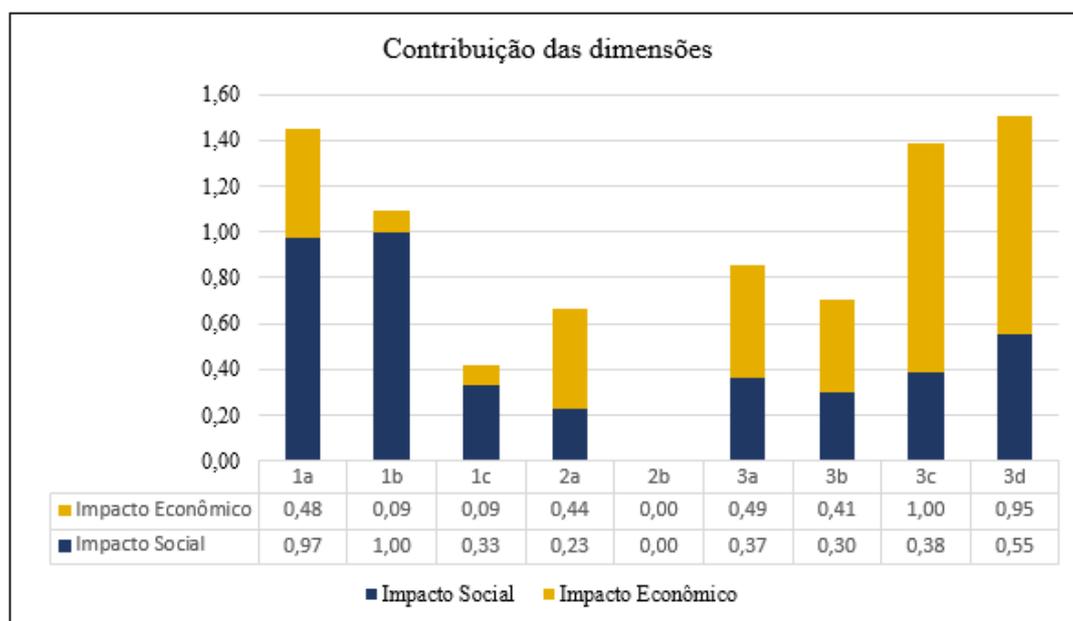


Figura 12: Resultado com todos os indicadores sociais compilados.

Esses indicadores normalizados foram então somados, criando uma pontuação de índice

composto para cada dimensão em cada cenário. Esta pontuação do índice composto representa o desempenho global de um cenário em todos os indicadores dentro de das duas dimensões. Na figura 12 são apresentadas as pontuações do índice que foram combinadas para gerar uma pontuação global de sustentabilidade econômica e social para cada cenário, proporcionando uma avaliação abrangente do desempenho.

5.4. Avaliação Ambiental

O estudo de Souza *et al.* (2023) apresentou uma avaliação ambiental e teve como base os mesmos nove cenários aqui apresentados, e quando combinados é possível fazer uma análise dos três pilares da sustentabilidade.

Para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) os autores selecionaram dez indicadores ambientais: demanda cumulativa de energia (CED), mudanças climáticas (CC), acidificação terrestre (TA), eutrofização marinha (ME), eutrofização de água doce (FEU), toxicidade humana para câncer (HT-c), toxicidade humana não cancerígena (HT-n), ecotoxicidade em água doce (FEC), saúde humana (HH) e ecossistemas (CE).

A partir da média dos valores obtidos em cada impacto, e da normalização dos resultados, conforme a tabela 38, foi possível observar que os cenários 3D, 3B e 3C destacaram-se positivamente por atingir os melhores resultados na dimensão ambiental.

Tabela 38: Resultado final dos impactos ambientais

Nº	Cenário	Score final normalizada
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	0
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	0,5389
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	0,5406
2B	TEvap// EvaTAC	0,9881
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	0,9904
1A	Fossa Rudimentar	0,9939
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	0,9941
1C	Tanque séptico + sumidouro	0,9981
2A	Tanque séptico // EvaTAC	1

Os autores constataram que, embora as vantagens da utilização de sistemas de tratamento de efluentes separados na fonte visando a recuperação de recursos não terem sido absolutas, existe uma tendência visível na melhoria do desempenho ambiental desses sistemas em relação a cenários com condições precárias (1A e 1B) ou soluções "fim de tubo" (1C e 2A). Esses cenários ficaram com os piores score da dimensão ambiental. Uma tendência semelhante

pode ser observada na dimensão social os cenários com fossa rudimentar obtiveram as piores classificações entre as 9 avaliadas. No entanto, o cenário 1C (fossa séptica seguido de sumidouro) apresenta um resultado econômico conveniente, principalmente por sua facilidade de construção e operação, ficando em segundo lugar considerando as duas dimensões (econômica e social).

Os piores resultados na dimensão ambiental ficaram com os cenários 2A e 1C. O cenário 2A foi impactado principalmente por não ter reuso, que teve grande influência positiva em alguns indicadores. Segundo Souza *et al.* (2023), outros fatores de impacto nos cenários 2A e 1C são em relação aos indicadores de ecotoxicidade em água doce (FEC) e mudanças climáticas (CC). Os impactos do FEC ficaram acima da média nos dois cenários, $3.80E+05$ CTUe no 1C e $4.64E+05$ CTUe no 2A, devido às emissões do tratamento e disposição final do lodo produzido pela fossa séptica. Já em relação ao CC, o Cenário 2A possui o segundo maior impacto, $1.03E+02$ kg CO₂ eq. e o 1C $9.22E+01$ kg CO₂ eq. Os cenários envolvendo a utilização de fossa séptica e fossa rudimentar foram considerados as piores opções em termos de CO₂ eq., devido à elevada produção de metano proveniente da degradação anaeróbica da matéria orgânica.

Analisando a sustentabilidade dos cenários considerando os três pilares, ambiental, social e econômico, conforme a figura 13 os resultados da análise dos impactos sociais e econômicos indicam que a configuração 2B corresponde ao cenário mais economicamente viável e socialmente aceito, do ponto de vista dos especialistas, ficando em primeiro lugar. Analisando os resultados obtidos por Souza *et al.* o cenário 2B se destaca positivamente entre os indicadores ambientais selecionados, apresentando o melhor resultado, sendo o cenário mais sustentável entre os analisados, como pode ser visto na figura 13.

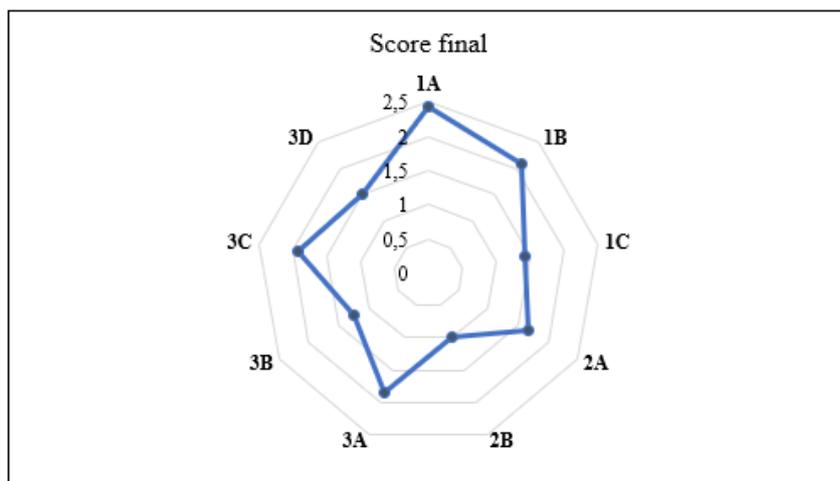


Figura 13: Resultado final com todos os impactos sociais, econômicos e ambientais.

O 2B com a configuração de EvaTAC e TEvap se destaca nas três dimensões por apresentar um sistema com recuperação de recursos e reuso de água, conseqüentemente diminuindo o consumo de água potável, apresentando impactos positivos ambientais. Sendo o cenário mais sustentável para áreas rurais e periurbanas, eliminando problemas ambientais e sociais se comparado a sistemas precários como fossa rudimentar que ainda é muito encontrada nessas regiões do Brasil, apresentando uma solução viável que traz benefícios com a recuperação de recursos.

6. DISCUSSÃO

6.1. Avaliação Econômica (ACCV)

A avaliação econômica é um dos pilares da sustentabilidade mais difundidos em sistemas de tratamento de esgoto. Contribuindo significativamente para a tomada de decisões principalmente em alternativas de investimentos de longo prazo. O entendimento de conceitos como fluxo de caixa, custos totais, despesas, receitas, taxa de atratividade, valor presente líquido, CAPEX, OPEX e custos do ciclo de vida são comumente utilizados.

Eliyan *et al.* (2023) utilizou os conceitos de CAPEX e OPEX para os critérios econômicos em sua avaliação do tratamento de lodo de esgoto doméstico para recuperação de recursos. Vidal *et al.*, 2019 e Garrido-Baserba *et al.*, 2018 também utilizaram esses indicadores em suas análises. No entanto, Cossio *et al.* (2020) na dimensão econômica utilizou apenas o indicador custos de operação e manutenção (OPEX) e o indicador de custos de construção (CAPEX) foi excluído por considerarem mais relevantes na fase de planejamento.

Nesta pesquisa, considerando que o foco é o planejamento para identificar a alternativa mais economicamente viável, utilizou-se tanto o custo de construção, quanto o custo de operação e manutenção, que somados resulta no custo total em uma janela de 15 anos, sem considerar o custo de desativação dos sistemas. Podendo observar que a variação dos indicadores utilizados na dimensão econômica depende de qual fase se deseja avaliar, para apoiar a seleção da tecnologia na fase de planejamento ou avaliação da funcionalidade na fase de operação.

Garayo *et al.* (2022) com base em pesquisa bibliográfica apresentam os indicadores mais utilizados em avaliação da sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário, selecionando 28 artigos entre 2009 e 2020. Na dimensão econômica, alguns dos indicadores que mais aparecem foram o OPEX, CAPEX e custo total. Neste trabalho utilizamos esses três indicadores além do VPL para obter os resultados da Análise Custo de Ciclo de Vida (ACCV) dos 9 cenários propostos.

Os cenários 1A e 1B apresentaram o menor CAPEX dentre os nove avaliados, resultando em um mesmo montante de R\$ 409,93. Este resultado foi dentro do esperado, considerando que a fossa rudimentar é basicamente um buraco escavado no solo. Se considerar apenas alternativas ambientalmente adequadas, o menor valor de CAPEX é do cenário 1C, fossa séptica seguida por sumidouro (terceiro lugar no geral) com o valor total de R\$ 4.096,63, sendo considerada uma tecnologia barata e uma das mais utilizadas em regiões que não são atendidas por sistemas de tratamento de esgotos municipais. Os maiores CAPEX ficaram com o 3B e o 2B, os dois cenários são configurados com um EvaTAC, um TEvap e valas de infiltração sendo consideradas as tecnologias com maior custo de implantação pela grande quantidade de materiais utilizados. Os dois possuem valores semelhantes e a única diferença entre os cenários é a presença do tanque de armazenamento de urina no cenário 3B.

Os resultados obtidos calculando o OPEX confirmam a importância de analisar os custos operacionais dos sistemas que podem acabar deixando o custo total de algumas tecnologias mais elevado. O 2B apresenta o menor valor operacional representado basicamente pela manutenção do filtro, do clorador, podas de plantas (corte da parte aérea das plantas) e energia elétrica, seguido pelo 1C que corresponde ao serviço de limpa fossa. O cenário 3C que ficou com o quarto menor CAPEX e possui o maior OPEX entre os nove cenários avaliados, justificado pela taxa de esgoto cobrado pela concessionária e pelo hidróxido de cálcio utilizado para estabilização da urina. Resultando na sétima posição no score final considerando as duas dimensões analisadas. O cenário 1A possui o sétimo maior OPEX, justificado pelo fato de que quando uma fossa rudimentar fica completamente cheia o usuário simplesmente abandona aquele local e constrói outra, aumentando seu custo total, seguindo o mesmo parâmetro para o cenário 1B.

A somatória do CAPEX e OPEX resulta no custo total. Quando analisado o fluxo de caixa dos cenários com reuso de água cinza, e utilização de urina e do composto proveniente do banheiro seco, consideramos que o usuário deixará de gastar com água potável, diminuindo o consumo, e deixará de comprar adubos químicos. Resultando em uma economia que entra como um valor positivo junto ao custo total dos cenários. Alterando o valor total gasto com implantação e operação dos cenários com reuso de água e aproveitamento de nutrientes. Concluindo que nos cenários 2B o custo total vai para R\$ 5.093,80, resultando em uma economia de R\$ 9.096,67. Passando a ter o menor custo total entre todos os cenários, inclusive pelo cenário 2A que possui a mesma configuração, mas não há reuso de água cinza.

Os outros cenários (3A, 3B, 3C e 3D) obtiveram uma economia de R\$ 9.938,32. Mesmo assim ficaram com o CT elevado devido ao tanque de armazenamento de urina que foi um dos

itens mais significativos no OPEX desses cenários por conta da utilização do hidróxido de cálcio. Concluindo que a o cenário 2B (EvaTAC + TEvap + valas de infiltração) e 1C (fossa séptica seguida de sumidouro) possuem os menores custo total entre todos os cenários analisados neste trabalho com os valores respectivamente de R\$ 5.093,80 e R\$ 6.496,63.

A partir da análise do VPL dos cenários com reuso de água e nutriente, com fluxo de caixa que possuem entradas e saídas, concluímos que em um período de 15 anos e com taxas de atratividade de 2% e 14,25% nenhum desses cenários alcançaram a viabilidade econômica. No entanto, o cenário 2B obteve o menor valor negativo, dentre os analisados. Calculando a quantidade de tempo que o cenário 2B levaria para atingir um VPL positivo a uma taxa de 2%, conclui que seria necessário um período de 36 anos.

6.2. Avaliação Social (ACV-S)

A Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) é uma das metodologias mais utilizadas para a avaliação da dimensão social, considerando as condições e impactos associados ao serviço prestado. Ao contrário do que ocorre na dimensão econômica, para a dimensão social não são comumente encontrados estudos específicos de aplicação de avaliação de impactos sociais para sistemas de tratamento de esgoto. Partindo deste ponto, através de uma análise multicritério, agregou-se os indicadores sociais, que em sua maioria são qualitativos, à ACV-S.

É importante ressaltar que a classificação apresentada na dimensão social é um tanto quanto subjetiva, por considerar a preferência de diferentes especialistas através das comparações apresentadas no formulário enviado. Uma vez que diferentes tomadores de decisão podem classificá-las de formas distintas a partir de sua opinião frente a cada um dos indicadores. No entanto, esta metodologia foi adotada e utilizada para facilitar a comparação entre as tecnologias a partir de características qualitativas.

Padilla-Rivera et al. (2016) utilizaram 25 indicadores sociais separados entre 4 stakeholders: comunidade e sociedade, trabalhadores, consumidores e cadeia de suprimento, para abordar os aspectos sociais em estações de tratamento de esgoto. Amaral et al. (2019) seguindo a mesma ideia separou os stakeholders em trabalhadores, consumidores e comunidade local e sociedade em sua avaliação da sustentabilidade do gerenciamento do lodo de esgoto doméstico. Neste trabalho seguimos o guia da UNEP separando as partes interessadas em: trabalhadores, consumidores e comunidade local, a partir das quais são definidas as subcategorias e os indicadores de impacto.

Cossio et al. (2020) utilizaram 5 indicadores para a dimensão social: risco para a saúde pública, conscientização pública, estética e aceitação pública. Essa seleção foi elaborada com

foco na fase de operação das ETEs e não na escolha da tecnologia. Amaral et al. (2019) também foca sua pesquisa na fase operacional do tratamento e destinação final do lodo. Avaliando os seguintes indicadores sociais divididos em 3 dimensões - trabalhadores: salários; nível de ruído; uso de produtos químicos perigosos; emissão de odores (H₂S e NH₃); riscos biológicos (bactérias, fungos, vírus) - consumidores: teor de Nitrogênio e Fósforo do lodo; valores de patógenos presentes no lodo - e comunidade local e sociedade: nível de ruído; emissão de odores; a capacidade de gerar empregos.

Diante disto, é possível verificar que alguns dos indicadores utilizados podem ser mensurados apenas na fase de operação do sistema. Diferente dos autores citados, este trabalho foca na escolha da melhor tecnologia, com uma seleção de indicadores voltada para a fase de planejamento, que envolve aspectos operacionais.

Com base na opinião do grupo de tomada de decisão, formado por especialistas, os cenários que possuem as melhores pontuações na dimensão social foram: 2B, com a seguinte configuração TEvap para tratamento de água escura e EvaTAC para o tratamento de água cinza, 2A com o seguinte arranjo, fossa séptica para tratamento de água escura, EvaTAC para o tratamento de água cinza, com a segunda melhor pontuação, e 3B formado pelo TEvap para tratamento de água escura, EvaTAC para o tratamento de água cinza, com reuso, e tanque de armazenamento de urina para água amarela, com o terceiro melhor score na dimensão social. No indicador mão de obra, que representa a complexidade de operação e manutenção dos sistemas, os 3 (2A, 2B e 3B) cenários foram considerados com uma complexidade intermediária, aumentando a pontuação. O cenário 3B no indicador saúde e segurança do usuário ficou na faixa amarela, tendo sua nota aumentada por conta do tanque de armazenamento de urina. No cenário 2A o indicador condição de vida segura e saudável impactou negativamente em seu resultado por conta da fossa séptica seguida de sumidouro. Os 3 cenários (2B, 2A e 3B) obtiveram as melhores pontuações sendo considerados os mais socialmente aceitos, de acordo com os especialistas, dentre as opções analisadas.

O cenário 1C (fossa séptica seguida de sumidouro) ficou com o quarto melhor score. As configurações que possuíam fossa rudimentar ficaram na faixa vermelha (1A e 1B) sendo considerados as piores opções em relação a dimensão social, praticamente empatados em último lugar.

6.3. Sustentabilidade Econômica e Social

Os cenários 1B, 3C, 1A, e 3D ficaram nas piores posições considerando o score final. Esse resultado demonstra que o elevado custo operacional dos cenários 3C com configuração de ETE para tratamento de água escura, EvaTAC para o tratamento de água cinza, com reuso, e

tanque de armazenamento de urina para água amarela e 3D formado pelo banheiro seco para tratamento das fezes, EvaTAC para o tratamento de água cinza, com reuso, e tanque de armazenamento de urina para água amarela influenciaram no score elevado. Os impactos social negativos inerentes aos cenários com fossa rudimentar (1A e 1B) afetaram o resultando final, demonstrando que os cenários com condições precárias possuem um desempenho inferior ao outros cenários com tecnologias que fornecem um tratamento adequado ao efluente final. Sendo os quatro com o pior score do ponto de vista da sustentabilidade econômica e social entre os nove cenários avaliados.

o melhor score, principalmente por apresentar um sistema com recuperação de recursos e reuso de água, conseqüentemente diminuindo o consumo de água potável, apresentando impactos positivos. O direcionamento da urina para o TEvap também impactou positivamente, considerando que o tanque de armazenamento de água amarela possui um OPEX muito elevado. Sendo o cenário mais sustentável do ponto de vista econômico e social, apresentando uma solução viável que traz benefícios com a recuperação de recursos.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs uma avaliação comparativa entre nove cenários com diferentes configurações e tecnologias como alternativas ao tratamento descentralizado de esgoto, sob o enfoque da sustentabilidade econômica e social. Utilizando um método de tomada de decisão com multicritérios com indicadores definidos e os resultados atribuídos por um grupo de especialistas em saneamento.

Ressalta-se que a adequação ao contexto local é fundamental, considerando a região em que será implantado o sistema, os *stakeholders*, o objetivo desejado com a avaliação e a fase que se quer analisar, para poder obter um estudo completo das dimensões econômicas e sociais de sistemas de tratamento de esgoto. Considerando que os indicadores podem mudar dependendo da finalidade da avaliação e tendo em vista que diferentes tomadores de decisão podem classificar os indicadores de formas distintas a partir de sua opinião sobre cada cenário, os resultados da avaliação social podem apresentar certa subjetividade. Já os resultados dos indicadores econômicos sofreriam variações de acordo com os preços dos insumos, serviços e taxas praticados na região de implantação dos cenários, outra variação que pode ser considerada é a inflação praticada durante os anos.

Analisando os resultados da ACCV e ACV-S concluímos que o cenário 2B formado pelo TEvap para o tratamento e disposição final de água escura e o EvaTAC para o tratamento

e reuso de água cinza, possuem a configuração mais economicamente viável e socialmente aceita, a partir do ponto de vista dos especialistas, dentro das opções analisadas, considerando a economia de água potável através do reuso da água cinza tratada e sua boa avaliação pelo grupo de especialistas. Resultando no melhor score entre os nove cenários analisados. Podemos também destacar o cenário 1C (fossa séptica e sumidouro) que foi considerado o segundo mais economicamente viável e ficando com a quarta posição na ACV-S, sendo também a tecnologia mais conhecida e utilizada no Brasil. Ficando em segundo lugar no score final considerando a sustentabilidade econômica e social dos cenários.

A pesquisa apresenta o resultado da análise comparativa dos cenários, o que contribui para facilitar o acesso aos stakeholders e tomadores de decisão a uma interpretação de um problema de decisão complexo e multidimensional, como a seleção das tecnologias mais sustentáveis do ponto de vista econômico e social dentro de um amplo conjunto de possibilidades, chegando a uma alternativa mais assertiva para a realidade proposta.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, K. G. C. DO; AISSE, M. M.; POSSETTI, G. R. C. Sustainability assessment of sludge and biogas management in wastewater treatment plants using the LCA technique. *Revista Ambiente e Água*, v. 14, n. 5, 2019.

ANA - Agência Nacional de Águas. Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13969. Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento Complementar e Disposição Final de Efluentes Líquidos – Projeto e Construção. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

BALKEMA, A., PREISIG, H.A., OTTERPOHL, R., LAMBERT, F.J.D., 2002. Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment system. *Urban Water J.* 4 (2), 153–161

BENAVIDES, L., AVELLÁN, T., CAUCCI, S., HAHN, A., KIRSCHKE, S., MÜLLER, A., 2019. Assessing sustainability of wastewater management systems in a multi-scalar, transdisciplinary manner in Latin America. *Water* 11, 249.

BELER-BAYKAL, B., 2015. Stream Segregation in Household Use: A Review of Grey Water como uma fonte alternativa de água e Yellow Water como uma fonte alternativa de fertilizantes. *Água Qual. Expo. Curar.* 7, 27–37.

BIEKER, S.; CORNEL, P.; WAGNER, M. Semicentralised supply and treatment systems: integrated infrastructure solutions for fast growing urban áreas. *Water Science & Technology*, v. 61, n. 11, p. 2905-2913. Darmstadt-DEU, 2010.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 07 de janeiro de 2007. Política Federal de Saneamento Básico. *Diário Oficial da União*.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. *Diário Oficial da União*.

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

BRASIL, M. do DR, 2019. PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico. Brasília, DF, Brasil

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. 2023. Secretaria Nacional de Saneamento – SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2022. Brasília

BRUNNER, N., STARKL, M., KAZMI, A., REAL, A., JAIN, N., MISHRA, V., 2018. Affordability of decentralized wastewater systems: a case study in integrated planning from

INDIA. Water 10, 1644

CAIRNCROSS, S.; HUNT, C.; BOISSON, S.; BOSTOEN, K.; CURTIS, V.; FUNG, I. C.; SCHMIDT, W. P. Water, sanitation and hygiene for the prevention of diarrhoea. *International journal of epidemiology*, 39(suppl_1), i193-i205, 2010.

COSSIO, C. *et al.* EVAS - a practical tool to assess the sustainability of small wastewater treatment systems in low and lower-middle-income countries. *Science of the Total Environment*, v. 746, p. 140938, 2020.

COSTANZI, R. N.; FRIZZO, E.; DOMBECK D.; COLLE G.; ROSA J. F. DA; MAIBUK, L. A. C. DO; FERNANDES M. S. P. Reúso de água amarela. *Revista de Engenharia e Tecnologia* V. 2, Nº 1, 2010.

COROMINAS, L., BYRNE, D.M., GUEST, J.S., HOSPIDO, A., ROUX, P., SHAW, A., SHORT, M.D., 2020. The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review. *Water Res.* 184, 116058.

DAGNINO, R. P. *Tecnologia Social: contribuições conceituais e metodológicas* [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2014, 318 p. ISBN 978-85-7879-327-2

da SILVA, JB, DE OLIVEIRA, PJA, BONCZ, M.Á., PAULO, PL, 2017. Um sistema de wetland construído modificado para tratamento de águas cinzas. *Desalin. Tratamento de Água*. 91, 31–39. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20849>

de SIMONE SOUZA, H.H., DE MORAIS LIMA, P., MEDEIROS, D.L., VIEIRA, J., FILHO, F.J.C.M., PAULO, P.L., FULLANA-I-PALMER, P., BONCZ, M.A., (2023). Environmental assessment of on-site source-separated wastewater treatment and reuse systems for resource recovery in a sustainable sanitation view. *Sci. Total Environ.* 895, 165122.

DRAGOS, D., NEAMTU, B., 2013. Sustainable public procurement: life cycle costing (LCC) in the new EU directive proposal. *Eur. Procurement Public Private Partnership Law Rev.* 8, 19–30

DHILLON, B.S., 2013. *Life Cycle Costing for Engineers*. CRC Press, Boca Raton, FL.

DIAZ-BALTEIRO, L.; GONZÁLEZ-PACHÓN, J.; ROMERO, C. Measuring Systems Sustainability With Multi-Criteria Methods: A Critical Review. *European Journal of Operational Research* Received, v. 258, p. 607–616, 2016.

ECOSOC (2019) Special Edition: Progress towards the Sustainable Development Goals Report of the Secretary-General. Report of the Secretary-General E/2019/68 19-07404.

ELIYAN, C., MCCONVILLE, J., ZURBRÜGG, C., KOOTTATEP, T., SOTHEA, K., & VINNERÅS, B. (2023). Sustainability assessment of faecal sludge treatment technologies for resource recovery in Phnom Penh, Cambodia. *Environmental Technology e Innovation*, v. 32 , p. 103384.

ETHOS - Instituto Ethos de Empresas e Responsabilidade Social. Disponível em: www.ethos.org.br/conteudo/o-instituto/. Acesso em: fevereiro de 2021.

Flanagan, CP e Randall, DG (2018). Desenvolvimento de um novo mictório de recuperação de

nutrientes para produção local de fertilizantes. *Jornal de Engenharia Química Ambiental*, 6 (5), 6344–6350. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.060>

FIGUEIREDO, ICS, MIYAZAKI, CK, MADRID, FJP E L., DUARTE, NC, MAGALHÃES, TM, TONETTI, AL, 2019. Fossa absorvente ou rudimentar aplicada ao saneamento rural: solução adequada ou precária? *Rev. DAE* 67, 87–99.

GANROT, Z. Urine processing for efficient nutrient recovery and reuse in agriculture. Tese de Doutorado. Göteborg: Göteborg University, 2005.

GARAYO, F.; SOUZA, H.; AMARAL, K.; GUTIERREZ, K.; LIMA, P.; PAULO, P.; (2022). Gestão sustentável do saneamento Nota Técnica 1 - Avaliação da sustentabilidade em sistema de esgotamento sanitário. *Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental*. 2. 5-21. 10.5327/276455760205001.

GARRIDO-BASERBA, M. *et al.* The economics of wastewater treatment decentralization : A techno-economic evaluation The economics of wastewater treatment decentralization: A techno- economic evaluation. *Environ. Sci. Technol*, p. 30, 2018.

GITMAN, L. *Princípios de administração financeira*. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

GUNDES, S. The Use of Life Cycle Techniques in the Assessment of Sustainability. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 216 916 – 922, 2016.

HANJRA, M. A. *et al.* Assessing the Finance and Economics of Resource Recovery and Reuse Solutions Across Scales Water pollution from Agriculture: a global review. Executive summary, 2015.

HUUHTANEN, S. & LAUKKANEN, A. 2009 A Guide to Sanitation and Hygiene in Developing Countries. Report. Tampere Polytechnic, University of Applied Sciences, Tampere, Finland.

HUPPES G., VAN ROOIJEN M., KLEIJN R., HEIJUNGS R., DE KONING A., VAN OERS L. Life Cycle Costing and the environment. Report of a Project Commissioned by The Ministry of VROM-DGM, 2004

JÖNSSON H, STINZING A.R.; VINNERÅS, B.; SALOMON, E. Guidelines on the Use of Urine and Faeces in Crop Production, EcoSanRes Publication Series Report 2004-2, Stockholm Environment Institute, Sweden; 2004.

JÖNSSON, H. Urine separating sewage systems - environmental effects and resource usage. *Water Science and Technology*, v. 46, n. 06-07, 2002

LACHTERMACHER, GERSON. ABREU, JOÃO PAULO FRANCO. FILHO, JOSÉ CARLOS FRANCO DE ABREU. NERY, SÉRGIO LUIZ DA MOTTA. *Matemática Financeira*. 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2018.

LAM, L., KURISU, K., HANAKI, K., 2015. Impactos ambientais comparativos de sistemas de separação de fontes para gestão de águas residuárias domésticas na China rural. *J. Clean. Prod.* 104, 185–198.

- LUTTERBECK, CA, KIST, LT, LOPEZ, DR, ZERWES, F. V, MACHADO, Ê.L., 2017. Avaliação do ciclo de vida de sistemas integrados de tratamento de águas residuárias com zonas húmidas construídas em áreas rurais. *J. Limpo. Prod.* 148, 527–536. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.024>
- MAGALHÃES FILHO, F.J.C; ALVES SOBRINHO, T.; STEFFEN, JL, ARIAS, C.A., PAULO, P.L., 2018. Hydraulic and hydrological aspects of an evapotranspiration-constructed wetland combined system for household greywater treatment. *J. Environ. Sci. Health A. Tox. Subst. Environ. Eng.* 53 (6), 493–500.
- MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, v. 90, p. 652-659. Beirut-LBN, 2009
- MEINZINGER F. AND OLDENBURG M. (2009). Characteristics of source-separated household wastewater flows: a statistical assessment. *Water Sci. Technol.*, 59(9), 1785–1791
- METCALF & EDDY. *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos*. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016
- MILLET, Ido; SAATY, Thomas L. On the relativity of relative measures – accommodating both rank preservation and rank reversals in the AHP. *European Journal of Operational Research*, v. 121, n. 1, pág. 205-212, 2000.
- MOLINOS-SENANTE, M.; GÓMEZ, T.; GARRIDO-BASERBA, M.; CABALLERO, R.; SALA-GARRIDO, R. Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach. *Science of The Total Environment*, v. 497-498, p. 607-617, 2014.
- NANSUBUGA, I., BANADDA, N., VERSTRAETE, W., RABAEY, K., 2016. A review of sustainable sanitation systems in Africa. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 15, 465–478.
- NG, B.J.H., ZHOU, J., GIANNIS, A., CHANG, V.W.C., WANG, J.Y., 2014. Environmental life cycle assessment of different domestic wastewater streams: Policy effectiveness in a tropical urban environment. *J. Environ. Manage.* 140, 60–68
- OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Performance Evaluation of Different Wastewater Treatment Technologies Operating in a Developing Country. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v. 1, n. 1, p. 37, 2011
- OMS, 2016. *Planejamento de segurança em saneamento: manual para uso e descarte seguro de águas residuárias, águas cinzas e excrementos*.
- OMS/Unicef, 2019. *Households. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene*.
- OMS / Unicef, 2021. *Progress on Households. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply, Sanitation and Hygiene*.

- OMS / Unicef, 2015. Progresso em Saneamento e Água Potável - Atualização de 2016 e ODM Avaliação. Organização Mundial da Saúde, Genebra.
- OMS, 2016. Planejamento de segurança do saneamento: manual para uso e descarte seguro de águas residuárias, águas cinzas e excrementos.
- OMS, 2000. Tools for assessing the O&M status of water supply and sanitation in developing countries. Organização Mundial da Saúde, Genebra.
- ONU, 2005. Resolução das Nações Unidas Adotada pela Assembleia Geral em 16 de setembro de 2005 - 01/1. Resultado da Cúpula Mundial de 2005. Resolução 60/1.
- ONU, 2015. Programa Mundial de Avaliação da Água das Nações Unidas. The United Nations World Relatório de Desenvolvimento da Água 2015: água para um mundo sustentável. UNESCO, Paris.
- ONU, 2016. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Nações Unidas, Nova York.
- PADILLA-RIVERA, A., MORGAN-SAGASTUME, J. M, NOYOLA, A. M, GUERECA, L. P. Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities. Environmental Impact Assessment Review 57, 2016.
- PAULO, P.L., AZEVEDO, C., BEGOSSO, L., GALBIATI, A.F., BONCZ, M.A., 2013. Natural systems treating greywater and blackwater on-site: integrating treatment, reuse and landscaping. Ecol. Eng. 50, 95–100.
- PAULO, P.L., GALBIATI, A.F., MAGALHÃES FILHO, F.J.C., BERNARDES, F.S., CARVALHO, G.A., BONCZ, M.Á., 2019. Evapotranspiration tank for the treatment, disposal and resource recovery of blackwater. Resour. Conserv. Recycl. 147, 61–66.
- PAULO, PL, GALBIATI, AF, MAGALHÃES FILHO, FJC, 2018. CataloSan: Catálogo de Soluções de Saneamento Sustentáveis - Gestão de Esgoto Doméstico, primeira ed. Espaço Campo Grande.
- PAULO, P.L.; KIPERSTOK, A.; SOUZA, H.H.S.; MORAIS, J.C.; OLIVEIRA, L.O.V.; QUEIROZ, L.M.; NOLASCO, M.A.; MAGRI, M.E.; LOPES, T.A.S. Ferramentas de avaliação de sustentabilidade em sistemas de tratamento de esgotos descentralizados. In: SANTOS, A.B dos (Org.). Caracterização, tratamento e gerenciamento de subprodutos de correntes de esgotos segregadas e não segregadas em empreendimentos habitacionais. Fortaleza: Imprece, 2019.
- PHILIPPI, L. S.; SEZERINO. Aplicação de Sistemas tipo *Wetlands* no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Ed. do autor, 2004. 144 p.
- PERRIMAN, R.J., 1993. A summary of SETAC guidelines for life cycle assessment. J. Clean. Prod. 1, 209–212.
- Randall, DG, Krähenbühl, M., Köpping, I., Larsen, TA e Udert, KM (2016). Uma nova abordagem para estabilizar a urina fresca pela adição de hidróxido de cálcio. Water Research, 95, 361–369. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.007>

Rebello, TA, Roque, RP, Gonçalves, RF, Calmon, JL, Queiroz, LM, 2021. Avaliação do ciclo de vida de estações de tratamento de águas residuárias urbanas: uma análise crítica e proposta de diretriz. *Water Sci. Technol.* 83, 501–514. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.608>

RIECK, C., VON MÜNCH, E & HOFFMANN, H. (2012). Technology Review of Urine-diverting dry toilets (UDDTs): Overview of design, operation, management and costs. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

RICHARDS, S., PATERSON, E., WITHERS, PJA, STUTTER, M., 2016. Descargas de fossas sépticas como pontos quentes poluentes em bacias hidrográficas. *Sci. Total Environ.* 542, 854–863.

ROUX, P., BOUTIN, C., RISCH, E., 2010. Life Cycle environmental Assessment (LCA) of sanitation systems including sewerage: Case of Vertical Flow Constructed *Wetlands* versus activated sludge. 12th IWA Int. Conf. - Wetl. Syst. Water PRoux, P., Boutin, C., Risch, E. “Life Cycle Environ. Assess. Sanit. Syst. Incl. sewerage Case Vert. Flow Constr. Wetl. versus Act. slud.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, p. 234-281, 1977.

SANCHES, A. B. Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários: Uma proposta metodológica. Tese de doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

SuSanA (2017). Saneamento sustentável e os ODS: interligações e oportunidades. SuSanA Documento de interligações.

Sustainable Development Solutions Network, 2015. Indicators and a Monitoring Framework for the Sustainable Development Goals: Launching a Data Revolution for the SDGs. Report by the Leadership Council of the Sustainable Development Solutions Network.

SWARR TE, HUNKELER D, KLÖPFFER W, PESONEN H-L, CIROTH A, BRENT AC, PAGAN R (2011) Environmental life cycle costing: a code of practice. Society of Environmental Chemistry and Toxicology (SETAC), Pensacola

TONIOLO, S.; TOSATO, R.C.; GAMBARO, F.; REN, J. Life cycle thinking tools: Life cycle assessment, life cycle costing and social life cycle assessment. [s.l.] Elsevier Inc, 2020.

UNEP/SETAC, Life Cycle Initiative. Guidelines for social life cycle assessment of products. United Nations Environment Program, Paris, United Nations Environment Programme. Social and socio-economic LCA guidelines. 2009.

UNEP, Life Cycle Initiative. Guidelines for social life cycle assessment of products and organizations. United Nations Environment Program, Paris, United Nations Environment Programme. 2020.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) wastewater treatment systems, 2005. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=20017K2G.TXT>>. Acesso em: janeiro de 2022.

- VIDAL, B. (2018) On-Site Sanitation Systems An Integrated Assessment of Treatment Efficiency and Sustainability. Licentiate Thesis, Luleå University, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Architecture and Water, Luleå.
- VIDAL, B.; HEDSTRÖM, A.; BARRAUD, S.; HERRMANN, I.; 2019. Assessing the sustainability of on-site sanitation systems using multi-criteria analysis. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 5, 1599.
- VON SPERLING, M.; SEZERINO, P.H. Dimensionamento de *wetlands* construídos no Brasil. *Boletim Wetlands Brasil*, Edição Especial, 2018.
- VON SPERLING, M. V. & CHERNICHARO, C. A. L. 2005 Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, v. 1, IWA Publishing, London, UK.
- WCED (1987). *Nosso futuro comum*. Oxford: Oxford University Press.
- WINBLAD U & SIMPSON-HÉBERT M (2004) *Ecological Sanitation - revised and enlarged edition*. Stockholm Environment Institute - SEI, Stockholm.
- WILDERER, P.A., SCHREFF, D., 2000. Decentralized and centralized wastewater management: a challenge for technology developers. *Water Sci. Technol.* 41 (1), 1–8.
- WOODWARD, D.G., 1997. Life cycle costing-theory, information acquisition and application. *Int. J. Proj. Manag.* 15 (6),335–344.
- WU, S.; LYU, T.; VYMAZAL, J.; ARIAS, C.A; BRIX, H., 2018. Rethinking intensification of constructed *wetlands* as a green eco-technology for wastewater treatment. *Environ. Sci. Technol.* 52 (4), 1693–1694.

APÊNDICE A – Questionário para o grupo de tomadores de decisão

O objetivo desse questionário é obter valores numéricos para os indicadores sociais qualitativos relativos a diferentes arranjos tecnológicos (cenários) de tratamento dos esgotos domésticos para uma residência com 4 habitantes (1 mulher, 1 homem e 2 crianças).

Nesse questionário, o(a) senhor(a) deverá atribuir “X” para cada critério de cada cenário que no final resultará em um valor para os indicadores sociais qualitativos.

INFORMAÇÕES PRELIMINARES

- Adotamos 4 habitantes na residência, sendo uma mulher, um homem e duas crianças.
- Os cenários avaliados representaram diferentes práticas de gestão de águas residuais
- Localizados em uma área periurbana

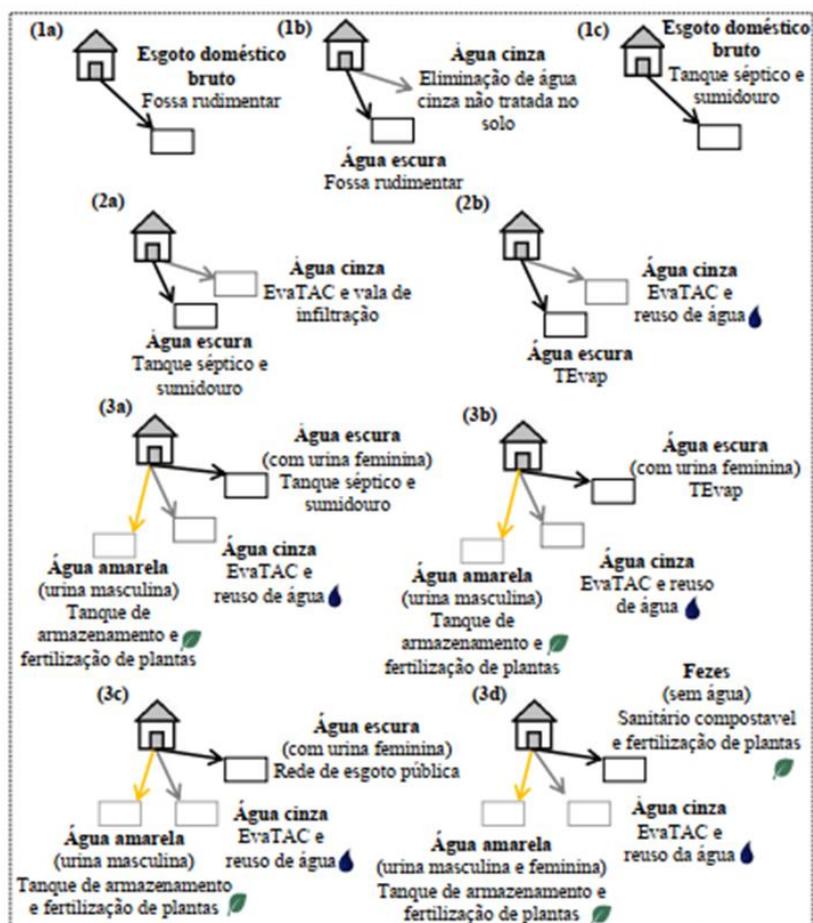


Figura 01: Cenários com diferentes configurações de sistema de tratamento descentralizados unifamiliares. Tanque de evapotranspiração (TEvap); Tanque de evapotranspiração e tratamento de água cinza (EvaTAC).

A seguir está disposta uma tabela explicativa sobre os cenários acima:

Cenários	Arranjos tecnológicos	Sigla
1A	Fossa rudimentar (FR)	FR
1B	<ul style="list-style-type: none"> Água escura (bacia sanitária): Fossa rudimentar Água cinza com a fração da cozinha: escorre para o solo sem nenhum tipo de tratamento (SL) 	FR + SL
1C	Tanque Séptico + Sumidouro (TS)	TS
2A	<ul style="list-style-type: none"> Água escura: Tanque Séptico + Sumidouro Água cinza sem a fração da cozinha: EvaTAC + Vala e infiltração (S/ reuso da água)* 	TS// EvaTAC
2B	<ul style="list-style-type: none"> Água escura: TEvap Água cinza sem a fração da cozinha: EvaTAC (C/ reuso da água)* + Reservatório + bomba de 372W + Filtro com injeção de hipoclorito de sódio + Vala de infiltração 	TEvap// EvaTAC
3 ^a	<ul style="list-style-type: none"> Água escura: Tanque Séptico + Sumidouro Água cinza sem a fração da cozinha: EvaTAC (C/ reuso da água)* + Reservatório + bomba de 372W + Filtro com injeção de hipoclorito de sódio + Vala de infiltração Água amarela: Tanque de armazenamento (utilizada como adubo) (TA) 	TS// EvaTAC// TA
3B	<ul style="list-style-type: none"> Água escura: TEvap Água cinza sem a fração da cozinha: EvaTAC (C/ reuso da água)* + Reservatório + bomba de 372W + Filtro com injeção de hipoclorito de sódio + Vala de infiltração Água amarela: Tanque de armazenamento (utilizada como adubo) 	TEvap// EvaTAC// TA
3C	<ul style="list-style-type: none"> Água escura: Estação de tratamento de esgoto municipal (ETE) Água cinza sem a fração da cozinha: EvaTAC (C/ reuso da água)* + Reservatório + bomba de 372W + Filtro com injeção de hipoclorito de sódio + Vala de infiltração Água amarela: Tanque de armazenamento (utilizada como adubo) 	ETE// EvaTAC// TA

3D	<ul style="list-style-type: none"> • Água escura: Banheiro seco compostavel (o composto será utilizado como adubo (BS) • Agua cinza com a fração da cozinha: EvaTAC (C/reuso da água)* + Reservatório + bomba de 372W + Filtro com injeção de hipoclorito de sódio + Vala de infiltração • Água amarela: Tanque de armazenamento (utilizada como adubo) 	BS// EvaTAC// TA
-----------	---	---------------------

*Reuso de água para fins não potável.

Algumas das tecnologias citadas acima não são normatizadas pela ABNT, desta forma, incluímos uma breve descrição sobre o Tanque de Evapotranspiração – Tevap, Tanque de Evapotranspiração e Tratamento de Água Cinza – EvaTAC e o Banheiro Seco Compostavel. Para mais informações sobre todas as tecnologias citadas nos cenários acesse o Guia para Implementação de Saneamento Sustentável Seguro: Efluentes Domésticos e Resíduos Sólidos Orgânicos no link:

<https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4647>

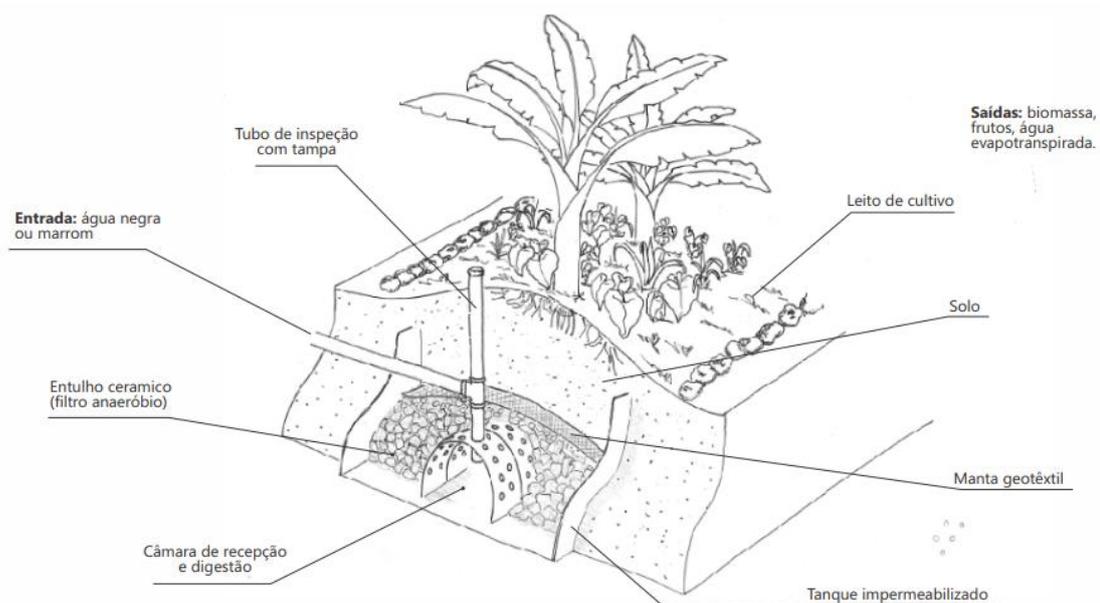


Figura 02: Tanque de evapotranspiração – TEvap. Fonte: PAULO *et al.*, 2018.

O TEvap (Figura 2) consiste em uma câmara de recepção e digestão, filtro anaeróbico e zona de raízes de fluxo subsuperficial, em um único sistema, montado em um tanque impermeabilizado.

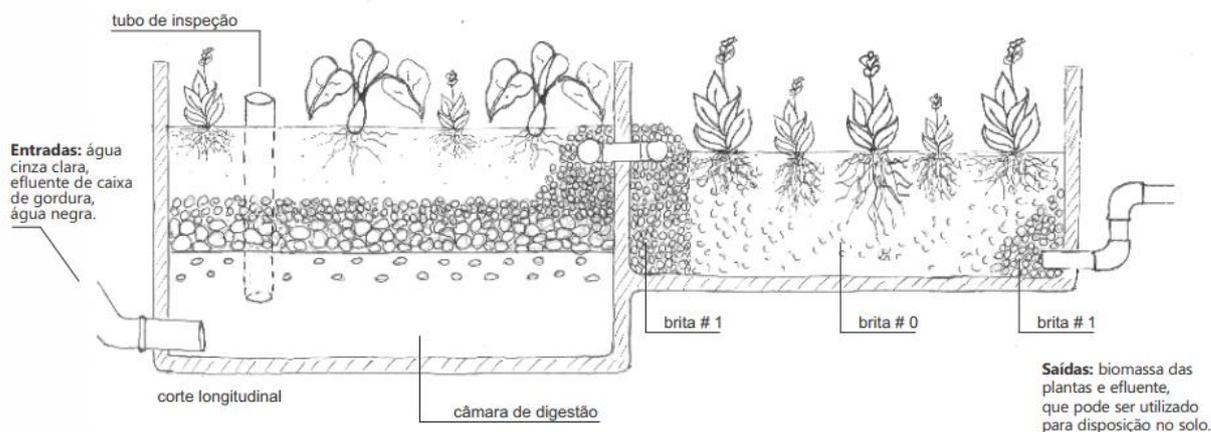


Figura 03: Evapotranspiração e tratamento de água cinza - EvaTAC. Fonte: PAULO *et al.*, 2018.

O EvaTAC (Figura 03) consiste na combinação de um TEvap adaptado, que conta com uma câmara de digestão anaeróbia horizontal acoplada em seu interior, seguido de um *wetland* construído (CW) de fluxo horizontal subsuperficial.

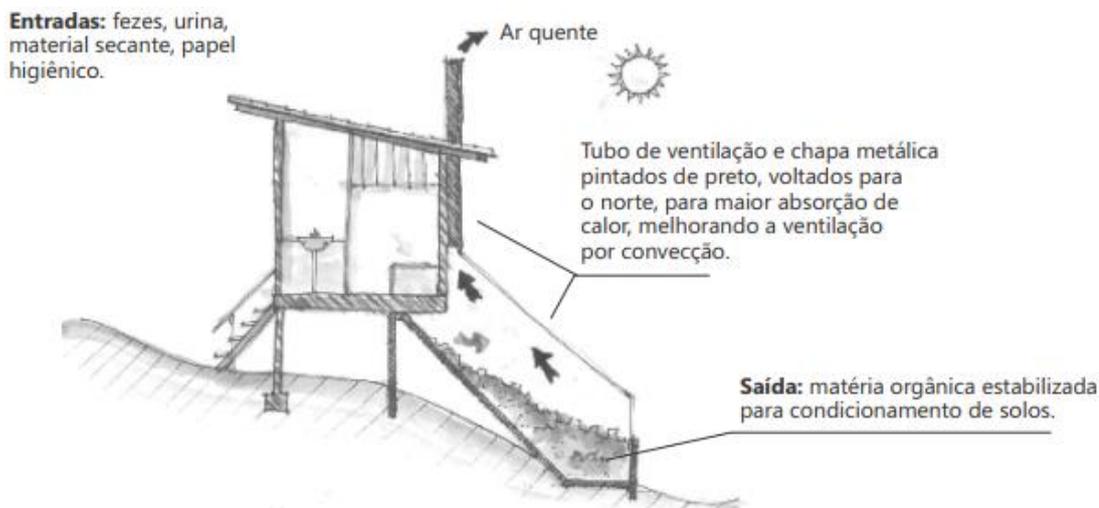


Figura 0: Vista em corte transversal do Sanitário Seco Comportável, Fonte: Paulo *et al.* (2018).

O sanitário seco compostável (Figura 04) possui uma bacia sanitária sem descarga e com separação, onde a urina segue para uma bombona de armazenamento e as fezes, papel higiênico e o material secante, segue para uma câmara de armazenamento, desidratação e compostagem. O composto deve permanecer armazenado por no mínimo 6 meses, antes da retirada para utilização (PAULO *et al.*, 2018).

- INDICADORES SOCIAIS

Para a elaboração do inventário social foram consideradas as seguintes categorias de *stakeholders*: I) trabalhadores, II) consumidores e, III) comunidade local e sociedade (UNEP/SETAC, 2020). Para cada subcategoria foram elaborados indicadores.

AVALIAÇÃO

1. DIMENSÃO SOCIAL

1.1. STAKEHOLDERS: TRABALHADORES

Considerando o grupo de stakeholders **“trabalhadores”** marque um X para os 3 critérios de cada cenário, levando em conta a possibilidade de risco de contaminação para os trabalhadores, da utilização de produtos químicos perigosos e da emissão de odor, tanto na fase de implantação, quanto na fase de operação de cada cenário.

Os esgotos sanitários contêm elevada concentração de microrganismos derivados principalmente da excreta humana. Parte desses microrganismos são agentes etiológicos de doenças, ou seja, microrganismos patogênicos, dessa forma, o contato direto ou indireto com os esgotos constitui um risco à saúde humana (PAULO *et al.*, 2019).

As vias de exposição são rotas através das quais os patógenos podem acessar o hospedeiro. Em atividades relacionadas com a água, há três rotas principais de entrada de agentes patogênicos no hospedeiro: inalação, contato com a pele e ingestão oral (WHO, 2012; Stenström *et al.*, 2011; Bitton, 2005).

O risco sempre está relacionado a alguma ação ou atividade específica. No contexto da saúde pública, o processo de avaliação de risco busca determinar prováveis riscos à saúde causados por um perigo específico.

1.1.1. Indicador: Saúde e Segurança do Trabalho

Indicador: Saúde e Segurança do Trabalho				
N°	Cenário	Critérios		
		Possui risco de contaminação	Utilização de produtos químicos perigosos	Emissão de odor
1A	Fossa Rudimentar	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita
1C	Tanque séptico + sumidouro	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita

2A	Tanque séptico // EvaTAC	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita
2B	TEvap// EvaTAC	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita

1.1.2. Indicador: Mão de Obra

Para o indicador mão de obra, o julgamento será de acordo com as definições abaixo:

- **Baixa complexidade:** Qualquer pessoa com o mínimo de conhecimento consegue executar a implantação. Operação e manutenção de simples complexidade. (proprietário, comunidade, servente...)
- **Média complexidade:** Necessita de pessoa que tenha experiência em construção. Operação e manutenção de simples a moderada complexidade. (pedreiro, mestre de obra, técnico...)
- **Alta complexidade:** Necessita do acompanhamento de pessoa que tenha experiência na área e conhecimentos específicos a respeito daquela tecnologia. Operação e manutenção de moderada a alta complexidade. (técnico, especialista, engenheiro, arquiteto...)

Nº	Cenário	Critérios	
		Complexidade de construção	Complexidade da operação e manutenção
1A	Fossa Rudimentar	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta
1C	Tanque séptico + sumidouro	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta
2A	Tanque séptico // EvaTAC	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta
2B	TEvap// EvaTAC	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta

1.2. STAKEHOLDERS: CONSUMIDORES “USUÁRIOS”

Considerando o grupo de stakeholders “Usuários” marque um X para os 5 critérios de cada cenários, levando em consideração a possibilidade de risco de contaminação, risco da utilização da água de reuso e risco da utilização dos adubos (urina e fezes), emissão de odor e proliferação de vetores para os usuários dos sistemas.

1.2.1. Indicador: Saúde e Segurança

Nº	Cenário	Critérios				
		Possui risco de contaminação	Emissão de odor	Proliferação de vetores	Risco de contaminação pelo reuso da água*	Risco de contaminação da utilização do adubo**
1A	Fossa Rudimentar	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta		
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta		
1C	Tanque séptico + sumidouro	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta		
2A	Tanque séptico // EvaTAC	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta		
2B	TEvap// EvaTAC	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Muita	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto

Nº	Cenário	Critérios				
		Possui risco de contaminação	Emissão de odor	Proliferação de vetores	Risco de contaminação pelo reuso da água*	Risco de contaminação da utilização do adubo**
	armazenamento de urina					

*Água de reuso do EvaTAC (para fins não potável)

** Urina e fezes

1.2.2. Indicador: Monetização

Para o indicador Monetização, deve-se considerar os cenários em que o usuário diminuirá o consumo de água potável utilizando a água de reuso e diminuirá o consumo de adubo comercial.

Nº	Cenário	Critérios
		Redução do consumo de água e adubo
1A	Fossa Rudimentar	<input type="checkbox"/> Não monetiza <input type="checkbox"/> Monetiza
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	<input type="checkbox"/> Não monetiza <input type="checkbox"/> Monetiza
1C	Tanque séptico + sumidouro	<input type="checkbox"/> Não monetiza <input type="checkbox"/> Monetiza
2A	Tanque séptico // EvaTAC	<input type="checkbox"/> Não monetiza <input type="checkbox"/> Monetiza
2B	TEvap// EvaTAC	<input type="checkbox"/> Não monetiza <input type="checkbox"/> Monetiza
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Não monetiza <input type="checkbox"/> Monetiza
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Não monetiza <input type="checkbox"/> Monetiza
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Não monetiza <input type="checkbox"/> Monetiza
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC//	<input type="checkbox"/> Não monetiza

	Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Monetiza
--	----------------------------------	-----------------------------------

1.3. **STAKEHOLDERS: COMUNIDADE E SOCIEDADE (Entorno imediato/vizinhança)**

Considerando o grupo de stakeholders “**comunidade e sociedade**” marque um X para os 4 critérios de cada cenário, levando em consideração as condições de vida segura e saudável da comunidade, emissão de odor, risco de contaminação do solo e da água e risco de proliferação de vetores. Ainda, considere o indicador contribuição para o desenvolvimento econômico sobre a capacidade de geração de emprego e aumento do consumo no comércio local de produtos e serviços para cada cenário.

NOTA: Para o Stakeholders “Comunidade e Sociedade” será considerado uma extrapolação da unidade funcional, para um conjunto habitacional utilizando os mesmos cenários. Desta forma, potencializando o impacto causado neste stakeholders, facilitando a mensuração dos critérios analisados nos indicadores: Condições de vida segura e saudável e Contribuição para o desenvolvimento econômico.

1.3.1. **Indicador: Condições de vida segura e saudável**

Nº	Cenário	Critérios		
		Emissão de odor	Risco de contaminação do solo e/ou da água	Proliferação de vetores
1A	Fossa Rudimentar	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
1C	Tanque séptico + sumidouro	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto

2A	Tanque séptico // EvaTAC	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
2B	TEvap// EvaTAC	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Sem <input type="checkbox"/> Pouca <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto	<input type="checkbox"/> Baixo <input type="checkbox"/> Moderado <input type="checkbox"/> Alto

1.3.2. Indicador: Contribuição para o desenvolvimento econômico

No indicador contribuição para o desenvolvimento econômico, será considerado a capacidade que cada cenário possui de geração de emprego e aumento do consumo no comércio local de produtos e serviços.

Nº	Cenário	Critérios	
		Geração de emprego	Aumento do consumo de produtos e serviços
1A	Fossa Rudimentar		
1B	Fossa Rudimentar // disposição no solo		
1C	Tanque séptico + sumidouro	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta
2A	Tanque séptico // EvaTAC	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta
2B	TEvap// EvaTAC	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta
3A	Tanque Séptico // EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta
3B	TEvap// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta
3C	ETE// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta
3D	Banheiro seco compostavel// EvaTAC// Tanque de armazenamento de urina	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Baixa <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Alta