

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS LOCAIS DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS PARA
HABITAÇÕES UNIFAMILIARES**

THAÍS HELENA MARTINETTI

São Carlos
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS LOCAIS DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS PARA
HABITAÇÕES UNIFAMILIARES**

THAÍS HELENA MARTINETTI

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira.

São Carlos
2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

M385as

Martinetti, Thaís Helena.

Análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para habitações unifamiliares / Thaís Helena Martinetti -- São Carlos : UFSCar, 2015.
292 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Engenharia Urbana. 2. Tratamento de efluentes. 3. Planejamento participativo. 4. Sustentabilidade. I. Título.

CDD: 711 (20ª)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Tese de Doutorado da candidata Thais Helena Martinetti, realizada em 24/04/2015:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Bernardo', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
UFSCar

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ricardo S. Bernardes', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Ricardo Silveira Bernardes
UnB

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Silvio Roberto Orrico', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Silvio Roberto Magalhães Orrico
UEFS

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ioshiaquí Shimbo', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Ioshiaquí Shimbo
UFSCar

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Erich Kellner', is written above a horizontal line.

Prof. Dr. Erich Kellner
UFSCar

Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Não importa quais sejam os obstáculos e as dificuldades. Se estamos possuídos de uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”

Dalai Lama

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me fortificado no cumprimento de mais uma etapa da minha vida e abençoado meu caminho com pessoas especiais que me ajudaram com mais essa conquista.

A meus pais, Martinetti e Vera, pelo apoio emocional e constante incentivo a vencer os desafios e dificuldades que se apresentaram durante todo o processo. Obrigado por serem meu alicerce e motivação para buscar sempre o melhor.

A minha irmã Juliana e meu namorado Alexandre pelo apoio, amizade e companheirismo em todos os momentos.

A minha avó Antônia por suas orações para que conseguisse atingir meus objetivos e por todo seu carinho.

A meus cachorros Nino e Nero pela distração e diversão nos momentos de lazer, sempre presentes nos meus momentos de descanso.

Ao meu amigo e orientador prof. Dr. Bernardo A. N. Teixeira pelo apoio, incentivo e dedicação, de forma a viabilizar a conquista dos resultados desejados. Obrigada por sua amizade e por acreditar em minha competência.

Ao meu amigo e prof. Dr. Ioshiaqui Shimbo, pelo apoio, incentivo e dedicação para viabilizar a conquista desses resultados. Obrigada por sua amizade e fortalecimento na minha formação pessoal e profissional. Obrigada por toda aprendizagem.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU da UFSCar pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa e experiências compartilhadas.

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU da UFSCar pelas informações trocadas durante as disciplinas e auxílio no desenvolvimento da pesquisa. Obrigada a todos pelos momentos de diversão e pelo fortalecimento das antigas amizades e pelos novos amigos.

Aos professores Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – PPGEU da UFSCar que contribuíram para aprimorar a minha formação e para que os resultados da pesquisa fossem obtidos. São todos co-orientados dessa pesquisa.

À empresa INFIBRA, e ao Diretor Luiz Fernando Marchi Jr. que incentivaram a continuidade no doutorado e buscar a evolução profissional.

RESUMO

A *sustentabilidade* é um debate derivado da preocupação com o meio ambiente e a utilização dos recursos naturais finitos. Atualmente, além de questões ambientais, alguns autores incorporam as dimensões econômica, social, cultural e política na definição do conceito. A dimensão política da sustentabilidade enfatiza a participação das pessoas nos processos de tomada de decisão, gestão e controle, por meio da compreensão da realidade e da análise das diferentes alternativas. A adoção de processos participativos para escolha de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários mais sustentáveis, além de possibilitar a transferência do conhecimento, permite acesso às técnicas não convencionais. A análise da sustentabilidade surge, a partir da pesquisa e da prática em áreas do planejamento e gestão, como um novo instrumento para suporte a decisões direcionadas à promoção da sustentabilidade. O presente trabalho está inserido nas discussões sobre os conceitos, princípios, estratégias e técnicas de *tratamento local de efluentes sanitários* mais sustentáveis, enfatizando a interação entre as referidas dimensões. O objetivo geral foi analisar a sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, em habitações unifamiliares, levando em consideração as múltiplas dimensões da sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios. A estratégia geral de pesquisa foi a pesquisa de levantamento de dados na literatura técnico-científica. As etapas gerais foram: 1- análise da literatura técnico-científica em relação aos estudos referentes ao tema de pesquisa; 2- caracterização das alternativas locais de tratamento de efluentes sanitários; 3- análise da sustentabilidade das etapas do processo de escolha de sistema de tratamento local de efluente sanitário; 4- análise da sustentabilidade dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários. Para cada hipótese foi elaborada uma planilha em que se explicitaram: o tipo de informação (variável), as fontes de evidências, os procedimentos para coleta e análise dos dados. Os produtos obtidos foram: 1- processo para escolha do sistema local de tratamento de efluentes sanitários e análise dos princípios, ações e estratégias da sustentabilidade; 2- fluxo síntese para análise dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais e 3- análise da sustentabilidade das alternativas locais de tratamento e disposição local de efluentes sanitários. Os resultados indicaram que a análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários auxilia no processo de escolha e tomada de decisão da alternativa de tratamento a ser utilizada. A compreensão do conceito e princípios de sustentabilidade e a participação dos usuários na tomada de decisão aumentam o grau de sustentabilidade de sistemas de tratamento de efluentes sanitários na perspectiva do equilíbrio dinâmico do território. Os sistemas que favorecem a separação das águas em cinzas e negras ou não usam água, sistemas que possibilitam o uso de resíduos, diminuição do consumo de água e o *processo participativo* na tomada de decisão nas diferentes etapas, com gestão e controle social do processo tendem a ter ganhos em sustentabilidade.

Palavras – chave: sustentabilidade, tratamento local de efluentes sanitários, processo participativo, dimensões da sustentabilidade.

ABSTRACT

Sustainability is a recent debate derived from the environmental concern and the use of finite natural resources. Currently, in addition to environmental issues, some authors incorporate the economic, social, cultural and political dimension to its definition. The political dimension emphasizes people participation in decision-making, management and collective control, through the reality understanding and analysis of different alternatives. The adoption of *participatory processes* for decision-making of more sustainable local systems for residential wastewater treatment enable the knowledge transfer and allows access to unconventional technologies. The sustainability analysis arises from the research and practice in the planning and management areas, as a new tool for decision-making, directed promoting sustainability. This work is inserted in the discussions about concepts, principles, strategies and techniques of more sustainable *local* system for residential *wastewater treatment*, emphasizing the interaction between those dimensions. General objective was the sustainability analysis of local systems for residential wastewater treatment, taking into account the multiple *sustainability dimensions* in view of the territories dynamic balance. General research strategy was the data collection research in technical and scientific literature. General steps were: 1- analysis of the technical and scientific literature regarding studies about the subject; 2- characterization of local alternative for residential wastewater treatment; 3- sustainability analysis of decision-making process for the choice of local alternative for residential wastewater treatment; 4- sustainability analysis of local systems for residential wastewater treatment. To each verified hypothesis, were created a spreadsheet that indicated: the type of information (variable), sources of evidence, the procedures for collecting and analyzing data. Products were: 1- process for decision-making to choose the local system of residential wastewater treatment, principles analysis, actions and strategies for sustainability; 2- synthesis flow for analysis of local treatment of residential wastewater systems and; 3- sustainability analysis of local treatment alternatives and wastewater disposal. Results indicated that the sustainability analysis of local residential wastewater treatment systems helps in the choice and decision-making process. The understanding of the concept and sustainability principles, the use of participation in decision-making, increase the sustainability degree of local residential wastewater treatment systems in the context of the territory dynamic balance. Systems that provide water separation in gray and black ones or systems that do not use water, enable the waste reuse, reduce water consumption and improve *participatory process* in decision-making at different stages, with management and process social control tend to get gains in sustainability.

Keywords: sustainability, wastewater treatment, participatory process, sustainability dimensions.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Exemplo de perfil ambiental da comparação das alternativas do estudo, com ponderação (Fonte: SANCHES, 2009, p.163).	56
FIGURA 1.2 – Exemplo de Perfil ambiental da comparação das alternativas do estudo, com ponderação (Fonte: SANCHES, 2009, p.176).	56
FIGURA 1.3 – Comparação entre situações de esgotamento sanitário no Brasil, com base nos dados da PNAD de 2013 (Fonte: BRASIL, FUNASA, 2014).	63
FIGURA 1.4 – Esquema de sistema de esgotamento estático e dinâmico (Fonte: von SPERLING, 2005, p.53).	66
FIGURA 1.5 – Diagrama de subdivisão do sistema de esgotamento sanitário (Fonte: adaptado de von SPERLING, 2005, p.54).	67
FIGURA 1.6 – Fluxograma do processo de escolha de sistema de tratamento de esgoto doméstico pela UNEP (Fonte: OLIVEIRA, 2004).	68
FIGURA 1.7 – Exemplo de situação individual, com uso de fossa séptica, para coleta, transporte e tratamento de efluentes sanitários (Fonte: UFMG, 2014).	69
FIGURA 1.8 – Exemplo de situação coletiva, com uso de fossa séptica, para coleta, transporte e tratamento de efluentes sanitários (Fonte: UFMG, 2014).	69
FIGURA 1.9 – Vaso sanitário industrializado com separador de urina. (Fonte: Water Rhapsody, 2010).	78
FIGURA 1.10 – Exemplo esquema de um sistema alternativo de gerenciamento de águas em uma edificação (Fonte: GONÇALVES, 2006, p.40).	79
FIGURA 1.11 – Exemplo de banheiro seco (Fonte: SETELOMBAS, 2006).	80
FIGURA 1.12 – Esquema simplificado do processo de compostagem (Fonte: Andreoli, 2001, p.38).	81
FIGURA 3.1 – Processo de escolha de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários.	104
FIGURA 3.2 – Fluxograma síntese dos sistemas de tratamento de efluente sanitários residenciais (Fonte: autora).	111
FIGURA 3.3 – Fluxograma dos sistemas de tratamento de efluente sanitários residenciais para o caso de banheiro seco (Fonte: autora).	112
FIGURA 3.4 – a-) esquema de ligação dos reservatórios / b-) detalhe do reservatório aeróbio filtro-misto / c-) sistema implantado em Ubatuba – SP (Fonte: IPEMA, 2006).	120
FIGURA 3.5 – Sistema Industrializado Mizumo Family, para residências e pequenas comunidades (Fonte: MIZUMO, 2006).	121
FIGURA 3.6 – Detalhe do funcionamento geral de um tanque séptico (Fonte: NBR 7229, 1993).	122
FIGURA 3.7 – desenho esquemático do sistema tanque séptico e sumidouro para disposição de efluentes no solo (Fonte: CAESB, 2006).	123
FIGURA 3.8 – Desenho esquemático do sistema tanque séptico e vala de infiltração para disposição de efluentes no solo (Fonte: CAESB, 2006).	124
FIGURA 3.9 – Desenho esquemático do sistema tanque séptico e vala e filtração para disposição de efluentes no solo (Fonte: CAESB, 2006).	125
FIGURA 3.10 – Detalhe técnico da vala de filtração (Fonte: CAESB, 2006).	126
FIGURA 3.11 – esquema de funcionamento do sistema fossa séptica com filtro anaeróbio (Fonte: EDIFIQUE, 2006).	127

FIGURA 3. 12 – esquema de funcionamento do sistema fossa séptica com filtro aeróbio (Fonte: ERCOLE, 2003).	127
FIGURA 3. 13 – a-) esquema do círculo de bananeiras. B-) detalhe do lago artificial c-) imagem de um círculo de bananeiras (Fonte: BUKLEY, 2003 e PROJECTO MADEIRA VOLUNTÁRIA, 2012).	128
FIGURA 3. 14 – Detalhe do tanque séptico com poço de absorção (DEFFIS e MOLINA, 1992).	129
FIGURA 3. 15 – a e b-) esquema do sistema fossa séptica biodigestor, c-) detalhe da instalação hidráulica interna da fossa séptica biodigestora (Fonte: NOAVES et al., 2002).	130
FIGURA 3. 16 – Detalhe do leito de evapotranspiração e infiltração (Fonte: ERCOLE, 2003).	131
FIGURA 3. 17 – a-) Esquema do sistema. b-) imagem do sistema em implantação. (Fonte: ERCOLE, 2003).	131
FIGURA 3. 18 – a-) Esquema da circulação dos efluentes pelo biodigestor. b-) Biodigestor modelo chinês. c-) Biodigestor modelo indiano. (Fonte: ERCOLE, 2003 e BARRERA, 1993).	132
FIGURA 3. 19 – Detalhe do sistema de tratamento de águas cinzas (Fonte: ERCOLE, 2003).	133
FIGURA 3. 20 – a) Detalhe do reservatório com britas e camada de areia / b) Esquema da caixa séptica de gordura (Fonte: IPEMA, 2003).	134
FIGURA 3. 21 – Esquema do sistema (Fonte: LUDWING, 1994).	135
FIGURA 3. 22 – a) Esquema de funcionamento do banheiro seco com recipientes móveis / b) exemplo de banheiro seco recipientes móveis simplificado (Fonte: ERCOLE, 2003 e ROOF SIMPLE, 2009).	137
FIGURA 3. 23 – Banheiro seco de recipientes móveis portátil, com rodas que permitem sua movimentação (Fonte: BIOLAN, 2013).	138
FIGURA 3. 24 – a) Esquema do banheiro seco carrossel / b) Imagem da instalação do sistema de banheiro seco carrossel / c) Detalhe do recipiente inferior do banheiro seco carrossel. (Fonte: ERCOLE, 2003 e ROOF SIMPLE, 2009).	139
FIGURA 3. 25 – a) Esquema do banheiro seco duas câmaras / b) Esquema do banheiro seco duas câmaras / c) Imagem de sistema de banheiro seco duas câmaras construído. (Fonte: ERCOLE, 2003; JENKINS, 1996 e INSTITUTO REFAZENDA, 2013).	140
FIGURA A. 1: a-) Planta baixa do tanque séptico em alvenaria convencional para diâmetro de 1,20 metros / b) corte transversal do tanque séptico em alvenaria convencional (sem escala, medidas em metros).	281
FIGURA A. 2: a-) Planta baixa do tanque séptico pré-moldada para diâmetro de 1,20 metros / b) corte transversal do tanque séptico cilíndrico (sem escala, medidas em metros).	283
FIGURA A. 3: Tanque séptico em polietileno e respectivas dimensões (FORTLEV, 2010).	284

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. 1- Síntese das características básicas da sustentabilidade (Fonte: adaptado de SILVA, 2000, p.97).	14
QUADRO 1. 2- Síntese do conceito básico da sustentabilidade, por Gibson et al (2005). (Fonte: traduzido e adaptado de Duarte, 2013, p.40).	18
QUADRO 1.3- Princípios de sustentabilidades sistematizados por Milanez. (Fonte: adaptado de MILANEZ, 2002).	22
QUADRO 1.4: Princípios de sustentabilidades sistematizados por Gibson (Fonte: GIBSON et al, 2005).	24
QUADRO 1.5: Abordagem sistêmica para planejamento, avaliação e gestão de sustentabilidade, de acordo com Grace e Pope (2011) (Fonte: DUARTE, 2013, p.117).	36
QUADRO 1.6 – Critérios de efetividade para avaliação de sustentabilidade e suas características, elaborado a partir de Bond, Morrison-Saunders e Howitt (2012b) e Bond, Morrison-Saunders e Stoeglehner (2012) (Fonte: adaptado de DUARTE, 2013, p.112).	52
QUADRO 1.7- Critérios de sustentabilidade a serem considerados para o Sir James Mitchell Park. (Fonte: adaptado de Sir James Mitchell Park, 2010, p.10).	53
QUADRO 1.8- Critério para avaliação da sustentabilidade dos materiais da construção civil e descrição da forma de análise (Fonte: CBCS, 2013).	54
QUADRO 1.9- Princípios ambientais da construção sustentável (Fonte: adaptado de Yuba, 2005, p.38).	57
QUADRO 1.10- Situação do sistema de esgotamento sanitário no Brasil, com base nos dados da PNAD de 2013 (Fonte: BRASIL, FUNASA, 2014).	62
QUADRO 1.11- Características do esgoto: parâmetros físicos, químicos e biológicos (Fonte: adaptado de von Sperling, 2005, e Jordão e Pessoa, 2011).	70
QUADRO 1.12- Parâmetros de qualidade em diferentes níveis de tratamento de efluentes (Fonte: CETESB, 1988).	72
QUADRO 1.13- Alternativas para tratamento e disposição de esgoto e excretas (Fonte: ANDREOLI, 2009, p.26).	76
QUADRO 1.14- Estimativa de consumo de água potável nas edificações para o Brasil (Fonte: MAY, 2008, p.16).	79
QUADRO 1.15- Diretrizes da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários. (Fonte: adaptado de Bastos e Belivacqua, 2006).	87
QUADRO 2. 1- Decomposição das perguntas de pesquisa em hipóteses principal e secundárias e objetivos principal e secundários.	94
QUADRO 2.2: Planilha de coleta de dados, com a decomposição da hipótese em hipótese intermediária, tipo de informação a ser coletada, fontes de evidência, instrumentos e procedimentos de coleta dos dados e recursos necessários.	97
QUADRO 3. 1- Princípios de sustentabilidade para o processo de definição do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais (Fonte: adaptado de YUBA, 2005 e autora).	104
QUADRO 3. 2- Princípios de sustentabilidade para o processo de projeto do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais (Fonte: adaptado de YUBA, 2005 e autora).	106
QUADRO 3. 3- Princípios de sustentabilidade para o processo de construção do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais (Fonte: adaptado de YUBA, 2005 e autora).	107
QUADRO 3. 4- Princípios de sustentabilidade para o processo de uso, operação e manutenção do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais (Fonte: adaptado de YUBA, 2005 e autora).	108

QUADRO 3. 5- Quadro de relação das variáveis e princípios de sustentabilidade com as etapas da decisão de sistema de tratamento de efluentes e respectiva dimensão da sustentabilidade.	117
QUADRO 3. 6- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento misto: Sistema de Reciclagem das Águas.	144
QUADRO 3. 7- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema de Reciclagem das Águas.	144
QUADRO 3. 8- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento misto: Sistema Industrializado: Mizumo MF 3200.	150
QUADRO 3. 9- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Industrializado.	150
QUADRO 3. 10- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: sumidouro.	161
QUADRO 3. 11- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Sumidouro.	161
QUADRO 3. 12- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: vala de infiltração.	166
QUADRO 3. 13- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Vala de Infiltração.	166
QUADRO 3. 14- - Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: vala de filtração ou filtro de areia.	171
QUADRO 3. 15- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Vala de Filtração.	171
QUADRO 3. 16- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: filtro anaeróbio.	176
QUADRO 3. 17- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Filtro Anaeróbio.	176
QUADRO 3. 18- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: filtro aeróbio.	181
QUADRO 3. 19- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Filtro Aeróbio.	181
QUADRO 3. 20- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: círculo de bananeiras.	186
QUADRO 3. 21- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Círculo de Bananeiras.	186
QUADRO 3. 22- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: poço de absorção.	191
QUADRO 3. 23- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Poço de Absorção.	191
QUADRO 3. 24- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos não combinado com tanque séptico: fossa séptica biodigestora.	197

QUADRO 3. 25- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Fossa Séptica Biodigestora. _____	197
QUADRO 3. 26- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos não combinado com tanque séptico: sistema modular com separação das águas. _____	202
QUADRO 3. 27- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Modular de Separação das Águas. _____	202
QUADRO 3. 28- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos não combinado com tanque séptico: biodigestor (contínuo). _____	207
QUADRO 3. 29- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Biodigestor (Contínuo). _____	207
QUADRO 3. 30- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos não combinado com tanque séptico: biodigestor (intermitente). _____	212
QUADRO 3. 31- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Biodigestor (Intermitente). _____	212
QUADRO 3. 32- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas cinzas: sistema modular com separação das águas. _____	219
QUADRO 3. 33- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Modular com Separação das Águas. _____	219
QUADRO 3. 34- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas cinzas: sistema circuito fechado. _____	224
QUADRO 3. 35- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Circuito Fechado. _____	224
QUADRO 3. 36- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas cinzas: plantas sobre o campo de lixiviação do tanque séptico. _____	229
QUADRO 3. 37- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Plantas Sobre o Campo de Lixiviação do Tanque Séptico. _____	229
QUADRO 3. 38- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas não hídricos: Banheiro seco com recipientes móveis. _____	235
QUADRO 3. 39- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e participação para o Sistema Banheiro Seco com Recipientes Móveis. _____	235
QUADRO 3. 40- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas não hídricos: Banheiro seco carrossel. _____	241
QUADRO 3. 41- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e participação para o Sistema Banheiro Seco com Recipientes Móveis. _____	241
QUADRO 3. 42- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas não hídricos: Banheiro seco com duas câmaras. _____	247
QUADRO 3. 43- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e participação para o Sistema Banheiro Seco com Recipientes Móveis. _____	247
QUADRO 3. 44- Quadro síntese da comparação das alternativas de tratamento de efluentes sanitários residenciais, com respectivas variáveis e dimensão da sustentabilidade. _____	255

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela A. 1: Estimativa das emissões de CO₂ dos materiais constituintes do tanque séptico em alvenaria convencional (Fonte: autora, DEEKE, 2009, ISAIA e GASTALDINI, 2004, TCPO, 2008 e COSTA, 2012).</i>	<i>281</i>
<i>Tabela A. 2: Emissões de CO₂ dos materiais constituintes do tanque séptico prismático (Fonte: autora, DEEKE, 2009, ISAIA e GASTALDINI, 2004, TCPO, 2008 e COSTA, 2012).</i>	<i>283</i>
<i>Tabela A. 3: Emissões de CO₂ dos materiais constituintes do tanque séptico em reservatório plástico (Fonte: autora, DEEKE, 2009, ISAIA e GASTALDINI, 2004, FORTLEV, 2010 e COSTA, 2012).</i>	<i>284</i>

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
CAPÍTULO 1	10
SUSTENTABILIDADE, PRINCÍPIOS E INDICADORES: SUBSÍDIOS PARA ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE EM SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS	10
1.1 O DEBATE DA SUSTENTABILIDADE E O CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	11
1.2 PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE E SUAS VERTENTES	21
1.3 A DISCUSSÃO DAS DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE	25
1.4 DEBATE DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E A ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE	30
1.5 DIMENSÃO POLÍTICA DA SUSTENTABILIDADE, PROCESSOS PARTICIPATIVOS E PROCESSOS DE TOMADA DE DECISÃO: RELAÇÕES COM A SUSTENTABILIDADE	40
1.6 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE AVALIAÇÃO E ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE NO BRASIL E NO MUNDO	50
1.7 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS RESIDENCIAIS E RELAÇÕES COM A SUSTENTABILIDADE	60
1.7.1 SISTEMAS ESGOTAMENTO SANITÁRIO: TIPOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO	66
1.7.2 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS: CONCEPÇÕES E ALTERNATIVAS	71
1.7.3 SISTEMAS ESGOTAMENTO SANITÁRIO: A PROPOSIÇÃO DA SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS SERVIDAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E SISTEMA DE BANHEIRO SECO	76
1.7.4 SISTEMAS ESGOTAMENTO SANITÁRIO: REUSO DE ÁGUA E LODO EFLUENTES E A CONTRIBUIÇÃO DO SANEAMENTO ECOLÓGICO PARA A SUSTENTABILIDADE	82
1.8 SÍNTESE DAS QUESTÕES APRESENTADAS NO DEBATE DA LITERATURA	88
CAPÍTULO 2	90
PERGUNTAS DE PESQUISA, HIPÓTESES, OBJETIVOS E ESTRATÉGIAS GERAIS DA PESQUISA	90
2.1 EXPLICITAÇÃO DE PERGUNTA PRINCIPAL E PERGUNTAS INTERMEDIÁRIAS DE PESQUISA	90
2.2 HIPÓTESES PRINCIPAIS E INTERMEDIÁRIAS	91
2.3 OBJETIVO GERAL	93
2.4 ESTRATÉGIA GERAL DE PESQUISA	96
2.5 MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	96
CAPÍTULO 3	99
ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS RESIDENCIAIS PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES	99
3.1 PROCESSO PARA ESCOLHA DO SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS, AÇÕES E ESTRATÉGIAS DA SUSTENTABILIDADE	100
3.2 FLUXO SÍNTESE PARA ANÁLISE DOS SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS	110
3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS CONSIDERADAS PARA A ESCOLHA DO SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO E AS MÚLTIPLAS DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE E SUAS POSSÍVEIS RELAÇÕES	113

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ALTERNATIVAS EXISTENTES PARA TRATAMENTO LOCAL E DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES SANITÁRIOS	118
3.4.1 SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO MISTO (ÁGUAS CINZAS + ÁGUAS NEGRAS)	119
3.4.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS	121
3.4.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS	133
3.4.4 SISTEMA DE TRATAMENTO NÃO HÍDRICO (BANHEIRO SECO)	135
3.5 ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DAS ALTERNATIVAS LOCAIS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO LOCAL DE EFLUENTES SANITÁRIOS	140
3.5.1 SISTEMA DE TRATAMENTO MISTO (ÁGUAS CINZAS E ÁGUAS NEGRAS)	141
3.5.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS	154
3.5.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS	217
3.5.4 SISTEMA DE TRATAMENTO NÃO HÍDRICO (BANHEIRO SECO)	233
3.6 PRINCÍPIOS GERAIS CONSIDERADOS PARA ANÁLISE DO GRAU DE TENDÊNCIA À SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS	252
CAPÍTULO 4	257
<hr/>	
ALGUMAS CONCLUSÕES E NOVAS QUESTÕES	257
<hr/>	
REFERÊNCIAS	265
<hr/>	
APÊNDICE	278
<hr/>	
APÊNDICE A: ANÁLISE COMPARATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DE TANQUES SÉPTICOS EXECUTADOS EM ALVENARIA CONVENCIONAL, CONCRETO PRÉ-MOLDADO OU RESERVATÓRIO PLÁSTICO	278
<hr/>	
A.1 - DETERMINAÇÃO DO VOLUME DO TANQUE SÉPTICO	279
A.2 - DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO EM ALVENARIA CONVENCIONAL E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	280
A.3 - DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO EM PRÉ-MOLDADO DE CONCRETO E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	282
A.4 - DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO EM RESERVATÓRIO PLÁSTICO (PE) E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO ₂	284
REFERÊNCIAS	285
APÊNDICE B: QUADRO DE COMPARAÇÃO (ALTERNATIVAS X VARIÁVEIS) DE SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS RESIDENCIAIS	286
<hr/>	
B.1 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO MISTO (ÁGUAS CINZAS E ÁGUAS NEGRAS)	286
B.2 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS POR SISTEMAS HÍDRICOS COMBINADOS COM TANQUE SÉPTICO	287
B.3 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS POR SISTEMAS HÍDRICOS COMBINADOS COM TANQUE SÉPTICO	288
B.4 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS POR SISTEMAS HÍDRICOS COMBINADOS COM TANQUE SÉPTICO E NÃO COMBINADOS	289
B.5 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS POR SISTEMAS HÍDRICOS NÃO COMBINADOS COM TANQUE SÉPTICO	290
B.6 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE CINZAS	291
B.7 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO POR SISTEMAS NÃO HÍDRICOS (BANHEIRO SECO)	292

LISTA DE SIGLAS

AAE	Análise Ambiental Estratégica
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACIEPE	Atividade Curricular de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AHP	Analytic Hierarchy Process
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNUCED	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EBN	Environmental Building News
ELECTRE	Elimination Et Choix Traduisant La Réalité
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUROSTAT	European Union Statistical Office
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GBD	Green Building Digest
HABIS	Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade
IDH	Indicador de Desenvolvimento Humano
IPEMA	Instituto de Permacultura da Mata Atlântica
ISO	International Standardization Organization
LEED	Leadership in Energy and Environmental Designs
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NABERS	National Australian Building Environmental Rating System
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PDS	Projeto de Desenvolvimento Sustentável

PNAD	Pesquisa Nacional por amostra de domicílios
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SIA	Social Impact Assessment
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UN	United Nations
UNDP	United Nation Development Programmer
UNEP	United Nations Environmental Program

APRESENTAÇÃO

A análise da sustentabilidade é um desafio no atual cenário mundial, na busca de soluções que agridam menos o ambiente e garantam qualidade de vida à população. Contudo, ainda há poucos estudos acadêmicos sobre o tema e muito se tem discutido sobre a sustentabilidade e suas formas de obtenção. Tanto quanto controverso é o tema sustentabilidade é a sua forma de avaliação. Deste modo, este estudo teve como objetivo realizar uma análise de sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, para habitações unifamiliares, que auxilie no acesso à informação e nos processos de tomada de decisão, na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios.

Ele também está inserido nas discussões da realidade brasileira sobre sistemas de saneamento ambiental. Há dificuldade de acesso da população, principalmente de baixa renda, à assistência técnica. Há pouco conhecimento sobre temas como a sustentabilidade e a participação nos processos decisórios. Há a necessidade de se analisar se determinado sistema é mais sustentável, com base em metodologia simplificada, de fácil acesso e compreensão para as pessoas.

Na década de 70 retomou-se o debate relacionado ao tema sustentabilidade, que derivou dos problemas enfrentados na época, principalmente com relação à degradação ambiental cada vez mais evidente, exploração excessiva dos recursos naturais, do aquecimento global e da baixa qualidade de vida da maioria da população mundial, como questionamento da realidade que vivemos.

O interesse acerca do tema sustentabilidade surgiu com a participação da pesquisadora na Atividade Curricular de Integração Ensino, Pesquisa e Extensão (ACIEPE), da UFSCar, na disciplina sobre Sustentabilidade Regional: Prática e Reflexão, no ano de 2004, em que se abordaram os princípios, características e conceitos da sustentabilidade. Foram desenvolvidos projetos e discussões durante a disciplina para permitir a aplicação desses conceitos.

Como continuidade nos estudos e intervenções, no ano seguinte (2005) ingressei em um grupo de pesquisa que discute e desenvolve projetos baseados na temática. Este é o grupo Habis (Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade), localizado no Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP, que participei até o ano de 2009. Este grupo era composto de pesquisadores da USP São Carlos e UFSCar.

O grupo Habis desenvolveu estudos para intervenção na construção de 42 moradias no Assentamento Rural da Fazenda Pirituba II, em Itapeva SP, de modo a torná-las mais sustentáveis, com a utilização de recursos locais e renováveis e a participação da população para obter moradias de baixo custo, respeitando o meio ambiente. Com base nesta experiência o grupo Habis atendeu a outra demanda para aplicar conceitos de sustentabilidade no Assentamento Rural Sepé Tiaraju, localizado em Serra Azul, SP, que participou do Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) que tinha como característica a tendência à agroecologia e sustentabilidade, na construção de 79 habitações sociais rurais e implantação de um sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais.

Esse projeto recebeu financiamento da FUNASA para viabilizar estudos de ações de saneamento ambiental mais sustentável, que resultou na publicação de uma cartilha de boas práticas de saneamento ambiental (ver BRASIL, 2013). Dentre os capítulos, foi elaborado um sobre o tema de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários em assentamentos rurais.

O interesse pelo tema saneamento surgiu das discussões durante as disciplinas cursadas durante a graduação em Engenharia Civil. A precariedade dos sistemas de saneamento no Brasil e o baixo acesso pela população de baixa renda incentivou a busca por soluções alternativas para garantir melhores condições de vida a essa população aliadas

a preservação do meio ambiente e a possibilidade de geração de emprego e renda, priorizando a sustentabilidade.

Esse estudo está inserido nas discussões dos atuais problemas da realidade brasileira e mundial. A acelerada migração do homem para as cidades resultou em situações de baixa qualidade de vida, decorrente da ausência de um adequado planejamento urbano, expondo a uma degradação ambiental, precarizando as condições de habitabilidade. Essas situações são caracterizadas principalmente pela moradia de baixa qualidade e falta de acesso e às infraestruturas básicas de saneamento ambiental. Nas áreas rurais, as soluções adotadas para tratamento de efluentes (fossa seca), nem sempre são adequadas ao contexto local, com poluição de água e solo e expondo moradores ao risco de doenças.

Durante muitos anos utilizou-se o termo saneamento básico para se referir às questões sobre o sistema de abastecimento de água, o sistema de esgotamento sanitário, o sistema de drenagem urbana e o sistema de resíduos sólidos. Algumas linhas de pesquisa têm substituído esse termo pelo saneamento ambiental, que envolve o saneamento básico e questões quanto à qualidade do meio ambiente, saúde da população e poluição.

Dados do SNIS (2013) sobre o atendimento de abastecimento e água, entre os anos de 2012 e 2013, revelam que houve uma ligeira queda de 0,2 pontos percentual, passando de 82,7% para 82,5% de domicílios atendidos. O índice de atendimento total com rede de esgotos é de 49,7%. Do total do esgoto coletado, 69,4% é tratado, ou seja, apenas 34,5% do total de esgoto gerado recebe algum tipo de tratamento (BRASIL, 2014).

Dados corrigidos da PNAD (2013) mostram que 85,3% dos domicílios brasileiros possuem rede de abastecimento de água, 58,2% possuem rede de esgoto, sendo que 5,3% possuem fossa séptica ligada à rede coletora e 89,8% possuem com coleta de lixo. Entre os moradores que não têm acesso à rede de esgoto, 12,7% têm fossa séptica regular sem ligação à rede de esgoto, 18,6% dos domicílios têm fossa rudimentar, e 2,8% usam outro tipo artesanal de esgotamento. Há 1,6 milhão dos domicílios (2,4% do total) que não possuem qualquer tipo de sistema de esgotamento (IBGE, 2014).

Com relação à coleta de esgoto, a região Norte do país possui 19,3% das residências atendidas com rede coletora de esgoto ou fossa séptica ligada à rede coletora.

Em contraponto está a região Sudeste, com 88,7% de residências com rede coletora de esgoto (IBGE, 2014).

Os sistemas de coleta de esgoto no Brasil levou a uma população que privilegia o afastamento do efluente das residências, sem devida preocupação com sua destinação e análise dos impactos que podem causar como a poluição dos corpos hídricos, necessidade de construção de grandes estações de tratamento de esgoto, construção de redes coletoras extensas que podem resultar danos e prejuízos ao meio ambiente.

Os estudos sobre tratamento de efluentes sanitários existentes enfatizam a construção de estações de tratamento de esgoto (ETE) que recolhem todo efluente da cidade, enviando-o a um determinado local para realização do tratamento. Autores como Jordão e Pessoa (2011) e Von Sperling (2005) apresentam as técnicas de tratamento de efluentes sanitários em grandes estações de tratamento de esgoto; Sarti et al (2006) propõem outra forma de tratamento por meio do uso de reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais. Andrade Neto (1997) faz uma síntese em seu livro sobre os sistemas de tratamento de efluentes mais utilizados no Brasil, como os reatores anaeróbios de fluxo ascendente através do leito de lodo, lagoas de estabilização, disposição controlada no solo, filtros anaeróbios e tanques sépticos.

A autora realizou um estudo de levantamento das alternativas existentes para tratamento local de efluentes sanitários residenciais, obtendo 19 diferentes alternativas, subdividas em tratamento de águas negras, tratamento de águas cinzas e tratamento misto (águas cinzas e águas negras) (MARTINETTI, 2006). Também foi realizado um estudo que viabilizou um processo participativo para escolha e implantação de um sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais em assentamento rural (MARTINETTI, 2009).

É necessário buscar infraestruturas de tratamento de efluentes alternativas, que possam representar opções ao sistema tradicional adotado como solução na maioria dos casos (fossa negras na zona rural e estações de tratamento de esgoto centralizador na zona urbana), que sejam de fácil construção e manutenção, aliadas à preocupação com qualidade ambiental, a qualidade de vida do ser humano e o uso racional dos recursos naturais, baseados nos princípios e conceitos da sustentabilidade.

A gestão das águas nas edificações é de extrema importância para o uso mais sustentável desse recurso e contribuir com a redução dos problemas de escassez e poluição da água. Essa gestão envolve o suprimento de água potável, a gestão das águas pluviais e o esgotamento sanitário, com a busca da otimização do uso desse recurso nas habitações.

O presente estudo aborda uma proposta de análise de sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, para auxiliar no processo de tomada de decisão e o acesso às tecnologias alternativas, que utilize parâmetros de análise que sejam de fácil compreensão, baseados nos princípios e conceitos da sustentabilidade. Também é preciso considerar a adequação do sistema ao contexto local, social e cultural, e promover o incentivo a práticas participativas para tomada de decisão pela população.

Esse estudo se refere à análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários aplicados a residências unifamiliares. Cabe ressaltar que os sistemas apresentados também podem ser aplicados em situações condominiais ou atender mais de uma residência. Para realizar a análise da sustentabilidade desse estudo foi considerado o sistema para ser utilizado para uma residência com até 5 moradores. Dados do PNAD 2013 mostram que o número médio de moradores por domicílio particular permanente no Brasil é de 3,1. Para a região Norte, este valor é de 3,6 habitantes por domicílio, quase 4 habitantes por residência (IBGE, 2014).

Portanto essa proposta de análise para residências com até 5 moradores atende às necessidades dos domicílios brasileiros, pois a análise da sustentabilidade pode variar a medida que se aumentam as contribuições de efluentes e dimensões das unidades de tratamento. Desta forma, reduzem-se as variáveis dimensionais para esta análise específica da sustentabilidade.

A relevância social e científica desta pesquisa está na possibilidade de permitir do acesso à informação de sistemas locais mais sustentáveis para tratamento de efluentes sanitários residenciais, por meio de análise da sua sustentabilidade, para auxiliar no processo de escolha e tomada de decisão do sistema a ser implantado, com possibilidade de acesso ao conhecimento das técnicas mais apropriadas e fazer as escolhas mais adequadas à

sua realidade local e social, além de garantir melhores condições de vida e higiene à população, com base nos conceitos e princípios da sustentabilidade.

Há poucos estudos a respeito de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, de modo a atender pequenas comunidades, conforme pode ser observado na lista de referências desta tese. No tema de análise da sustentabilidade desses sistemas, esse volume é ainda menor.

Além disso, grande parte dos estudos existentes sobre sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais referem-se a unidades de tratamento para cidades, que recolhem e tratam o esgoto em grandes estações de tratamento, sendo que, muitas vezes, as soluções locais não são enfatizadas. Desta forma a importância do estudo de soluções de tratamento de efluentes sanitários residenciais, focadas em unidades descentralizadas e unifamiliares, que utilizem conceitos de sustentabilidade, de modo a minimizar os impactos ambientais, sociais e econômicos locais.

A relevância histórica está na mudança de um cenário atual da população de baixa renda que, em sua maioria, há muitos anos não tem suas necessidades por saneamento ambiental atendida, principalmente por baixo investimentos no setor. A possibilidade de essa população ter acesso a sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, conhecer as técnicas alternativas e escolher a mais adequada à sua realidade local e social, proporciona um incremento da participação nos processos decisórios e promoção de hábitos de higiene.

Também se observa uma redução do volume água potável disponível para os centros urbanos, devido ao aumento da poluição dessas fontes. Isso se deve a uma população que não se preocupou com a questão dos dejetos serem dispostos nos corpos d'água. Com isso, são necessários custos maiores para realizar o tratamento e tornar esta água potável para consumo humano. A escassez de chuvas no segundo semestre de 2014 e primeiro semestre de 2015 atentou a população da necessidade de reduzir o desperdício de água potável e retomar a discussão do reuso seguro da água não potável e água de chuva.

Este estudo também serve como uma abordagem metodológica para outros pesquisadores, profissionais, gestores públicos que desejam analisar a sustentabilidade de

sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para auxiliar e embasar processos de tomada de decisão e aplicação de conceitos e princípios da sustentabilidade para busca de soluções mais sustentáveis.

No capítulo 1 é apresentada a discussão da literatura técnica-científica sobre sustentabilidade, indicadores, princípios de sustentabilidade, sistemas de tratamento de efluentes sanitários, abordando o debate técnico científico dos conceitos e princípios envolvidos, bem como a dificuldade de se realizar essa integração.

A sustentabilidade é um debate atual e tem embasado diversas ações que se preocupam com a qualidade do meio ambiente e de vida da população. Os conceitos e princípios envolvidos no tema podem ser aplicados em diferentes campos, pois a sustentabilidade busca a integração e interdisciplinaridade das diversas áreas do conhecimento.

A análise da sustentabilidade surge no contexto da preocupação em determinar se uma situação pode ser considerada sustentável. Emergiu a partir da pesquisa e da prática em várias áreas do planejamento e gestão como uma abordagem ou como um novo instrumento para suporte a decisões direcionadas à promoção da sustentabilidade. Ainda demanda diversos estudos e experiências para adequação ao contexto local e temporal.

Os processos participativos estão diretamente relacionados com o debate do conceito sustentabilidade, mais especificadamente quando se refere à dimensão política, pois contemplam a necessidade da participação das pessoas na tomada de decisão, de modo a possibilitar o acesso ao conhecimento e ao debate a assuntos de interesse coletivo. Também incentiva a população a ter um papel mais ativo na sociedade.

Já a ausência sistemas de saneamento são algumas das causas das principais doenças de origem e veiculação hídrica que atingem a população e de poluição ambiental. Para a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2007), cerca de 230 mil pessoas morrem todo ano no Brasil por exposição a fatores de risco ambiental, como poluição do ar, água não tratada e falta de infraestrutura urbana, sendo que 19% de todas as mortes poderiam ser evitadas se fossem adotadas políticas públicas eficientes. A pesquisa levou em consideração

as condições enfrentadas pelos brasileiros, afirmando que a poluição do ar causava óbito de 12,9 mil pessoas por ano e, ainda, com 22% das pessoas vivendo abaixo da linha da pobreza, a falta de água tratada e de esgotamento sanitário eram responsáveis pela morte de 15 mil brasileiros por ano.

O capítulo 2 deriva do debate da literatura técnico e científica do capítulo 1, em que foram levantadas diferentes questões de pesquisa e hipóteses para que neste capítulo fossem definidas perguntas de pesquisas, com suas respectivas hipóteses que resultaram no objetivo desse estudo. Também são abordadas as estratégias da pesquisa e os métodos de coleta e análise dos dados.

No capítulo 3 são apresentados os resultados do estudo sobre a análise da sustentabilidade dos 19 sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, com base literatura técnico-científica e nas cinco dimensões da sustentabilidade, além dos principais aspectos, desafios e fatores a serem considerados para realizar essa análise. A análise da sustentabilidade foi dividida em três etapas: 1- processo para escolha do sistema local de tratamento de efluentes sanitários e análise dos princípios, ações e estratégias da sustentabilidade; 2- fluxo síntese para análise dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais e 3- análise da sustentabilidade das alternativas locais de tratamento e disposição local de efluentes sanitários residenciais.

A primeira etapa, de análise do processo de escolha e tomada de decisão é importante para a sustentabilidade, pois é preciso entender o fluxo da tomada de decisão e suas relações com a sustentabilidade. O processo de escolha consiste na definição do sistema local de tratamento de efluentes sanitários (sistema com separação das águas, sistemas secos, sistemas sem separação das águas). Outro processo é o projeto do sistema, que aborda aspectos de localização da unidade de tratamento, materiais e suas dimensões. O terceiro processo, de construção do sistema, envolve a mão-de-obra e uso de materiais locais e renováveis. O quarto processo é uso, operação e manutenção do sistema, que se refere aos aspectos de gestão dos sistemas.

A segunda etapa apresenta o fluxo síntese do processo de análise de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para viabilizar a análise da sustentabilidade, realizada na terceira etapa. É um resumo do processo de análise e escolha da alternativa.

A terceira etapa refere-se à análise da sustentabilidade das alternativas existentes para tratamento de efluentes sanitários residenciais, que engloba os quatro processos para escolha e tomada de decisão, além das características específicas de cada unidade de tratamento de efluente. Em todas as etapas deve haver a participação ativa dos usuários finais em todas as etapas para que se façam escolhas adequadas à sua realidade social e local. É preciso fornecer informações suficientes para que essas escolhas sejam conscientes e que beneficiem a todos.

Com base nos resultados do capítulo 3, no capítulo 4 são apresentadas as principais conclusões e considerações com relação à pesquisa e são indicadas as possibilidades de continuidade e desdobramentos. O capítulo REFERÊNCIAS apresenta a literatura técnica e científica consultada, que forneceram o embasamento teórico e científico para a proposição da análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para habitações unifamiliares.

Também são apresentados 2 apêndices, com informações complementares para o estudo: A- Análise comparativa das emissões de CO₂ dos tanques sépticos executados em alvenaria convencional, concreto pré-moldado e reservatório plástico, referencial, como exemplo de cálculo para verificar as emissões dos materiais; B- Quadro de comparação (alternativas x variáveis) de sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais, com a apresentação do quadro de comparação elaborado na íntegra e sua forma de apresentação nos processos de escolha e tomada de decisão.

CAPÍTULO 1

SUSTENTABILIDADE, PRINCÍPIOS E INDICADORES: SUBSÍDIOS PARA ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE EM SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

A integração da sustentabilidade e saneamento ambiental é uma forma de possibilitar o acesso das pessoas ao conhecimento de técnicas não convencionais de saneamento, para promover melhor qualidade de vida para a população, preservação do meio ambiente, na participação ativa da população na sociedade, com a busca de soluções que respeitem o meio ambiente e o ser humano.

No Brasil e em diversos países, o debate sobre conceitos e princípios da sustentabilidade tem-se intensificado devido, principalmente, às mudanças climáticas globais que vêm ocorrendo nos últimos anos como o aquecimento global, e tem surgido como diretriz para solucionar esses problemas. Porém, em muitos casos, há divergências de conceitos e adequações à realidade, sendo utilizado de forma inadequada.

O saneamento ambiental é uma questão precária no país. A sua ausência causa danos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população. A universalização do acesso é uma das metas do governo, mas se não houver investimentos adequados no setor, um tempo maior será necessário para alcançar este objetivo. Sabe-se que a população de baixa renda é mais prejudicada pela ausência de sistemas de saneamento, verificados pelos elevados índices de doenças e mortalidade resultantes da ausência desses sistemas.

Um dos desafios do saneamento ambiental é a gestão dos sistemas, uma vez que há alguns anos não havia preocupação com a eficiente e eficácia dos sistemas, principalmente água, que era considerada abundante no território nacional. Em 2015, com a escassez de chuvas ocorrida no período de verão para o Estado de São Paulo, atentou-se para a preocupação com o uso racional da água e métodos para redução de consumo e desperdício tem se intensificado.

Por isso o desafio deste estudo é procurar relacionar a análise da sustentabilidade e sistemas locais para tratamento de efluentes sanitários, para possibilitar o acesso às tecnologias existentes e alternativas que diminuam as disparidades sociais, promovam ações de higiene na população, e melhor a qualidade de vida aliadas à preservação do meio ambiente, com base nos princípios da sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios.

1.1 O DEBATE DA SUSTENTABILIDADE E O CONCEITO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O debate da sustentabilidade e do conceito de desenvolvimento sustentável é controverso, com diferentes vertentes e visões. A base do conceito se relaciona à preocupação com a compatibilidade entre o processo de desenvolvimento das sociedades, a proteção ambiental e a redução das desigualdades sociais. Não se sabe quando o termo sustentabilidade teve seu início. Porém, em florestas da Alemanha do século XVIII, haviam escritos que exploravam as relações entre a sociedade e a natureza, com registros do uso da palavra sustentabilidade (DJALALI e VOLLARD, 2008).

As discussões mais constantes acerca dos temas relacionados à sustentabilidade datam, principalmente, do início da década de 70, quando ambientalistas atentaram para a questão da degradação ambiental, devido a um processo histórico que visava ao crescimento econômico como geração de riquezas e erradicação da pobreza, sem a preocupação com o meio ambiente.

Em 1972, com a publicação do relatório *Limits to Growth*, encomendado pelo Clube de Roma e elaborado por um grupo de pesquisadores do Massachusetts Institute of

Technology (MIT), resultou na formulação de novos argumentos sobre meio ambiente e o desenvolvimento, com a conclusão de um estudo, que informava que apesar das variações, o comportamento do sistema (planeta Terra) tende ao excesso e ao colapso em no máximo cem anos (MEADOWS, RANDERS e MEADOWS, 2004).

A noção de sustentabilidade atenta para a necessidade de mudanças no modo de vida das sociedades humanas para evitar seu colapso devido à degradação ambiental. A década de 60 e 70 foi marcada pelo desenvolvimento industrial, aliado ao crescimento populacional, processo de mudança do campo para a cidade, em que se observaram sinais de desequilíbrio nos quadros ambientais e sociais, devido ao modelo econômico vigente. Com o choque do petróleo em 1973, passou-se a perceber que os recursos naturais eram finitos, o que demandou a busca de soluções para esse problema.

Em 1987 ocorreu a publicação do Relatório *Brundland* com o título *Nosso Futuro Comum*, desenvolvido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), que tornou o tema sustentabilidade mais popular, pois apresentou problemas comuns mundiais enfrentados na época e algumas alternativas de soluções. O relatório define o desenvolvimento sustentável como aquele capaz de atender às necessidades presentes sem, no entanto, comprometer a capacidade das gerações futuras em atender as suas próprias necessidades (CMMAD, 1991).

No Brasil a discussão se intensificou após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUCED) no Rio de Janeiro, que ficou conhecida como RIO-92 ou ECO-92. Nela participaram pesquisadores de 179 países, discutindo questões em relação ao meio ambiente e ao desenvolvimento mais sustentável para o mundo do século XXI. Criou-se um documento representando o acordo internacional de ações que buscam melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas do planeta, denominado Agenda 21. Este documento reafirmou a ideia de desenvolvimento sustentável e propôs novos conceitos e instrumentos metodológicos para diferentes campos de ação e investigação para discutir a relação ser humano e meio ambiente (SATO e SANTOS, 1999).

Em 2002, em Johannesburgo (África do Sul), ocorreu a RIO + 10, para avaliar se os objetivos firmados pelos países participantes da RIO-92 haviam sido alcançados. Também

foram abordados temas os quais deveriam ser trabalhados nos próximos anos, sendo os mais requisitados a questão da energia, água e pobreza mundial.

Em 2012 foi realizada mais uma conferência: a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, ou seja, a Rio + 20. O principal documento gerado na conferência foi o *The Future We Want*, que enfatizou principalmente as agendas da economia verde para a redução da pobreza e da governança para o desenvolvimento sustentável. Porém parte da sociedade civil organizada participante do processo considerou os resultados insuficientes para lidar com a atual crise ecológica e as desigualdades (UN, 2012).

O conceito de sustentabilidade está sendo difundido pela população, mas ainda não possui uma definição fixa, devido aos conceitos, diversidade e complexidade dos fatores envolvidos. Inicialmente esta noção estava ligada apenas à questão ambiental, sendo que atualmente abrange os campos econômicos, sociais e políticos, estando em um processo constante de construção (SILVA e SHIMBO, 2001).

Segundo Veiga (2010), o conceito de sustentabilidade foi banalizado com o passar dos anos e suas definições se afastam de um sentido que venha a ser aceito em um grande consenso. É a definição de um novo valor, ficando como questionamento a continuidade do crescimento econômico compatibilizada à sustentabilidade.

As primeiras abordagens da sustentabilidade referiam-se apenas à questão ambiental e atualmente tem tratado também dos campos econômicos, culturais, sociais e políticos, em processo constante de construção (SILVA, 2000). A sustentabilidade é um conceito que poucos sabem o que é, o que demanda discussões para um consenso possível. A mesma autora apresenta em seu trabalho uma síntese das características básicas que devem ser consideradas para conceituar a sustentabilidade, apresentado no Quadro 1.1:

QUADRO 1. 1- Síntese das características básicas da sustentabilidade (*Fonte: adaptado de SILVA, 2000, p.97*).

CARÁTER PROGRESSIVO	
Caráter de tendência	A sustentabilidade como uma condição a ser introduzida em um processo para atingir determinadas metas. Um processo em contínua construção e reavaliação.
Caráter dinâmico	Condição que deve interagir com o dinamismo da realidade em que se insere, adequando-se a fatores conjunturais, estruturais ou imprevisíveis.
CARÁTER HOLÍSTICO	
Caráter plural	A sustentabilidade é pluridimensional e envolve dimensões ambientais, econômicas, sociais, políticos e culturais.
Caráter de indissociabilidade	Vínculo indissociável entre os vários aspectos relativos à sustentabilidade, ou seja, necessidade de consideração conjunta para que se garanta uma condição sustentável.
Caráter interdisciplinar	Ampla interação entre as diferentes áreas do conhecimento, tanto na construção de suas compreensões teóricas como de suas ações práticas.
CARÁTER HISTÓRICO	
Caráter espacial	A sustentabilidade não pode prescindir da inserção e interação dos contextos locais com os mais amplos, contemplando também as causas e consequências das “pegadas ecológicas”.
Caráter temporal	O tempo é fundamental no equacionamento das ações praticadas no passado, presente e que serão exercidas no futuro.
Caráter participativo	A preservação de uma condição sustentável tem uma forte interdependência com o aspecto da diversidade participativa dos agentes sociais, na medida em que a presença ou não deste fator pode tanto contribuir, como comprometer as metas pretendidas.

O caráter progressivo, holístico e histórico sintetiza as principais características a serem consideradas na análise da sustentabilidade. É preciso observar que o caráter temporal é fundamental, pois é preciso compreender as escalas temporais para julgar determinada ação como sustentável.

Santos e Motta (2001), Acserald (2001), Rattner (1999) e Veiga (2010) mostram os diferentes debates da sustentabilidade apresentados por diferentes grupos de que abordam o tema. Santos e Motta (2001) trazem um resumo sobre a construção do conceito de sustentabilidade:

“O conceito de sustentabilidade foi colocado em pauta pelo movimento ambientalista, que o adaptou a partir da definição criada no âmbito da ecologia. Inicialmente, sua utilização prestava-se a enfatizar somente a preocupação com uma primeira natureza, aquela dos espaços naturais, ou verdes, ameaçada pela degradação das águas doces e salgadas, do solo, do ar, da flora e da fauna, decorrências do modelo hegemônico de valorização do espaço vigente em nossa sociedade.

O conceito de sustentabilidade foi utilizado para qualificar a apropriação irrestrita dos recursos naturais sem a devida atenção a seus ciclos de evolução ou reprodução e à capacidade de suporte dos ecossistemas. Posteriormente, o conceito se ampliou para além do verde, passando a ser utilizado também com referência a uma segunda natureza, aquela que integra os espaços que tiveram sua

natureza transformada pela urbanização. A diversidade destes espaços de natureza transformada varia entre aqueles com poucos objetos técnicos, como o meio ambiente rural de baixa complexidade dos países periféricos; até aqueles com elevada concentração de objetos técnicos, como o meio ambiente urbano de alta complexidade das grandes aglomerações metropolitanas” (SANTOS e MOTTA, 2001, p.2).

Neste argumento os autores mostram que inicialmente o conceito de sustentabilidade estava diretamente relacionado com as questões ambientais, uma vez que foi apresentado pelos integrantes do campo da ecologia. A medida que o termo foi se disseminando, ele incorporou conceitos sociais e econômicos, para atender não só questões relativas ao meio ambiente, mas também questões políticas, culturais e sociais da sociedade urbana.

De acordo com Acserald (2001) diversos pesquisadores da temática abordam a sustentabilidade com diferentes discursos, porém a proposta central é buscar ações que garantam o futuro das localidades e das pessoas, por meio da melhoria da qualidade de vida, com respeito às pessoas e a natureza, com eficiência no uso dos recursos do planeta.

Segundo Bennett (2004), o conceito de sustentabilidade, está muito relacionado à manutenção e preservação da natureza, pois, inicialmente, o termo estava muito ligado às questões relacionadas à esfera ambiental. Entretanto, questões ambientais são extremamente complexas porque se inter-relacionam com praticamente todas as atividades humanas e incorpora aspectos econômicos, sociais e políticos. Esses aspectos gera uma gama enorme de variáveis passíveis de serem abordadas, tais como: saúde, educação, preservação, segurança, habitação, alimentação, política, emprego, cultura.

Rattner (1999) afirma que o argumento central da sustentabilidade pela visão dos economistas trata da noção de eficiência no uso dos recursos do planeta, com os custos de danos ao meio ambiente pagos por meio de taxas e tributos pelos responsáveis pela poluição. Os sociólogos tratam que as raízes da degradação ambiental são responsáveis pela iniquidade social, ou seja, os mais pobres são as vítimas principais dessa degradação. Com este discurso eles buscam a inseparabilidade da economia e a justiça social. Também tenta justificar o porquê da dificuldade de conceituar a sustentabilidade:

“Contudo, a falta de precisão do conceito de sustentabilidade evidencia a ausência de um quadro de referência teórico capaz de relacionar sistematicamente as diferentes contribuições dos discursos e campos de conhecimentos específicos. Por outro lado, esta situação reflete a indecisão prevalecente das elites em definir um plano e programa de ação coerentes que aceitem e incorporem as crescentes críticas dirigidas ao modelo de desenvolvimento convencional e ainda dominante” (RATTNER, 1999, p.11).

Veiga (2010) aborda as raízes do debate do tema: ecológica e econômica. Na ecológica, a controvérsia ficou em relação que a sustentabilidade ecossistêmica corresponderia a uma situação de equilíbrio, que culminou com a ascensão do conceito de resiliência. Se o ecossistema mantiver resiliente, ele sustenta-se, por mais distante que esteja o equilíbrio. Essa conceituação permitiu a discussão da capacidade suporte do ambiente, culminando no aparecimento do indicador de pegada ecológica.

Quando se trata da dimensão econômica, observaram-se três diferentes correntes de pensamento: a convencional, a ecológica e a que está em busca de uma terceira via. Para a primeira vertente a recuperação começaria a sobrepujar a degradação ambiental quando a renda per capita de um país atinge US\$ 20 mil, havendo mais melhorias que deteriorações, ou seja, maximizar o crescimento econômico. A segunda corrente trata da economia estacionária, a qualidade de vida e da sociedade segue melhorando sem que isso resulte em expansão do subsistema econômico. A terceira via busca uma progressiva reconfiguração no processo produtivo, na qual bens e serviços passam a ganhar em ecoeficiência, ficando cada vez menos dependentes de energia (VEIGA, 2010).

O que estes quatro autores tentam mostrar é que a ausência de um referencial teórico para embasar as discussões faz com que as pessoas se apropriem do termo de forma mais adequada à sua necessidade, que representem seus anseios. Ecólogos, sociólogos, economistas, entre outros definem a sustentabilidade de forma a representar os interesses de seu grupo e que não possam impactar negativamente nos mesmos. Apesar disso, há fatores que proporcionam um consenso na definição do termo sustentabilidade.

De acordo com Acserald (1997) há duas racionalidades no debate da sustentabilidade. Uma é a construção do princípio de conservação social, para sustentar a ordem capitalista vigente, de forma a buscar a eficiência global e produzir uma nova

subjetividade para autolimitar às taxas de acumulação. A outra trata de uma transformação social que supera a insustentabilidade do modelo de desenvolvimento atual, com ética, equidade, democracia, diversidade cultural e autossuficiência.

Para ilustrar esta situação, o mesmo autor apresenta algumas diversas matrizes discursivas que têm sido associadas à questão da sustentabilidade. Acserald (2001) destaca em as mais importantes para definir o conceito de sustentabilidade:

“... a matriz da eficiência, que pretende combater o desperdício da base material do desenvolvimento, estendendo a racionalidade econômica, ao “espaço não-mercantil planetário”; da escala, que propugna um limite quantitativo ao crescimento econômico e à pressão que ele exerce sobre os “recursos ambientais”; da equidade, que articula analiticamente princípios de justiça e ecologia; da autossuficiência, que prega a desvinculação de economias nacionais e sociedades tradicionais dos fluxos do mercado mundial como estratégia apropriada a assegurar a capacidade de auto regulação comunitária das condições de reprodução da base material do desenvolvimento; da ética, que inscreve a apropriação social do mundo material em um debate sobre os valores de bem e de mal, evidenciando as interações da base material do desenvolvimento com as condições de continuidade da vida do planeta” (ACSERALD, 2001 p.27).

A sustentabilidade não está relacionada apenas às questões ambientais. Ela também aborda questões sociais, políticas, econômicas e devem estar integradas para conseguir embasar uma discussão. As matrizes discursivas surgem como auxílio para compreensão do termo e devem-se estabelecer as relações entre elas.

Jacobi (1996) traz outra concepção para o termo sustentabilidade:

“A ideia de sustentabilidade implica na prevalência da premissa de que é preciso definir uma limitação definida nas possibilidades de crescimento e um conjunto de iniciativas que levem em conta a existência de interlocutores e participantes sociais relevantes e ativos através de práticas educativas e de um processo de diálogo informado, o que reforça um sentimento de co-responsabilização e de constituição de valores éticos. Isto também implica em que uma política de desenvolvimento na direção de uma sociedade sustentável não pode ignorar nem as dimensões culturais, nem as relações de poder existentes e muito menos o reconhecimento das limitações ecológicas, sob pena de apenas manter um padrão predatório de desenvolvimento” (JACOBI, 1996, p.221).

Com esta definição, o autor coloca as questões sociais, políticas e culturais como tão importantes quanto as questões ambientais e econômicas para compreender a sustentabilidade e tentar defini-la. O conceito apresentado por Acserald (2001) e Jacobi (1996) se complementa e enfatiza a integração entre diferentes campos (políticos, ambientais, econômicos culturais) como forma de caracterizar ações mais sustentáveis e ter um consenso sobre o termo sustentabilidade.

Há diversas definições de sustentabilidade. A maioria mostra que o desenvolvimento que ocorreu nos últimos 250 anos permitiu ganhos em qualidade e expectativa de vida dos seres humanos e alterou significativamente o equilíbrio do planeta e a sobrevivência da espécie. A sobrevivência dos seres humanos depende de profundas alterações nos hábitos de consumo, de produção e de negócios. O desafio é a busca de um equilíbrio entre proteção ambiental, justiça social e viabilidade econômica (JOHN, 2010).

De acordo com Gibson (2012)¹, citado por Duarte (2013), o aprendizado dessas últimas décadas nos oferece conhecimento suficiente para delinear estratégias de sustentabilidade, de forma que é possível avançar em iniciativas nos mais diversos contextos para serem orientadas à sustentabilidade de maneira efetiva. O Quadro 1.2 apresenta características básicas do conceito de sustentabilidade, por Gibson et al (2005)².

QUADRO 1. 2- Síntese do conceito básico da sustentabilidade, por Gibson et al (2005). (Fonte: *traduzido e adaptado de Duarte, 2013, p.40*).

O conceito de sustentabilidade:	Explicação
É um desafio para o pensamento e a prática convencional	O conceito questiona o modelo de desenvolvimento vigente quanto aos seus resultados e efeitos de longo prazo, desafiando diversas instituições e profissionais a encontrar novas formas de atuação.
Está focado no bem estar tanto em longo quanto em curto prazo	Há preocupação em manter ou melhorar a qualidade ambiental e a qualidade de vida no presente, possibilitando que próximas gerações também possam tê-las.
É abrangente e inclui os principais temas de processos decisórios	Sustentabilidade não é apenas mais um item na lista de considerações a serem atendidas, mas um conceito que propõe análises abrangentes e inter-relacionadas, a partir de uma visão estratégica.
É um reconhecimento entre relações e interdependências, especialmente entre ambiente e sociedade	A existência humana depende da qualidade do meio ambiente, centralmente de temperaturas amenas e de acesso a alimento e água. As ações humanas que degradam o meio ambiente trazem consequências negativas à própria sociedade.

¹ GIBSON, R. B. In full retreat: the Canadian government's new environmental assessment law undoes decades of progress. **Impact Assessment and Project Appraisal**, v. 30, n. 3, p. 179- 188, DOI: 10.1080/14615517.2012.720417, 2012.

² GIBSON, R.; HASSAN, S.; HOLTZ, S.; TANSEY, J.; WHITELA, W, G. **Sustainability Assessment Criteria, Processes and Applications**. Earthscan Publications Limited, Londres, Reino Unido, 2005.

O conceito de sustentabilidade:	Explicação
É um reconhecimento da complexidade do mundo, exigindo abordagens precaução	O desconhecimento dos efeitos das ações antrópicas sobre o meio ambiente exige que haja precaução. Não devem ser assumidos riscos que podem trazer prejuízos irreversíveis para a sociedade, e se o risco existe, outras opções viáveis devem ser encontradas. Os processos devem ir além da mitigação de impactos, e buscar eliminar impactos negativos e reverter situações de insustentabilidade.
É um reconhecimento da existência de limites invioláveis e oportunidades de inovações	Os limites de exploração do meio biofísico exigem que novas práticas sejam encontradas, como o uso de energia renováveis, e a remanufatura e reciclagem de resíduos sólidos. A organização cultural e política da sociedade também precisam encontrar novos formatos que impliquem em maior aumento da qualidade de vida.
É um conjunto de princípios e processos a serem sempre buscados e não um estado a ser alcançado	As rápidas mudanças que ocorrem na sociedade e sua imprevisibilidade exigem que objetivos, metas e estratégias sejam constantemente revistos e atualizados a fim de responder sem defasagens ao cenário atual.
É sobre fins e meios estarem conectados	Não é apenas sobre aliar objetivos econômicos, ambientais e sociais, mas também sobre cultura e governança, sobre a condução de planejamentos e como são tomadas as decisões.
É dependente tanto de aspectos gerais quando contextuais	As questões gerais da sustentabilidade global precisam ser contextualizadas e detalhadas quando pensadas para os níveis local e regional. É preciso identificar especificidades do contexto, exceções e objetivos de sustentabilidade consoantes com a vocação e restrições existentes.

Com base no quadro apresentado, observamos que a integração entre esses componentes é fundamental para que seja alcançada uma maior sustentabilidade. Esses componentes podem ser considerados princípios básicos para a sustentabilidade. O desafio é conciliação entre esses componentes no contexto atual das situações.

Relaciona-se, também, com a questão de sustentabilidade o equilíbrio dinâmico dos sistemas, ou seja, a homeostase. São conceitos provenientes da Ecologia e da Biologia. De acordo com Capra (1999) os sistemas vivem em homeostase, um estado de equilíbrio dinâmico caracterizado por flutuações múltiplas e interdependentes. Quando o sistema é perturbado ou sofre interferências, tem a tendência a voltar à estabilidade por meio de mecanismos de realimentação negativa ou positiva, que buscam reduzir o desvio, com a busca de uma situação de equilíbrio.

Em 1929, o filósofo americano Walter Bradfor Cannon desenvolveu o conceito de homeostase, em seu livro “The Wisdom of Body” (1932), em que afirmou que a palavra homeostase não implica algo comum e imóvel, uma estagnação, mas uma condição que pode variar, porém que é relativamente constante, com 4 teorias: 1- num sistema aberto a constância é a prova de que os mecanismos estão agindo de modo a manterem a

constância; 2- o estado de equilíbrio requer que qualquer propensão para a mudança automaticamente se reúna com fatores que resistem à mudança; 3- o sistema de regulação que determina o estado homeostático é constituído por um conjunto de mecanismos que colaboram e atuam simultaneamente; 4- A homeostase não acontece por acaso, mas como resultado de um sistema auto organizado (FURTADO, 2010).

A sustentabilidade pode estar relacionada ao fato de que as funções ecossistêmicas são parâmetros que não se podem modificar impunemente, necessitando de estabilidade diante de perturbações suscitadas pelas ações do homem. A questão da homeostase garante a capacidade dinâmica dos ecossistemas de consertarem seus desvios do equilíbrio mediante processos naturais preservadores da complexa rede de ciclos biogeoquímicos que sustentam a vida no planeta. Essa tendência ao equilíbrio dinâmico que consta na definição de homeostase pode ser considerada um dos fatores para a sustentabilidade, ou seja, o sistema deve tender a voltar à sua estabilidade, até sua situação de equilíbrio.

A sustentabilidade pode ser considerada como um desafio aos modelos de desenvolvimento vigentes. Ela deve estar deve interagir com o dinamismo da realidade em que se insere e também focada no bem estar em longo prazo. Abrange diversos aspectos como questões ambientais econômicas, sociais, políticos e culturais, com caráter de pluridimensionalidade, além da busca do equilíbrio dinâmico (homeostase). Essas dimensões devem estar contextualizadas e detalhadas a nível local e regional. Outro ponto fundamental é o caráter participativo que deve estar presente no conceito. É importante a participação dos agentes sociais nos processos de tomada de decisão, buscando soluções que sejam adequadas ao contexto local e social.

Boff (2010) acrescenta que a sociedade precisa de um desenvolvimento para satisfazer adequadamente as necessidades de todos, incluindo seu entorno biótico, para que possa manter seu equilíbrio dinâmico, se refazendo de suas perdas e mantendo-se aberta a posteriores formas de desenvolvimento. Considera-se que a noção de individualismo se opõe à de sustentabilidade. Há um equilíbrio entre o conhecimento tecnológico, a exploração dos recursos naturais e a capacidade de recuperação desses recursos, principalmente determinado pelo tamanho da população humana.

Considerando que o ecossistema global é finito, de tamanho estático, materialmente fechado, vulnerável à interferência humana e limitado em suas capacidades regenerativas e assimilativas, a perspectiva da sustentabilidade propõe a busca de alternativas tecnológicas que vão atender aos princípios de assimilação, regeneração, diversificação, restauração, conservação, dissipação, perpetuação e circulação (GLADWIN et. al, 1995).

Com base no debate apresentado há dificuldade de estabelecer um conceito específico para o tema devido sua interdisciplinaridade e diferentes visões. As premissas demandam a integração entre essas dimensões, dentro de um contexto local e social. A questão que se coloca é: **como incorporar conceitos e princípios de sustentabilidade em uma análise da sustentabilidade?** Desta forma, o próximo item debate os princípios da sustentabilidade.

1.2 PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE E SUAS VERTENTES

Diversos autores têm discutido os princípios da sustentabilidade e abordado essas questões de diferentes formas, porém complementares. Os princípios tentam abranger as diferentes interpretações da sustentabilidade, unindo as múltiplas questões por ela incorporadas.

A equipe de Gordon Mitchel³, citado por Silva e Shimbo (2001), da University of Leeds (UK) definiu princípios gerais para avaliar a sustentabilidade:

- **Futuro:** consideração das gerações futuras nas ações presentes;
- **Meio ambiente:** garantias para a produção e integridade dos ecossistemas;
- **Equidade:** consideração da pobreza e das desvantagens das gerações presentes;
- **Participação pública:** incremento da participação pública nas decisões.

³ MITCHEL, G. et al: **a methodological framework for the development of indicators of sustainable devopment**. In: International Journal of Sustainable Development and World Ecology. V.2, 1995. p. 104-122.

Milanez (2002) realizou um levantamento dos princípios gerais de sustentabilidade, que estão dispersos na literatura sobre sustentabilidade, que possuem caracteres genéricos e abertos, podendo ser aplicados a qualquer situação, em qualquer lugar. Com base nesses princípios, o autor fez uma sintetização, elencando-os da seguinte forma, conforme apresentado no Quadro 1.3:

QUADRO 1.3- Princípios de sustentabilidades sistematizados por Milanez. (Fonte: adaptado de MILANEZ, 2002).

ITEM	PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO
1	Princípio elementar	Os seres humanos são o centro das preocupações para um desenvolvimento sustentável, tendo o direito a uma vida saudável e produtiva em harmonia com o meio ambiente (ONU, 1997).
2	Princípio da paz	Paz, desenvolvimento e proteção ambiental são interdependentes e indivisíveis. Por esse motivo, os Estados devem buscar resolver suas divergências sempre de forma pacífica, em não sendo isso possível, quando em guerra, devem respeitar as leis internacionais (ONU, 1997).
3	Princípio de soberania e relações internacionais	Os Estados têm total soberania para explorar os recursos dentro de seu território, desde que com a responsabilidade de não causar prejuízos a países vizinhos. No caso de acidentes que possam ameaçar a população ou ambiente de outras nações, devem alertá-los no menor tempo possível, oferecendo todas as informações necessárias, para evitar maiores danos. Além disso, deve-se fazer todo o esforço para evitar a transferência de atividades ou substâncias que possam causar severos prejuízos ambientais, ou seja, suspeitas de oferecerem perigo à saúde humana ou ambiental. Os Estados possuem responsabilidades comuns, mas diferenciadas, na conservação e proteção do meio ambiente, sendo maior parcela desta assumida pelos países industrializados. Nesse sentido, os países mais pobres e ambientalmente mais vulneráveis devem receber maior atenção e apoio (ONU, 1997).
4	Princípio da integração das dimensões da sustentabilidade	As questões referentes à proteção ao meio ambiente e desenvolvimento social devem integrar os processos de planejamento e não podem ser consideradas de forma isolada (ALEMANHA, 1997; ONU, 1997).
5	Princípio do uso dos recursos naturais	O uso de recursos naturais renováveis não deve ocorrer a uma taxa superior à sua capacidade regenerativa; no caso de recursos não-renováveis, a velocidade de extração deverá estar condicionada ao prazo necessário para o desenvolvimento de tecnologias substitutivas. Quanto à liberação de substâncias para o ambiente, os fluxos não devem exceder a capacidade adaptativas dos ecossistemas. Na busca de soluções tecnológicas, quando possível deve-se escolher aquelas que consumam a menor quantidade de recursos (MEADOWS et al.,1992; ONU, 1996; ALEMANHA, 1997 e 1998)
6	Princípio da solidariedade intergeracional	As atividades desenvolvidas no presente, principalmente relacionadas ao consumo de recursos naturais e uso da capacidade do meio ambiente de receber rejeitos, devem levar em consideração os impactos para as gerações futuras. Deve-se, ainda, procurar realizar ações para corrigir os efeitos negativos sobre o meio ambiente das atividades realizadas pelas gerações passadas (CMMAD, 1991; ONU, 1996 e 1997; WARREN,1997).
7	Princípio de equidade	Todas as pessoas têm o mesmo direito de suprir suas necessidades, pelo acesso aos recursos naturais e aos serviços públicos. Especial atenção deve ser dada aos pobres, mulheres, crianças, povos indígenas ou sob opressão. Todo esforço deve ser feito na erradicação da pobreza e redução das disparidades sociais (ONU, 1996 e 1997)

ITEM	PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO
8	Princípio da geração de renda	Quando houver um contexto de alto desemprego, os governos devem promover métodos e investimentos intensivos em mão de obra, se forem economicamente eficientes (ONU, 1996).
9	Princípio da cooperação e participação	Os problemas relacionados à sustentabilidade dizem respeito a todos, devendo ser resolvidos através de igualdade, solidariedade, companheirismo, dignidade humana e respeito. As soluções não devem ser encontradas por meio de uma imposição do Estado sobre indústria e sociedade. Ao contrário, o processo deve ocorrer de forma participativa, havendo cooperação, divisão de trabalho e consenso. Para que isso ocorra, é necessária uma ampla conscientização da população e acesso desta à informação. A cooperação entre governos, em qualquer esfera, é considerada benéfica e necessária, sendo assim, deve-se sempre levar em conta a formação de consórcios na busca de soluções para problemas comuns. Além disso, considera-se que o Estado deva atuar como exemplo em suas atividades, sempre desenvolvendo condutas que favoreçam uma maior sustentabilidade (ONU, 1996 e 1997; ALEMANHA, 1997; SILVA, 2000).
10	Princípio da contextualização local	Durante a elaboração de suas legislações, os Estados devem atentar para os padrões objetivos e prioridades gerenciais adotados, de forma que estes reflitam o contexto ambiental e de desenvolvimento no qual se localizam. Padrões usados por alguns países podem ser inapropriados e representar custos econômicos e sociais desnecessários para outros países, especialmente para aqueles em desenvolvimento (ONU, 1996).
11	Princípio da avaliação de impactos sociais e ambientais	A avaliação do impacto ambiental, como um instrumento, deve ser realizada para atividades propostas que possuam impactos significativamente adversos sobre o meio ambiente e sejam submetidas à decisão de autoridades competentes nacionais. (ONU, 1996 e 1997).
12	Princípio precautório	Onde houver possibilidade, mesmo que remota, de prejuízos sérios ou irreversíveis à saúde dos seres humanos ou do meio ambiente, a ausência de certeza científica não deve ser usada como uma razão para adiar medidas preventivas. Esse princípio aplica-se, inclusive, no caso em que os impactos não estão claramente definidos (CNUMAD, 1996; ONU, 1996 e 1997; ALEMANHA, 1997; BURTON, 1998).
13	Princípio preventivo	Os riscos e danos ambientais devem ser evitados o máximo possível desde o início, devendo ser estudados e avaliados previamente, de forma a orientar a escolha da solução adotada (CNUMAD, 1996; ONU, 1996; BURTON, 1998).
14	Princípio Compensatório	Devem estar previstas na legislação compensações a vítimas de poluição e outros danos ambientais (ONU, 1997).
15	Princípio do poluidor pagador	Os custos da remediação ambiental e das medidas compensatórias devem ser arcados pelas partes responsáveis, além de pagarem pelos custos necessários para prevenir tais prejuízos. Dessa forma, espera-se alocar responsabilidades. O principal objetivo deste princípio é internalizar os custos sociais e ambientais que, de outra forma, seriam pagos pela sociedade (CNUMAD, 1996; ONU, 1996 e 1997; ALEMANHA, 1997; BURTON, 1998).

Esses princípios demonstram os principais aspectos que devem ser considerados no debate da sustentabilidade, que podem ser aplicados em diferentes situações. Uma proposição mais recente desses princípios foi apresentada em 2005 por Gibson et al. (2005), que elaborou uma sugestão com 8 princípios da sustentabilidade, apresentados no Quadro 1.4:

QUADRO 1.4: Princípios de sustentabilidades sistematizados por Gibson (*Fonte: GIBSON et al, 2005*).

ITEM	PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO
1	Integridade do sistema socioecológico	Construir relações sociedade-ambiente que estabeleçam e mantenham a integridade dos sistemas socioambientais em longo prazo, e protejam as funções ecológicas que são insubstituíveis e das quais dependem a vida humana e a qualidade ambiental.
2	Recursos suficientes para subsistência e acesso a oportunidades	Garantir que cada indivíduo e cada comunidade tenham sustento suficiente para uma vida digna e que todos tenham oportunidade de buscar melhorias de forma a não comprometer a capacidade de sustento das gerações futuras.
3	Equidade intrageracional	Garantir que suficiência e oportunidade de escolha estão sendo buscadas para todos de modo a reduzir lacunas entre os ricos e pobres (de saúde, segurança, reconhecimento social, influência política, etc.).
4	Equidade intergeracional	Favorecer opções e ações no presente que são mais passíveis de manter ou aumentar as oportunidades e capacidades das gerações futuras a viver sustentavelmente.
5	Manutenção de recursos naturais e eficiência	Proporcionar uma base maior para garantir meios de subsistência sustentáveis para todos, enquanto reduz ameaças em longo prazo para a integridade de sistemas socioambientais, evitando resíduos e reduzindo o consumo de matéria e energia.
6	Civildade socioambiental e governança democrática	Criar capacidade, motivação e inclinação em indivíduos, comunidades e outros órgãos de decisão a aplicar requisitos de sustentabilidade, por meio de decisões mais abertas e baseadas em boas informações, de estímulos à conscientização mútua e à responsabilidade coletiva, e do emprego de práticas mais integradas em decisões administrativas, de mercado e pessoais.
7	Precaução e adaptação	Respeitar incertezas, evitar os riscos de danos graves ou irreversíveis, para os fundamentos da sustentabilidade, mesmo que sejam pouco compreendidos. Planejamento deve ser voltado à aprendizagem, deve haver preparo para situações de surpresas, e desenvolver gestão adaptativa.
8	Integração entre situação atual e de longo prazo	Aplicar todos os princípios de sustentabilidade ao mesmo tempo, buscando benefícios mútuos e ganhos múltiplos.

Pode-se inferir da interpretação dos quadros 1.3 e 1.4 que as propostas de Gibson et al (2005) e Milanez (2002) são complementares, em que a proposta do quadro 1.4 sintetiza diversos princípios proposto no quadro 1.3 em “macro princípio”, com uma leitura mais atualizada do processo de sustentabilidade. Também inclui o princípio de integração entre a situação atual e de longo prazo, que deve transpassar por todos os princípios apresentados, com a busca de benefícios e ganhos múltiplos.

O que todos os autores têm em comum é a preocupação com a questão ambiental, social e econômica, dentro de uma escala espacial e temporal, com a busca de uma situação mais igualitária para as pessoas das gerações atuais e futuras, com incentivos à prática de participação e democracia de uma população, na busca do equilíbrio dinâmico dos territórios.

Há dificuldade em integrar todos esses princípios e aplicá-los nas diferentes áreas de conhecimento. Para auxiliar nessa sistematização, alguns autores dividam em áreas denominadas de dimensões. Para este item, a questão que se coloca é **como sistematizar e operacionalizar os princípios de sustentabilidade para a análise dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais?** O próximo item apresenta a discussão das dimensões da sustentabilidade.

1.3 A DISCUSSÃO DAS DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE

Diversos autores, que serão apresentados, realizaram a discussão da sustentabilidade, dividindo o conceito em dimensões para facilitar a compreensão. Essa proposição enfatiza a relação do homem com as gerações futuras, com o respeito ao meio ambiente, redução das desigualdades sociais, incentivos à prática de participação e democracia de uma população.

Ignacy Sachs (1993) mostra as seguintes questões, que complementam os princípios apresentados no item anterior:

- **Social:** que se entende como a criação de um processo de desenvolvimento que seja sustentado por um outro crescimento e subsidiado por uma outra visão do que seja uma sociedade boa. A meta é construir uma civilização com maior equidade na distribuição de renda e de bens, de modo a reduzir o abismo entre os padrões de vida dos ricos e dos pobres.
- **Econômica:** que deve ser tornada possível através da alocação e do gerenciamento mais eficiente dos recursos e de um fluxo constante de investimentos públicos e privados. Uma condição importante é a de ultrapassar as configurações externas negativas resultantes do ônus do serviço da dívida e da saída líquida de recursos financeiros do sul, dos termos de troca desfavoráveis, das barreiras protecionistas ainda existentes no Norte e do acesso limitado à ciência e tecnologia. A eficiência econômica deve ser avaliada em termos macrossociais, e não apenas através do critério da rentabilidade empresarial de caráter microeconômico.

- **Ecológica:** que pode ser melhorada utilizando-se das seguintes ferramentas: a-) ampliar a capacidade de carga da espaçonave Terra, através da criatividade, isto é, intensificando o uso do potencial de recursos dos diversos ecossistemas, com um mínimo de danos aos sistemas de sustentação da vida; b-) limitar o consumo de combustíveis fósseis e de outros recursos e produtos que são facilmente esgotáveis ou danosos ao meio ambiente, substituindo-os por recursos ou produtos renováveis e/ou abundantes, usados de forma não agressiva ao meio ambiente; c-) reduzir o volume de resíduos e de poluição, através da conservação de energia e de recursos e da reciclagem; d-) promover a autolimitação no consumo de materiais por parte dos países ricos e dos indivíduos em todo o planeta; e-) intensificar a pesquisa para a obtenção de tecnologias de baixo teor de resíduos e eficientes no uso de recursos para o desenvolvimento urbano, rural e industrial; f-) definir normas para uma adequada proteção ambiental, desenhando a máquina institucional e selecionando o composto de instrumentos econômicos, legais e administrativos necessários para o seu cumprimento.
- **Espacial:** que deve ser dirigida para a obtenção de uma configuração rural-urbana mais equilibrada e uma melhor distribuição territorial de assentamentos urbanos e atividades econômicas, com ênfase no que segue: a-) reduzir a concentração excessiva nas áreas metropolitanas; b-) frear a destruição de ecossistemas frágeis, mas de importância vital, através de processos de colonização sem controle; c-) promover a agricultura e a exploração agrícola das florestas através de técnicas modernas, regenerativas, por pequenos agricultores, notadamente através do uso de pacotes tecnológicos adequados, do crédito e do acesso a mercados; d-) Explorar o potencial da industrialização descentralizada, acoplada à nova geração de tecnologias, com referência especial às indústrias de biomassa e do seu papel na criação de oportunidades de emprego não-agrícolas nas áreas rurais; e-) criar uma rede de reservas naturais e de biosfera, para proteger a biodiversidade.
- **Cultural:** incluindo a procura de raízes endógenas de processos de modernização e de sistemas agrícolas integrados, processos que busquem mudanças dentro da continuidade cultural e que traduzam o conceito normativo de ecodesenvolvimento

em um conjunto de soluções específicas para o local, o ecossistema, a cultura e a área.

Em se tratando de questões relacionadas à sustentabilidade, enfatiza-se as questões ambientais, sociais e econômicas. A proposta de Sachs (1993) acrescenta aspectos importantes como a questão espacial e cultural, fundamentais para a concepção. Outra proposição é apresentada por Silva (2000) denominando essas questões (princípios) de dimensões da sustentabilidade, dividindo-os em cinco diferentes dimensões:

- **Dimensão Ambiental:** manutenção da integridade ecológica por meio da prevenção das várias formas de poluição, da prudência na utilização dos recursos naturais, da preservação da diversidade da vida e do respeito à capacidade de carga dos ecossistemas;
- **Dimensão Social:** viabilização de uma maior equidade na distribuição de riquezas e de oportunidades, combatendo-se as práticas e políticas de exclusão, discriminação e reprodução da pobreza e respeitando-se a diversidade em todas as suas formas de expressão;
- **Dimensão Econômica:** realização do potencial econômico que contemple prioritariamente a distribuição de riqueza e renda associada a uma redução das externalidades socioambientais, buscando-se resultados macrossociais positivos;
- **Dimensão Política:** criação de mecanismos que incrementem a participação da sociedade nas tomadas de decisões, reconhecendo e respeitando os direitos de todos, superando as práticas e políticas de exclusão e que promovam o desenvolvimento da cidadania ativa;
- **Dimensão Cultural:** promoção da diversidade e identidade cultural em todas as suas formas de expressão e representação, especialmente daquelas que identifiquem as raízes endógenas, propiciando também a conservação do patrimônio urbanístico, paisagístico e ambiental, que referenciem a história e a memória das comunidades.

Na proposta de Silva (2000) atenta-se para a dimensão política, não contemplada pelo autor anterior, que visa a participação das pessoas nos processos de

tomada de decisão como busca de uma sustentabilidade igualitária. Guimarães (2003), outro autor que aborda o assunto, traz as seguintes dimensões da sustentabilidade:

- **Ecológica:** conservação e uso racional dos recursos naturais incorporados nas atividades produtivas;
- **Ambiental:** capacidade suporte dos ecossistemas associados de absorver ou se recuperar das agressões devido a ação humana;
- **Demográfica:** limites da capacidade suporte de determinado território e de sua base de recursos e implica em analisar cenários e tendências do crescimento econômico e da população;
- **Cultural:** necessidade de manter a diversidade de culturas, valores e práticas existentes no planeta e que integram a identidade dos povos;
- **Social:** promover a melhoria da qualidade de vida e reduzir os níveis de exclusão social por meio de políticas de justiça redistributiva;
- **Política:** construção da cidadania plena dos indivíduos com o fortalecimento dos mecanismos democráticos de formulação e implementação de políticas públicas em escala global;
- **Institucional:** necessidade de criar e fortalecer engenharias institucionais que levem em contas critérios da sustentabilidade.

Observa-se que este autor não menciona explicitamente a dimensão econômica da sustentabilidade, que aparece de forma oculta nas demais dimensões. Porém ela é bastante discutida, principalmente pelo setor industrial, como adaptação dos padrões de consumos e exigências ambientais atuais.

Os autores citados consideram a questão social importante para a busca da sustentabilidade, por meio da promoção da igualdade e o equilíbrio na distribuição de renda e riqueza. Na questão econômica Sachs (1993) difere no aspecto que essa questão que deve ser medida pela rentabilidade empresarial, enquanto Silva (2000) trata sobre a distribuição de renda e riqueza. Sachs (1993) apresenta a questão ambiental, chamando-a de ecológica,

referindo-se não apenas à proteção dos recursos naturais, mas também a questões políticas a eles relacionadas. Guimarães (2003) traz uma dimensão ambiental e uma ecológica, em que a dimensão ambiental trata da capacidade suporte dos ecossistemas e a ecológica do uso racional dos recursos naturais.

Silva (2000) e Guimarães (2003) ainda incluem a dimensão política, incentivando a participação das pessoas na tomada de decisão e promoção da cidadania ativa. Já Sachs (1993) traz a questão geográfico-espacial, propondo uma boa distribuição fundiária, zoneamento e bom uso do solo. Guimarães (2003) também considera uma dimensão institucional, de forma a incentivar estudos, tecnologias para promover a sustentabilidade.

Essa sistematização em forma de dimensões exemplifica uma maneira de compreender o tema sustentabilidade e a interação entre as diferentes dimensões. A noção de sustentabilidade é interdisciplinar e de difícil caracterização. São diversas propostas debatidas por diferentes autores de múltiplas áreas. Porém o consenso é que as ações de sustentabilidade devem permear os campos ambiental, social e econômico, na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios.

Apesar da discussão dos conceitos e princípios norteadores da sustentabilidade, há dificuldade em descrever se determinada situação se caracteriza como mais sustentável. Esta análise pode ser feita com a utilização dos indicadores, que são instrumentos que auxiliam a verificar se algo é mais sustentável por meio de comparação entre a situação atual e uma passada, para estabelecer as diretrizes de uma situação ideal futura, baseado nos princípios.

Porém, **como analisar a sustentabilidade de um sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais, com base em indicadores de sustentabilidade?** Para auxiliar nesta análise diversos autores têm discutido mecanismos que contribuem para essa análise. O próximo item aborda a questão do debate de indicadores de sustentabilidade.

1.4 DEBATE DOS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E A ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE

Há vários anos os países vêm utilizando os indicadores como base para informações sobre o crescimento do país, a qualidade de vida da população, nível de escolaridade, produto interno bruto, mortalidade infantil, entre outros. O termo indicador é originário do latim *indicatore*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar, servindo de medida, parâmetro que indica uma tendência do que está acontecendo.

Para viabilizar a avaliação de sustentabilidade é preciso criar critérios e parâmetros de avaliação. De acordo com o dicionário Michaelis o significado de a palavra avaliar é “*calcular ou determinar o valor, o preço ou o merecimento de*”. Portanto, ao realizar uma avaliação é preciso determinar um valor, para permitir uma comparação.

Nesse contexto, os indicadores surgem como ferramentas adequadas para solucionar essa questão. Os indicadores podem ser definidos como instrumentos para controle da gestão e verificação e medição da eficiência e eficácia na administração pública e privada, por meio de comparação entre períodos distintos entre as localidades ou de um mesmo local (KAYANO e CALDAS, 2002).

Segundo os mesmos autores “(...) eles são instrumentos, uma medida, uma forma de mensuração, um parâmetro que sintetiza um conjunto de informações em um “número”, permitindo medir fenômenos entre si”. Podem ser usados para verificação, observação, demonstração, avaliação de determinados aspectos da realidade, comparando-se situações entre si ou com relação a um padrão desejável.

Os indicadores são instrumentos para análise e acompanhamento dos processos de desenvolvimento e servem como subsídio para formulação de políticas públicas e para o monitoramento da execução dessas políticas (CUNHA, 2003). Eles representam informações capazes de mensurar a tendência à sustentabilidade, dentro de uma escala temporal e espacial.

Desta forma os indicadores podem comunicar ou informar acerca do progresso em direção a uma determinada meta, mas também podem ser entendidos como

um recurso que deixa mais perceptível, uma tendência ou fenômeno que não seja detectável (HAMMOND, et al., 1995).

Os indicadores constituem componentes de avaliação ambiental importantes, capazes de quantificar alterações na qualidade do meio ambiente e na quantidade de recursos naturais, bem como avaliar os esforços desenvolvidos visando à melhoria do meio ambiente ou à mitigação de sua degradação. O principal papel dos indicadores é transformar dados em informações relevantes para os tomadores de decisão e o público (MATTAR NETO, KRÜGER e DZIEDZIC, 2009).

Para Meadows (1998), indicadores são naturais, estão em todos os lugares e fazem parte da vida de todos. Indicadores surgem a partir de valores e criam valores, também são importantes, pois se encontram no centro do processo de tomada de decisão. São reflexos parciais da realidade, baseados em modelos incertos e imperfeitos. Os indicadores são pelo menos parcialmente subjetivos e podem ajudar a reduzir as diferenças entre as diferentes visões de mundo que temos.

Bellen (2000) aponta que, o objetivo principal dos indicadores é o de agregar e quantificar informações de uma maneira que sua significância fique mais aparente. Os indicadores simplificam as informações sobre fenômenos complexos, tentando melhorar, com isso, o processo de comunicação.

Para Milanez (2002), os indicadores devem ser facilmente compreensíveis e seu método de cálculo deve ser relativamente simples permitindo comparações entre o que está sendo avaliado. Os indicadores geralmente são utilizados com propósito de se conhecer adequadamente uma situação existente, tomar decisões e monitorar sua evolução.

Miranda e Teixeira (2004), afirmam que a função de um indicador é fornecer uma pista de um problema de grande importância ou tornar perceptível uma tendência que não está imediatamente visível, favorecendo maior dinamismo no processo de gestão. Além disso, devem propor dados de forma a possibilitar análises e avaliações da transformação do meio físico e social, buscando a elaboração e formulação de políticas e ações urbanas.

Tendo um conjunto de indicadores como ferramentas para o planejamento, existirão parâmetros para melhor aproveitamento dos recursos naturais e também para a indicação de medidas preventivas de degradação ambiental e consequentes prejuízos econômicos (MATTAR NETO, et al., 2009).

Kellner et al. (2009) afirmam que indicadores de sustentabilidade têm sido amplamente estudados por pesquisadores em diferentes áreas da ciência. No caso da avaliação de estações de tratamento de esgoto estes indicadores também começaram a receber maior importância do que dada somente a avaliação dos critérios técnicos e econômicos, os quais já possuem diversos métodos desenvolvidos para auxiliar nesta tarefa. A adoção desta nova abordagem permite que estas estações visem não somente aos seus objetivos operacionais, mas também à conservação de todos os recursos envolvidos.

Esses autores desenvolveram um indicador de sustentabilidade para aplicação em lagoas de estabilização considerando as três dimensões básicas da sustentabilidade: ambiental, social e econômica, a qual ele chamou de econômico-financeira. Dentre os principais problemas dos indicadores é que estão sempre sujeitos a questionamentos, pois na sua elaboração, adotam técnicas de ponderação que são influenciadas por aspectos da realidade, opções políticas e distintas visões de realidade. Quem define o indicador influencia nesta escolha. Além disso, eles devem permitir a percepção de um fenômeno de forma simples, compreensível e comparável.

A elaboração de um indicador deve conter as seguintes características: simplicidade e facilidade de compreensão; validade e estabilidade; seletividade, sensibilidade e especificidade; cobertura (amplitude e diversidade); interdependência; confiabilidade; baixo custo, fácil obtenção, periodicidade, desagregação (KAYANO e CALDAS, 2002).

Os Princípios de Bellagio, citado por Veiga (2007), orientam a construção e os conteúdos dos indicadores de sustentabilidade são:

1. **Guia de Visões e Metas:** definir a visão clara do futuro que se quer alcançar e os objetivos e metas que a tornem factível;
2. **Perspectiva Holística:** considerar a visão do todo e de suas partes;

3. **Elementos Essenciais:** considerar a equidade e a disparidade dentro da população atual e entre as futuras gerações, lidando com a utilização de recursos, os direitos humanos e o acesso a serviços. Considerar as condições ambientais, econômicas e sociais para o território considerado.
4. **Escopo Adequado:** adotar um horizonte de tempo suficientemente longo para capturar as mudanças consideradas na visão. Definir o espaço territorial de abrangência. Construir um histórico das condições presentes e passadas para antecipar futuras condições.
5. **Foco Prático:** ter sistema que conecte a visão e as metas com os indicadores e os critérios de avaliação. Ter número limitado de questões-chave para análise. Definir número de indicadores ou combinações de indicadores que sinalizem claramente o progresso. Buscar padrão de medidas que permita a comparação, sempre que possível. Comparar os valores dos indicadores com suas metas, valores de referência, limites ou direção da mudança.
6. **Abertura e Transparência:** Tornar os métodos e dados usados acessíveis a todos. Deixar explícitos os julgamentos, suposições e incertezas de dados.
7. **Comunicação Efetiva:** Atender às necessidades das partes interessadas. Ser feita de forma que os indicadores e as ferramentas estimulem e engajem os tomadores de decisão. Procurar a simplicidade na estrutura do sistema e utilizar linguagem clara e simples.
8. **Ampla Participação:** Obter ampla representação das partes interessadas, para garantir o reconhecimento dos valores, que são diversos e dinâmicos. Ter a participação dos tomadores de decisão para assegurar ligação com as decisões e os resultados da ação.
9. **Avaliação Constante:** Desenvolver a capacidade de repetidas medidas para determinar tendências. Ser interativa, adaptativa e responsiva às mudanças e incertezas, porque os sistemas são complexos e estão em frequente mudança. Ajustar as metas, sistemas e indicadores com as descobertas decorrentes do processo. Promover o desenvolvimento do aprendizado coletivo e o *feedback* necessário para a tomada de decisão
10. **Capacidade Institucional:** Definir clara responsabilidade para poder apoiar constantemente o processo de tomada de decisão. Assegurar capacidade

institucional para a coleta de dados, sua manutenção e documentação. Apoiar o desenvolvimento da capacitação local de avaliação.

Os princípios de Bellagio foram concebidos para processos de avaliação do desenvolvimento sustentável, de processos existentes de quaisquer instituições. Também podem orientar a definição de conjuntos de indicadores para monitorar políticas, planos e programas de desenvolvimento local sustentável. Esses princípios estão relacionados entre si e orientam a elaboração de indicadores de sustentabilidade.

Um indicador deve reduzir o número de medidas e parâmetros necessários para descrever determinada situação e simplificar o processo de informação através do qual os resultados dessas medidas chegam ao usuário final. Um indicador é um parâmetro ou valor derivado de parâmetros que fornecem informações sobre determinado fenômeno (OECD, 1993).

De acordo com Hammond et al. (1995), a diferença entre indicador, índice e princípios é que, indicadores e princípios são informações que se originam de dados primários e analisados. O índice consiste num simples número gerado da agregação de dois ou mais valores, podendo ser esses valores os próprios indicadores. Um exemplo da formação de um índice pela agregação de indicadores é o índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

São exemplos de indicadores a expectativa de vida em um país, o acesso à água tratada, o PIB, consumo de água per capita, taxa de mortalidade infantil, reservas energéticas, entre outros. Para analisar a sustentabilidade são também utilizados indicadores, comparando-se a situação atual, com a passada e a futura desejável. Portanto na questão da sustentabilidade o indicador serve como parâmetro, informando se a situação está mais condizente com a sustentabilidade que uma suposta situação anterior ou com padrão estabelecido.

A dificuldade que surge é como incorporar os conceitos e princípios da sustentabilidade em sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais e realizar a sua análise, com base em indicadores. Grande parte dos sistemas de avaliação de sustentabilidade existentes enfatizam a dimensão ambiental, utilizando indicadores e

critérios de desempenho para basear sua avaliação. O desafio cresce quando se considera a análise da sustentabilidade desses sistemas.

De acordo com Gibson (2005), a avaliação da sustentabilidade com base nos “três pilares” (social, econômico e ecológico), tem sido uma forma importante para organização de grande parte da informação relevante. Problemas, que por definição, não se encaixam ordenadamente em qualquer um dos três pilares e que exigem respostas que procuram múltiplas contribuições que se reforçam mutuamente para uma mudança positiva na prática. A abordagem tridimensional é muitas vezes acompanhada por uma suposição de que sustentabilidade é sobre equilíbrio, o que contraria tanto as ideias-chave sobre a interdependência de fatores e da necessidade de apoio mútuo em avanços todas as frentes.

As metodologias de avaliação de sustentabilidade devem abordar as dimensões econômicas, sociais e ambientais. Portanto a análise dos sistemas deve englobar os seres humanos, as sociedades e as economias e incluir o componente intergerações e levar em conta o horizonte de tempo de transição para a sustentabilidade (PIORR, 2003).

A proposta de Thérivel (2004)⁴ para Avaliação Ambiental Estratégica, citado por Duarte (2013), representa uma sequência de etapas baseada na Diretiva Europeia de AAE (EUROPEAN PARLIAMENT, 2001), que incorpora questões ambientais e de sustentabilidade nos processos decisórios de nível estratégico. As etapas são:

1. Identificar objetivos da AAE, indicadores e metas;
2. Descrever a base de referência ambiental, incluindo tendências futuras; identificar questões relevantes e problemas existentes;
3. Identificar relações com outras ações relevantes;
4. Identificar alternativas (mais) sustentáveis para lidar com problemas existentes ao mesmo tempo em que atende os objetivos da ação estratégica;
5. Preparar o relatório da etapa de definição do escopo e realizar consulta aos atores;

⁴ THERIVEL, R. **Strategic Environmental Assessment in Action**. 1. ed. Sterling: Earthscan, 2004. 276 p.

6. Prever e avaliar impactos das alternativas, comparar alternativas e propor medidas mitigadoras para a alternativa selecionada;
7. Escrever o relatório final da AAE, estabelecendo diretrizes para sua implementação;
8. Realizar consulta pública;
9. Monitorar impactos ambientais/de sustentabilidade da ação estratégica;

A autora enfatiza a importância do desenvolvimento de um diagnóstico adequado, que identifique as questões relevantes da região e dê subsídio ao desenvolvimento de alternativas. Grace e Pope (2011)⁵ propõem, citados por Duarte (2013), com base na teoria dos sistemas e na resiliência, etapas detalhadas para planejamento, avaliação e gestão para a sustentabilidade, conforme apresentado no Quadro 1.5.

QUADRO 1.5: Abordagem sistêmica para planejamento, avaliação e gestão de sustentabilidade, de acordo com Grace e Pope (2011) (Fonte: DUARTE, 2013, p.117).

ETAPA	DESCRIÇÃO
Estabelecimento de uma estratégia para engajamento dos stakeholders	Uma abordagem de governança colaborativa é essencial para a gestão de um SES e para orientá-lo para metas de saúde e resiliência, e é fundamental para a concepção e execução de todas as etapas subsequentes do processo. A estratégia deve envolver dois tipos de atores: atores institucionais e da comunidade residente no local em questão.
Definir o escopo e fronteiras do SES	Para determinar os limites adequados para a gestão adaptativa na escala espacial proposta (região/cidade), é necessário entender as interações em cada uma e entre escalas com relação à comunidade, o ambiente construído, a economia e os ecossistemas.
Estabelecer objetivos de sustentabilidade	O objetivo primordial da sustentabilidade de um “sistema socioecológico saudável e resiliente” é proposto como uma bandeira sob a qual os diferentes atores e partes interessadas se unem. Esses objetivos definem a direção em longo prazo da estratégia de gestão adaptativa e estabelecem o contexto para a análise.
Descrever o estado atual – Onde estamos agora?	Como em qualquer análise, a obtenção de fatos e opiniões sobre a situação existente e como ela se deu é fundamental para entender o estado do sistema. Usando os objetivos dos subsistemas e as interações entre os subsistemas como um modelo de relatório, o estado atual do SES em questão deve ser descrito em uma linha do tempo, conforme a proposta de Resilience Alliance (2010).
Modelagem do sistema	A natureza e o grau de detalhe do modelo do sistema dependerão das circunstâncias em que a análise está sendo realizada, incluindo a complexidade do sistema e a informação e recursos disponíveis para a construção do modelo.
Limiares	A essência da avaliação da resiliência é a identificação de limiares que regem a transição entre estados alternativos estáveis em um SES. Limiares são susceptíveis de ser ultrapassados se uma ou mais variáveis-chave atingirem um nível crítico. Quando o conhecimento sobre o sistema é pobre, então o princípio da precaução deve ser aplicado. É importante lembrar que os valores dos principais <i>stakeholders</i> são muitas vezes os principais determinantes nas decisões sobre os limites serem ou não ultrapassados.

⁵ GRACE, W.; POPE, J. An Integrated Systems Approach to Sustainability Planning, Assessment and Management. In: IAIA11. **Proceedings...** Puebla, Mexico: IAIA, 2011.

ETAPA	DESCRIÇÃO
Cenários futuros	O planejamento de cenários é uma ferramenta ideal para explorar futuros plausíveis para a cidade ou região em questão e ajudar as pessoas a projetar um futuro diferente do passado. Usando o modelo de sistemas conceituais, cenários para o futuro pode ser construído e modelado, qualitativamente ou quantitativamente. Este processo irá produzir as características comuns de cada cenário e ajudar a identificar as variáveis-chave do sistema que irão influenciar o futuro da SES.
Estabelecer objetivos e metas	A análise anterior identifica o estado atual do SES e estabelece o modelo conceitual a partir do qual serão testadas estratégias de intervenção. Com essa informação, objetivos de curto e médio prazo podem ser concebido. Os objetivos devem ser direcionados à ação, ou seja, se realizados irão gerar a mudança necessária para mover a SES do estado atual para o estado desejado.
Preparar o Plano de Gestão Adaptativa	Nessa etapa são identificadas as estratégias de intervenção, que são conjuntos de ações para atingir os objetivos e metas. A identificação de “pontos de alavancagem” no SES, é talvez o elemento mais importante do planejamento da intervenção. O objetivo é garantir que a proposta de intervenção esteja claramente ligada aos resultados desejados, definindo claramente as relações de causa e efeito entre as atividades e resultados imediatos e de longo prazo.
Monitoramento, Comunicação e Avaliação	A implementação do Plano de Gestão Adaptativa requer monitoramento, a avaliação, comunicação e aprendizagem e atualização contínua. A participação contínua dos atores institucionais e da comunidade é muito importante para manter o engajamento alcançado na preparação do plano inicial. Um Diagnóstico de Sustentabilidade seria produzido regularmente, comparando o estado atual do SES com os objetivos desejáveis, bem como com critérios da resiliência e saúde do SES, gerando assim um sistema de gerenciamento ativo.

Essa proposta contribui com a inserção de conceitos da resiliência no processo de avaliação e planejamento. Incorpora a elaboração de um plano de gestão adaptativa, prevendo que para lidar com as incertezas, o monitoramento é fundamental, valorizando assim a etapa de acompanhamento.

Ness et al. (2007) classificam três diferentes metodologias para avaliação da sustentabilidade: 1- metodologias baseadas em “índices e indicadores”; 2-metodologias de análise de fluxos (de entrada e saída de materiais e energia); 3- metodologias integrativas, auxiliar na definição de políticas e projetos, multicritérios, que auxiliam na tomada de decisão.

Como exemplo de metodologias baseadas em índices e indicadores temos: o índice de Pressão Ambiental (Environmental Pressure Indicator), desenvolvido pela União Européia para comparar a situação ambiental dos países membros (EUROPARL, 1995); o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) que utiliza a longevidade, o acesso ao conhecimento e aos recursos necessários para uma vida digna como parâmetros para avaliação do desenvolvimento social e econômico (UNDP⁶, 1990); a Pegada Ecológica (Ecological

⁶ UNDP: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

Footprinter), que expressa o nível de consumo de bens e serviços de uma determinada população (CIDIN e SILVA, 2004); a ACV (Análise do Ciclo de Vida), metodologia que avalia o gasto energético para produzir determinado bem, entre outras.

Além de abordarem diferentes metodologias, os métodos de avaliação de sustentabilidade existentes avaliam as diferentes dimensões de diversas formas. Há métodos unidimensional (ênfase em uma dimensão da sustentabilidade), bidimensional (ênfase em duas dimensões da sustentabilidade e suas relações) e tridimensional (ênfase em três dimensões da sustentabilidade e suas relações).

Como exemplo de métodos unidimensionais para avaliação da sustentabilidade podemos citar: método das preferências ambientais, elaborado por Anink et. Al. (1996), na Holanda, com uma análise de ciclo de vida dos materiais simplificada para auxiliar na tomada de decisão; EBN (Environmental Building News), dos EUA, que propõe um sistema de avaliação com critérios qualitativos e atualizados periodicamente (WILSON, 1997); SIA (Social Impact Assessment), avalia o impacto das políticas, planos, projeto sobre pessoas, com base em indicadores sociais (MAMBELLI, 2000), entre diversos outros métodos, que avaliam a sustentabilidade em uma dimensão, seja ela social, ambiental ou econômica.

Para citar métodos bidimensionais, temos: Green Globes, do Canadá, desenvolvido em 2002 para avaliação de edificações, (GREEN GLOBES, 2004); o GBD⁷, do Reino Unido, que trabalha com publicação de informativos impressos com análise dos materiais comercializados (GREEN BUILDING DIGEST, 1995); etc. Esses métodos enfatizam a dimensão ambiental e social da sustentabilidade.

Os métodos tridimensionais que podemos citar são: o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), dos EUA, criando padrão para edificações ecológicas (green building) (USGBC, 2002); a ISO, que adota um enfoque ambiental, porém integra as três dimensões para a manutenção dos componentes e funções do ecossistema para as futuras gerações (ISO, citado por Strand e Fossdal, 2003); NABERS (National Australian

⁷ GBD: Green Building Digest.

Building Environmental Rating System), da Austrália, elaborado em 2001 para avaliar o desempenho de edificações em uso.

Após a aplicação de sistema ou método de avaliação da sustentabilidade é preciso um processo de tomada de decisão, que geralmente é complexo e envolvem informações imprecisas e/ou incompletas, múltiplos critérios de escolha e diversos agentes de decisão (GOMES e MOREIRA, 1998).

A tomada de decisão deve buscar uma opção que represente o melhor resultado, avaliação ou acordo entre as expectativas de quem toma a decisão e a sua disponibilidade de adotá-la, considerando-se a relação entre elementos objetivos e subjetivos (SOARES, 2003).

Dentre os métodos de auxílio à tomada de decisão podemos citar: método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations), busca proporcionar aos tomadores de decisão um melhor entrosamento e entendimento da metodologia (GARTNER, 2001), ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant La Réalité), baseado em relações de superação para decidir sobre determinada solução (FLAMENT, 1999); método AHP (Analytic Hierarchy Process), permite estruturar hierarquicamente problemas complexos, com multicritérios, desenvolvido por Saaty na década de 70 (THOMAZ, 2006).

Existem diversos métodos para avaliação da sustentabilidade, principalmente na construção civil, para avaliar edificações e materiais. Alguns dos métodos existentes serão apresentados no item 1.6. Em se tratando da análise da sustentabilidade da construção civil, podemos citar o trabalho de Yuba (2005), que realizou uma proposta de análise da sustentabilidade para explorar e sistematizar a complexidade dinâmica das questões de sustentabilidade da cadeia produtiva da habitação em madeira, visando à compreensão do processo de ganhos e de perdas de sustentabilidade.

Porém poucos métodos foram desenvolvidos para analisar a sustentabilidade em sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais. Uma proposta foi apresentada por Sanches (2009), com base em métodos de avaliação de edificações, fazendo-se uma analogia para desenvolver uma proposta metodológica para esse fim.

Porém esse método de avaliação contempla apenas as dimensões ambiental, social e econômica da sustentabilidade. Esta tese está baseada nas proposições de dimensão de sustentabilidade de Silva (2000), que inclui, além dessas dimensões, a política e a cultural, o que demonstra a uma lacuna do conhecimento nessa área, pois as metodologias não são abrangentes. Com base no debate, questão que se coloca é **como considerar as dimensões da sustentabilidade e sua relação com indicadores no processo de análise de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais?**

1.5 DIMENSÃO POLÍTICA DA SUSTENTABILIDADE, PROCESSOS PARTICIPATIVOS E PROCESSOS DE TOMADA DE DECISÃO: RELAÇÕES COM A SUSTENTABILIDADE

A dimensão política da sustentabilidade aborda a criação de mecanismos para incrementar a participação das pessoas nos processos de tomada de decisão, para superar práticas e políticas de exclusão e respeitar o direito de todos. É um processo que deve ser incentivado em qualquer instância de decisão para promover a participação das pessoas, de modo que possam ter acesso ao conhecimento, apresentar suas opiniões, debater determinado assunto, para tomar suas decisões de maneira consciente e adequada à sua realidade social e local.

Há diferentes autores que debatem sobre a dimensão política da sustentabilidade e grande parte dessas interpretações priorizam o incentivo a participação nos processos decisórios para promoção da cidadania ativa e acesso ao conhecimento e informações para que as decisões sejam tomadas de modo consciente.

De acordo com Silva e Shimbo (2006) o acesso das pessoas às informações é necessário e indispensável para compreensão dos problemas e proporcionar oportunidades de participação nas decisões coletivas nas políticas públicas, melhorando as relações entre administração local e a sociedade civil.

Para implementação da dimensão política da sustentabilidade deve-se propor instrumentos para garantir a participação efetiva e organizada da população nos processos de planejamento, execução e fiscalização de projetos, promovendo a cidadania ativa. As

formas de participação que podem ser utilizadas são: grupos de trabalhos, fóruns, conselhos municipais, associações de moradores, sindicatos, ONGs, movimentos populares, entre outros.

De acordo com Silva (2005) a dimensão política da sustentabilidade pode ser caracterizada como:

“Uma sustentabilidade política depende de instâncias motivadoras para sensibilizar e mobilizar a participação das pessoas. O acesso às informações é considerado necessário e indispensável para que se permita à sociedade civil organizada maior compreensão dos problemas e para que haja a oportunidade política de participação no compartilhamento nas decisões coletivas sobre as políticas públicas locais. Neste caso, a participação não é considerada como um instrumento útil no aperfeiçoamento das relações entre uma administração local e a sociedade civil, pois promove o envolvimento dos cidadãos nos processos de tomada de decisão, assim como promove a legitimidade do poder local” (SILVA, 2005, p.37).

Teixeira et al. (2002) afirmam que *“a dimensão política da sustentabilidade busca garantir a participação efetiva e organizada da população nos processos de planejamento, execução e fiscalização de projetos que beneficiem a maioria das pessoas, promovendo a cidadania ativa”*. A participação é um instrumento fundamental para aperfeiçoar as relações entre os envolvidos nos processos de tomada decisão.

Ambos os autores abordam a dimensão política da sustentabilidade com a mesma visão, de incentivo às práticas democráticas, com a organização da sociedade civil para defesa de interesses coletivos. Porém a pouca cultura de participação no Brasil dificulta a promoção da participação efetiva nas políticas públicas pela dificuldade de tornar-se um indivíduo capaz de incorporar coletivos e pela existência de certo distanciamento entre as administrações e os atores interessados nos processos de decisão (SILVA e SHIMBO, 2006).

De acordo com Silva (2005) o papel das instâncias de participação é a socialização política pelo acesso à informação de modo democrático. Seu objetivo é promover o bem estar comum a todos, eliminando práticas de exclusão, centralização de poder, privação de conhecimentos, o que provoca o desinteresse nas decisões coletivas.

É um processo que precisa ser trabalhado e incentivado para que as ações possam ser consideradas mais sustentáveis, além de possibilitar à população o conhecimento e acesso a informações, democracia. Para buscar a sustentabilidade política é necessário sensibilizar, motivar e mobilizar a participação ativa das pessoas, favorecer o acesso às informações, permitindo maior compreensão dos problemas e oportunidades, superar práticas e políticas de exclusão e buscar o consenso nas decisões coletivas (TEIXEIRA et al., 2002).

O debate da dimensão política enfatiza as decisões coletivas com o uso de processos participativos. Atualmente tem-se discutido a questão da participação por diferentes atores sociais como forma de inclusão da população de baixa renda nos processos de tomada de decisão, sejam eles políticos ou sociais. Estudos, que serão abordados, enfatizam os processos participativos em seu caráter mais amplo, ou seja, o da democracia, na relação entre Estado e sociedade civil, porém poucos abordam a realização dos mesmos em pequenos grupos.

As discussões sobre processos participativos datam do início do século XX, provenientes dos movimentos sociais surgidos na época como forma de contestar os problemas comuns, como a acelerada urbanização, industrialização, o déficit habitacional, o regime militar, entre outros, verificado principalmente na aparição dos sindicatos. Os movimentos sociais resultam da associação de pessoas que lutam por um objetivo comum, que seja reconhecido e respeitado pelo Estado, de forma a promover a cidadania ativa (SILVA e SILVA, 2005).

Na década de 70 os movimentos sociais eram caracterizados pelas reivindicações das comunidades de bairros relativas a questões pontuais, como por exemplo, melhoria no transporte coletivo, passando a uma estrutura mais abrangente, englobando diversos setores sociais, com o fortalecimento de sindicatos e associações de base popular (SILVA e SILVA, 2005).

Até os anos 80, a participação era caracterizada pela ênfase no coletivo, na objetividade e na racionalidade, com altos níveis de conscientização política e social. Nesta época, com a recuperação dos direitos civis perdidos durante a ditadura militar passam a

discutir questões no âmbito da saúde, habitação e transporte. Nos anos 80 a participação torna-se menos efetiva e cede lugar ao individualismo (SAWAIA, 2001).

De acordo com Jacobi (1996) a década de 80 representou a “década perdida”, o que demandou a necessidade de aperfeiçoamento dos instrumentos para concretizar os direitos sociais que seriam definidos na Constituição de 88. Na década de 90, com a Constituição de 88 garantindo o direito à participação, verifica-se o deslocamento de lideranças de sindicatos e associações para atuar em cargos executivos em governos municipais (SILVA e SILVA, 2005). Também se verifica o surgimento de novos movimentos baseados em ações solidárias centradas nas questões éticas e de valorização da vida.

Foi após a Constituição de 1988 que a participação popular no Brasil se intensificou e os movimentos sociais passaram a reivindicar a garantia de direitos já definidos e ampliá-los, participando na definição e na gestão desses direitos. Ela traz um princípio que se refere ao direito à participação e atualmente isso é verificado na existência de experiências participativas em gestões governamentais, iniciativas de governos e da sociedade civil (CARVALHO, 1998).

É neste contexto dos movimentos sociais que surge o debate sobre a participação. Todos esses movimentos resultam na associação de pessoas que lutam por um objetivo comum para que sejam reconhecidos pelo Estado, buscando fazer parte das instâncias de decisão e promover a participação ativa. Sabe-se que o conceito de participação é contraditório, verificado na seguinte afirmação de Jacobi (1996):

“O conceito de participação está permeado por contradições, não somente pela sua relação com o poder político, mas pela sua amplitude conceitual. À guisa de exemplo, observa-se que nem sempre são claras as diferenças entre participação cidadina, participação social ou participação comunitária, ou ainda da participação popular” (JACOBI, 1996, p. 26).

Há dificuldade em distinguir as definições de participação, sejam elas sociais, comunitárias ou populares. Entretanto a participação das pessoas nos processos de decisão deve possibilitar o acesso das mesmas às informações, promovendo a cidadania ativa, necessária em um governo democrático, deve discutir questões de interesse da sociedade,

tomando decisões adequadas e que beneficiem a todos. Bandeira (1999), aborda em seu trabalho linhas argumentação para destacar a importância da participação, podendo-se destacar cinco delas, resumidamente:

- **Argumento 1:** necessidade de consulta aos segmentos da comunidade diretamente afetados pelas decisões;
- **Argumento 2:** sociedade civil atuante na vida pública para a boa governança e para o desenvolvimento participativo;
- **Argumento 3:** participação vinculada à acumulação de capital, melhorando empreendimento de ações coletivas;
- **Argumento 4:** implementação de políticas públicas por meio de mecanismos participativos, proporcionando o fortalecimento do país ou de uma região;
- **Argumento 5:** importância da participação para consolidação das identidades regionais.

Todos esses argumentos destacam a importância da participação nos processos decisórios, proporcionando o entendimento do conceito de democracia, bem como a possibilidade de articulação de diversos atores sociais visando um objetivo comum, capacitando um coletivo para a participação e aumento da aprendizagem dos envolvidos. A participação deve ser compreendida como um processo de democratização de modo a promover iniciativas para desenvolvimento de objetivos de interesse coletivo, reforçar as associações, capacitá-las técnica e administrativamente, desenvolver a participação na definição de projetos e programas municipais (JACOBI, 1996).

Sabe-se que há diferentes formas de participação da população nos processos de tomada de decisão. De acordo com Scherer-Warren (2001) essas formas de participação podem ser pelo associativismo civil ou por movimentos sociais para possibilitar a formação de identidades coletivas e de ideários comuns. As principais formas de associativismo civil são:

- **Associações comunitárias:** moradores reivindicam melhorias de infraestrutura na comunidade ou bairro a que pertencem;
- **Mútua ajuda:** grupos de solidariedade para minimizar carências de determinados segmentos sociais (idosos, crianças de rua, alcoólicos, doentes carentes, etc.);
- **Associação de classe:** sindicatos e associações profissionais que trabalham em defesa dos interesses da categoria;
- **Organizações não-governamentais:** trabalham em torno de problemas específicos (meio ambiente, mulher, negro, direitos humanos, etc.);
- **Organizações de defesa da cidadania:** grupos sem registros em cartórios que lutam pela melhoria da qualidade de vida e defesa dos direitos humanos;
- **Associativismo de base religiosa:** participantes se identificam com os princípios normativos de uma determinada religião.

Além das diferentes formas de participação, há diferentes graus de participação que irão depender da forma com que esta é conduzida. O UNDP Guidebook on Participation, citado por Bandeira (1999), adota oito níveis diferentes de participação, do nível mais baixo para o mais alto, de manipulação até o nível de autogestão, a saber:

1. **Manipulação:** situações de não-participação ou baixa participação;
2. **Informação:** os participantes são informados de seus direitos, responsabilidades e opções;
3. **Consulta:** participantes expressam suas sugestões e preocupações, sendo uma relação bidirecional entre o poder local e participantes;
4. **Formação de consensos:** participantes interagem para obter compreensão mútua e alcançar posições negociadas aceitáveis para todo o grupo;
5. **Deliberação:** divisão de responsabilidades sobre os possíveis resultados;

6. **Repartição de riscos:** deriva da ação anterior, tentando abranger os efeitos dos resultados obtidos;
7. **Parceria:** relação entre iguais, trabalhando para um bem comum, entendimento e interação entre diferentes atores;
8. **Autogestão:** as partes interessadas interagem em processos de aprendizado que otimiza o bem-estar de todos os envolvidos.

Além das diferentes formas de participação, é preciso compreender os graus da participação popular. Arnstein (1969)⁸, citado por Heller et al. (2007), elaborou um instrumento para identificar o grau de participação das pessoas que se denominou “Escala de Arnstein”, definidos em 8 graus de participação:

- **Não participação:**
 1. **Manipulação:** utilização de pessoas escolhidas para ocupar cargos em comitês assessores e em comissões segundo critério educacional;
 2. **Terapia:** administradores ou os detentores do poder assumem que as pessoas não exercem seus direitos e os especialistas subjugam suas ideias;
- **“Tokenismo”:**
 3. **Informação:** pessoas são informadas sobre seus direitos, responsabilidades e opções. Geralmente a informação é unidirecional (dos especialistas para as pessoas). É o primeiro passo para a participação social.
 4. **Consulta:** convite das pessoas à participação. Os métodos utilizados para a consulta são as pesquisas de atitudes, reuniões de bairros e audiências públicas.
 5. **Envolvimento:** as pessoas começam a ter certo grau de influência nos processos decisórios por meio da representação das pessoas nos fóruns de participação;
- **Poder para o cidadão:**

⁸ ARNSTEIN, S.R. A ladder of citizen participation. *JAIP*, v.35, n.4, p. 216-224, 1969.

6. **Parceria:** firma-se um acordo entre as pessoas e os detentores do poder de modo a compartilhar as responsabilidades dos processos de tomada de decisão;
7. **Transferência de poder:** negociações entre governantes e cidadãos de forma com que as pessoas têm o domínio nos processos participativos, com representatividade superior a dos detentores do poder;
8. **Controle dos cidadãos:** as pessoas assumem o controle do poder dos processos de tomada de decisão, perspectiva de autogestão.

Ambos os autores mostram uma graduação de uma situação de não participação até a perspectiva de autogestão, ou seja, o poder passa a ser controlado pelas próprias pessoas. As escalas se complementam, de forma que a “Escala de Arnsteins” representa uma visão mais politizada, focada no poder público e político, se comparada com os níveis propostos por Bandeira, com uma abordagem generalista.

Apesar de diversos avanços com relação ao incentivo à participação popular nos processos de tomada de decisão ainda é pequena. No Brasil, o grande problema para intensificação da participação popular nesses processos é o nosso passado colonial, ainda com reflexos da cultura do autoritarismo. Outra dificuldade é a falta de informação das pessoas para sustentar um debate objetivo, que muitas vezes é distorcido pela imprensa, proporcionando interpretações errôneas da realidade (CARVALHO, 1998).

Bandeira (1999) procurou compreender os limites da participação popular são e identificou 3 aspectos que contribuem para esse fator:

- As questões necessitam de abordagens diferenciadas, ou seja, de acordo com a realidade local e a necessidade, por exemplo, efetuar consultas demoradas para situações que exijam decisões urgentes e que acarretem riscos à população;
- A qualidade das decisões de processos participativos **sempre** depende do grau de capacitação dos envolvidos para identificar as soluções adequadas à sua realidade e ao problema;

- Processos mal concebidos ou implementados levam a resultados inadequados e resultam em descrença nas práticas participativas.

De acordo com Mendonça (2007), o fortalecimento da participação está relacionado aos interesses coletivos e às posições de poder dos formadores de opinião (interessados). Para viabilizar a participação é necessário acesso às informações, reciprocidade e confiança entre grupos e redes de relacionamentos entre os autores.

Já Jacobi (1996) diz que um dos desafios que se coloca à participação é propor alternativas às práticas de gestão em que o peso da participação popular seja referencial para questionamento dos problemas da administração pública. Outro desafio é romper com a lógica clientelista que prevalece na relação Estado e sociedade (relação de poder), com a criação de espaços públicos e democráticos para incentivar a participação.

Na afirmação acima se observa a questão da relação de poder, outro debate recente: o debate do *empoderamento*. Essa discussão iniciou-se também na década de 70, apresentando a palavra *poder* como conceito central para definir os processos de desenvolvimento, o que caracteriza a palavra como um conceito de transformação social.

Oakley e Clayton (2003) discutem a questão do empoderamento. Eles afirmam que o processo de empoderamento busca a reduzir as disparidades de poder entre os grupos socioeconômicos, aumentando seu poder para que todos possam se beneficiar de seu uso de modo formal ou informal. Os autores apresentam dois tipos de poder:

- “Poder, no sentido de transformação radical e confrontação entre os que têm e os que não têm poder, como a dinâmica crucial das mudanças sociais. Esta interpretação argumenta que somente nos centralizando nos padrões de mudança existentes e aplicando-os, será possível uma mudança significativa.
- Poder no sentido usado por Paulo Freire, como um aumento da conscientização e desenvolvimento de uma “faculdade crítica” entre os marginalizados e oprimidos. Este é o poder de “fazer” e de “ser capaz”, bem como de sentir-se com mais capacidade e no controle das situações. Refere-se ao reconhecimento das capacidades de tais grupos para agir e desempenhar um papel ativo nas iniciativas de desenvolvimento. Implica superar décadas de aceitação passiva e fortalecer as habilidades de grupos marginalizados para que se envolvam como atores legítimos no desenvolvimento” (OAKLEY e CLAYTON, 2003, p.10).

Ambas as explicações mostram interpretações distintas sobre o empoderamento. A segunda interpretação se aproxima mais do que é desejável para promover a participação da sociedade, por meio de processos de tomada de decisão, de modo a dar poder aos grupos menos favorecidos da sociedade. O poder define as relações econômicas e sociais e influencia qualquer intervenção que se deseja fazer no contexto atual. É preciso aumentar o poder das pessoas para que elas sejam incentivadas a ampliar ações de participação nos processos decisórios.

Um ponto importante a se ressaltar é a influência da política na participação. De acordo com Castoriadis (1992), uma política de autonomia deve ter como objeto final, ajudar a coletividade a criar as suas instituições, sem, porém limitar a capacidade dos indivíduos de serem autônomos. O despreparo dos indivíduos em questionar as instituições estabelecidas, se reflete nas dificuldades de participação política na globalização.

A participação política busca desenvolver ações de cidadania dentro da própria sociedade global. A cidadania, compreendida como soberania, implica, necessariamente, em indivíduos que tenham alcançado um grau de autonomia, de participação política, de autoconsciência. Nesta altura da globalização as possibilidades de autoconsciência ainda são reduzidas, limitadas. É preciso que a política não impeça a participação da população nos processos decisórios e não as manipule.

A inclusão da participação da população no processo de tomada de decisão é apontada como um fator importante para reduzir os constrangimentos resultantes da escassez de informação e as incertezas inerentes aos sistemas e gerar cumplicidade entre as diferentes partes envolvidas para um debate mais razoável e participado (KASS et al., 2001)

Apesar de observarmos um aumento da participação popular nos processos de tomada de decisão, a obtenção de situações de autogestão ainda é pequena. Isso se deve ao caráter cultural de não participação da população, aliados à falta de incentivos para essa prática, prejudicando esses processos. A autogestão tem como eixo central a proposta de que todos os homens são iguais e que cada um tem a capacidade de se representar perante o grupo. É preciso desenvolver a autonomia em cada indivíduo.

A participação é um instrumento para promover a interação entre atores sociais, de modo a promover a cidadania ativa e o aumento do conhecimento pelo acesso às informações. A questão que se coloca é: **como incrementar a participação popular na busca uma maior sustentabilidade nos processos de tomada de decisão, por meio do acesso às informações e conhecimentos para embasar a discussão de questões de interesse coletivo, para tomar decisões adequadas à realidade em que vivem e que beneficiem a todos?**

A participação das pessoas é importante para garantir mais sustentabilidade no processo de tomada de decisão, conforme discutido. Porém ela ainda é pequena e precisa ser trabalhada e incentivada. Processos participativos em ações de saneamento ambiental são quase inexistentes pela ausência de incentivos a esta prática e preocupação da população com relação a essa questão. A participação popular ainda é desconhecida para muitos, por isso a importância desse debate neste estudo.

É preciso compreender a dinâmica dos sistemas de saneamento na realidade brasileira, que é agravada pelas discrepâncias entre as classes sociais para compreender a relação entre sustentabilidade, processos participativos e saneamento ambiental, no processo de análise da sustentabilidade. No próximo item serão tratados alguns exemplos de avaliação de sustentabilidade no Brasil e no mundo.

1.6 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE AVALIAÇÃO E ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE NO BRASIL E NO MUNDO

Como apresentado nos itens anteriores, a análise da sustentabilidade é um desafio no cenário atual, em virtude da variabilidade de interpretações e definições do tema. Esse item procura apresentar alguns exemplos de avaliação da sustentabilidade, no Brasil e no Mundo, em diferentes escalas.

Dentre os modelos de avaliação de sustentabilidade existentes podemos citar: Análise do Ciclo de Vida (ACV) ou life-cycle assessment (LCA) que pode ser considerada uma abordagem sistêmica que estuda e quantifica os efeitos ambientais potenciais de um produto ou serviço desde a obtenção das matérias primas (petróleo, minério, colheitas, etc.)

ao ponto em que o material retorna à terra. Isto inclui fluxos de subprodutos que vão para o ar, para a água e para o solo. (EEA, 1997, CURRAN, 1996).

Apresenta normalização técnica regulamentada por comitês internacionais, na série ISO 14000 e consiste na análise e interpretação dos dados obtidos, por meio do inventário quantitativo e qualitativo, de todos os insumos consumidos e dos resíduos e demais poluentes liberados no ambiente, durante todo o ciclo de vida de um produto, (desde sua fabricação, uso e descarte) e posterior avaliação dos impactos ambientais gerados. As diferentes fases que compreendem o ciclo de vida dos materiais, são: 1) Obtenção das Matérias-primas; 2) Fabricação do produto; 3) Transporte; 4) Uso; 5) Descarte (SANTOS et al., 2011).

A avaliação do ciclo de vida está frequentemente relacionada aos materiais utilizados em construção civil. De acordo com Bond et al (2012) a avaliação da sustentabilidade deve atender a algumas premissas, ou seja, de imperativos da sustentabilidade (pensamento integrado, aumentar sistemas sócios ecológicos; equidade intrageracional, equidade intergeracional). Todas essas premissas se resumem em respeito ao contexto, engajar partes interessadas e gerenciar conflitos.

Para Gasparatos et al. (2008), a avaliação de sustentabilidade tem como principais características a integração entre aspectos econômicos, ambientais e sociais, bem como a consideração de suas interfaces, de consequências das ações presentes para gerações futuras, da existência de incertezas, da valorização da participação pública e a equidade intra e intergeracional.

Bond, Morrison-Saunders e Howitt (2012)⁹, citado por Duarte (2013) apresentam uma proposta a ser adotada para a avaliação de sustentabilidade, conforme a Quadro 1.6.

⁹ BOND, A.; MORRISON-SAUNDERS, A.; HOWITT, R. Conclusions. In: BOND, A.; MORRISONSAUNDERS, A.; HOWITT, R. (Eds.). **Sustainability Assessment: pluralism, practice and progress**. 1. ed. New York: Routledge; Taylor & Francis, 2012. p. 263-270.

QUADRO 1.6 – Critérios de efetividade para avaliação de sustentabilidade e suas características, elaborado a partir de Bond, Morrison-Saunders e Howitt (2012b) e Bond, Morrison-Saunders e Stoeglehner (2012) (*Fonte: adaptado de DUARTE, 2013, p.112*).

CRITÉRIO DE EFETIVIDADE	CARACTERÍSTICAS
Efetividade no procedimento	Abrange aspectos relacionados à adoção de boas práticas na condução do processo e quanto ao cumprimento de requerimentos legais. Inclui questões sobre a consideração de impactos cumulativos e sinérgicos, consulta pública, desenvolvimento de alternativas técnicas e locais e propostas de mitigação e monitoramento. Seguir o procedimento por si só não garante alcançar efetividade no processo, mas é importante para indicar que o estudo atende critérios básicos da elaboração de estudos de suporte à decisão.
Efetividade substantiva	Está relacionada ao resultado do estudo no contexto do processo, quanto aos resultados concretos alcançados com o desenvolvimento da avaliação. Critérios de efetividade substantiva aplicados à AAE incluem questões sobre as alterações realizadas na proposta original em decorrência da AAE, se as alternativas propostas foram de fato consideradas, e se as medidas de mitigação e monitoramento foram implementadas de forma adequada.
<i>Transactive effectiveness</i>	Esse critério está relacionado ao custo-efetividade do processo; a avaliação deve oferecer resultados úteis ao planejamento em tempo e custo adequados à expectativa dos atores. Processos voluntários de avaliação de impacto tendem a atender esse critério, uma vez que o processo é desenhado para que faça ao máximo as contribuições de melhorias para o processo. Já em casos de cumprimento de requerimento legal, um processo de avaliação pode ser apenas “cartorial”, oferecendo resultados pouco úteis e muito caros, tendo baixo custo-efetividade.
Efetividade normativa	Inclui os elementos que caracterizam uma análise da sustentabilidade ideal, delineada nos seis imperativos propostos por Gibson (2012).
Pluralismo	Para atender a diversidade de visões existente em processos decisórios, é preciso além de garantir a participação dos diversos atores relevantes ao processo decisório, garantir que essas visões sobre os problemas existentes serão efetivamente consideradas no processo decisório.
Conhecimento e aprendizagem	O processo deve incrementar a aprendizagem instrumental e a aprendizagem conceitual, fortalecendo o aperfeiçoamento do próprio processo de avaliação e do objetivo de uma política pública, bem como abrindo espaço para mudanças de crença e de perspectivas.

O quadro 1.6 apresenta uma síntese dos critérios para efetividade em um processo de análise e avaliação da sustentabilidade, em que devem ser considerados aspectos de boas práticas na condução dos processos, com desenvolvimento de técnicas e alternativas adequadas ao contexto local, com base nos princípios propostos por Gibson (2012), com busca de acesso ao conhecimento e aprendizagem, com aperfeiçoamento do processo de avaliação.

Outro exemplo para ser citado é o City of South Perth, Sir James Mitchell Park Tree Planting, 2010. Em 2001, a cidade desenvolveu um plano de manejo de árvores, em conjunto com o Swan River Trust, por Sir James Mitchell Park (SJMP), após ampla consulta à comunidade para o parque da cidade. O plano de gestão da implementação requereu a participação da comunidade em diversas etapas do processo decisório.

Foram considerados critérios de sustentabilidade ambiental, social e econômico. Foi definida uma pergunta principal: Qual é a forma mais sustentável de plantar árvores em Sir James Mitchell Park, de acordo com as recomendações do Plano de Gestão da Cidade? Dessa pergunta geraram os critérios de sustentabilidade, conforme apresentado no Quadro 1.7.

QUADRO 1.7- Critérios de sustentabilidade a serem considerados para o Sir James Mitchell Park. (Fonte: adaptado de *Sir James Mitchell Park, 2010, p.10*).

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
AMBIENTAL	
1. Prover habitat para aves e outros animais	<i>Eucalyptus rudis</i> tem potencialmente maior valor habitat para insetos e aves (desenvolve cavidades). <i>Banksia littoralis</i> (Pântano Banksia) também atrair pássaros.
2. Interceptar escoamento de nutrientes e prevenção de erosão	Árvores plantadas perto do rio proporcionará maior beneficiados. Também relacionado com o número total de árvores.
3. Integridade da valorização ecológica	Promover plantio de uma vegetação natural e diversificada terá maiores benefícios para ecológico e integridade. Distâncias menores pode criar potenciais corredores de habitat. Número de novas árvores também relevante.
SOCIAL	
4. Manutenção de vistas existentes	Visualizações incluem luzes da cidade no rio (afetada por árvores próximo ao rio), bem como vistas da cidade. Potencial para vistas a ser reforçada pelo enquadramento. Número, localização e espécies de árvores afetam a todos pontos de vista.
5. Prover sombra adequada para usuários do parque	<i>Melaleuca raphiophylla</i> e <i>Casuarina obesa</i> (Sal Sheoak) pode fornecer a melhor sombra. Também depende da estrutura de plantio, com menor grupos tendem a ser mais atraente para piqueniques. A preferência pela sombra em torno de áreas de lazer (Churrascos, percursos pedestres, praias, parques infantis) foi expressa por muitos membros da comunidade.
6. Segurança pública	Maior probabilidade de cair galhos, criando um perigo. Potencial para acidentes de moto relacionados à proximidade de árvores para ciclovias.
7. Segurança	<i>Agonis flexuosa</i> permite oportunidades de ocultação devido ao tronco grosso (quando maduro) e folhagem chorando enquanto inundada <i>Gum</i> cresce a uma altura de até 15 metros e proporciona menos oportunidades de ocultação.
8. Opiniões da comunidade sobre a estética espécies	Refere-se especificamente ao feedback recebido dos expressando preferência comunitária para a floração espécies e antipatia para o aparecimento de WA Peppermint.
ECONÔMICO	
9. Custo de implementação	Com base no número de árvores e custo de mudas de árvores
10. Custo de manutenção	WA Peppermint requer poda de galhos duas vezes por ano, Gum inundada também pode exigir mais manutenção do que outras espécies devido ao potencial soltar ramos.

Foi realizada uma consulta pública para verificar as melhores opções de implantação para a população. Foram criados formulários, com base nesses critérios do Quadro 1.7, para que a população pudesse opinar, apresentando pontos positivos e negativos de cada alternativa. A comunidade esteve envolvida durante todo o processo, por meio de consultas populares, priorizando o processo participativo. Os dados foram

sistematizados e ponderados em uma planilha, indicando se a população concordava totalmente, parcialmente, não concordava ou desconhecia. Com base nos resultados, foram realizadas as inserções necessárias no parque, de acordo com a escolha da população.

Outro exemplo apresenta uma experiência no Brasil, em se tratando de construção civil. Podemos citar a experiência do CBCS (Conselho Brasileiro da Construção Sustentável), que desenvolveu uma ferramenta denominada “Seleção em 6 passos”, para auxiliar gestores a determinar se os fornecedores de materiais de construção civil podem ser considerados “sustentáveis”, mediante atendimento aos seis critérios estabelecidos.

De acordo com informações do site, não existe sustentabilidade dos materiais de construção civil sem formalidade, legalidade e qualidade. A informalidade acarreta em: sonegação de impostos; desrespeito à legislação ambiental; desrespeito à legislação trabalhista (CBCS, 2013). Os seis critérios para avaliação da sustentabilidade dos materiais de construção civil estabelecidos são, conforme Quadro 1.8:

QUADRO 1.8- Critério para avaliação da sustentabilidade dos materiais da construção civil e descrição da forma de análise (Fonte: CBCS, 2013).

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
1- Verificação da formalidade da empresa fabricante e fornecedora	A formalidade da empresa fabricante ou fornecedora de produtos e serviços pode ser verificada junto à Receita Federal por meio do número do CNPJ. Se o CNPJ de uma empresa não é válido significa que o imposto não está sendo recolhido ou que a empresa não tem existência legal. Caso o CNPJ seja válido, o sistema retorna com o nome completo da empresa e o estado da Federação onde a unidade fabril está localizada.
2- Verificação da licença ambiental	Nenhuma atividade industrial pode operar legalmente sem licença ambiental, concedida pelo órgão ambiental estadual. A existência da licença não é garantia contra impactos ao meio ambiente, mas a sua ausência praticamente elimina qualquer possibilidade de respeito à lei.
3- Verificação das questões sociais	O trabalho infantil, o trabalho escravo, o trabalho em condições precárias de higiene, com jornadas excessivas e sem alimentação adequada devem ser combatidos. Produtos nacionais e importados que empreguem mão de obra nessas condições devem ser evitados e banidos do mercado. Esse critério é eliminatório no caso da empresa fabricante ser identificada em listas de empresas nacionais já autuadas.
4- Qualidade e normas técnicas do produto	A baixa qualidade dos produtos é uma Fonte importante de desperdício. Produtos que não apresentam desempenho adequado acabam sendo substituídos, gerando custos e resíduos. As normas técnicas são o critério mínimo de qualidade vigente e seu respeito é obrigatório no Brasil. Verifique se o fornecedor está na lista de empresas qualificadas pelo PBQP-H, a relação dos fabricantes que produzem em conformidade e não conformidade às normas técnicas da ABNT.
5- Consultar o perfil de responsabilidade socioambiental da empresa	A Responsabilidade Social é a tradução e incorporação dos valores e compromissos das empresas em todas suas formas de relações em seus negócios. Podemos dizer que pode promover negócios sustentáveis, que por sua vez, são conscientes dos impactos positivos e negativos no campo

CRITÉRIOS	DESCRIÇÃO
	econômico, social e ambiental, sejam eles gerados pelo negócio ou pela sociedade, procurando gerenciar os riscos e as potencialidades ou oportunidades que estão presentes na empresa e na sociedade.
6- Identificar a existência de propaganda enganosa	É necessário que o cliente confirme a consistência e relevância das afirmações de eco-eficiência dos produtos e processos declarados pelos fornecedores. Mesmo produtos certificados podem levar a equívocos: qual o critério da certificação? Estes critérios são públicos? Qual a seriedade do processo?

Caso o fornecedor não atenda ao estabelecido em algum dos 6 passos, ele estaria desclassificado com relação à avaliação da sustentabilidade. O critério de avaliação baseia-se em respostas simples, do tipo atende ou não atende. O desenvolvimento dessa ferramenta buscou trabalhar com informações de fácil acesso às pessoas, sistematizadas em critérios para atender às dimensões da sustentabilidade (social, ambiental e econômica).

O próximo exemplo de avaliação de sustentabilidade foi elaborado por Sanches (2009), que desenvolveu uma metodologia para estações de tratamento de esgoto. Foram comparadas três alternativas de processos de tratamento de efluente passíveis de serem implantadas no município de Capão da Canoa: 1- reator anaeróbio e banhados construídos, 2- lagoas de estabilização e 3- banhados construídos, assim como o sistema de lodos ativados seguidos por uma etapa de desinfecção.

A metodologia proposta se baseou em cálculo do impacto ambiental (IA); cálculo do impacto econômico (IE); cálculo do impacto social (IS); e determinação dos planos de sustentabilidade (ecoeficiência e socioeconômico) para respaldar a avaliação da sustentabilidade das alternativas analisadas.

Para cálculo do impacto ambiental a autora se baseou em ACV (Análise do Ciclo de Vida). No caso do impacto econômico considerou aspectos de custos de implantação, manutenção e operação. Para impactos sociais, utilizou uma matriz social da tecnologia. Foram realizadas consultas a especialistas e à comunidade. Ao final, após levantamento das informações, sistematizou em planilhas comparativas. São utilizados parâmetros técnicos para realizar a avaliação.

Para os problemas ambientais foram avaliados: aquecimento global (AG), acidificação (AC), depleção de oxigênio dissolvido (DOD), eutrofização (EUT), toxicidade

biológica (TB), avaliado pelos especialistas e comunidade. Os dados para cada sistema avaliado foram sistematizados no gráfico da Figura 1.1, como exemplo:

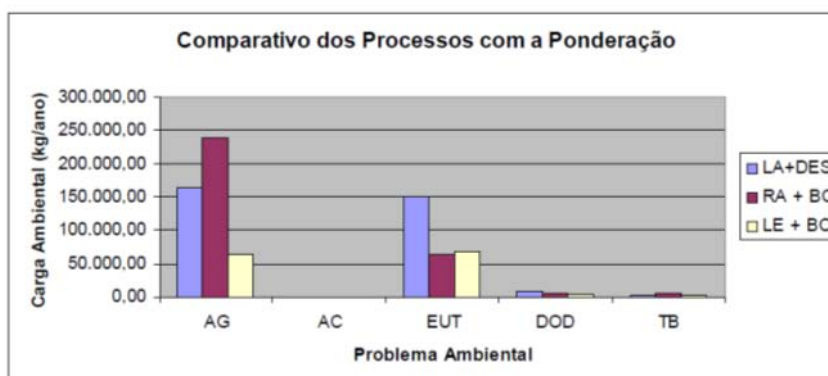


FIGURA 1.1 – Exemplo de perfil ambiental da comparação das alternativas do estudo, com ponderação (Fonte: SANCHES, 2009, p.163).

No caso do impacto econômico, consideraram-se aspectos de custos de implantação, manutenção e operação. Para impactos sociais foram considerados: riscos no ambiente laboral, envolvimento com a comunidade, impactos de vizinhança e aspectos funcionais do processo. Após o tratamento dos dados, realizaram uma normalização dos resultados, obtendo o apresentado na Figura 1.2:

Alternativa	Impacto Ambiental Normalizado	Impacto Econômico Normalizado	Impacto Social Normalizado
1	0,96	0,36	0,60
2	0,42	0,41	0,47
3	1	1	1

FIGURA 1.2 – Exemplo de Perfil ambiental da comparação das alternativas do estudo, com ponderação (Fonte: SANCHES, 2009, p.176).

A metodologia é bastante complexa, se comparado ao que se pretende nesse trabalho. No caso da tese de Sanches, (2009) a proposta de avaliação é para que especialistas da área possam realizar a avaliação e a tomada de decisão. A proposta do presente estudo é simplificar o processo de escolha e acesso à informação para auxiliar no suporte à decisão do usuário final do sistema.

A metodologia de análise da sustentabilidade deve ser adaptada para o contexto local e para a atividade desejada. Há dificuldade em utilizar uma mesma metodologia, pois a aplicabilidade dos resultados varia entre as experiências. É preciso avaliar o que se deseja verificar, elencar os aspectos principais e impactantes na tomada de decisão. Outro desafio é a questão do envolvimento das pessoas nos processos. É necessário

compreender que a participação das pessoas é de fundamental importância no processo de avaliação de sustentabilidade.

Outro exemplo apresenta uma proposta de análise de sustentabilidade para a construção civil, elaborada por Yuba (2005), focada em madeira de reflorestamento. A autora fez o levantamento dos princípios que impactam na análise da sustentabilidade, para a cadeia da construção civil sustentável, considerando as dimensões ambiental, social, econômica, política e cultural. O quadro 1.9 ilustra um exemplo de uma parte do trabalho realizado.

QUADRO 1.9- Princípios ambientais da construção sustentável (Fonte: adaptado de Yuba, 2005, p.38).

Princípio/ desafio/ ação e estratégias da dimensão ambiental da construção sustentável
Reduzir o uso de recursos em todo o ciclo de vida: <ul style="list-style-type: none"> • Reduzir a produção de resíduos; • Promover a eficiência energética na produção e nas edificações; • Reduzir o consumo de água; • Reduzir a exploração de minérios; • Aumentar a durabilidade; • Aumentar a manutenção.
Reduzir a liberação de emissões ambientalmente perigosas: <ul style="list-style-type: none"> • Reduzir a emissão de gases tóxicos que contribuem para o efeito estufa; • Reduzir a emissão de efluentes. Promover o funcionamento saudável dos ecossistemas, em escala local, regional e global: <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver pesquisas sobre os impactos ao meio ambiente causados por materiais e acabamentos; • Desenvolver estratégias para lidar com materiais perigosos.
Vencer a barreira da inércia tecnológica dos países em desenvolvimento; Vencer a dependência tecnológica em relação aos países desenvolvidos; Vencer a falta de políticas de suporte às tecnologias nacionais: <ul style="list-style-type: none"> • Inovar os materiais e métodos de construção.
Melhorar a qualidade do processo de construção e seus produtos.
Adotar o conceito de sistema regenerativo.
Incentivar o desenvolvimento e a difusão de tecnologias ambientalmente sustentáveis.

Com base nos princípios gerais para cada dimensão da sustentabilidade (ambiental, social, econômica, política e cultural), foram derivados princípios específicos para cada etapa do projeto: princípios da construção sustentável para os organismos governamentais, para processo de exploração de recursos, para o processo de fabricação, para o processo de projeto, o processo de construção, para a fase de uso e para o processo de desconstrução.

Como resultado foram apresentados 17 elos da construção, relacionando cada etapa do processo com a respectiva análise da sustentabilidade, enfatizando a

dimensão a ela atrelada, os ganhos e as perdas da sustentabilidade em cada etapa do estudo. Para exemplificar:

“Elo 9: operação de tratamento e uso – nesse elo, a participação do usuário é determinante para o aumento da sustentabilidade. Essa relação, para não resultar na diminuição da sustentabilidade requer a realização do tratamento de forma tecnicamente adequada e a utilização de procedimentos especiais por parte do usuário, significando um elo de risco”. (Yuba, 2005, p. 195).

Em cada um desses elos, a autora explica o que é determinante para aumento da sustentabilidade na construção civil, para o uso de madeira de reflorestamento. Este caso se trata de uma análise teórica-conceitual, sem utilização de indicadores para análise da sustentabilidade.

A avaliação de sustentabilidade se apresenta como uma abordagem que visa fortalecer características da sustentabilidade no processo de desenvolvimento dos seus estudos. Entre diversas características citadas pelos autores que adotam esse termo está a busca por resultados que tragam benefícios a todas as dimensões da sustentabilidade.

Diversos autores têm dedicado seus estudos na avaliação de alternativas para mitigação de problemas ambientais abrangendo as dimensões da sustentabilidade. Outro exemplo de análise da sustentabilidade foi o trabalho realizado por Starkl e Brunner (2004) procurou analisar a forma em que a gestão das águas urbanas realizada na Áustria. Foram identificados e descritos os principais atores da gestão das águas urbanas no país, seus interesses e também os seus processos de tomada de decisão.

O processo de tomada de decisão identificado por Starkl e Brunner (2004) foi idealizado para grandes sistemas de tratamento de esgoto e possui 13 passos:

- 1- Os desenvolvedores (município, comitês ou empresa privada) observam a demanda para abastecimento de água ou um requisito legal;
- 2- Planejadores (consultores) são selecionados (preferências de alguns administradores ou por concurso);

- 3- O planejador prepara um estudo das técnicas ambientalmente viáveis para a eliminação de águas residuais ou para abastecimento de água;
- 4- Se o desenvolvedor concorda com o estudo preliminar, a autoridade executiva precisa aprová-lo;
- 5- Se não aprovar, as etapas 2 e 3 serão repetidas, um consultor irá realizar um planejamento mais detalhado;
- 6- Depois de elaborar um pré-projeto detalhado, a autoridade executiva precisa aprová-lo, novamente;
- 7- Caso a proposta foi avaliada aceita, todas as partes que têm direitos legais sobre o projeto passam por uma audiência final;
- 8- O projeto passa por uma avaliação financeira que irá verificar se a alternativa atende às diretrizes determinadas;
- 9- Caso aprovado, um concurso público será preparado, a fim de determinar quem irá construir o sistema;
- 10- Os consultores avaliarão as propostas;
- 11- A autoridade deve aprovar esta seleção;
- 12- O desenvolvedor contrata a solução mais barata;
- 13- Se houverem problemas em alguma a fase do projeto, a modificação será avaliada novamente.

Com essa estrutura, os autores consideram dilemas da sustentabilidade no processo de escolha de sistema de tratamento de água e esgoto, desenvolvendo uma lista critérios com base em seus diferentes aspectos, que orientam o tomador de decisão na escolha da alternativa mais sustentável, considerando que estes aspectos da sustentabilidade no processo de tomada de decisão podem reduzir a sua viabilidade (STARKL; BRUNNER, 2004).

Os métodos apresentados mostram critérios específicos para análise da sustentabilidade, desde utilização de indicadores, como na Análise do Ciclo de Vida, até métodos mais empíricos, com análise subjetiva, como apresentado por Yuba (2005). O método do CBCS apresenta uma forma simplificada de verificação da sustentabilidade de materiais, com base em informações de fácil acesso e consulta, por meio do uso da internet e redes de dados. O caso Sir James Mitchell Park traz uma abordagem participativa da análise da sustentabilidade, com consulta à população para tomada de decisão. Sanches (2009) apresenta um método para sistemas de tratamento de efluentes, com indicadores e qualidade da água e efluentes. Starkl e Brunner (2004) tratam de processos participativos para escolha e tomada de decisão.

O presente estudo busca realizar uma análise simplificada da sustentabilidade, mais próxima ao trabalho desenvolvido por Yuba (2005), para permitir o acesso às informações e facilitar a tomada de decisão. Porém também aborda a Análise do Ciclo de Vida, em se tratando dos materiais utilizados nos sistemas de tratamento de efluentes sanitários. Do exemplo do caso do Sir James Mitchel Park refere-se aos processos participativos de escolha e tomada de decisão, questão importante considerada neste trabalho. O trabalho de Sanches ilustra um exemplo de método de análise da sustentabilidade para sistemas de saneamento, porém que considera principalmente os aspectos ambientais e econômicos, em uma análise com base em indicadores.

A questão que se coloca é: **como integrar sustentabilidade, sistema de tratamento de efluentes sanitários e avaliação de sustentabilidade?** Com base no observado nessas experiências e no debate da literatura, o próximo aborda um resumo dos sistemas de saneamento e sua relação com a sustentabilidade.

1.7 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS RESIDENCIAIS E RELAÇÕES COM A SUSTENTABILIDADE

A situação dos sistemas de saneamento ambiental no Brasil é precária e apresenta disparidades entre a zona rural e urbana e entre a população de alta e baixa renda, verificado nos dados que serão apresentados. A ausência desses sistemas traz

diversos prejuízos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população, o que demanda estudos acerca do tema para identificar soluções alternativas.

Estima-se que 97,5% da água existente no planeta é composta por água salgada. Dos 2,5% de água doce, 40% encontram-se nas geleiras e certa parte aprisionada no solo. Apenas 1% da água existente no planeta está disponível para consumo. Apesar do Brasil dispor de 14% da água doce superficial do mundo, menos de 1% é retirado para consumo humano. A distribuição também não é uniforme: 73% da água doce disponível no país encontram-se na bacia Amazônica, que é habitada por menos de 5% da população e, apenas 27% dos recursos hídricos brasileiros estão disponíveis para 95% da população (Setti et al, 2001).

O saneamento ambiental aborda questões relativas ao abastecimento de água e esgotamento sanitário, o sistema de drenagem urbana e o sistema de resíduos sólidos. Observa-se que também envolvem o controle da poluição, controle de doenças e qualidade ambiental. Dentre os principais patógenos encontrados no esgoto sanitário temos: vírus hepatite, poliomielite, febre tifoide, cólera, disenteria amebiana, ascaridíase, esquistossomose, leptospirose e disenteria bacila.

Neste trabalho será abordado o conceito de saneamento ambiental propostos pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), que pode ser definido como:

“É o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar salubridade ambiental (estado de higidez em que vive a população rural e urbana), por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural” (BRASIL, 2006).

Pode-se perceber que o principal objetivo das ações de saneamento ambiental é melhorar as condições de vida da população tanto urbana quanto rural, e proteger o meio ambiente. De acordo com dados do SNIS de 2011, em áreas urbanas e rurais do país, o acesso a coleta de esgoto era de 48,1% da população brasileira. Do esgoto gerado, apenas 37,5% recebe algum tipo de tratamento. Entre os anos de 2010 e 2011, houve um

aumento de 1,4 milhão de ramais de água e 1,3 milhão na rede de esgotos de esgotos no País. O consumo de água aumentou 2,3% nesse período, sendo que a região com menor consumo é a Nordeste, com 120,6 litros por habitante por dia e a região com maior consumo é a região Sudeste, com 189,7 litros por habitante por dia (SNIS, 2011).

Dados da PNAD de 2013 corrigidos mostram que 85,3% dos domicílios brasileiros possuem rede de abastecimento de água, 58,2% rede de esgoto, 5,3% possuem fossa séptica ligada à rede coletora e 89,8% com coleta de lixo. Entre os moradores que não têm acesso à rede de esgoto, 12,7% têm fossa séptica regular sem ligação à rede, 18,6% dos domicílios têm fossa rudimentar, e 2,8% usam outro tipo artesanal de esgotamento. Há 1,6 milhão dos domicílios (2,4% do total) que não possuem nenhum tipo de esgotamento (IBGE, 2014).

Destaca-se o estado de São Paulo em que 96,3% dos domicílios tem acesso ao abastecimento de água e 91,1% à rede coletora de esgoto. Em contrapartida, Rondônia possui 40,9% de domicílios com abastecimento de água e apenas 4,8% dos domicílios com rede coletora de esgoto (IBGE, 2014).

Com relação ao esgotamento sanitário, a comparação entre a zona rural e a zona urbana é ainda mais crítica. Enquanto que na zona urbana temos 65,5% de domicílios atendidos com rede de esgoto, esse valor é de apenas 5,2% para a zona rural (FUNASA, 2014). O quadro 1.10 apresenta um resumo dessa situação, sistematizada na figura 1.3.

QUADRO 1.10- Situação do sistema de esgotamento sanitário no Brasil, com base nos dados da PNAD de 2013 (Fonte: BRASIL, FUNASA, 2014).

Área	Total de domicílios	Esgotamento sanitário (% de domicílios)						Sem solução
		Rede coletora	Fossa séptica		Fossa rudimentar	Outro	Total	
			Ligada à rede coletora	Não ligada à rede coletora				
Urbana	54.020.165	65,5%	6,7%	12,8%	11,9%	2,3%	99,2%	0,8%
Rural	8.828.948	5,2%	2,7%	25,6%	45,3%	7,7%	86,4%	13,6%
Total	62.849.113	57,1%	6,1%	14,6%	16,6%	3,1%	97,4%	2,6%

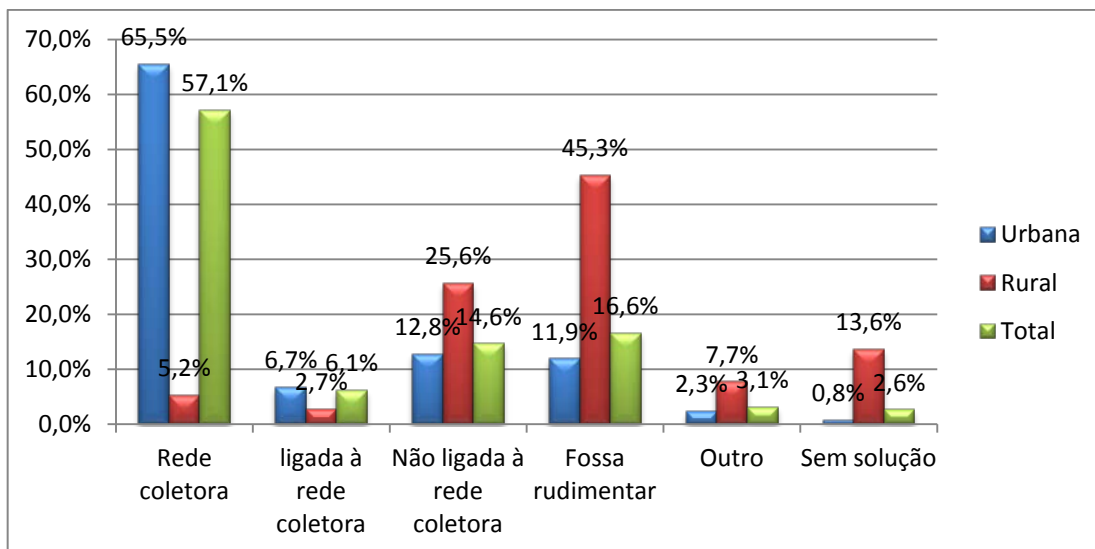


FIGURA 1.3 – Comparação entre situações de esgotamento sanitário no Brasil, com base nos dados da PNAD de 2013 (Fonte: BRASIL, FUNASA, 2014).

Em se tratando em áreas rurais, 45,3% dos domicílios fazem uso de fossa rudimentar e 13,6% dos domicílios não possuem alguma solução para esgotamento sanitário, o que pode submeter essa população a uma situação de risco.

Em 2007 foi implementado pelo governo federal a lei do saneamento (Lei 11.445/2007) que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico no país e para a política federal de saneamento básico, como forma de buscar a universalização do acesso, a sustentabilidade do sistema, segurança, qualidade, transparência nas ações, eficiência, entre outros. Apesar de diversos autores debaterem esta lei, suas diretrizes encontram-se adequadamente estabelecidas, porém demanda uma política de apoio financeiro para investimentos no setor.

Para isso, neste mesmo ano o governo federal criou o PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) cuja uma das metas era aumentar a cobertura dos serviços de saneamento no Brasil, com investimentos da ordem de 4 bilhões de reais no setor de saneamento, de forma a buscar a universalização do acesso, que durou de 2007 a 2010.

Como resultado do PAC 1 para ações de saneamento obteve-se 11% de obras concluídas, 31% das obras em andamento e 58% das obras permaneciam em fase de licitação. Em 2011 a 2014 o governo federal criou o PAC 2 e resultou em 62% das obras em execução, porém 58% dos projetos de esgoto estão em situação inadequada em relação ao

cronograma, 3% das obras estão paralisadas, 22% atrasadas e 13% não foram iniciadas (BRASIL, 2015).

Os estudos sobre tratamento de efluentes sanitários existentes enfatizam a construção de estações de tratamento de esgoto que recolhem todo efluente da cidade, enviando-o a um determinado local para realização do tratamento. A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) apresenta algumas literaturas técnicas relativas a esse assunto em sua revista eletrônica chamada Revista Engenharia Sanitária e Ambiental e em livros que comercializa. Jordão e Pessoa (2011) e Von Sperling (2005) apresentam as técnicas de tratamento de efluentes sanitários em estações de tratamento de esgoto e unidades descentralizadas para tratamento e Sarti et al. (2006) propõe uma outra forma de tratamento por meio do uso de reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais.

Andrade Neto (1997) traz em seu trabalho os sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais mais utilizados no Brasil, como os tanques sépticos e filtros anaeróbios, reatores anaeróbios de fluxo ascendente através do leito de lodo, lagoas de estabilização e disposição controlada no solo. Já Santaella et al. (2007) apresenta a disposição controlada no solo como alternativa de tratamento de efluentes sanitários residenciais para pequenas comunidades, como em ambiente rural.

A solução utilizada pela maioria das habitações brasileiras é a construção de privadas com veiculação hídrica, ligadas a um sistema público de esgotamento sanitário. Porém esta solução não é aplicável no meio rural e em algumas comunidades urbanas e suburbanas, principalmente por razões econômicas. Para isso, faz-se o uso de soluções individuais (BRASIL, FUNASA, 2006).

São necessários estudos de soluções alternativas para tratamento de efluentes sanitários residenciais, que diferem do sistema tradicional adotado, que utilizem materiais locais e renováveis, busquem soluções para a água efluente e para o lodo, de modo a zerar ciclos, garantir maior salubridade às pessoas, conhecimento quanto às técnicas de tratamento, de forma a se obter a sustentabilidade ambiental, econômica, social, política e cultural do sistema.

O destino adequado dos dejetos humanos visa evitar a poluição da água e do solo, o contato de vetores com as fezes, proporcionar hábitos de higiene na população, promover conforto e atender ao senso estético. Como consequência, tem o aumento da qualidade de vida do homem, redução da incidência de doenças, redução de custos do tratamento de água para abastecimento, controle da poluição e preservação de fauna e flora (BRASIL, FUNASA, 2006).

Soluções consideradas mais sustentáveis para tratamento de efluentes sanitários residenciais não devem abordar apenas os materiais utilizados na construção do sistema e no tratamento do efluente sanitário. Devem tratar também das diferentes formas de reuso da água efluente, do lodo formado, do composto sólido formado em sistemas de tratamento que utilizam banheiros secos, de forma a impedir que estes resíduos cheguem diretamente nos corpos d'água, além de gerar emprego e renda pela comercialização de produtos irrigados e adubados com os resíduos gerados ou pela disseminação da tecnologia.

Kvanström et al. (2004) afirma que: *“saneamento sustentável é aquele que protege e promove a saúde humana, sem contribuir com a degradação ambiental ou redução dos recursos naturais, é tecnicamente apropriada, economicamente viável e socialmente aceitável”*. Malisie (2008), lista os seguintes critérios para que um sistema de saneamento seja sustentável: ele deve prevenir doenças (deve destruir ou isolar patógenos), ser acessível a todas as pessoas, proteger o meio ambiente (deve prevenir a poluição, retornar os nutrientes ao solo e conservar os recursos hídricos), aceitável esteticamente e compatível com valores culturais e sociais, simples (deve ser gerenciado com limitações de capacidade técnica local, institucional ou econômica).

A maioria dos processos de tratamento e disposição local de esgoto faz uso de microrganismos aeróbios (utilizam oxigênio para a decomposição da matéria orgânica) ou anaeróbios (realizam a mesma atividade na ausência de oxigênio), plantas que absorvem matéria inorgânica, para produção de frutos, solo local (capacidade de filtragem), entre outros. São utilizados meios naturais para degradação da matéria, de modo a tratar o efluente e possibilitar o retorno ao meio ambiente ou para reuso em atividades como adubação e irrigação, reaproveitando-o. Para auxiliar na compreensão sobre sistemas esgotamento sanitário, o próximo apresenta um resumo sobre o tema.

1.7.1 Sistemas Esgotamento Sanitário: tipologia e classificação

O esgoto é a consequência do uso da água. A partir do momento em que se agrega à água potável impurezas, ela torna-se esgoto e o sistema de coleta de esgotamento sanitário tem a função de retirar a água do local que foi utilizada e transportá-la até seu destino final (tratamento ou disposição final).

O esgoto sanitário contém, aproximadamente, 99,9% de água. O restante, 0,1%, é a fração que inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, sendo que destes 70% são sólidos orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras) e 30% inorgânicos (areia, sais e metais). O esgoto sanitário é formado por esgoto doméstico (proveniente de residências, do comércio e das repartições públicas), águas de infiltração (penetram na rede coletora de esgoto através de juntas defeituosas das tubulações, paredes de poços de visita, etc.) e despejos industriais (dependem das características indústria). (von SPERLING, 2005).

De acordo com o mesmo autor, há dois sistemas de esgotamento sanitários: 1- sistema individual ou estático, como solução local para poucas residências; 2- sistema coletivo ou dinâmico, como solução de afastamento dos efluentes da área servida (ver von Sperling et al, 1995, 2004)¹⁰. Observar esquema na figura 1.4.



FIGURA 1. 4 – Esquema de sistema de esgotamento estático e dinâmico (Fonte: von SPERLING, 2005, p.53).

¹⁰ VON SPERLING, M., COSTA, A.M.L.M., CASTRO, A.A. (1995). Capítulo 5: Esgotos sanitários. In: BARROS, R.T.V. et al (eds). **Manual de saneamento e proteção ambiental para apoio aos municípios (Volume 2)**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA-UFMG/Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM.

O mesmo autor também apresenta um diagrama (ver Figura 1.5) para ilustrar as principais variantes do sistema de esgotamento sanitário:

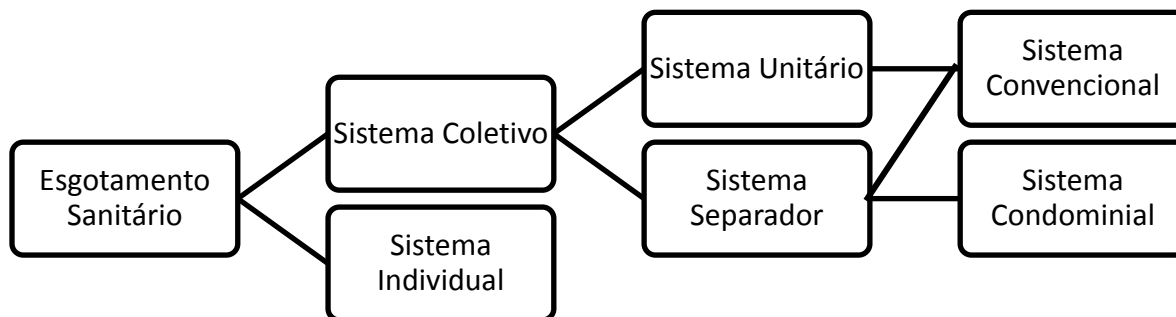


FIGURA 1.5 – Diagrama de subdivisão do sistema de esgotamento sanitário (Fonte: adaptado de von SPERLING, 2005, p.54).

O sistema convencional é utilizado na maioria dos municípios, tendo como característica as redes coletoras estarem situadas nas vias públicas, recebendo as contribuições de esgoto das habitações. É constituído por: ramal predial, coletor, coletor tronco, dispositivos e acessórios (tubos de inspeção, poços de visita, etc.), interceptor, emissário; estação elevatória; estação de tratamento de esgotos (ETE); disposição final.

Após a coleta do efluente é preciso definir o destino do esgoto: tratamento ou disposição final. Em se tratando de sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais, deve-se escolher por uma alternativa adequada ao contexto local e social, que corresponda às necessidades dos usuários.

A UNEP¹¹, citado por Oliveira (2004), apresenta um fluxograma do processo de escolha de sistema de tratamento de esgoto doméstico a ser utilizado. Esse fluxograma é apresentado na Figura 1.6.

¹¹ UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM. **Appropriate Technology for Sewage Pollution control in the Wider Caribbean Region**. Disponível em: <<http://www.cep.unep.org/pubs/techreports/tr40en/index.html>>. Acesso em: 17 abr. 2003.

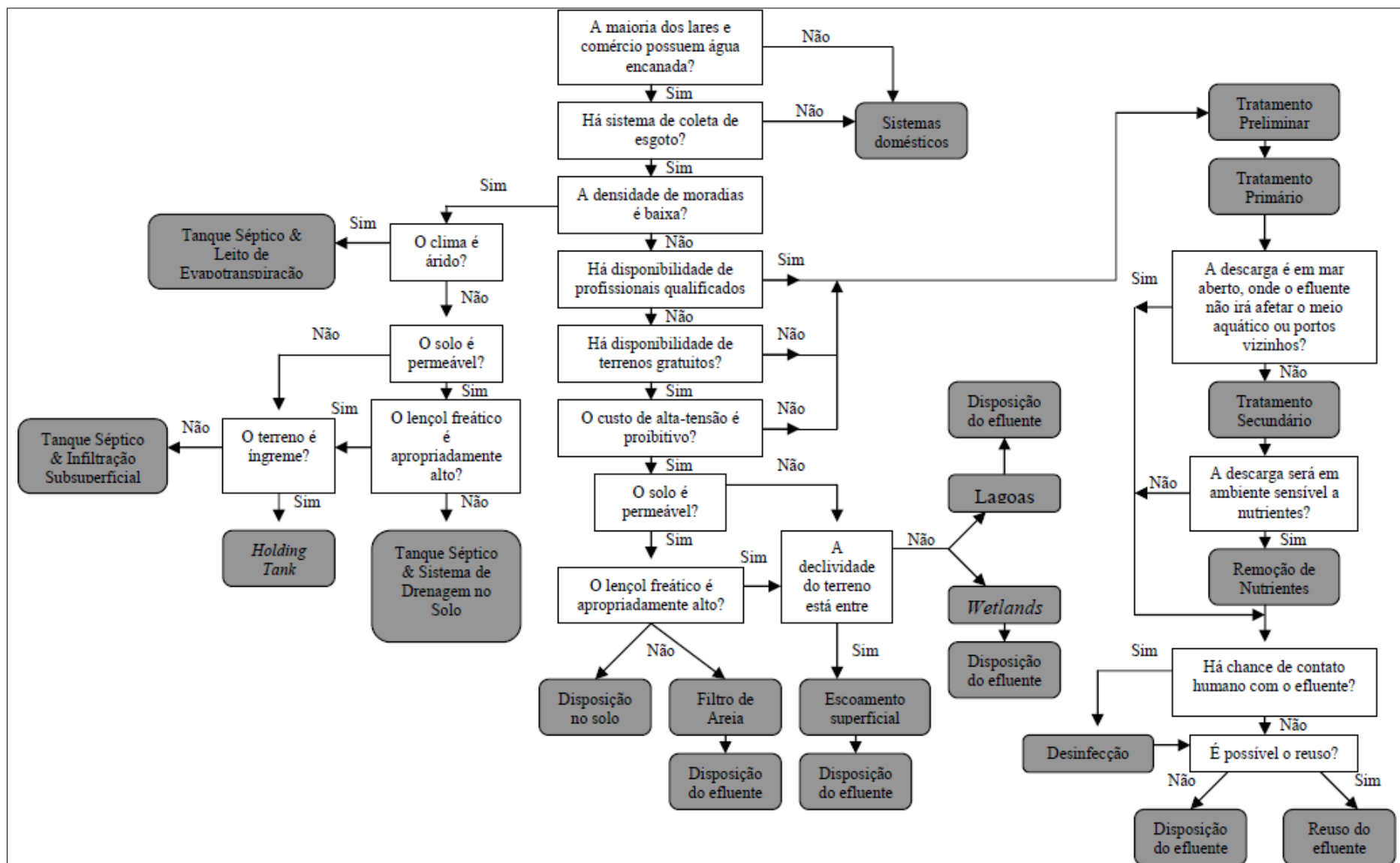


FIGURA 1. 6 – Fluxograma do processo de escolha de sistema de tratamento de esgoto doméstico pela UNEP (Fonte: OLIVEIRA, 2004).

O presente estudo aborda os sistemas individuais (ou locais) de tratamento de efluentes sanitários residenciais, que é constituído por: ramal predial, coletor, dispositivos e acessórios (quando necessário), estação de tratamento de esgotos (ETE) e disposição final. Em algumas situações, de pequenas comunidades, podem ser utilizados também os sistemas coletivos com pequenas unidades de tratamento de esgoto. O exemplo de ambas situações é apresentado na Figura 1.7 e 1.8.

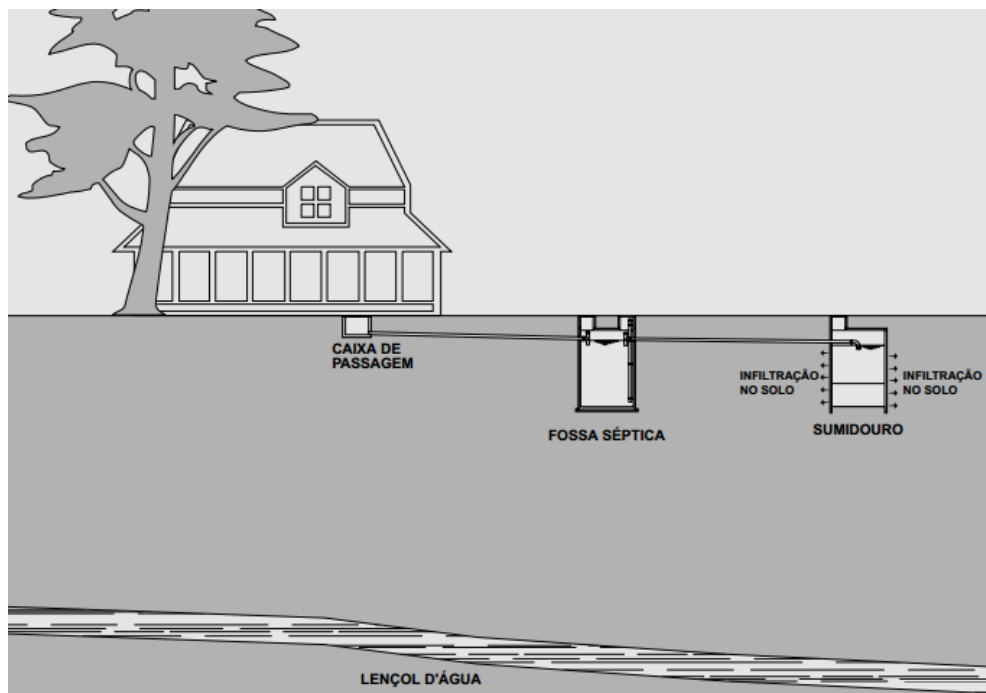


FIGURA 1.7 – Exemplo de situação individual, com uso de fossa séptica, para coleta, transporte e tratamento de efluentes sanitários (Fonte: UFMG, 2014).

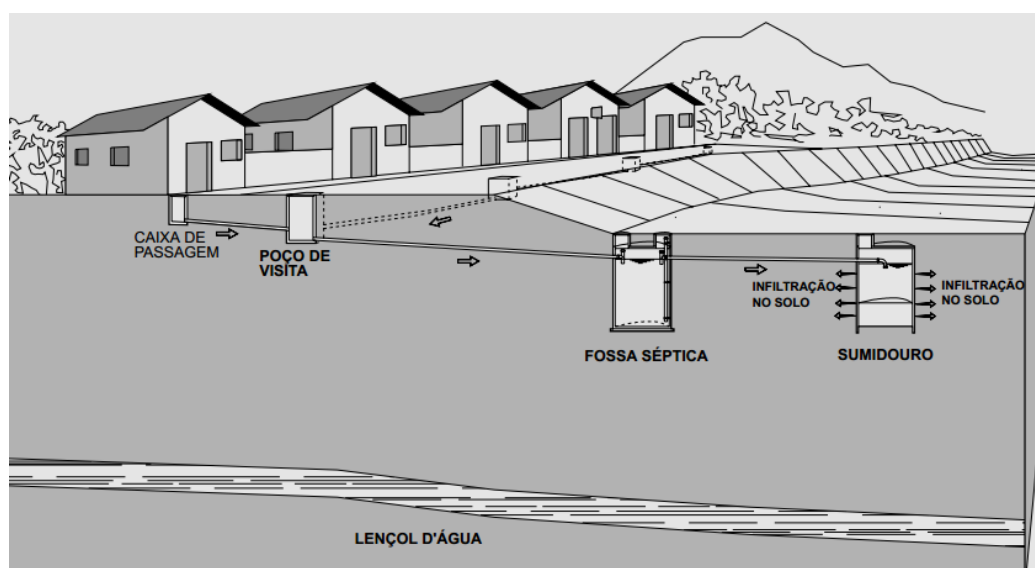


FIGURA 1.8 – Exemplo de situação coletiva, com uso de fossa séptica, para coleta, transporte e tratamento de efluentes sanitários (Fonte: UFMG, 2014).

Para projetar sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais é preciso considerar as características presentes na água efluente. Os parâmetros que definem a qualidade do esgoto são: parâmetros físicos, químicos e biológicos, conforme apresentados no Quadro 1.11.

QUADRO 1.11- Características do esgoto: parâmetros físicos, químicos e biológicos (Fonte: adaptado de von Sperling, 2005, e Jordão e Pessoa, 2011).

Características	Parâmetro	Descrição
Físicas	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • A temperatura dos esgotos tende a ser ligeiramente superior à das águas de abastecimento; • Varia de acordo com as estações do ano; • Influência na atividade microbiana; • Influência na solubilidade dos gases; • Influência na velocidade das reações químicas; • Influência na viscosidade do líquido.
	Cor	<ul style="list-style-type: none"> • Cor acinzentada: esgoto fresco; • Cor cinza escuro ou preto: esgoto séptico.
	Odor	<ul style="list-style-type: none"> • Esgoto fresco: odor oleoso, relativamente desagradável; • Esgoto séptico: odor fétido (desagradável), pela presença do ácido sulfídrico e produtos em decomposição.
	Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> • Causada pela variedade dos sólidos em suspensão; • Esgotos mais fresco e concentrado possuem maior turbidez.
Químicas	Matéria Orgânica	<ul style="list-style-type: none"> • Cerca de 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica, com uma combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio; constituindo grupos de proteínas (40 a 60%); carboidratos (25 a 50%); gordura e óleos (10%); ureia, fenóis, pesticidas, dentre outros.
	Matéria Inorgânica	<ul style="list-style-type: none"> • A matéria inorgânica contida nos esgotos é formada, principalmente, pela presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas. A areia é proveniente de águas de lavagens de ruas e de águas do subsolo, que chegam às galerias de modo indevido ou se infiltram através das juntas das canalizações.
Biológicas	Organismos	<ul style="list-style-type: none"> • Os principais organismos encontrados nos esgotos são as bactérias, os fungos, os protozoários, os vírus, as algas e os grupos de plantas e de animais. As bactérias são responsáveis pela decomposição e estabilização de matéria orgânica tanto na natureza como nas unidades de tratamento biológico. Os organismos do grupo coliforme são usados como indicadores de poluição de origem humana, por serem bactérias típicas do intestino do homem e também de outros animais de sangue quente.

Para o dimensionamento do sistema de coleta e transporte do esgoto sanitário, o aspecto mais importante a ser considerado é o quantitativo, e para o dimensionamento do sistema de tratamento é o aspecto qualitativo, cuja escolha dependerá das características locais, relacionadas às condições físicas, econômicas, ecológicas, sociais e culturais de cada comunidade. O próximo item apresenta aspectos gerais dos sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais.

1.7.2 Sistemas de Tratamento de Efluentes Sanitários: concepções e alternativas

A importância da realização do tratamento dos efluentes sanitários está relacionada aos problemas de saúde pública, devido ao lançamento inadequado de esgoto e aos impactos ambientais como a poluição de solo e das águas. O objetivo do tratamento de esgotos é alterar características físicas, químicas e biológicas, removendo principalmente os patogênicos.

De acordo com von Sperling (2005), temos os seguintes níveis de tratamento para efluentes sanitários residenciais:

- 1. Tratamento preliminar:** remoção de sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia).
- 2. Tratamento primário:** remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis, DBO¹² em suspensão (associada à matéria orgânica presente nos sólidos em suspensão sedimentáveis).
- 3. Tratamento secundário:** remoção de DBO em suspensão (caso não haja tratamento primário: DBO associada à matéria orgânica em suspensão, presente no esgoto bruto), BDO em suspensão finamente particulada (caso haja tratamento primário: DBO associada à matéria orgânica em suspensão não sedimentável e não removida no tratamento primário), DBO solúvel (associada à matéria-prima orgânica na forma de sólidos dissolvidos, presentes em esgotos brutos e efluentes do tratamento primário, não dissolvidos ou removidos por sedimentação).
- 4. Tratamento terciário:** remoção de nutrientes, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos, sólidos em suspensão remanescente.

Dados da CETESB (1988) apresentam alguns parâmetros de qualidade de efluente, segundo o nível de tratamento a ele aplicado. No Quadro 1.12 pode-se verificar a essa informação.

¹² DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio - corresponde à quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica no meio aquático por processos biológicos.

QUADRO 1.12- Parâmetros de qualidade em diferentes níveis de tratamento de efluentes (*Fonte: CETESB, 1988*).

Nível do Tratamento	Matéria Orgânica (% de remoção DBO)	Sólidos em Suspensão (% de remoção de SS)	Nutrientes (% de remoção de nutrientes)	Bactérias (% de remoção)
Preliminar	5-10	5-20	Não remove	10-20
Primário	25-60	40-70	Não remove	25-75
Secundário	80-95	60-95	Pode remover	70-99
Terciário	40-99	80-99	Até 99	Até 99,99

O tratamento preliminar é constituído apenas por processos físicos. Nesta etapa, é realizada a remoção dos materiais em suspensão, por meio de grelhas e de crivos grossos (gradeamento). Após o sistema de gradeamento, as areias são separadas da água pela utilização de canais de areia (desarenação). Esta fase produz elevada quantidade de sólidos, que devem ser dispostos adequadamente (CAMPOS, 1999).

O tratamento primário é constituído por processos físico-químicos. Nesta etapa procede-se a equalização e neutralização da carga do efluente a partir de um tanque de equalização e adição de produtos químicos. Depois, ocorre a separação de partículas líquidas ou sólidas através de processos de floculação e sedimentação, utilizando floculadores e decantador (sedimentador) primário (CAMPOS, 1999).

No tratamento secundário ocorre a remoção da matéria orgânica, por meio de reações bioquímicas, ou seja, destina-se à degradação biológica dos compostos carbonáceos. Os processos podem ser aeróbicos (em presença de oxigênio, por insuflação de ar ou aeração mecânica) ou anaeróbico (em ausência de oxigênio) (CAMPOS, 1999).

Von Sperling (2005), apresenta uma lista sucinta dos principais sistemas de tratamento de efluentes sanitários, em nível secundário:

- 1. Sistema de lagoas de estabilização:** lagoa facultativa, lagoa anaeróbia – lagoa facultativa, lagoa aerada facultativa, lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação.
- 2. Sistema de disposição no solo:** infiltração lenta, infiltração rápida, infiltração subsuperficial, infiltração superficial.
- 3. Sistemas de terras úmidas construídas:** fluxo superficial, fluxo subsuperficial.

4. **Sistemas anaeróbios:** reator anaeróbio de manta de lodo, sistema fossa séptica – filtro anaeróbio.
5. **Sistemas lodos ativados:** lodos ativados convencional (fluxo contínuo), lodos ativados – aeração prolongada (fluxo contínuo), lodos ativados – fluxo intermitente.
6. **Reatores aeróbio com biofilmes:** filtro biológico de baixa carga, filtro biológico de alta carga, biofiltro aerado submerso, biodisco.
7. **Reator UASB¹³ e pós-tratamento:** UASB seguido por lagoas de polimento, UASB seguido por disposição controlada no solo, UASB seguido por reator aeróbio de biomassa suspensa, UASB seguido por reator aeróbio com biofilme, UASB seguido por reator anaeróbio, UASB seguido por tratamento físico-químico.

O tratamento terciário é empregado com a finalidade de se conseguir remoções adicionais de poluentes em águas residuárias, antes de sua descarga no corpo receptor e/ ou para recirculação em sistema fechado. Seu objetivo em esgotos sanitários é a redução das concentrações de nitrogênio e fósforo, fundamentado em processos biológicos realizados em fases subsequentes, denominadas nitrificação e desnitrificação (CAMPOS, 1999).

O presente estudo aborda sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários em sistemas individuais. Uma vez que os volumes de efluentes para tratamento são menores, os sistemas de tratamento tornam-se mais simplificados e os impactos de poluição no solo e na água são minimizados. Frequentemente esses sistemas alcançam até a fase de tratamento secundário.

Um primeiro sistema de tratamento local de efluentes sanitários residenciais que podemos citar é o sistema fossa séptica ou tanque séptico. De acordo com Andrade Neto (1997), o tanque séptico foi descoberto em 1872, na França, quando Jean Louis Mouras percebeu que o volume de sólidos acumulados durante 12 anos em um tanque de alvenaria, que ele havia idealizado e construído, para receber os esgotos da cozinha, antes de dispô-los em um sumidouro, era muito menor do que ele imaginava. A denominação de tanque

¹³ UASB significa *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*, ou Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente em Manto de Lodo, denominada no Brasil de RAFA - Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente.

séptico derivou da palavra em latim *sepsis*, que significa decomposição, putrefação, fenômeno em que intervém a atividade microbiológica.

Com a colaboração de Abade Moigne, Mouras realizou uma série de experiências até 1881, quando o invento foi patenteado como “Fossa Mouras”. Os estudos foram avançando e, em 1896, Donald Cameron patenteou o “Tanque Séptico”, na Grã Bretanha. Em 1903, o inglês W. O. Travis concebeu o “Tanque Hidrolítico” (tanque séptico com subdivisão interna). Karl Imhoff, em 1905, idealizou o “Tanque Imhoff” (tanque séptico com câmaras sobrepostas) (CAMPOS, 1999).

No Brasil, o primeiro uso de um decanto-digestor (tanque séptico) foi no município de Campinas-SP, construído em 1892, porém a difusão desse sistema começou a partir de 1930. Desde 1963 a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) iniciou a orientação da construção de decanto-digestores por meio de normas técnicas (CAMPOS, 1999 e ABNT NBR 13969, 1997). O funcionamento de um tanque séptico foi descrito, desta forma, por Chernicharo (1997):

- Os sólidos sedimentáveis presentes no esgoto afluente vão ao fundo do tanque, passando a constituir uma camada de lodo;
- Os óleos e graxas e outros materiais mais leves presentes no esgoto afluente flutuam até a superfície do tanque, vindo a formar uma camada de espuma;
- O esgoto, livre dos materiais sedimentáveis e flutuantes, flui entre as camadas de lodo e de espuma, deixando o tanque séptico em sua extremidade oposta, de onde é encaminhado a uma unidade de pós-tratamento ou de disposição final;
- O material orgânico retido no fundo do tanque sofre uma decomposição facultativa e anaeróbia, sendo convertido em compostos mais estáveis, como CO₂ (gás carbônico), CH₄ (metano) e H₂S (sulfeto). Embora o H₂S seja produzido nos tanques sépticos, problemas de odor não são usualmente observados, uma vez que este se combina com metais acumulados no lodo, vindo a formar sulfetos metálicos insolúveis;
- A decomposição anaeróbia proporciona uma redução contínua do volume de lodo depositado no fundo do tanque, mas há sempre uma acumulação ao longo dos

meses de operação do tanque séptico. Como consequência, a acumulação de lodo e de espuma leva a uma redução do volume útil do tanque, demandando a remoção periódica desses materiais.

Como disposição final do efluente podemos ter a infiltração no solo, por meio de sumidouros ou vala de infiltração. Porém, caso seja necessário um tratamento complementar, pode-se utilizar um sistema fossa-filtro. O filtro anaeróbio é constituído por um meio suporte com microrganismos. É de grande utilidade em projetos que requerem um melhor grau de tratamento que o simples uso de tanque séptico seguido de infiltração no solo (FUNASA, 2004).

O filtro anaeróbio é caracterizado por um tanque preenchido por um material filtrante, geralmente pedra britada. Os microrganismos aderidos às paredes deste material filtrante formam o biofilme que, ao receberem os despejos contendo matéria orgânica, iniciam o processo de digestão anaeróbia. Para tal, agem as bactérias anaeróbias (FUNASA, 2004).

Assim como no filtro anaeróbio, o filtro aeróbio possui material filtrante e há formação de biofilme. A matéria orgânica presente no tanque é degradada pelas bactérias presentes no biofilme. Entretanto, difere do filtro anaeróbio no que se refere à presença de oxigênio no interior do tanque. Por conseguinte, as reações que ocorrem em ambiente aeróbio são diferentes. Além de promover nitrificação, o filtro aeróbio atua removendo DBO (FUNASA, 2004).

Nos sistemas de disposição local de esgotos, são usualmente aplicados: a fossa absorvente, ou poço absorvente; a fossa estanque; a fossa química; e o tanque séptico, com disposição do efluente geralmente no solo, através de sumidouros ou valas de infiltração, ou em corpos d'água após um tratamento complementar. O quadro 1.13 descreve as principais características de alguns desses sistemas de tratamento e disposição de excretas e esgoto.

QUADRO 1.13- Alternativas para tratamento e disposição de esgoto e excretas (Fonte: ANDREOLI, 2009, p.26).

TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE EXCRETAS	
Fossa seca de buraco Simples	Constituída por um buraco no solo e elementos acessórios, sendo que ao atingir um determinado nível estabelecido (de 0,50 a 1,0 metros abaixo da superfície do terreno), o espaço livre é preenchido por terra e a fossa é desativada.
Fossa seca de buraco Ventilada	É um tipo otimizado de fossa seca pela introdução de um tubo de ventilação vertical externo, com tela na extremidade, localizado até 50 cm acima do telhado. Esta tubulação de ventilação possibilita um controle melhor do odor e da presença de insetos.
Fossa seca tubular	Variante da fossa seca, porém com um buraco menor (cerca de 0,40 cm de diâmetro).
Fossa estanque	É um tanque impermeável onde são dispostas as excretas até sua remoção
Fossas de fermentação/ Privada de compostagem contínua	Instalação onde usuário deposita os excretas que, em condições ambientais adequadas, propiciam a compostagem dos dejetos.
Fossas de fermentação/ Privada de compostagem intermitente	O processo utilizado é o mesmo que na fermentação contínua, porém realizado em lotes.
Fossa química	É uma fossa estanque onde é adicionado um produto químico para desinfecção dos dejetos.
Privada com receptáculo móvel	Consiste em um recipiente metálico, colocado sob o assento, para receber dejetos que são retirados e esvaziados temporariamente.
TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE ESGOTO	
Fossa absorvente/Poço absorvente	É uma escavação semelhante a um poço, onde são dispostos os esgotos, podendo ou não ter paredes de sustentação. Permitem a infiltração do efluente no solo.
Fossa estanque	Tanque impermeável que acumula esgoto até sua frequente remoção.
Fossa química	É uma fossa estanque na qual se adiciona um produto químico para desinfecção dos dejetos.
Tanque séptico	Unidades hermeticamente fechadas que tratam o esgoto por processos de sedimentação, flotação e digestão. Produzem um efluente que deverá ser destinado.

Outros sistemas para tratamento local de efluentes sanitários serão apresentados nos próximos capítulos. Uma discussão recente, para garantir maior sustentabilidade aos sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais é a possibilidade de separação das águas residuárias. As águas segregadas resultam em estações de tratamento menores, operando de forma mais estável e produzindo menos subprodutos. Essa separação reduz o volume de efluente a ser tratado e otimiza o tratamento. O próximo item apresenta alguns aspectos sobre separação de águas residuárias.

1.7.3 Sistemas Esgotamento Sanitário: a proposição da separação das águas servidas para tratamento de efluentes sanitários e sistema de banheiro seco

Como abordado, a separação das águas beneficia a sustentabilidade pela redução do volume de água a ser tratado e otimizar as unidades de tratamento de efluentes para as características específicas dos esgotos a serem tratados. Na literatura encontram-se

que as águas efluentes podem ser subdivididas em águas azuis, águas cinzas, águas negras e águas amarelas. As águas azuis são provenientes das águas de chuvas.

Segundo Gonçalves (2006), podemos classificar as águas residuárias em:

- **Águas negras:** água residuária proveniente dos vasos sanitários, contendo fezes, urina e papel higiênico ou proveniente de dispositivos separadores de fezes e urina, tendo em sua composição grandes quantidades de matéria fecal e papel higiênico.
- **Águas cinzas:** águas servidas provenientes dos diversos pontos de consumo de água na edificação (lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquina de lavar roupa e tanque), excetuando-se água residuária proveniente dos vasos sanitários. Alguns autores como Nolde (1999)¹⁴ e Christova-Boal et al (1996)¹⁵ não consideram como água cinza, mas sim como água negra, a água residuária de cozinhas, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e de óleos e gorduras nelas presentes.
- **Águas amarelas:** apenas urina. Podem ser geradas em mictórios ou em vasos sanitários com compartimentos separados para coleta de fezes e de urina. As águas amarelas podem ser recuperadas sem tratamento, sendo utilizadas como importante fonte de nitrogênio na agricultura.
- **Águas marrons:** apenas fezes. Podem ser geradas em vasos sanitários com compartimentos separados para coleta de fezes e de urina.

As águas cinzas ainda podem ser divididas em duas categorias: águas cinzas claras e escuras. As águas cinzas claras são as águas provenientes do chuveiro, lavatório e máquina de lavar roupas. As águas cinzas escuras são águas provenientes da pia da cozinha e máquina de lavar pratos (HENZE e LEDIN, 2001).

¹⁴ NOLDE, E.; **Greywater reuse systems for toilet flushing in multistory buildings** - over ten years experience in Berlin. Urban Water, n.1, 1999, p.275-284.

¹⁵ CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MCFARLANE, S.; **An investigation into greywater reuse for urban residential properties**. Desalination. n.106, 1996, p.391-397.

Há vasos sanitários industrializados que realizam a separação das águas em águas marrons (fezes) e águas amarelas (urina). Os modelos separadores consistem em um assento ou vaso especial que ajuda a separar as fezes da urina, que é dirigida a coletor separado. A urina, separadamente pode ser diluída e usada como fertilizante ou enviada para um poço de absorção diretamente no solo. Na Suécia, a urina tem sido utilizada para a cicatrização de feridas e para fabricação de cosméticos (CASTILHO, 2002). A figura 1.9 apresenta um exemplo de vaso sanitário com separador de urina.



FIGURA 1. 9 – Vaso sanitário industrializado com separador de urina. (Fonte: *Water Rhapsody*, 2010).

De acordo com Johansson (2001), a urina é composta pela maior parte dos nutrientes do esgoto sanitários, com, aproximadamente, 85% de nitrogênio, 55% de fósforo, 60% de potássio. As águas marrons (fezes) representam 7% de nitrogênio, 25% de fósforo, 23% de potássio. As águas cinzas representam 8% de nitrogênio, 40% de fósforo, 17% de potássio.

Gonçalvez (2006), apresenta um esquema de formas diversificadas de gerenciamento de água nas edificações, possibilitando sua gestão sustentável, conforme se observa na figura 1.10.

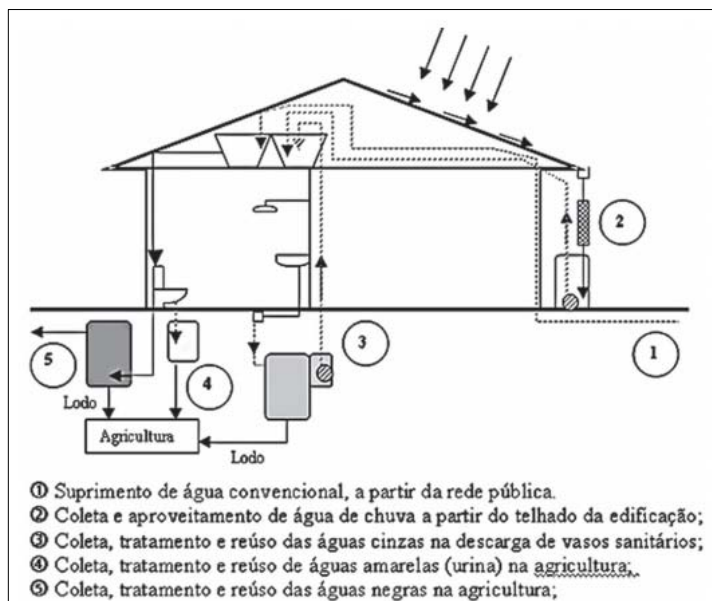


FIGURA 1. 10 – Exemplo esquema de um sistema alternativo de gerenciamento de águas em uma edificação (Fonte: GONÇALVES, 2006, p.40).

É importante observar nesse esquema a separação das águas e a sua reutilização em atividades que não necessita de usos potáveis, em busca de uma maior sustentabilidade aos sistemas de tratamento. Para dimensionar as unidades de tratamento de efluentes sanitários residenciais é preciso considerar a quantidade de efluente gerado em uma edificação. De acordo com o estudo de May (2008), temos as seguintes estimativas de consumo residencial de água potável para o Brasil, apresentado no quadro 1.14.

QUADRO 1.14- Estimativa de consumo de água potável nas edificações para o Brasil (Fonte: MAY, 2008, p.16).

Consumo residencial de água potável	Porcentagem de consumo		
	Pesquisa realizada pela USP ¹⁶	Pesquisa realizada pelo IPT / PNCDA ¹⁷	Pesquisa realizada pela DECA ¹⁸
Vaso Sanitário	29%	5%	14%
Chuveiros	28%	54%	46,7%
Lavatório	6%	7%	11,7%
Pia de cozinha	17%	17%	14,6%
Tanque	6%	10%	4,9%
Máquina de lavar roupas	5%	4%	8,1%
Máquina de lavar louças	9%	3%	-
TOTAL	100%	100%	100%

¹⁶ UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. **Programa de Uso Racional da Água** – PURA. 1999. Disponível em: <<http://www.pura.poli.usp.br/main.html>>. Acesso em: 22 out. 2002.

¹⁷ Instituto de Pesquisas tecnológicas – IPT / PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA – PNCDA. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/pncda/Dtas/Arq/DTA_E1.pdf. Acesso em: 16 out. 2007

¹⁸ DECA. **Uso Racional de Água**. Disponível em: <http://www.deca.com.br/vitrine/agua/manutencao.html>>. Acesso em: 14 out. 2005.

Também há alternativas para tratamento local de efluentes sanitários residenciais que não fazem uso de água como meio de transporte dos dejetos, que são conhecidas como banheiro seco. Essa alternativa faz também a separação das águas, em cinzas e negras. De acordo com Lengen (2008), o banheiro seco é um sistema de saneamento ecológico que possui como premissa a utilização de tecnologias que permitam a coleta das excretas humanas com vistas ao seu reuso, seja na forma de águas negras ou fezes e urina, esta última com ou sem diluição.

Um dos principais benefícios da utilização desta tecnologia é a solução de problemas dos sistemas hídricos sanitários, como a contaminação e desperdício de água, e a transformação dos dejetos em adubo orgânico e húmus. Essa tecnologia funciona sem a necessidade de água e não é ligada à rede de esgoto. No banheiro seco os dejetos vão para uma câmara onde a matéria orgânica passa por um processo de compostagem e se decompõe e o produto final é utilizado como adubo, em diversos cultivos, exceto hortaliças, que há contato direto com o alimento final. Consequentemente, os resíduos são utilizados como nutrientes e não há uso de água para diluir nem transportar as fezes, assim não contaminando o subsolo e nem os cursos d'água (TEIXEIRA e MOTTA, 2008).

A Figura 1.11 apresenta um exemplo do banheiro seco, com todos os detalhes de instalação para seu correto funcionamento.

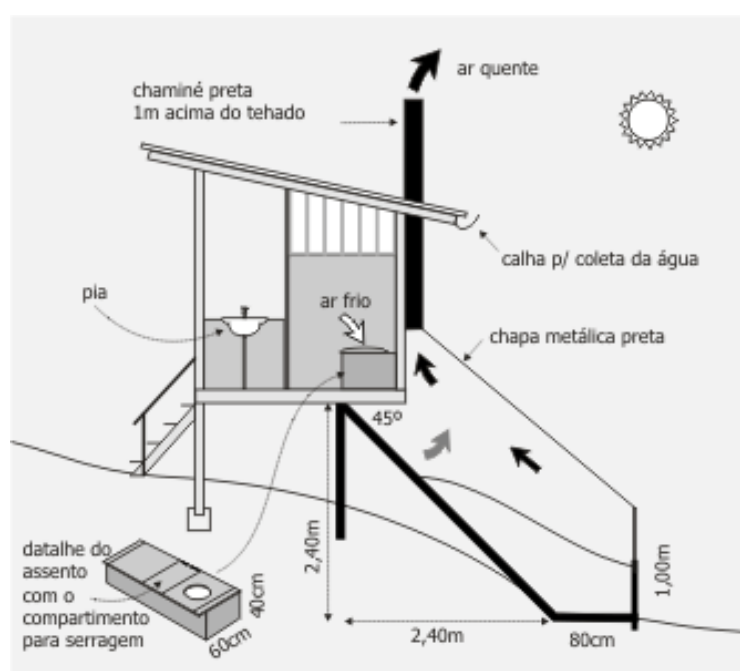


FIGURA 1. 11 – Exemplo de banheiro seco (Fonte: SETELOMBAS, 2006).

As considerações dimensionais são importantes para que o sistema funcione adequadamente. É preciso ação do sol e inclinação suficiente para permitir a circulação do ar. Segundo Kiehl (1985), a compostagem é: *“um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas (composto), com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. O composto, acima de tudo, é um condicionador de solos, classificado pelo fato de sua matéria orgânica umidificada estar em maior proporção e que corresponde a cerca de 40 a 70%”*.

De acordo com Andreoli (2001), a compostagem pode ser definida como: *“uma bioxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável”*. Os fatores mais importantes que influem na degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes e a umidade. O autor apresenta um esquema da Figura 1.12 simplificado do processo de compostagem:

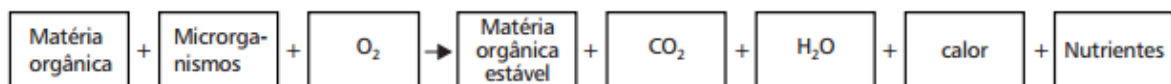


FIGURA 1. 12 –Esquema simplificado do processo de compostagem (Fonte: Andreoli, 2001, p.38).

Húmus é uma substância marrom ou preta, resultado da degradação de material orgânico ou restos vegetais, do processo de compostagem. É um material estável que não atrai insetos nem incomoda animais. Ele pode ser manuseado e armazenado sem riscos, e é benéfico para o crescimento de plantas. Húmus retém umidade e aumenta a capacidade do solo de absorver e conter água. O composto contém nove vezes o seu peso em água (800%), enquanto a areia contém apenas 2%, e a argila 20% (JENKIS, 2005).

As premissas para análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários devem considerar aspectos de reuso da água efluentes, do lodo e compostos formatos. Com base nesse conceito, o próximo item aborda o tema do reuso e a contribuição do saneamento ecológico para a sustentabilidade.

1.7.4 Sistemas Esgotamento Sanitário: reuso de água e lodo efluentes e a contribuição do saneamento ecológico para a sustentabilidade

A busca da sustentabilidade em sistemas de tratamento local de efluentes sanitários demanda a discussão dos aspectos referente ao reuso das águas e lodos dos sistemas. Porém o reuso de efluentes sanitários deve ser realizado com critérios em virtude dos riscos de contaminação que podem ficar expostas as pessoas e animais, além do risco de contaminação de solo e águas.

De acordo com Bastos e Bevilacqua (2006), para buscar sustentabilidade no uso das águas residuárias, várias propostas foram apresentadas desde o início dos anos 1990. As estratégias consideradas incluem: uso do esgoto para agricultura local (urbana), reuso da água e reciclagem de nutrientes; uso dos esgotos como fonte secundária de água; separação das águas cinzas para tratamento e reuso; separação de urina e fezes para utilização de nutrientes.

A questão que se coloca sobre o reuso é a necessidade de criação de uma rede dupla de coleta de efluentes, que deve ser justificado por meio de estudos de viabilidade econômica, principalmente em se tratando de edificações já construídas. Mais vantajoso do ponto de vista econômico e ambiental seria a separação das correntes menos concentradas em termos de microrganismos e nutrientes, as águas cinzas, provenientes de chuveiros, lavatórios e lavagem de roupa, para tratamento e disposição no local para descarga de toaletes, lavagem de pisos, e rega de jardins (BASTOS E BEVILACQUA, 2006).

Há diversas outras atividades em que podem ser empregados o uso de efluentes sanitários como a compostagem, a hidroponia, a irrigação e a piscicultura, desde que devidamente tratado. Esse tipo de reuso apresenta diversas vantagens, como as apresentadas por Bastos et. Al. (2003):

- É uma prática de reciclagem da água e reduz a sua demanda por água;
- É uma prática de reciclagem de nutrientes, com economia no uso de insumos como os fertilizantes;

- Contribui para o aumento da produção de alimento, na recuperação de áreas improdutivas e ampliação de áreas irrigadas;
- Contribui para a preservação do meio ambiente por evitar que os dejetos alcancem os corpos d'água e promove a recuperação de áreas degradadas.

Para auxiliar na compreensão dos tipos de reuso de efluentes sanitários existentes, a Organização Mundial de Saúde (1973), classificou o reuso de água nas seguintes categorias (WHO, 1973):

- **Reuso indireto:** quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante, de forma diluída. Trata-se da forma mais difundida onde a autodepuração do corpo de água é utilizada, muitas vezes sem controle, para degradar os poluentes descartados com o esgoto in natura;
- **Reuso direto:** uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável), com concepção e implantação de tecnologias apropriadas para adequação da qualidade do efluente à estação à qualidade definida pelo uso requerido;
- **Reciclagem interna:** reuso da água internamente em instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição. É constituído por um sistema em ciclo fechado.
- **Reuso potável direto:** ocorre quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. Possui alto custo e risco sanitário, desta forma, seu baixo uso.
- **Reuso potável indireto:** caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e finalmente utilização como água potável.

Entretanto, pouco tem sido discutido sobre projetos mais sustentáveis em sistemas de tratamento de esgoto, muitas vezes pelo desconhecimento do assunto. Em se

tratando de áreas rurais, há um número ainda menor de pesquisas sobre assunto, por isso a importância de se discutir a questão para este meio, sem descartar a possibilidade de aplicação dos resultados também para o ambiente urbano.

No mundo têm surgido diversos estudos sobre alternativas ao sistema de saneamento existente. Um exemplo é o “*ecological sanitation*” que é conhecido como ECOSAN, ou saneamento ecológico, apresentado pela GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH) que incorpora princípios de sustentabilidade em seus estudos, trabalha com o conceito de ciclo de materiais, a integração entre saneamento e agricultura e desenvolveu diversas experiências em diferentes países (GTZ, 2006).

O saneamento ecológico surge como alternativa aos sistemas de saneamento existentes, que causam diversos danos ao meio ambiente e são demandados novos estudos e experiências de tecnologias de saneamento. O conceito se baseia na separação dos efluentes domésticos em um ciclo das águas e um ciclo de nutriente e energia, conforme suas características em termos de volume, teor de nutrientes e contaminação biológica. Para exemplificar, a urina e fezes se relacionam predominantemente com o ciclo dos nutrientes, enquanto que a água cinza e a água de chuva devem ser integradas ao ciclo das águas (COHIM e COHIM, 2007).

Ainda segundo os mesmos autores, o principal aspecto do saneamento ecológico é considerar as excretas como um material a ser reciclado e não como um resíduo a ser descartado. Assim, em lugar de um sistema linear – como o observado nos modelos de saneamento tradicional – é proposto um sistema de ciclo fechado: os excrementos, uma vez desinfetados, podem ser usados com segurança como fertilizantes para a produção de alimentos, assegurando a sustentabilidade do sistema, com busca do equilíbrio dinâmico dos territórios.

Para Starkl e Brunner (2004), o desenvolvimento sustentável deve abranger as questões ambientais, econômicas e sociais e deve se basear na tomada de decisão participativa, democrática, integrada e abrangente. Todavia, a controvérsia emergente sobre a sustentabilidade na gestão das águas pode ser considerada um grande problema, pois os defensores destes novos conceitos enfatizam os benefícios ambientais tais como reciclagem de nutrientes, enquanto seus adversários argumentam que tais conceitos não são

compatíveis com as atitudes das pessoas e dificilmente poderiam ser integrados aos sistemas já existentes.

Resumidamente este conceito incorpora quatro princípios: não utilizar mais material, energia ou outro recurso que o necessário; não usar material de qualidade superior ao estritamente necessário ao processo produtivo; não misturar diferentes correntes de resíduos; avaliar outras funções e usos econômicos de subprodutos antes de seu tratamento e disposição final. É realizada uma abordagem interdisciplinar e intersetorial entre saneamento, agricultura, sociologia, higiene, saúde, urbanismo, economia e promoção da pequena empresa (COHIM e KIPERSOK, 2007).

Ao comparar esse conceito com o de sustentabilidade pode-se considerar que as ações de ecosaneamento tendem a ser mais sustentáveis, pois procura englobar as dimensões ambiental, social, cultural, econômica e política em suas ações, de modo a zerar ciclos dos resíduos, viabilizar a sua utilização, gerar emprego e renda, minimizar o desperdício, com perspectiva do equilíbrio dinâmico, entre outros. Em diversos países do mundo possuem essa concepção. Um exemplo é o livro do Henfil¹⁹, em que um dos tópicos que apresenta relata: *“As privadas são para uso de cócoras. Sem contato com o assento. Mais natural e menos risco de doenças. Evita até prisão de ventre. Fezes e urina humanas são coletadas e tratadas para fertilização de lavouras, afinal passa de um bilhão a população chinesa e não se pode desperdiçar nada”*.

No Brasil, o PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico) tem desenvolvido diversas pesquisas sobre reuso de água efluente de sistemas de tratamento, tratamento e uso de lodo, além de pesquisas sobre disposição controlada de efluentes no solo, que são soluções alternativas para disposição final da água efluente do sistema de tratamento e do lodo, de forma a evitar a contaminação direta dos corpos d'água e promover o reuso em diversas outras atividades como a fertirrigação de pomares, conforme se pode verificar nas publicações de Andreoli (2006 e 2009), Florencio, Bastos e Aisse (2006), Golçalvez (2003) e Bastos (2006).

¹⁹ Henrique de Souza Filho. **Henfil na China (Antes da Coca-Cola)**. Record – Rio de Janeiro. 18ª, ed. 310p. 1987. Traz o resumo da experiência do autor em visita à China no ano de 197, abordando experiências culturais e disparidades com o Brasil.

Porém, a aceitação das pessoas quanto às essas técnicas alternativas de tratamento de efluentes sanitários residenciais ainda é pequena. O uso de uma determinada técnica ou tecnologia desenvolvida visa à satisfação de determinadas necessidades em determinado contexto. Sabe-se que o sistema de tratamento de esgoto em grandes estações de tratamento atende às necessidades das pessoas e por isso elas não buscam por outras soluções alternativas.

Na zona rural esta solução que faz uso de redes coletoras e grandes unidades de tratamento de efluentes não é viável, e adotam-se técnicas conhecidas há vários anos como o uso de fossas negras. É tarefa dos pesquisadores, dos técnicos especialistas mudar esta situação e possibilitar o acesso dessa população a outras técnicas de tratamento de efluentes sanitários, que atendam mais adequadamente as necessidades. Os aspectos culturais de determinada comunidade ajudarão a compreender os motivos da rejeição a tecnologias alternativas.

Porém o reuso de efluentes sanitários deve obedecer a alguns critérios para garantir maior segurança aos usuários. Como abordado, o reuso das do efluente sanitário residencial é uma solução para garantir maior sustentabilidade dos sistemas de tratamento de esgoto. É preciso estabelecer critérios, pois estão presentes diversos contaminantes químicos e biológicos, principalmente agentes patogênicos que podem causar graves doenças às pessoas que entram em contato com os mesmos.

Os efluentes sanitários residenciais podem apresentar diversos agentes contaminantes químicos (ex: resíduos farmacêuticos, anticoncepcionais, etc.) e patógenos. Portanto para o reuso não potável dos efluentes sanitários é preciso cautela e realizar o tratamento do mesmo.

De acordo com Florencio et al. (2006), pode-se categorizar a modalidade de reuso das águas em reuso potável e reuso não potável. Para este último inclui-se o reuso para fins urbanos, reuso para fins agrícolas e florestais, reuso para fins ambientais, reuso para fins industriais, reuso na aquicultura, reuso na recarga artificial de aquíferos. O reuso potável não é recomendado devido à dificuldade de caracterização dos efluentes sanitários.

Bastos e Belivacqua (2006) abordam em seu trabalho as recomendações de tratamento de efluentes para poderem ser reusados de acordo com a OMS (Organização Mundial de Saúde). O Quadro 1.15 apresenta as diretrizes dessa agência:

QUADRO 1.15- Diretrizes da OMS para o uso agrícola de esgotos sanitários. (Fonte: adaptado de Bastos e Belivacqua, 2006).

CATEGORIA	TIPO DE IRRIGAÇÃO E CULTURA	PROCESSO DE TRATAMENTO
A	Culturas a serem consumidas cruas	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente em termos de remoção de patógenos
B	Culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, árvores	Lagoas de estabilização com 8-10 dias de tempo de detenção ou tratamento equivalente em termos de remoção de helmintos ou coliforme termotolerantes.
C	Irrigação localizada de plantas da categoria B na ausência de riscos para agricultores e público em geral.	Pré-tratamento de acordo com o método de irrigação, no mínimo sedimentação primária

Como se pode perceber neste quadro é que a medida que as culturas irrigadas com esgoto destinam a alimentos a serem consumidos crus, a necessidade de um processo mais rigoroso de tratamento de efluentes sanitários é preciso. No caso de irrigações localizadas de plantas, de categoria de sedimentação primária, ou seja, o uso de uma fossa séptica por exemplo, viabiliza o reuso.

A legislação brasileira para reuso das águas residuárias apresenta avanços, verificado na resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Essa resolução é apresentada as seguintes modalidades de reuso: a-) reuso para fins urbanos; b-) reuso para fins agrícolas e florestais; c-) reuso para fins ambientais; d-) reuso para fins industriais; e-) reuso na aquicultura (BRASIL, 2005). Essa resolução autoriza diferentes formas de reuso da água, porém devem ser fiscalizadas no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos-SINGREH, avaliarão os efeitos sobre os corpos hídricos decorrentes do reuso, devem estabelecer instrumentos regulatórios e de incentivo para as diversas modalidades de reuso.

Apesar do reuso do efluente ser uma solução para redução do consumo de água, deve-se considerar que para ser viável é preciso uma operação adequada do sistema de tratamento, manutenção das áreas irrigadas, capacitação das pessoas para este fim e sensibilização dessa importância. Caso a pessoa não tenha interesse no reuso, sua aplicação inadequada pode ocasionar em aumento dos riscos de saúde.

De acordo com o apresentado a reutilização do efluente tende a garantir maior sustentabilidade ambiental, econômica e social aos sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais. As formas e métodos de como se realizar essa atividade ainda demanda estudos e pesquisas. A proposta desse estudo é considerar os principais aspectos de impactam na tomada de decisão na escolha de alternativa para tratamento de efluentes sanitários residenciais, com a busca da sustentabilidade.

As questões que se colocam são: **Quais condições necessárias, dificuldades e os limites para aplicação de sistema de análise da sustentabilidade em sistemas de tratamento de efluentes, considerando processos participativos?** No próximo item são apresentadas uma síntese das questões apresentadas no debate da literatura.

1.8 SÍNTESE DAS QUESTÕES APRESENTADAS NO DEBATE DA LITERATURA

O Capítulo 1 apresentou o debate da literatura técnico e científica sobre os temas relacionados com a pesquisa desenvolvida: sustentabilidade, processos participativos, princípios, dimensões e indicadores de sustentabilidade, dimensões, saneamento ambiental, sistema de tratamento de efluentes sanitários residenciais e análise de sustentabilidade. Foram levantadas as seguintes questões:

1. Como incorporar conceitos e princípios de sustentabilidade em uma análise da sustentabilidade?
2. Como sistematizar e operacionalizar os princípios de sustentabilidade para a avaliação dos sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais?
3. Como analisar a sustentabilidade de um sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais, com base em indicadores de sustentabilidade?
4. Como considerar as dimensões da sustentabilidade e sua relação com indicadores no processo de análise de sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais?

5. Como incrementar a participação popular na busca uma maior sustentabilidade nos processos de tomada de decisão, por meio do acesso às informações e conhecimentos para embasar a discussão de questões de interesse coletivo, para tomar decisões adequadas à realidade em que vivem e que beneficiem a todos?
6. Como integrar sustentabilidade, sistema de tratamento de efluentes sanitários e avaliação de sustentabilidade?
7. Quais condições necessárias, dificuldades e limites para aplicação de sistema de análise da sustentabilidade em sistemas de tratamento de efluentes, considerando processos participativos?

Com base na revisão da literatura e nas questões elencadas, o próximo capítulo apresenta as perguntas de pesquisa, hipóteses, objetivos e estratégias do estudo.

CAPÍTULO 2

PERGUNTAS DE PESQUISA, HIPÓTESES, OBJETIVOS E ESTRATÉGIAS GERAIS DA PESQUISA

O capítulo 1 indicou as principais questões e os desafios a serem enfrentados para realizar a análise da sustentabilidade em sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais. As estratégias da pesquisa foram definidas com base na revisão da literatura, que permitiu observar as lacunas de conhecimento técnico e científico acerca de alternativas para análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, considerando a participação das pessoas nos processos decisórios. Com isso determinaram-se as perguntas de pesquisa, hipóteses, objetivos e as estratégias gerais da pesquisa.

2.1 EXPLICITAÇÃO DE PERGUNTA PRINCIPAL E PERGUNTAS INTERMEDIÁRIAS DE PESQUISA

A identificação de lacunas de conhecimento por meio da análise da literatura técnico e científica permitiu a definição da pergunta principal de pesquisa e, por conseguinte, na apresentação das hipóteses e objetivos dessa pesquisa. No debate da literatura apresentado observou-se que grande parte dos estudos sobre sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial não enfatizam as múltiplas dimensões da sustentabilidade.

A dimensão política da sustentabilidade determina que a participação das pessoas em processos de tomada de decisão precisa ser incrementada, reduzindo-se as práticas de imposição de soluções. Outra dificuldade é caracterizar determinado sistema de tratamento de efluentes como sustentável. Com base nessas premissas a pergunta principal da pesquisa é:

Pergunta Principal:

Como analisar a sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, em habitações unifamiliares, que considera as múltiplas dimensões da sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios?

Para responder à pergunta principal, foram elaboradas as seguintes perguntas intermediárias:

- 1- Qual método de análise da sustentabilidade e quais dimensões da sustentabilidade favorecem o equilíbrio dinâmico dos territórios, com a busca da autogestão?
- 2- Quais métodos de análise de sustentabilidade que examinam as múltiplas dimensões da sustentabilidade e quais variáveis que determinam e favorecem a perspectiva do equilíbrio dinâmico do território e do planeta?
- 3- Quais os sistemas de tratamento de efluentes sanitários que tendem à sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico do território?
- 4- Quais as condições essenciais, dificuldades e limites para a aplicação de análise da sustentabilidade em sistemas de tratamento de efluentes sanitários?

Com base nas perguntas principais e intermediárias, foram definidas as hipóteses na pesquisa, apresentadas no próximo item.

2.2 HIPÓTESES PRINCIPAIS E INTERMEDIÁRIAS

A pergunta principal nos remete à seguinte hipótese de pesquisa:

Hipótese principal:

A compreensão do conceito e princípios de sustentabilidade e a participação dos usuários na tomada de decisão aumentam o grau de sustentabilidade de sistemas de tratamento de efluentes sanitários na perspectiva do equilíbrio dinâmico do território.

Da hipótese principal foram derivadas as seguintes hipóteses intermediárias:

- 1- Os métodos de análise da sustentabilidade utilizados privilegiam os aspectos econômicos e ambientais. A dimensão política da sustentabilidade (compreende a participação na tomada de decisão, uso e operação e manutenção) de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários favorece a utilização de sistemas não convencionais, o reuso dos resíduos, diminuição do consumo de água e oportunidade da geração de trabalho e renda.
- 2- Existem poucos métodos de análise da sustentabilidade que enfatizam a participação dos usuários na tomada de decisão nas diferentes etapas, com gestão e controle social do processo. A participação dos usuários na tomada de decisão aumenta e favorece a sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios.
- 3- Os sistemas que favorecem a separação das águas em cinzas e negras ou não usam água, sistemas que possibilitam o uso de resíduos, diminuição do consumo de água, a participação dos usuários na tomada de decisão nas diferentes etapas, com gestão e controle social do processo tendem a ser mais sustentáveis.
- 4- As condições para que as pessoas façam uso de sistemas não convencionais de tratamento de efluentes sanitários residenciais é o acesso à informação e à assessoria técnica, disponibilidade de recursos financeiros, dificuldades operacionais e a conscientização ambiental.

Das perguntas de pesquisa e hipótese, obteve-se o objetivo principal da pesquisa, apresentando no próximo item.

2.3 OBJETIVO GERAL

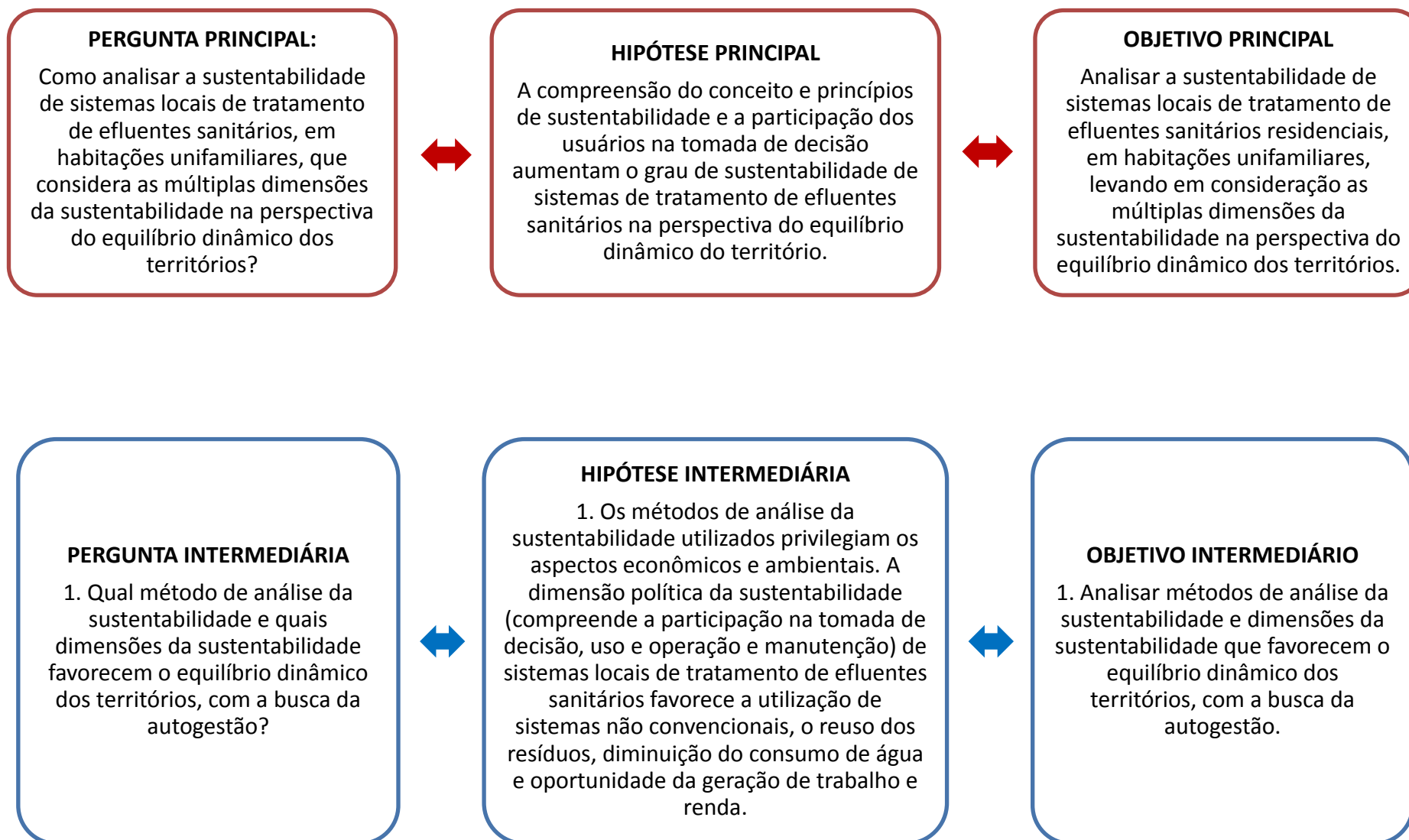
Da pergunta e hipóteses principais derivaram-se o seguinte objetivo:

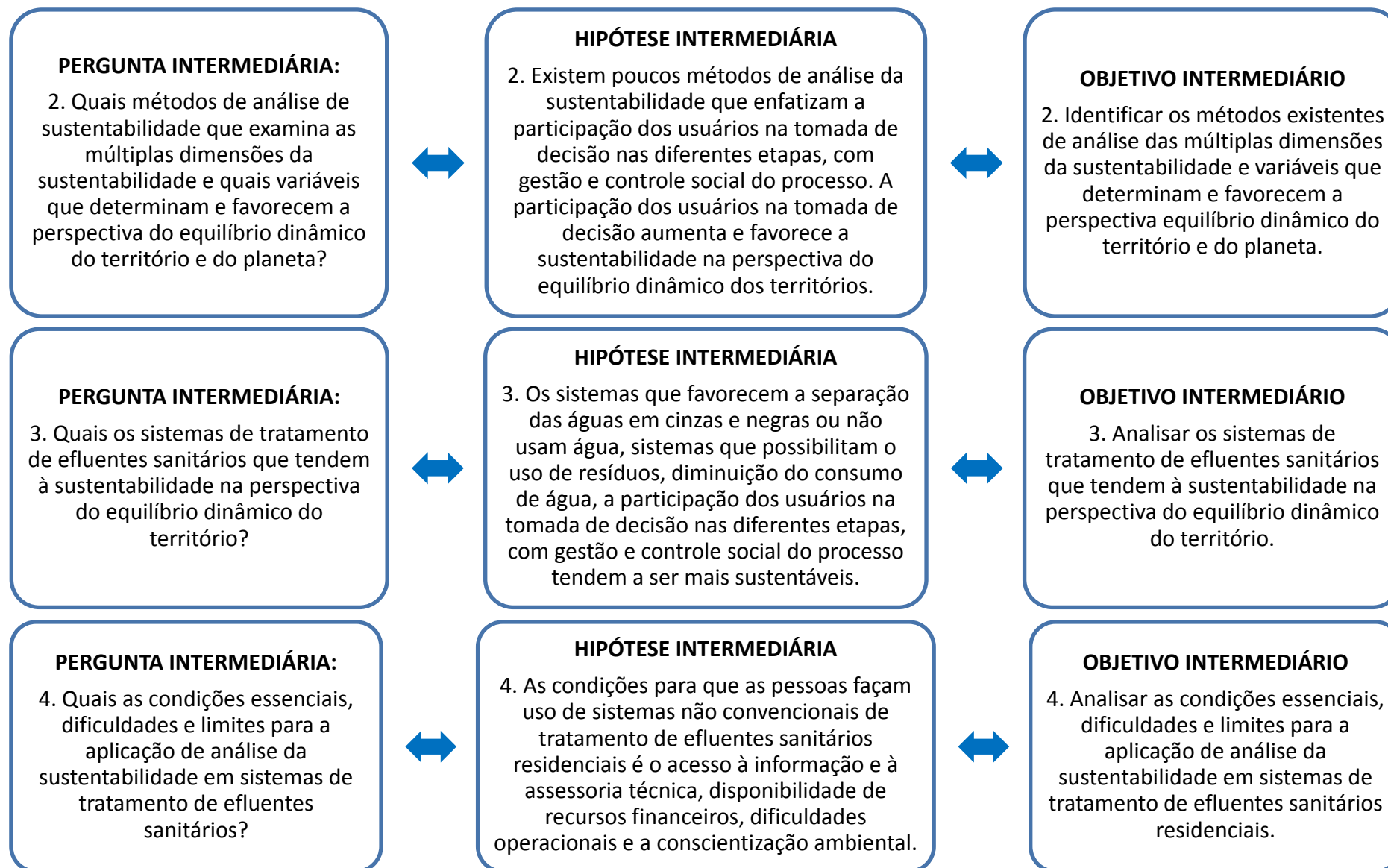
Analisar a sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, em habitações unifamiliares, levando em consideração as múltiplas dimensões da sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios.

Para alcançar o objetivo principal, foram definidos os seguintes objetivos intermediários:

- 1- Analisar métodos de análise da sustentabilidade e dimensões da sustentabilidade que favorecem o equilíbrio dinâmico dos territórios, com a busca da autogestão.
- 2- Identificar os métodos existentes de análise das múltiplas dimensões da sustentabilidade e variáveis que determinam e favorecem a perspectiva equilíbrio dinâmico do território e do planeta.
- 3- Analisar os sistemas de tratamento de efluentes sanitários que tendem à sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico do território.
- 4- Analisar as condições essenciais, dificuldades e limites para a aplicação de análise da sustentabilidade em sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais.

Para facilitar a compreensão das perguntas de pesquisa, hipóteses e objetivos elaborou-se um fluxograma explicativo, com essa decomposição. Da decomposição da pergunta principal derivam as perguntas de pesquisa, que deram origem as hipóteses principais e intermediárias, que por fim foi estabelecido o objetivo principal e intermediário. O Quadro 2.1 apresenta essa estruturação.

QUADRO 2. 1- Decomposição das perguntas de pesquisa em hipóteses principal e secundárias e objetivos principal e secundários.



2.4 ESTRATÉGIA GERAL DE PESQUISA

A estratégia geral de pesquisa utilizada foi baseada na pesquisa de levantamento de dados (pesquisa desenvolvida com base em material elaborado por diversos autores) na literatura técnico e científica sobre análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários.

2.5 MÉTODO DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Nas etapas da pesquisa foram obtidos os dados necessários para a verificação das hipóteses. Para cada hipótese analisada, foi elaborada uma planilha em que foram explicitados: o tipo de informação (variável), as fontes de evidências, os procedimentos para coleta e análise dos dados. O Quadro 2.2 ilustra este procedimento para a hipótese principal.

QUADRO 2.2: Planilha de coleta de dados, com a decomposição da hipótese em hipótese intermediária, tipo de informação a ser coletada, fontes de evidência, instrumentos e procedimentos de coleta dos dados e recursos necessários.

HIPÓTESE	HIPÓTESE INTERMEDIÁRIA	TIPO DE INFORMAÇÃO	FONTES DE EVIDÊNCIA	INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTO DE COLETA	RECURSOS NECESSÁRIOS
A compreensão do conceito e princípios de sustentabilidade e a participação dos usuários na tomada de decisão aumentam o grau de sustentabilidade de sistemas de tratamento de efluentes sanitários na perspectiva do equilíbrio dinâmico do território.	<p>1. Os métodos de análise da sustentabilidade utilizados privilegiam os aspectos econômicos e ambientais. A dimensão política da sustentabilidade (compreende a participação na tomada de decisão, uso e operação e manutenção) de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários favorece a utilização de sistemas não convencionais, o reuso dos resíduos, diminuição do consumo de água e oportunidade da geração de trabalho e renda.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - diferentes debates da sustentabilidade. - divergências entre as análises da sustentabilidade. - definição de fluxo de energia, água e matéria-prima. 	<ul style="list-style-type: none"> - teses, dissertações, livros, artigos científicos sobre o tema. 	<ul style="list-style-type: none"> - pesquisa na literatura técnico e científica. - quadro de comparação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo para coleta e análise dos dados, pesquisa de literatura. • Equipamento para impressão de arquivos.
	<p>2. Existem poucos métodos de análise da sustentabilidade que enfatizam a participação dos usuários na tomada de decisão nas diferentes etapas, com gestão e controle social do processo. A participação dos usuários na tomada de decisão aumenta e favorece a sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Diferentes debates da sustentabilidade. - Métodos de avaliação de sustentabilidade existentes. - Fatores que influenciam na decisão do usuário. 	<ul style="list-style-type: none"> - teses, dissertações, livros, artigos científicos sobre o tema. - pesquisa na literatura de experiências em processos participativos 	<ul style="list-style-type: none"> - pesquisa na literatura técnico e científica nacional e internacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Idem.

HIPÓTESE	HIPÓTESE INTERMEDIÁRIA	TIPO DE INFORMAÇÃO	FONTES DE EVIDÊNCIA	INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTO DE COLETA	RECURSOS NECESSÁRIOS
A compreensão do conceito e princípios de sustentabilidade e a participação dos usuários na tomada de decisão aumentam o grau de sustentabilidade de sistemas de tratamento de efluentes sanitários na perspectiva do equilíbrio dinâmico do território.	3. Os sistemas que favorecem a separação das águas em cinzas e negras ou não usam água, sistemas que possibilitam o uso de resíduos, diminuição do consumo de água, a participação dos usuários na tomada de decisão nas diferentes etapas, com gestão e controle social do processo tendem a ser mais sustentáveis.	<ul style="list-style-type: none"> - tecnologias de tratamento existentes com separação e reuso de resíduos, redução de consumo de água. - acesso às informações dos sistemas de tratamento de efluentes. - fatores que influenciam na decisão do usuário. 	<ul style="list-style-type: none"> - documentos (informações sobre as técnicas). - pesquisa na literatura de experiências em processos participativos. 	<ul style="list-style-type: none"> - pesquisa na literatura técnico e científica nacional e internacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Idem.
	4. As condições para que as pessoas façam uso de sistemas não convencionais de tratamento de efluentes sanitários residenciais é o acesso à informação e à assessoria técnica, disponibilidade de recursos financeiros, dificuldades operacionais e a conscientização ambiental.	<ul style="list-style-type: none"> - acesso às informações dos sistemas de tratamento de efluentes - fatores que influenciam na decisão do usuário. 	<ul style="list-style-type: none"> - documentos (informações sobre as técnicas). - pesquisa na literatura de experiências em processos participativos. 	<ul style="list-style-type: none"> - pesquisa na literatura técnico e científica nacional e internacional. 	<ul style="list-style-type: none"> • Idem.

Apresentada a planilha de coleta de dados, com a decomposição da hipótese em hipótese intermediária, tipo de informação a ser coletada, fontes de evidência, instrumentos e procedimentos de coleta dos dados e recursos, o próximo capítulo aborda os resultados da pesquisa sobre análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento locais de efluentes sanitários residenciais.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS RESIDENCIAIS PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES

O capítulo 2 abordou os objetivos, perguntas e hipóteses da pesquisa. Também foram apresentados os métodos para coleta e análise dos dados da pesquisa. A maior parte dos métodos existentes para análise e avaliação da sustentabilidade enfatiza o uso de modelos numéricos, que tomam como base os indicadores de sustentabilidade para quantificar e comparar situações para determinar qual é a mais sustentável. Esses métodos realizam uma análise complexa da sustentabilidade, dificultando seu acesso e interpretação de dados (ver exemplo de métodos no item 1.6 da revisão da literatura).

A proposta desse estudo foi realizar uma análise da sustentabilidade, de forma simplificada, no contexto das múltiplas dimensões (ambiental, social, econômica, política e cultural), para possibilitar o acesso das pessoas aos resultados, ao conhecimento e que fossem de fácil interpretação. Esse estudo pode fornecer subsídios para que outros pesquisadores ou usuários façam uso dessa forma de análise de sustentabilidade.

É importante ressaltar que a análise da sustentabilidade é complexa e pode variar de interpretação de acordo com diferentes visões, motivações e habilidades de pesquisadores e especialistas. A proposta de análise é baseada na experiência da pesquisadora desde 2004 no debate da sustentabilidade e pode estar sujeita a outras formas

de interpretação. O conceito das dimensões da sustentabilidade foi fundamentado na proposta de Silva (2000).

A apresentação dos resultados da análise da sustentabilidade para sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, para habitações unifamiliares, foi dividida nas seguintes etapas:

1. Processo para escolha do sistema local de tratamento de efluentes sanitários e análise dos princípios, ações e estratégias da sustentabilidade.
2. Fluxo síntese para análise dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários.
3. Caracterização das variáveis consideradas para a escolha do sistema local de tratamento de efluente sanitário e as múltiplas dimensões da sustentabilidade e suas possíveis relações.
4. Caracterização das alternativas existentes para tratamento local e disposição final de efluentes sanitários .
5. Análise da sustentabilidade das alternativas locais de tratamento e disposição local de efluentes sanitários .
6. Princípios gerais considerados para análise do grau de tendência à sustentabilidade dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários.

3.1 PROCESSO PARA ESCOLHA DO SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS E ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS, AÇÕES E ESTRATÉGIAS DA SUSTENTABILIDADE

Compreender o processo de tomada de decisão para a escolha de sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais é importante para auxiliar na análise da sustentabilidade de cada sistema. Para isso, é preciso entender o fluxo da tomada de decisão e suas relações com a sustentabilidade.

Para exemplificar esse fluxo, Martinetti (2009) realizou um estudo em que se analisaram as estratégias, condições e obstáculos para implantação de técnicas mais

sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários, no assentamento rural Sepé-Tiaraju, em Serra Azul-SP. Este estudo apresentou um processo participativo para escolha e tomada de decisão da alternativa de tratamento de efluente sanitário que seria construída neste assentamento.

O processo de escolha e tomada de decisão do sistema de tratamento local de efluente sanitário para o assentamento rural iniciou-se com a definição das alternativas mais adequadas ao contexto local, social e financeiro. Para isso, utilizou-se o quadro de comparação elaborado por Martinetti (2006), com 19 diferentes alternativas para tratamento local de efluente sanitário residencial.

Havia uma limitação financeira, pois as famílias dispunham de R\$1.000,00 (cerca de 7% do valor total do financiamento, que era de R\$13.900,00/habitação) para construção do sistema de tratamento, proveniente do financiamento da Caixa Econômica Federal para construção das casas nesse assentamento. Outro aspecto era que o nível do lençol freático da região era elevado, além de pertencer a área de recarga do aquífero Guarani, o que impactou na escolha de algumas alternativas. Outra limitação era o tempo para apresentação das alternativas, que deveria ser em 1 hora, o que inviabilizada a apresentação dos 19 diferentes sistemas de tratamento local de efluentes sanitários.

Uma vez que o assentamento tinha tendência à agroecologia, uma determinação das famílias era que os sistemas deveriam ser mais sustentáveis, de forma a possibilitar reuso de água efluente e lodo formado, ser de tecnologia fácil aprendizagem e replicação e aprovada por órgãos de fiscalização e que possibilitasse uso de materiais locais e renováveis.

Com base nestes aspectos a autora fez a seleção das 19 alternativas resultando em 4 alternativas para tratamento de águas negras: 1- tanque séptico e círculo de bananeiras; 2-tanque séptico e vala de infiltração (com filtração); 3-banheiro seco (termofílico); 4-sistema modular com separação das águas, e 2 alternativas para tratamento de águas cinzas foram: 1- sistema modular com separação das águas (decantador e LETI); 2-sistema “circuito fechado” (caixa de gordura e filtro de areia).

Foram realizadas duas reuniões, com cerca de 1 hora, em que se apresentaram essas alternativas para as famílias, evidenciando-se o processo participativo para escolha e tomada de decisão. Mostrou-se, por meio de imagens e fotos, cada um dos sistemas (alternativas) com suas principais características, questionando-se quais informações (variáveis) de cada sistema as famílias desejavam saber, para elaborar o quadro de comparação juntamente com as famílias. Procurava-se não utilizar termos técnicos e adaptar a linguagem à compreensão das famílias.

Foram colocadas lado a lado, em um papel Kraft fixado na parede, as 6 diferentes alternativas pré-definidas. A medida que as perguntas (variáveis) que as famílias faziam eram respondidas, escreviam-se as informações em cartelas, que eram coladas abaixo de cada alternativa, montando o quadro de comparação de alternativas x variáveis juntamente com as famílias. A variável mais questionada era o custo do sistema, seja de construção, manutenção e operação, seguido pelas formas de operação e manutenção.

Ao final da atividade, as famílias escolheram pela técnica que utiliza fossa séptica e círculo de bananeiras para tratamento de águas negras e optaram pelo círculo de bananeiras para tratamento de águas cinzas. Depois deste processo, construiu-se um sistema piloto para que as famílias aprendessem a técnica e replicassem em seus lotes, uma vez que a construção das casas e do sistema era em regime de mutirão. Novamente houve um processo participativo para escolha e tomada de decisão de qual família iria receber o sistema piloto. No assentamento, as instâncias de decisões em reuniões são tomadas pela maioria e acatadas pelos que não estiveram presentes nas reuniões. É uma regra estabelecida entre os núcleos e respeitou-se a prática durante todo o processo.

Portanto, foi com base nesta experiência e na literatura técnica e científica, que a presente pesquisa buscou analisar a sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, considerando a participação das pessoas no processo de tomada de decisão.

A primeira etapa desse processo é a definição do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais a ser utilizado. No caso desse estudo, a escolha foi baseada no estudo apresentado por Martinetti (2006), em que foram identificadas 19 diferentes alternativas para tratamento local de efluente sanitário residencial. Primeiro

deve-se optar pela utilização de sistemas que fazem ou não a separação das águas em águas cinzas e águas negras. Caso selecionar sistemas com separação das águas, é preciso definir um sistema para tratamento de águas negras e outro sistema para tratamento de águas cinzas. Também há a possibilidade de uso sistemas não hídricos (banheiro seco), que também deverá ser definido pelo usuário final.

Após esta etapa, o segundo processo é projetar o sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial. Devem ser considerados aspectos de localização da unidade de tratamento, proximidade do lençol freático ou áreas com possível contaminação, tipo de solo do local (argiloso ou arenoso), dimensão das unidades de tratamento, formato das unidades de tratamento, definição dos materiais a serem utilizados, definição da mão-de-obra e processo construtivo.

O terceiro processo é a construção do sistema local de tratamento de efluentes sanitários. Nesse item deve-se definir as operações que serão realizadas para execução da obra, de modo a minimizar os impactos da obra sobre a população, utilizar mão-de-obra adequada, prover informações suficientes para execução do sistema conforme planejado e buscar uso de materiais de baixo impacto ambiental e que promovam o comércio local e o desenvolvimento da região.

O quarto processo é o uso, operação e manutenção do sistema. Neste item devem ser verificadas as formas de operação do sistema (necessidade de energia elétrica para operação, necessidade de retorno do lodo efluente, uso de algum tipo de material para ativar o processo, entre outros), processos de limpeza e manutenção (periodicidade, limpeza de vegetações, materiais necessários para limpeza, etc.). Também devem ser observadas as formas de reúso da água efluentes e lodos formados e como realizar a gestão do sistema de tratamento de efluentes, com objetivo de garantir seu adequado funcionamento e segurança aos usuários.

A operação do sistema de tratamento de efluentes sanitários residenciais influencia no processo de escolha do sistema a ser utilizado uma vez que há sistemas que necessitam de intervenções periódicas para seu adequado funcionamento. A complexidade dessas tarefas pode ser determinante para a sua escolha.

Nesses quatro processos é importante que haja a participação ativa dos usuários finais em todas as etapas para que se façam escolhas adequadas à sua realidade social e local. É preciso fornecer informações suficientes para que essas escolhas sejam conscientes e que beneficiem a todos. A Figura 3.1 apresenta o resumo do esquema do fluxo da escolha de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários.

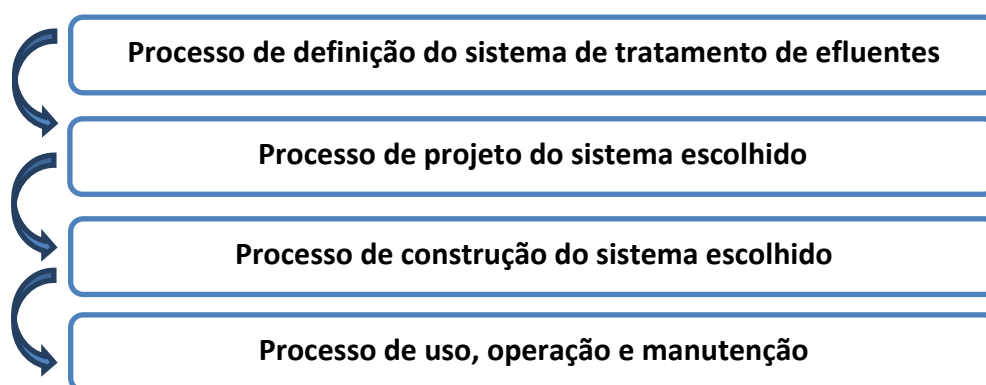


FIGURA 3. 1 – Processo de escolha de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários.

Para realizar a análise da sustentabilidade desses processos, foi utilizado como base no estudo desenvolvido por Yuba (2005). Foram elaborados quatro quadros com os princípios da sustentabilidade que fazem parte de cada etapa do processo descrito, relacionando-os com as cinco dimensões da sustentabilidade: ambiental, econômica, política, social e cultural. Os Quadros 3.1 a 3.4 resumem essa sistematização para o processo de escolha, construção, uso, operação e manutenção de sistemas locais para tratamento de efluentes sanitários residenciais.

QUADRO 3. 1- Princípios de sustentabilidade para o processo de definição do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais (Fonte: adaptado de YUBA, 2005 e autora).

Dimensão	Descrição da análise (princípios, ações e estratégias)
Ambiental	<p>Possibilitar o acesso às tecnologias ambientalmente mais sustentáveis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uso de materiais locais, renováveis e de fácil acesso; • Uso de materiais com adequada eficiência energética; • Redução do consumo de água (uso de alternativas que fazem a separação das águas). <p>Redução da liberação de emissões atmosféricas.</p> <p>Processo de construção simplificado e que reduza as perdas de materiais.</p> <p>Adequar as condições locais às condições de instalação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posição do lençol freático; • Tipo de solo; • Posição da edificação em relação à unidade de tratamento <p>Possibilitar o reaproveitamento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reuso da água efluente; • Reuso do lodo gerado; • Reuso do material compostado.

Dimensão	Descrição da análise (princípios, ações e estratégias)
Social	Flexibilidade e adaptabilidade: <ul style="list-style-type: none"> • Escolha de sistema adequado à realidade local e social; • Escolha de sistema que seja adaptável às condições locais. Capacitar as pessoas para replicação da técnica: <ul style="list-style-type: none"> • Técnica escolhida deve permitir treinamento e capacitação para sua replicação. Verificar os impactos sociais do sistema: <ul style="list-style-type: none"> • Presença de odor; • Presença de agentes patogênicos, insetos e vermes; • Evitar a manipulação do efluente gerado.
Econômica	Criar demanda por uso de sistemas não convencionais para tratamento local de efluentes sanitários residenciais: <ul style="list-style-type: none"> • fazer melhorias em todos os processos, tecnologias, operações e procedimentos para reduzir e eliminar a geração de todos os resíduos na sua fonte. Mobilizar recursos para apoiar pesquisas, mudanças tecnológicas e estudos de adequação para a produção e comercialização de novos materiais e tecnologias: <ul style="list-style-type: none"> • realizar parcerias para pesquisa entre instituições (públicas, privadas, de ensino e pesquisa) para reduzir custos e tempo. Avaliar riscos e benefícios da mudança para práticas mais sustentáveis. Encorajar e apoiar a implementação de práticas mais sustentáveis.
Política	Organizar as partes interessadas para conquistar a possibilidade de participar ativamente das decisões: <ul style="list-style-type: none"> • apresentar tecnologias alternativas de forma de fácil compreensão; • incentivar participação nas instâncias de tomada de decisão. Constituir parcerias e cooperação para desenvolvimento e implementação de ações para construção sustentável: <ul style="list-style-type: none"> • cooperar na implementação das ações de pesquisa e desenvolvimento; • constituir parcerias com instituições de pesquisa. Demandar sustentabilidade: <ul style="list-style-type: none"> • estabelecer critérios de sustentabilidade para aquisição de materiais mais sustentáveis. • Compreensão das condições essenciais, dificuldades e limites para a escolha
Cultural	Reavaliar o tradicional: <ul style="list-style-type: none"> • resgatar a capacidade de trabalho em mutirão; • adequar materiais e técnicas tradicionais ao contexto contemporâneo. Internalizar a sustentabilidade: <ul style="list-style-type: none"> • aumentar a percepção dos usuários para as questões de sustentabilidade. Romper com a barreira do preconceito de novas tecnologias <ul style="list-style-type: none"> • promover o acesso à informação de novas tecnologias para tratamento de efluentes sanitários; • desmistificar alternativas que não fazem uso da água como meio de transporte dos dejetos (banheiro seco); • retomar as melhores práticas das antigas tecnologias. • Compreender os hábitos e aversões dos usuários

Para buscar a sustentabilidade no processo de definição do sistema a ser utilizado é preciso acesso às tecnologias alternativas e reavaliar os sistemas tradicionais, com busca de soluções mais adequadas ao contexto local e social. Apresentados os princípios, ações e estratégias para análise da sustentabilidade do processo de definição do sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial, o Quadro 3.2 apresenta a análise para o processo de projeto.

QUADRO 3. 2- Princípios de sustentabilidade para o processo de projeto do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais (Fonte: adaptado de YUBA, 2005 e autora).

Dimensão	Descrição da análise (princípios, ações e estratégias)
Ambiental	<p>Abordar o projeto de forma integrada, considerando todo ciclo de vida dos materiais empregados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • estabelecer parcerias entre projetistas e com produtores para desenvolver novos conceitos de construção: uso de pré-fabricação, materiais com tecnologias ambientalmente mais sustentáveis. • especificar materiais de Fontes renováveis, materiais recicláveis, reutilizáveis, de baixo conteúdo energético, não tóxicos, duráveis e que não comprometam a saúde dos usuários; • considerar a manutenção na fase de projeto projetar prevendo acessos para eventuais problemas no sistema e limpezas; • uso de materiais com dimensões padronizadas. <p>Desenvolver consciência ambiental e capacitação para as questões ambientais. Desenvolver percepção sobre melhor posicionamento das unidades de tratamento e disposição final de efluentes.</p>
Social	<p>Incorporar no processo de projeto os impactos sociais. Inovar os materiais de construção e métodos para dar melhores condições de saneamento, principalmente para a parcela mais carente da população:</p> <ul style="list-style-type: none"> • buscar alternativas aos materiais tradicionais, baratos e com aproveitamento dos recursos locais, seja de fontes renováveis ou de resíduos industriais e da agricultura; • diferenciar as tecnologias que melhor se destinam para cada tipo de população e para cada padrão de consumo. • buscar soluções que possibilitem o reuso dos efluentes (água e lodo). <p>Inovar em tecnologias para promover ações de saneamento principalmente para a parcela mais carente da população:</p> <ul style="list-style-type: none"> • buscar alternativas de sistemas de tratamento que fazem o reuso de água e dos efluentes gerados; • buscar alternativas de sistemas de tratamento que não fazem uso da água como meio de transporte dos dejetos ou minimizem o seu uso. <p>Compreender a sustentabilidade.</p>
Econômica	<p>Encorajar e apoiar a implementação de práticas mais sustentáveis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • criar a demanda por materiais e serviços ambiental e socialmente mais responsáveis. <p>(Usuários) considerar o balanço entre custos financeiros e outros custos (social, ambiental) para escolha dos produtos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • monitorar os custos, economias e outros benefícios e impactos resultantes da compra e uso de produtos e serviços sustentáveis para motivar outros usuários a adotarem procedimento similar e consequentemente expandir o mercado. • utilizar o monitoramento para desenvolver sistemas de compra mais eficientes. <p>Fortalecer as instituições de planejamento em todos os níveis, do global ao local:</p> <ul style="list-style-type: none"> • reorganizar as instituições de planejamento.
Política	<p>Encorajar a maior equidade, colaboração, responsabilidade e o aprimoramento contínuo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • criar mecanismos para participação da sociedade mobilizada; • assegurar as inter-relações e articulação entre atores; • questionar a simples lógica de eficiência e não só contestar e reivindicar mas propor disponibilizar sistemas de informação sobre produtos ambientais para os usuários. <p>Promover mecanismos de participação ativa dos usuários dos sistemas de tratamento de efluente sanitários no processo de escolha e decisão do projeto a ser utilizado. (Usuários) demandar produtos ambientalmente mais amigáveis dos fornecedores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • definir concretamente as especificações ambientais dos produtos (materiais renováveis, recicláveis, reutilizáveis, de dimensões padronizadas, baixo conteúdo energético e não tóxicos); • definir por sistema de tratamento de efluentes mais adequados ao contexto local e social de onde será implantado.

Dimensão	Descrição da análise (princípios, ações e estratégias)
Cultural	<p>Reavaliar o tradicional:</p> <ul style="list-style-type: none"> questionar o uso dos sistemas de tratamento de efluentes tradicionalmente implantados e compreender as suas características; estar aberto para elaborar novas técnicas adequadas à atual realidade; Interesse em conhecimento de novas tecnologias que podem ser mais adequadas à necessidade. <p>Valorizar e aumentar a vida útil de materiais e tecnologias de construção tradicionais nativas, ao invés de substituí-los por técnicas importadas.</p>

Na fase de projeto, deve ser considerada a abordagem do projeto de forma integrada, a proximidade do lençol freático, o tipo de solo e necessidades dos usuários. Apresentados os princípios, ações e estratégias para análise da sustentabilidade do processo de projeto do sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial, o Quadro 3.3 apresenta a análise para o processo de construção.

QUADRO 3.3- Princípios de sustentabilidade para o processo de construção do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais (*Fonte: adaptado de YUBA, 2005 e autora*).

Dimensão	Descrição da análise (princípios, ações e estratégias)
Ambiental	<p>Minimizar os danos ambientais causados pelos seus processos de construção:</p> <ul style="list-style-type: none"> definir operações, logística e fornecedores de materiais e produtos de acordo com a noção e prontidão para as questões ambientais; minimizar a produção de resíduos de obra; pesquisar os impactos causados por atividades de obra (perda de solo e vegetação, poluição sonora e ambiental, armazenamento de produtos perigosos); <p>Melhorar a qualidade do processo de construção (eficiência e segurança) e de seus produtos:</p> <ul style="list-style-type: none"> desenvolver procedimentos de reforma que causem distúrbios mínimos e segurança para os usuários e vizinhança. <p>Reduzir o uso de recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> utilizar materiais produzidos localmente para reduzir os impactos ambientais e; reutilizar os materiais, demandando menos recursos novos para a produção de materiais (mínimo de 5%, ideal de 10%); reduzir o uso de recursos não renováveis; minimizar entradas e saídas de materiais; destinar os resíduos de construção de acordo com as possibilidades para a reciclagem.
Social	<p>Criar empregos: dar possibilidade das pessoas aprenderem um novo ofício</p> <p>Atender aos padrões da OIT²⁰:</p> <ul style="list-style-type: none"> permitir a livre escolha (sem trabalho forçado); combater o trabalho infantil; promover equidade nos termos e condições de emprego; promover o direito de organização e negociação coletiva dos trabalhadores. <p>Respeitar o indivíduo, valorizando a diversidade.</p> <p>Manter trabalho decente, com cuidados com a saúde, segurança e condições de trabalho.</p> <p>Ser responsável frente às gerações futuras:</p> <ul style="list-style-type: none"> comprometer-se com a melhoria da qualidade ambiental; promover educação e conscientização ambiental; promover desenvolvimento sustentável no setor de construção civil; participar de projetos sociais governamentais; <p>Encorajar movimentos “socialmente inclusivos”: produzir manuais de uso e manutenção.</p>

²⁰ OIT – Organização Internacional do Trabalho, das Nações Unidas.

Dimensão	Descrição da análise (princípios, ações e estratégias)
Econômica	<p>Apoiar a economia da região:</p> <ul style="list-style-type: none"> • utilizar materiais produzidos localmente. <p>Encorajar e apoiar a implementação de práticas mais sustentáveis:</p> <ul style="list-style-type: none"> • apoiar projetos e desenvolvimento de novas tecnologias alternativas para tratamento local de efluentes sanitários residenciais. <p>Tornar a produção mais eficiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • gerar maior qualidade, menos desperdício de matéria-prima e menos resíduos de construção e demolição. <p>Disponibilizar financiamentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • destinar parte dos recursos de financiamento privado para pesquisas de interesse comum.
Política	<p>Manter relações transparentes com a sociedade:</p> <ul style="list-style-type: none"> • estabelecer diálogo com as partes interessadas; • conhecer e gerenciar os danos potenciais dos produtos e serviços; • atender com excelência; • estabelecer práticas anti-corrupção e anti-propina; <p>Manter diálogo e participação por meio de gestão participativa.</p>
Cultural	<p>Encorajar movimentos “com centro na pessoa”:</p> <ul style="list-style-type: none"> • resgatar a herança cultural; • utilizar soluções locais; • aumentar a adaptabilidade das técnicas; • dar preferência para materiais nativos melhorados. <p>Incentivar o uso de técnicas alternativas e mais sustentáveis</p>

Na fase de construção devem ser respeitados aspectos da mão-de-obra utilizada, com trabalho de forma digna e uso de materiais de baixo impacto ambiental. Apresentados os princípios, ações e estratégias para análise da sustentabilidade do processo de construção do sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial, o Quadro 3.4 apresenta a análise para o processo de uso, operação e manutenção.

QUADRO 3. 4- Princípios de sustentabilidade para o processo de uso, operação e manutenção do sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais (Fonte: adaptado de YUBA, 2005 e autora).

Dimensão	Descrição da análise (princípios, ações e estratégias)
Ambiental	<p>Desenvolver procedimentos próprios no uso do sistema para serem ambientalmente corretos.</p> <p>Manter a qualidade do sistema de tratamento de efluentes.</p> <p>Gerenciar adequadamente o reuso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Água efluente do sistema; • Lodo efluente do sistema; • Composto efluente do sistema. <p>Minimizar o uso de tecnologias industrializadas para limpeza e remoção de lodos, que utilizem elevado consumo de energia.</p> <p>Minimizar o uso de sistemas de tratamento de efluentes que necessitem de uso de energia externa para operação.</p>
Social	<p>Gerenciar a saúde do ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evitar sistemas que gerem odores; • Usar sistemas que minimizem a presença de patógenos. <p>Gerenciar o uso dos resíduos do sistema com segurança.</p> <p>Capacitar os usuários para a correta operação do sistema e manejo dos efluentes.</p> <p>Incentivar práticas de educação ambiental dos usuários.</p> <p>Divulgar o uso de sistemas alternativos para tratamento de efluentes sanitários residenciais.</p>

Dimensão	Descrição da análise (princípios, ações e estratégias)
Econômica	Criar mecanismos para aumentar a geração de emprego e renda. Melhorar a produção agrícola com o reuso dos materiais efluentes do sistema. Aprendizagem de nova técnica construtiva para disseminação do conhecimento.
Política	Capacitar-se para a sustentabilidade: <ul style="list-style-type: none"> • criar o mercado para a construção sustentável; • criar parcerias para aprendizagem; • formar grupos de consumidores para influenciar o desenvolvimento de novos sistemas. Incluir a sustentabilidade nas práticas; <ul style="list-style-type: none"> • mudar os hábitos cotidianos, com a operação do sistema e manejo dos efluentes. Demandar produtos e serviços mais sustentáveis.
Cultural	Tornar a sustentabilidade base das decisões: <ul style="list-style-type: none"> • resgatar valores culturais na tradição que enfatizam o uso equilibrado dos recursos naturais. • capacitar as pessoas para a educação ambiental sustentável; • criar manuais sobre o uso e operação do sistema.

Em uso, operação e manutenção os impactos devem ser minimizados, priorizando o reuso dos materiais e sistemas que demandem operação simplificada. Esses quadros sistematizam os princípios de sustentabilidade considerados para o processo de escolha e tomada de decisão de sistema local de tratamento e efluentes sanitários e suas relações com a sustentabilidade. É preciso considerar a participação ativa das pessoas em todos os processos para garantir maior sustentabilidade às escolhas, com a busca de uma cidadania mais ativa.

Os princípios de sustentabilidade relacionam-se com cada fase do processo e respectivas dimensões. Os princípios visam a preservação do meio ambiente, com redução do consumo de materiais não renováveis, reuso da água e lodos formados, redução da poluição em suas diversas formas. Em se tratando de aspectos econômicos buscam a otimização dos recursos locais e renováveis, geração de emprego e renda, desenvolvimento do potencial econômico das localidades.

Na questão social e cultural o respeito às pessoas e suas raízes e culturas, melhor distribuição de renda e riquezas, redução de riscos à saúde, promoção de ações de higiene, incentivar a busca ao conhecimento. E a questão política nos processos participativos de escolha e tomada de decisão das alternativas mais adequadas ao contexto local e social.

Após compreender o processo de escolha de alternativa local de efluentes sanitários residenciais, o próximo item apresenta um fluxo síntese para análise dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários.

3.2 FLUXO SÍNTESE PARA ANÁLISE DOS SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

Existem diversas alternativas de sistemas locais para tratamento de efluentes sanitários residenciais. Martinetti (2006) fez um levantamento de algumas dessas alternativas, resultando em 19 diferentes sistemas para tratamento local de efluente sanitário residencial, sistematizando-as em um quadro de comparação de alternativas x variáveis.

Como continuidade desse trabalho, esse estudo teve como objetivo analisar a sustentabilidade desses 19 sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, considerando as 5 dimensões da sustentabilidade, proposta por Silva (2000): dimensão ambiental, dimensão social, dimensão econômica, dimensão política e dimensão cultural.

O quadro elaborado subdivide os sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais em sistemas de tratamento misto (sem separação das águas cinzas e negras), sistemas de tratamento de águas negras (provenientes do vaso sanitário), sistemas de tratamento de águas cinzas (provenientes de chuveiros, ralos, pias de cozinha, máquina de lavar e tanques) e sistemas não hídricos (banheiro seco).

Como abordado na revisão da literatura, a separação das águas busca aperfeiçoar as unidades de tratamento de efluentes, aplicando tratamentos específicos para cada tipo de efluente a ser tratado ou reutilizado. Nesta tese, a análise da sustentabilidade foi focada para a unidade de tratamento de efluente sanitário e de disposição final. A análise da sustentabilidade do processo de coleta e transporte dos efluentes sanitários residenciais é comentada no item específico de cada sistema local de tratamento de efluente sanitário.

Para auxiliar na compreensão do processo de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitário residenciais foi elaborada a Figura 3.2, que apresenta, resumidamente, o fluxo da água efluente de uma edificação unifamiliar, a partir do ponto em que a água potável se torna esgoto.

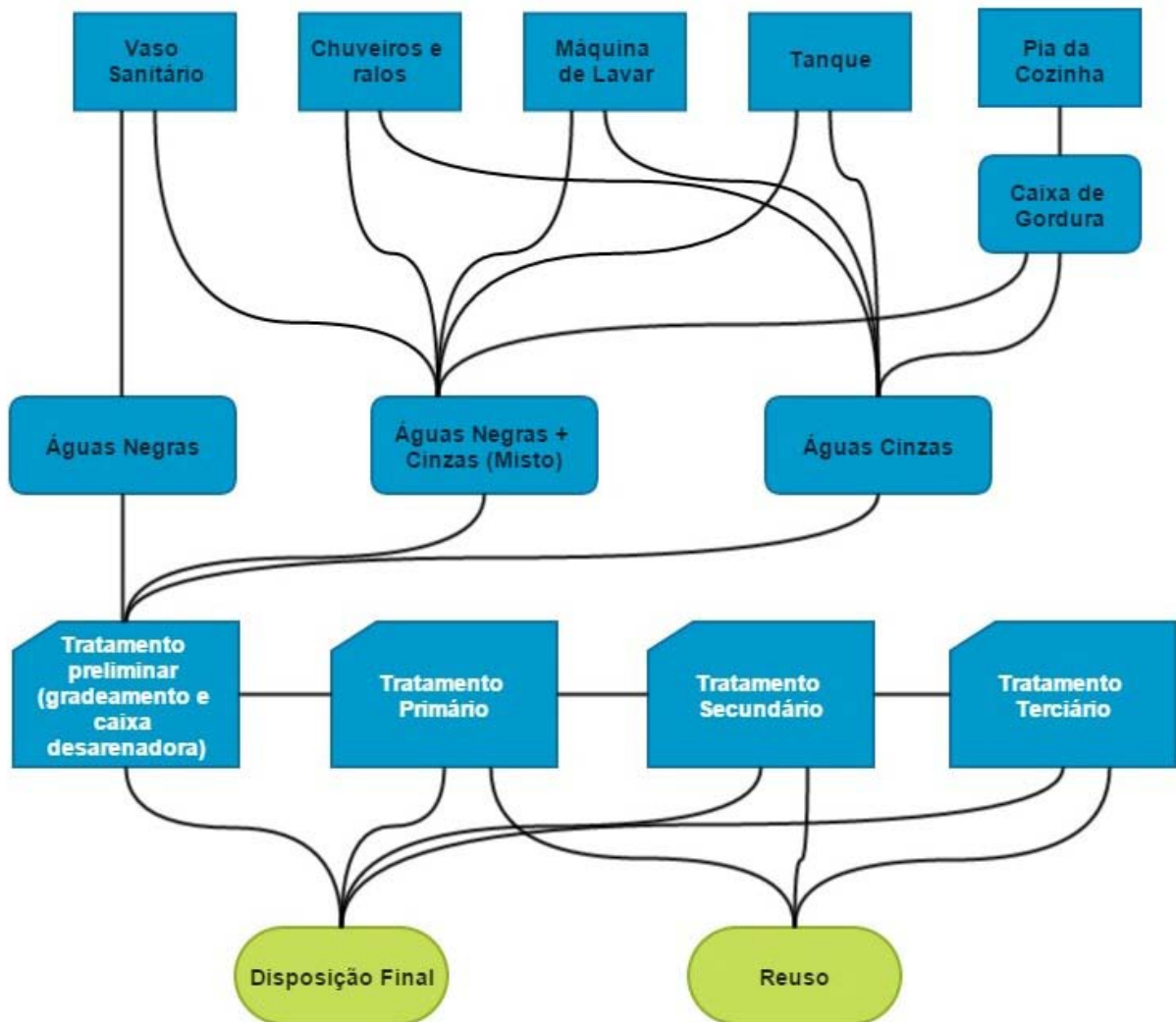


FIGURA 3. 2 – Fluxograma síntese dos sistemas de tratamento de efluente sanitários residenciais (Fonte: autora).

Para águas negras considera-se o efluente proveniente apenas do vaso sanitário. As águas cinzas recebe o efluente de chuveiros e ralos, máquina de lavar, tanques e pia da cozinha. E a situação mista utilizada a combinação das águas cinzas e negras. Observa-se que todos os efluentes devem passar pelo tratamento preliminar, em que são removidos os sólidos grosseiros e parte dos sólidos suspensos. Deste ponto, o efluente pode ir para a disposição final ou para o tratamento primário.

No tratamento primário o efluente pode ser direcionado para a disposição final, reuso não potável ou tratamento secundário. À medida que se incorporam etapas de tratamento, melhor a qualidade do efluente gerado e maior viabilidade de seu reuso não potável com segurança.

No caso de uso de sistemas não hídricos (banheiro seco), o fluxo dos dejetos é diferente ao fluxo da água efluente, conforme apresentado na Figura 3.2. Desta forma, a Figura 3.3 apresenta o fluxo dos dejetos para o sistema de banheiro seco.

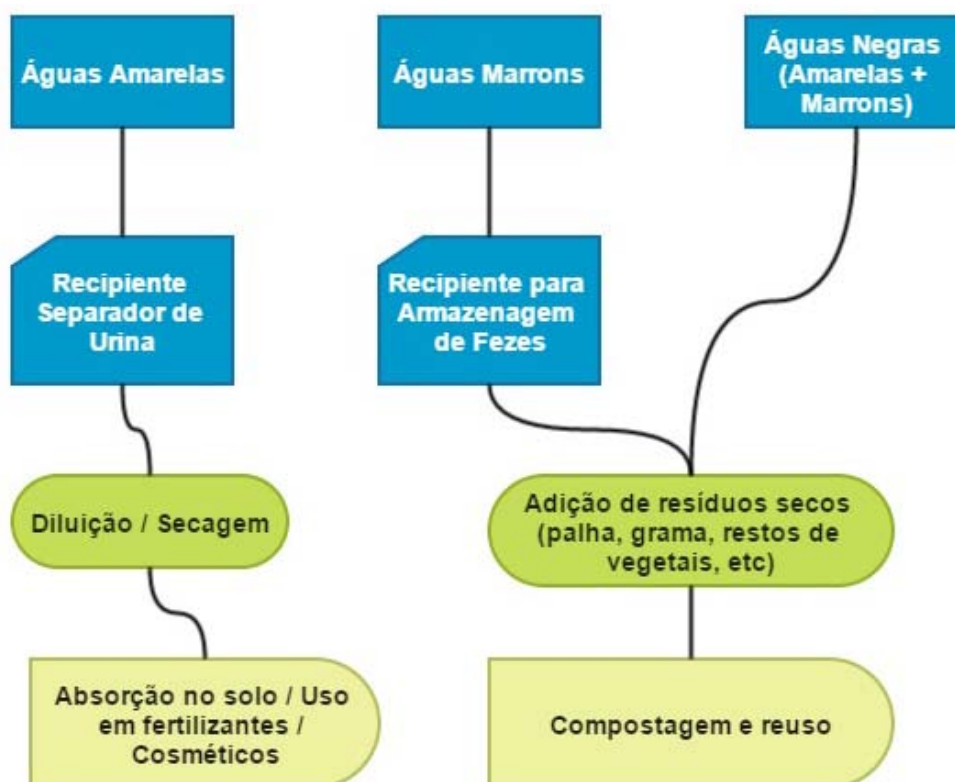


FIGURA 3.3 – Fluxograma dos sistemas de tratamento de efluente sanitários residenciais para o caso de banheiro seco (Fonte: autora).

Observa-se neste fluxo que há a possibilidade de separação das águas negras em águas amarelas (apenas urina) e águas marrons (apenas fezes). Os dejetos são encaminhados para recipientes de armazenagem, local que passarão por processos de secagem, diluição ou adição de outros resíduos, para então ser encaminhados para processos de compostagem e reuso.

Os sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários propostos, em sua maior parte, correspondem até o nível de tratamento secundário. Todos os sistemas

considerados possuem como destinação final o reuso dos efluentes e lodos formados. Para auxiliar a compreensão das 19 alternativas de tratamento de efluentes sanitários residenciais, foi elaborado um quadro de comparação de alternativas x variáveis.

O próximo item aborda a caracterização das variáveis que foram consideradas para a elaboração do quadro de comparação das alternativas locais de tratamento local de efluentes sanitários residenciais, uma ferramenta que permite a visualização conjunta das técnicas para auxiliar na visualização e comparação no processo de escolha.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS CONSIDERADAS PARA A ESCOLHA DO SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO E AS MÚLTIPLAS DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE E SUAS POSSÍVEIS RELAÇÕES

Realizou-se um levantamento das variáveis que seriam impactantes no processo de escolha e de tomada de decisão para sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais. Com base na literatura técnico e científica sobre o tema e experiências existentes, elencaram-se as variáveis que influenciam na escolha e tomada de decisão das pessoas para sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais. Efetuou-se sua sistematização para auxiliar no processo de escolha, relacionando-as com as dimensões da sustentabilidade. As variáveis deveriam ser de fácil compreensão para possibilitar o acesso das pessoas de qualquer classe social e nível de conhecimento.

As primeiras variáveis que interferem referem-se à escolha dos componentes e materiais constituintes do sistema. Essas variáveis relacionam-se com o modo de construção e na facilidade de aquisição dos diferentes materiais a serem empregados. Componentes mais complexos como equipamentos eletrônicos, alumínio, aço dificultam o acesso das pessoas para compra e encarece o processo, enquanto materiais mais comuns como tijolo, pedra, areia são mais fáceis de serem encontrados e utilizados no sistema. Geralmente, os materiais mais complexos exigem grandes consumos de energia para fabricação, impactando também nas questões ambientais.

Ao relacionar essas variáveis com a sustentabilidade, verifica-se que influi na dimensão ambiental no que se refere ao consumo de energia dos materiais e sua procedência, danos ao meio ambiente pelo processo de extração. Também se relaciona com a dimensão econômica, quanto aos custos dos materiais, consumo de energia e transporte. A dimensão cultural também é observada nessa variável, pois as pessoas tendem a adquirir materiais que possuem maior conhecimento e experiência e a evitar tecnologias inovadoras.

Ainda nessa variável, a dimensão social também está presente, pois no processo de escolha dos materiais a serem empregados devem permitir o acesso a materiais que agridam menos o meio ambiente e a saúde dos usuários, e propiciem a construção de um sistema seguro e estanque. Outro ponto é encorajar as pessoas a utilizarem materiais alternativos, que agridam menos o meio ambiente. A dimensão política está presente na participação ativa dos usuários no processo de escolha e definição dos materiais a serem empregados.

Duas variáveis que estão inter-relacionadas são a área necessária para implantação e o número de habitações atendidas pelo sistema. Dependendo do sistema a ser adotado, pode-se realizar a centralização em um único ponto dos efluentes de uma pequena comunidade (como um sistema condominial), ocasionando um aumento na área necessária para implantação, pois um número maior de pessoas e habitações impacta na quantidade de efluente gerado e conseqüentemente na área destinada ao sistema, resultando em um custo maior de implantação. Sistemas que não realizam a separação das águas também demandam maior área para implantação.

Essas variáveis relacionam-se com a dimensão ambiental, pois quanto maior a área necessária para implantação, maior o impacto ambiental. Também com a dimensão econômica, pois os custos se elevam a medida que se aumenta a quantidade de efluente a ser tratado. Na dimensão social e cultural, as pessoas desejam que os sistemas de tratamento permaneçam distante das residências, porém o sistema deve permitir a flexibilidade e adaptabilidade em seu local de uso. Novamente a dimensão política está presente no processo de escolha e definição do local a ser implantado o sistema.

Para a presente análise da sustentabilidade não há alteração entre essas duas variáveis, visto que se determinou avaliar sistemas para habitações unifamiliares com até 5

moradores. No estudo de Martinetti (2006) essas variáveis são impactantes, pois os sistemas podem atender não apenas edificações unifamiliares, como pequenas comunidades e condomínios, e essas variáveis tornam-se representativas na análise da sustentabilidade.

Outra variável é a complexidade de construção, manutenção e operação. A complexidade construtiva se relaciona com a exigência de uso de equipamentos e mão-de-obra especializada para a execução do sistema. A manutenção e a operação referem-se ao adequado funcionamento do sistema e os tipos de medidas a serem tomadas de forma a se obter bons resultados de desinfecção dos efluentes. Também impacta nos custos, pois podem ser necessários uso de equipamentos mecanizados e mão-de-obra especializada.

Nessa variável a dimensão ambiental está presente na necessidade de uso de fonte de energia não renovável para construção e ou operação do sistema. A necessidade de limpeza dos sistemas com uso de equipamentos externos também impacta nessa dimensão, além da dimensão econômica. A dimensão social está presente na aprendizagem de uma nova técnica construtiva, operação e manutenção do sistema, permitindo sua replicação. A dimensão cultural se refere à possibilidade de manejo dos resíduos e efluentes no sistema, pois as pessoas tendem a não realizar essa tarefa. E a dimensão política está presente novamente na escolha dos processos construtivos, de operação e manutenção do sistema. Para a população de baixa renda os custos de implantação e operação do sistema são significativos e influenciam na sua escolha, impactando nas dimensões econômica e social.

Outras variáveis importantes para a escolha do sistema são a produção de odores e a presença de insetos e vermes. Os sistemas anaeróbios e os biodigestores geram gases que produzem odor desagradável, fazendo com o sistema deva ser localizado em local distante da casa dos usuários. A presença de insetos e vermes pode indicar o mau funcionamento do sistema, possibilidade de contaminação por patogênicos, podendo causar doenças nas pessoas. Estão relacionadas com as dimensões ambiental (manutenção de equilíbrio ecológico para não aparecimento de insetos vermes), social e cultural (pessoas desejam os sistemas de tratamento distante das residências).

A variável mais técnica incluída no quadro de comparação foi a eficiência da remoção da DBO. Apesar de para muitos usuários desconhecerem esse conceito, essa variável se apresenta como indicador para conhecimento da eficiência do sistema e da sua

capacidade de oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável, para obter um composto inerte e com qualidade para ser reutilizado. Seria um parâmetro para medir a eficiência do sistema escolhido a ser adotado. Uma vez que esse valor é representado percentualmente, a compreensão torna-se mais simplificada para o usuário, pois quanto maior o valor, melhor a qualidade do tratamento do efluente.

Essa variável relaciona-se principalmente com a dimensão ambiental, pois esse resultado impacta na qualidade da água efluente, que posteriormente será utilizada. Também tem a questão econômica implícita, uma vez que para melhorar esse parâmetro, as vezes, será necessário um investimento maior de recursos financeiros no sistema. A dimensão política está presente no processo de escolha e definição do parâmetro a ser adotado. A dimensão social e cultural também é observada, pois quando maior o valor BDO, maior a segurança do tratamento e no manejo de material de reuso.

O grau de aceitação refere-se à credibilidade no sistema pelas pessoas, que muitas vezes desconhecem a técnica, não acreditando na sua eficiência, principalmente por estarem adaptadas aos sistemas existentes. Os riscos à saúde são quanto à possibilidade de contaminação por patógenos do sistema. Nestes dois casos as dimensões da sustentabilidade associadas são a ambiental, social e cultural.

Como esses sistemas foram estudados principalmente para atender à população de baixa renda, deve-se possibilitar a geração de emprego e renda para essas pessoas a partir do conhecimento da técnica construtiva e de operação. A dimensão política se relaciona com essa característica, juntamente com a cultural e social.

O acesso à tecnologia trata da facilidade com que as pessoas e pesquisadores terão conhecimento das técnicas construtivas. Por exemplo, em um sistema industrializado não há esse tipo de acesso, pois o conhecimento não é disseminado. Sem este requisito não é possível ensinar um novo ofício às pessoas para gerar emprego e renda, referindo-se às dimensões econômica e social da sustentabilidade.

Essas variáveis estão relacionadas com cada etapa do processo de tomada de decisão de sistema de tratamento de efluentes sanitários (definição, projeto, construção,

uso, operação e manutenção). Para auxiliar nessa interpretação, o Quadro 3.5 apresenta uma relação das variáveis e princípios de sustentabilidade com as etapas da decisão de sistema de tratamento de efluentes, com respectiva dimensão da sustentabilidade mais representativa.

QUADRO 3. 5- Quadro de relação das variáveis e princípios de sustentabilidade com as etapas da decisão de sistema de tratamento de efluentes e respectiva dimensão da sustentabilidade.

ETAPA DA DECISÃO	VARIÁVEIS E PRINCÍPIOS DA SUSTENTABILIDADE				
	DIMENSÃO AMBIENTAL	DIMENSÃO ECONÔMICA	DIMENSÃO SOCIAL	DIMENSÃO CULTURAL	DIMENSÃO POLÍTICA
Definição	<ul style="list-style-type: none"> - Componentes; - Materiais constituintes. - Área necessária para implantação. - Produção de odores. - Presença de insetos e vermes. - Eficiência na remoção de DBO. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de implantação. - Custo de operação. - Geração de emprego e renda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Área necessária para implantação. - Número de domicílios atendidos. - Complexidade construtiva. - Operação e manutenção; - Presença de insetos e vermes. - Riscos à saúde. 	<ul style="list-style-type: none"> - Operação e manutenção. - Complexidade construtiva. - Produção de odores. - Grau de aceitação da tecnologia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Processo participativo de escolha e tomada de decisão (todas as variáveis).
Projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Componentes; - Materiais constituintes - Área necessária para implantação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de implantação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Área necessária para implantação. - Número de domicílios atendidos. - Complexidade construtiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexidade construtiva. - Grau de aceitação da tecnologia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Processo participativo de escolha e tomada de decisão (todas as variáveis).
Construção	<ul style="list-style-type: none"> - Componentes. - Materiais constituintes. - Área necessária para implantação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de implantação. - Geração de emprego e renda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Área necessária para implantação. - Número de domicílios atendidos. - Complexidade construtiva - Riscos à saúde. 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexidade construtiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Processo participativo de escolha e tomada de decisão (todas as variáveis).
Uso, operação e manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Produção de odores. - Presença de insetos e vermes. - Eficiência na remoção de DBO. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de operação. - Geração de emprego e renda. 	<ul style="list-style-type: none"> - Operação e manutenção. - Presença de insetos e vermes. - Riscos à saúde. 	<ul style="list-style-type: none"> - Operação e manutenção. - Produção de odores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Processo participativo de escolha e tomada de decisão (todas as variáveis).

Observa-se que a importância das variáveis se altera de acordo com a etapa do processo de escolha de sistema de tratamento de efluentes sanitários, devido às

características de cada etapa. Em se tratando das variáveis é possível identificar as 5 dimensões da sustentabilidade em cada uma delas: dimensão ambiental, dimensão social, dimensão política, dimensão cultural e dimensão econômica. Isso se deve ao caráter multidisciplinar da sustentabilidade e a interligação entre as dimensões. No Quadro 3.5 enfatizou-se a alocação da variável com a dimensão de maior impacto, o que pode permitir também seu enquadramento em outras dimensões.

Dentro da perspectiva de equilíbrio dinâmico, a interação entre as variáveis devem demonstrar a tendência há homeostase, na preocupação com as questões da natureza para benefício da humanidade. Elas devem representar aspectos importantes na tomada de decisão que visando à esta situação de equilíbrio.

Esse estudo buscou diretrizes para auxiliar as pessoas a realizarem uma análise da sustentabilidade mais simplificada, para comparar sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, de fácil acesso e compreensão às pessoas que possuem diferentes graus de conhecimento. O próximo item apresenta a caracterização das alternativas dos sistemas escolhidos para análise da sustentabilidade nesse estudo.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ALTERNATIVAS EXISTENTES PARA TRATAMENTO LOCAL E DISPOSIÇÃO FINAL DE EFLUENTES SANITÁRIOS

No estudo de Martinetti (2006), além da definição das variáveis para análise, foram elencadas 19 diferentes alternativas para tratamento de efluentes sanitários residenciais, subdivididas em: sistema de tratamento misto (águas cinzas + águas negras), sistema de tratamento de águas negras, sistema de tratamento de águas cinzas e sistema de tratamento não hídrico (banheiro seco).

Uma observação importante é que para os sistemas de tratamento de águas negras foram utilizadas várias alternativas que fazem uso do tanque séptico (ou fossa séptica). Esse sistema também é válido para o tratamento misto (sem separação das águas), em situações em que a separação das águas negras e cinzas é inviabilizada.

Ao optar por sistema que realiza a separação das águas em cinzas e negras é importante observar a necessidade da escolha de dois sistemas de tratamento. O sistema de tratamento não hídrico consiste em sistemas que não utilizam a água como meio para transporte dos efluentes. O próximo item apresenta com uma breve caracterização das 19 alternativas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, pelos sistemas de tratamento misto.

3.4.1 Sistema de Tratamento de Efluente Sanitário Misto (Águas Cinzas + Águas Negras)

É caracterizado pela não separação das águas cinzas das águas negras. Isso não ocasiona mudanças nas redes de instalação coletora de esgoto, beneficiando os casos em que a rede encontra-se instalada. Porém demanda maior espaço para a construção da unidade de tratamento, e conseqüentemente maior tempo e custo para tratamento. Nesse estudo foram apresentadas duas diferentes alternativas: Sistema de reciclagem das águas e sistema industrializado.

3.4.1.1 Sistema 1: Sistema de Reciclagem das Águas (RCA)

O sistema de reciclagem das águas foi idealizado pelo IPEMA (Instituto de Permacultura da Mata Atlântica), para criar intercalação entre ambientes anaeróbios e aeróbios, como busca de uma maior eficiência de tratamento. O sistema é composto por 5 reservatórios:

- 1- **Reservatório anaeróbio séptico:** tanque com água para separação da gordura e ação das bactérias anaeróbias. Um tanque semelhante à fossa séptica.
- 2- **Reservatório aeróbio filtro-misto:** tanque com camadas de brita e terra, com plantas aquáticas ou arroz, em que a camada de brita capta sólidos orgânicos grossos, as plantas ajudam a filtrar a água e a limpar as britas e a terra vai reter o sabão.
- 3- **Reservatório anaeróbio com plantas:** tanque com água e plantas aquáticas e brita ao fundo.
- 4- **Reservatório aeróbio filtro-misto:** idem reservatório 2.

- 5- **Reservatório anaeróbio água reciclada:** tanque para armazenar a água reciclada para reuso.

Esse sistema é comumente utilizado em regiões litorâneas, em que o nível do lençol freático é elevado e impede a construção de sistemas enterrados. A Figura 3.4 apresenta o esquema de instalação o sistema, o detalhamento do filtro misto e uma foto da aplicação do sistema na cidade de Ubatuba-SP.

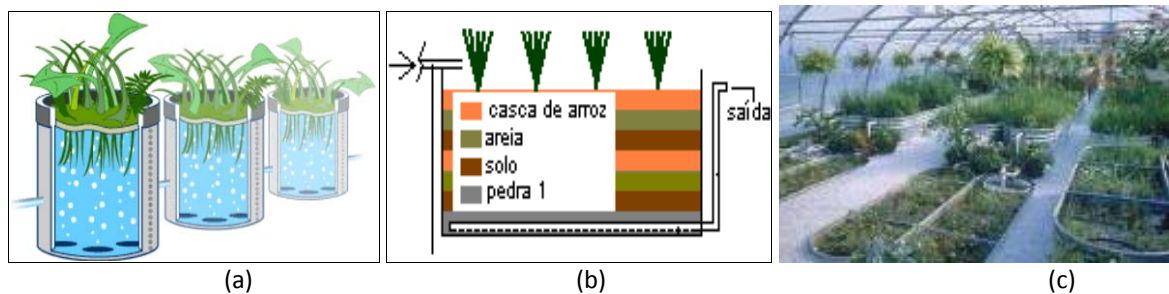


FIGURA 3. 4 – a-) esquema de ligação dos reservatórios / b-) detalhe do reservatório aeróbio filtro-misto / c-) sistema implantado em Ubatuba – SP (Fonte: IPEMA, 2006).

A área disponível para implantação do sistema reciclagem das águas dependerá do número de usuários do sistema, que quanto mais elevado, maior a área demandada. Possibilita o atendimento de mais de uma residência, independente o nível do lençol freático e do tipo de solo. Para manutenção é necessária limpeza dos filtros por meio de retro lavagem e conservação das plantas aquáticas.

3.4.1.2 Sistema 2: Sistema Industrializado

Os sistemas industrializados são compostos por reservatórios pré-fabricados que realizam as atividades de tratamento de efluentes sanitários residenciais por processos aeróbios ou anaeróbios. Para análise de sistema industrializado considerou-se o uso do sistema Mizumo Family, desenvolvido pelo fabricante Mizumo, com capacidade de tratamento que varia de 1,6 a 3,2 m³ de esgoto / dia, atendendo até 20 pessoas.

É fabricado em reservatório de fibra de vidro e a tampa em polietileno. O sistema possui reatores anaeróbios e aeróbios, decantadores (montados internamente aos sistemas), conexões tubulares de PVC, meio suporte de polietileno, difusor de ar de EPDM e soprador de ar. O sistema de desinfecção é feito por meio de pastilhas de cloro integradas ao produto. A instalação desta linha pode ser feita tanto acima do nível do solo como

enterrada. Ocupa uma área que varia de 3,5 m² a 8,0 m², tem uma eficiência de remoção da DBO (demanda bioquímica de oxigênio) variando de 90 a 96%, e necessita de uso de energia elétrica para ativar os sopradores para aeração. Observar Figura 3.5.



FIGURA 3. 5 – Sistema Industrializado Mizumo Family, para residências e pequenas comunidades (*Fonte: MIZUMO, 2006*).

Apresentadas as duas alternativas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais por sistemas mistos, o próximo item trata dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais que realizam a separação das águas em águas cinzas e águas negras.

3.4.2 Sistema de Tratamento de Águas Negras

Para sistema local de tratamento de águas negras foi realizada a subdivisão em: sistemas hídricos combinados com tanque séptico e sistemas hídricos não combinados com tanque séptico.

3.4.2.1 Sistemas hídricos combinados com tanque séptico

São os únicos sistemas que apresentam regulamentação normativa: ABNT NBR 7229/93 (Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos) e ABNT NBR 13969/97 (Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

As fossas sépticas (ou tanque séptico) são unidades de tratamento primário de esgoto doméstico nas quais são feitas a separação e transformação da matéria sólida contida no esgoto. Atuam no combate a doenças, verminoses e endemias (como a cólera),

evitando o lançamento dos dejetos humanos diretamente em rios, lagos, nascente ou na superfície do solo.

De acordo com a NBR 7229/93 o tanque séptico ou fossa séptica é uma unidade de fluxo horizontal para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão. A Figura 3.6 apresenta o funcionamento de um tanque séptico.

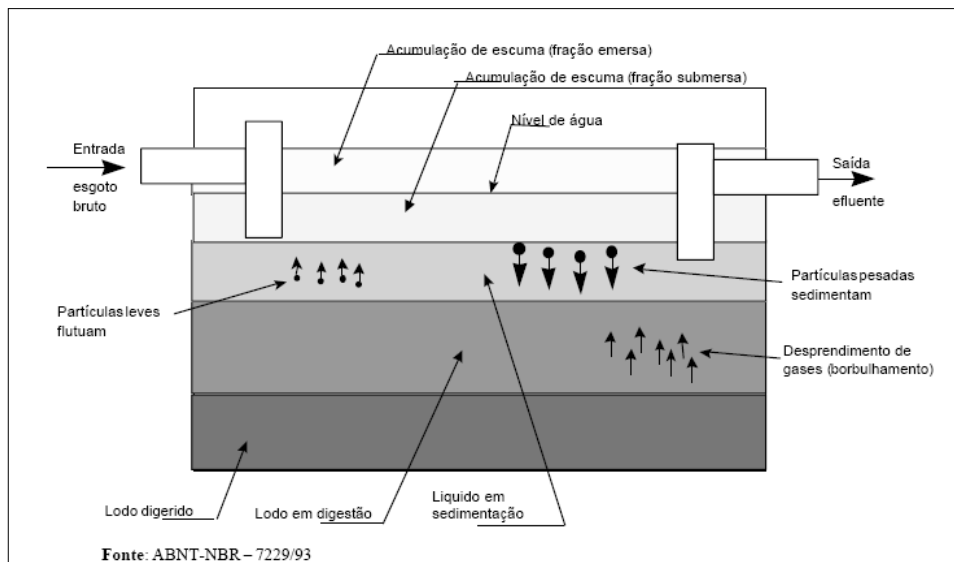


FIGURA 3. 6 – Detalhe do funcionamento geral de um tanque séptico (Fonte: NBR 7229, 1993).

As fossas sépticas não devem ficar próximas das moradias (para evitar mau cheiro) nem distantes (para evitar tubulações muito longas). A distância recomendada é de 5 metros, sendo construídas do lado do banheiro, para evitar curvas nas canalizações. Devem ficar em um nível mais baixo do terreno e longe de poços ou de qualquer outra fonte de captação de água (no mínimo 30 metros de distância), para evitar contaminações, no caso de eventual vazamento.

É uma tecnologia simples, compacta e de baixo custo. Não apresenta alta eficiência, principalmente na remoção de patogênicos e de substâncias dissolvidas, mas produz um efluente razoável, que pode ser encaminhado mais facilmente a um pós-tratamento ou ao destino final, conforme estudo da Prosab sobre fossa séptica, apresentado por Andreoli (2009). *“As grandes vantagens dos tanques sépticos, em comparação a outros reatores anaeróbios, estão na construção muito simples, na operação extremamente simples e eventual e nos custos. Para vazões pequenas e médias, os custos e a simplicidade construtiva e operacional são incomparáveis”* (ANDREOLI, 2009).

Após passar pelos tanques sépticos, os efluentes podem receber outro tipo de tratamento ou disposição final como a distribuição no solo ou corpos d'água por meio de: 1- sumidouro, 2- vala de infiltração, 3- vala de filtração ou filtro de areia, 4- filtro anaeróbio, 5- filtro aeróbio, 6- círculo de bananeiras e 7- poço de absorção, sistemas apresentados na sequência.

3.4.2.1.1 Sistema 3: Tanque séptico e sumidouro

O sumidouro é uma unidade de depuração e disposição final do efluente no solo de forma verticalizada, por meio de um poço seco profundo, sem laje e impermeabilização, que permite a infiltração do efluente. Não é um sistema adequado para uso em solos arenosos ou muito impermeáveis. É um poço seco escavado no chão que deve proporcionar a infiltração da água no solo.

Seu dimensionamento depende da quantidade de efluentes e do tipo de solo, não devendo ter menos de 1,00m de diâmetro e mais de 3,00m de profundidade, para facilitar a construção. Os materiais utilizados podem ser tijolo maciço, blocos de concreto ou anéis pré-moldados de concreto, com uma espessura mínima de parede de 0,50m. Deve estar localizado a cerca de 3,00m da fossa séptica e um nível um pouco mais baixo, para escoamento dos efluentes por gravidade (ABNT NBR 13969). A Figura 3.7 mostra o esquema desse sistema.

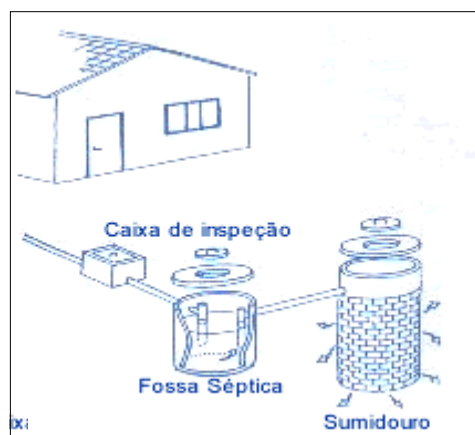


FIGURA 3. 7 – desenho esquemático do sistema tanque séptico e sumidouro para disposição de efluentes no solo (Fonte: CAESB, 2006).

3.4.2.1.2 Sistema 4: Tanque Séptico e Vala de Infiltração

A vala de infiltração consiste na percolação do efluente no solo para depuração, por meio de processos físicos (retenção de sólidos) e bioquímicos (oxidação). É formado por conjunto ordenado de caixa de distribuição, caixas de inspeção e tubulação perfurada assentada sobre uma camada de pedra-britada.

A percolação do líquido através do solo permite a mineralização dos esgotos, antes que se transforme em fonte de contaminação das águas subterrâneas e de superfície. A área por onde são assentadas as canalizações de infiltração também são chamados de “campo de nitrificação”. Recomendadas para locais onde o lençol freático é próximo à superfície (CAESB, 2006).

O comprimento total das valas dependido tipo de solo e quantidade de efluentes a ser tratado. Em terrenos arenosos recomenda-se 8,00 m de valas por pessoa e em terrenos argilosos são necessários 12,00m de valas por pessoa. Para o adequado funcionamento do sistema, cada linha de tubos não deve ter mais de 30,00m de comprimento, podendo ser necessárias mais linhas de tubos/valas, tendo espaçamento 1,00m entre as valas (ABNT NBR 13969). A Figura 3.8 traz o esquema desse sistema.

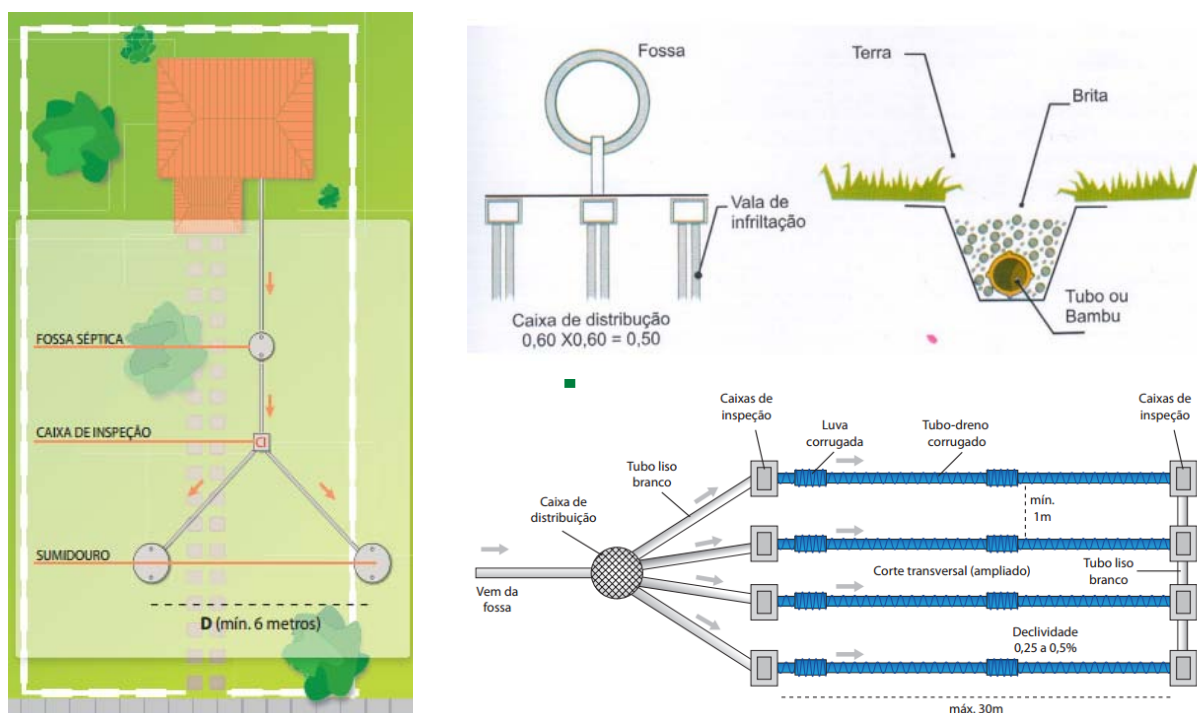


FIGURA 3. 8 – Desenho esquemático do sistema tanque séptico e vala de infiltração para disposição de efluentes no solo (Fonte: CAESB, 2006).

Observa-se na Figura 3.8 que se menciona o uso de bambu como material substituto à tubulação em PVC para as valas de infiltração. É uma solução que tende a ser mais sustentável e eficiente na condução dos efluentes, podendo ser utilizada com segurança. O próximo item aborda o uso de tanque séptico com vala de filtração.

3.4.2.1.3 Sistema 5: Tanque Séptico e Vala de Filtração ou Filtro de Areia

A vala de filtração ou filtro de areia trata-se de um processo de filtração do esgoto por meio de camadas de areia, ocorrendo a depuração do meio físico (retenção) e bioquímico (oxidação) devido aos microrganismos presentes nos grãos de areia. Possuem um conjunto ordenado de caixas de distribuição, caixas de inspeção, tubulações perfuradas superiores para distribuir o efluente sobre o leito biológico filtrante e tubulações perfuradas inferiores para encaminhar para disposição final (ERCOLE, 2003).

As valas devem possuir extensão mínima de 8,00 metros por pessoa ou equivalente, não podendo possuir menos de duas valas para atendimentos de uma fossa séptica. Quando o solo for arenoso e o nível do lençol freático for elevado, essa tipologia deve ser evitada ou construída respeitando parâmetros apresentados na ABNT NBR 13969. As Figuras 3.9 e 3.10 exemplificam este sistema.

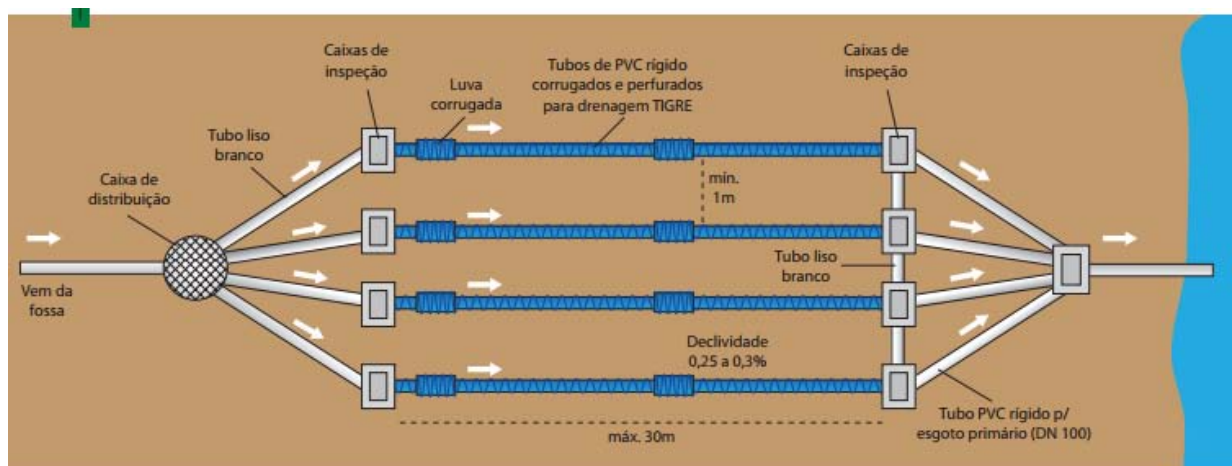


FIGURA 3. 9 – Desenho esquemático do sistema tanque séptico e vala e filtração para disposição de efluentes no solo (Fonte: CAESB, 2006).

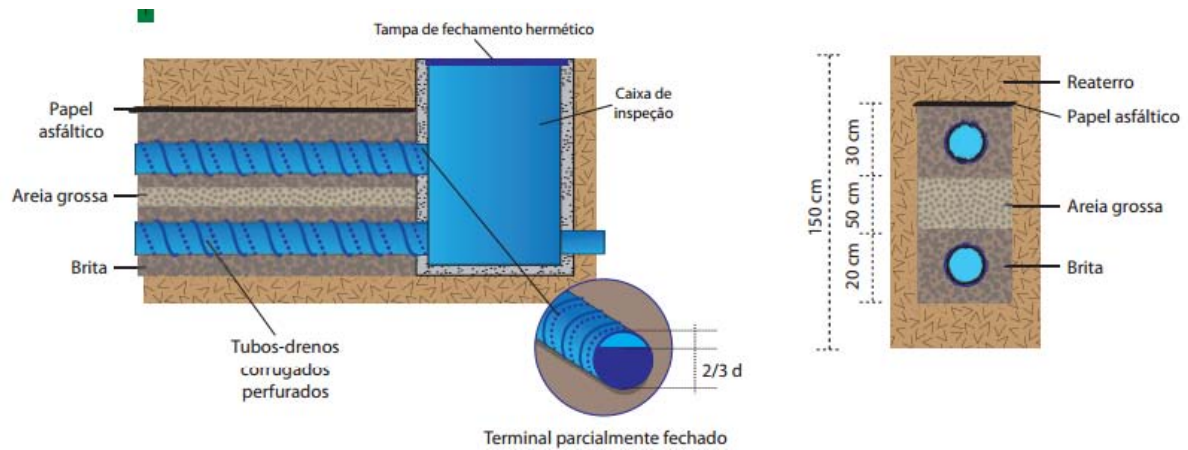


FIGURA 3. 10 – Detalhe técnico da vala de filtração (Fonte: CAESB, 2006).

Os sistemas que utilizam sumidouro, vala de filtração ou infiltração apresentam vantagens como infiltração rápida, facilidade de execução e manutenção (limpeza periódica dos tanques sépticos), ausência de odores, independência das condições climáticas, a área acima do local pode ser utilizada como jardim, têm necessidade de unidades de reserva para alternância de operações e descanso, necessidade de terrenos permeáveis para diminuição da área de construção. O próximo sistema é o tanque séptico com filtro anaeróbio, seguido pelo filtro aeróbio.

3.4.2.1.4 Sistema 6: Tanque Séptico e Filtro Anaeróbio

O sistema com uso de filtro anaeróbio é composto por um tanque com pedras britadas e fechado para possibilitar o desenvolvimento de micro-organismos. O esgoto percola sobre o material, entrando em contato com o lodo ativo retido. Resulta em boa remoção da matéria orgânica dissolvida, baixa produção de lodo, tem construção, operação e manutenção simples, não exigem grandes profundidades, porém pode ocorrer maus odores e apresentar entupimento do sistema.

O filtro deve estar contido em um tanque com fundo falso perfurado, com um leito filtrante de 1,20m e material filtrante a brita nº 4. Deve ter 1,80m de profundidade e diâmetro mínimo de 0,95m ou largura mínima de 0,85m. Podem ser construídos vários filtros, interligando-os em paralelo para melhores condições de tratamento (ABNT NBR 13969). A Figura 3.11 apresenta este sistema.

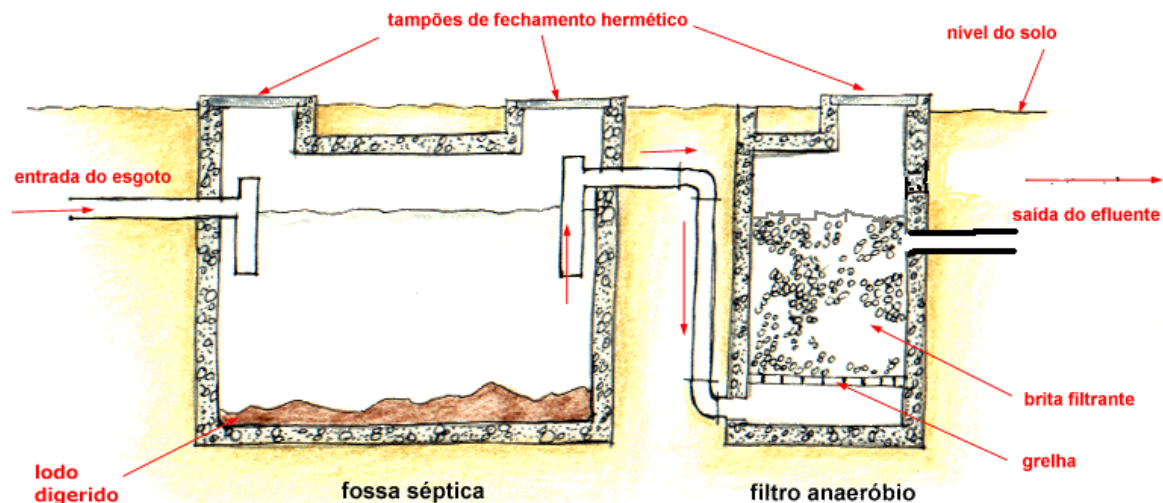


FIGURA 3. 11 – esquema de funcionamento do sistema fossa séptica com filtro anaeróbio (Fonte: EDIFIQUE, 2006).

3.4.2.1.5 Sistema 7: Tanque Séptico e Filtro Aeróbio

Nos filtros aeróbios os efluentes são aplicados sobre um material grosseiro (pedras, ripas, plástico), por meio de distribuidores rotativos movidos pela carga hidráulica do esgoto, fazendo com haja percolação no filtro, permitindo o crescimento bacteriano, utilizando ventilação natural. Há grande formação de lodo. Apresenta elevada eficiência de remoção de DBO, baixa área para implantação, equipamentos mecânicos simples, altos custo de implementação, dependência das condições climáticas, problemas com insetos e necessidade de remoção de lodo. Observar Figura 3.12 com esquema de funcionamento.

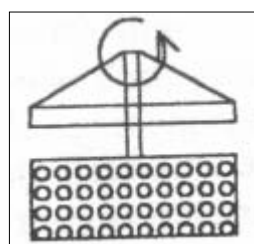


FIGURA 3. 12 – esquema de funcionamento do sistema fossa séptica com filtro aeróbio (Fonte: ERCOLE, 2003).

3.4.2.1.6 Sistema 8: Tanque Séptico e Círculo de Bananeiras

O círculo de bananeiras é uma técnica abordada no campo da permacultura. A permacultura iniciou-se nos anos 70 pelos australianos Bill Mollison e David Holmgren. Segundo Soares (1998), ela é descrita como “uma síntese das práticas agrícolas tradicionais com ideias inovadoras. Unindo o conhecimento secular às descobertas da ciência moderna,

proporciona o desenvolvimento integrado da propriedade rural de forma viável e segura para o agricultor familiar”.

Para Miranda (2007), a Permacultura envolve a implantação de projetos e manutenção consciente de ecossistemas produtivos por meio de técnicas tradicionais para o planejamento e desenvolvimento socioambiental de toda complexidade abordada nas práticas agrícolas, no *ecodesign*, na compra e venda sustentável, no ciclo de vida e no gerenciamento de resíduos, entre outros.

Dentro dessa perspectiva da permacultura, surgiu o sistema círculo de bananeiras como um sistema local de tratamento de efluentes domésticos. A fossa séptica com círculo de bananeiras consiste em despejar o efluente da fossa séptica em uma vala de terra (2,00 metros de diâmetros e 1,00 metro de profundidade) com britas ao fundo, coberto por, rodeado de bananeiras espaçadas a cada 60 cm. As bananeiras se adaptam a solos úmidos e ricos em matéria orgânica. Entre as bananeiras podem ser plantados lírios e mamoeiros para ajudar no tratamento. Sua principal manutenção é a colheita dos frutos e evitar crescimento excessivo de vegetação no local, além de ser uma solução de baixo custo. A Figura 3.13 apresenta imagens e o funcionamento do sistema.

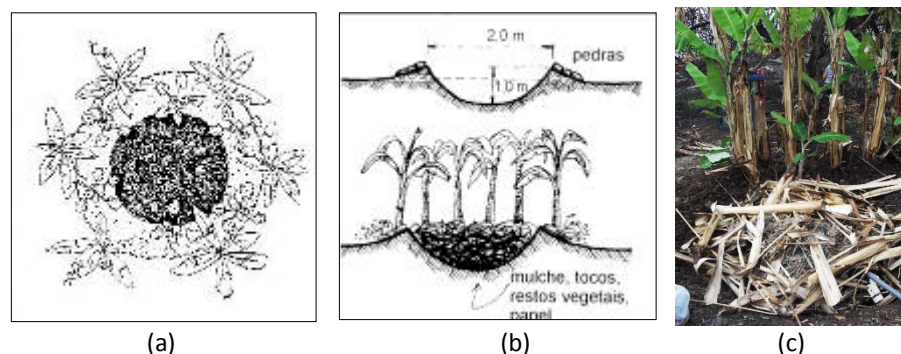


FIGURA 3. 13 – a-) esquema do círculo de bananeiras. B-) detalhe do lago artificial c-) imagem de um círculo de bananeiras (Fonte: BUKLEY, 2003 e PROJECTO MADEIRA VOLUNTÁRIA, 2012).

Essa alternativa de tratamento de efluentes sanitários residenciais pode ser também utilizada para tratamento de águas cinzas, destinando diretamente o efluente proveniente de pias, chuveiros, lavatórios, etc., para o círculo de bananeiras. O efluente da pia de cozinha deve passar pela caixa de gordura antes de ser encaminhado ao círculo de bananeiras.

3.4.2.1.7 Sistema 9: Tanque Séptico e Poço de Absorção

Deffis e Molina (1992) trazem em seu trabalho alguns tipos de tratamento de águas negras, sendo um deles chamado de tanque séptico com poço de absorção. O tanque séptico é semelhante ao apresentado utilizado nos outros sistemas, apenas o poço de absorção é diferenciado. Ele deve ter uma profundidade mínima de 0,40 m e 0,15 m de diâmetro, dividido em 3 camadas: primeira com carvão ativado, segunda com brita e terceira com areia. Apresenta bom desempenho na remoção de sólidos, fácil execução, porém não deve ser aplicado em locais cujo nível do lençol freático seja elevado e o solo deve permitir a infiltração dos efluentes. Observar Figura 3.14.

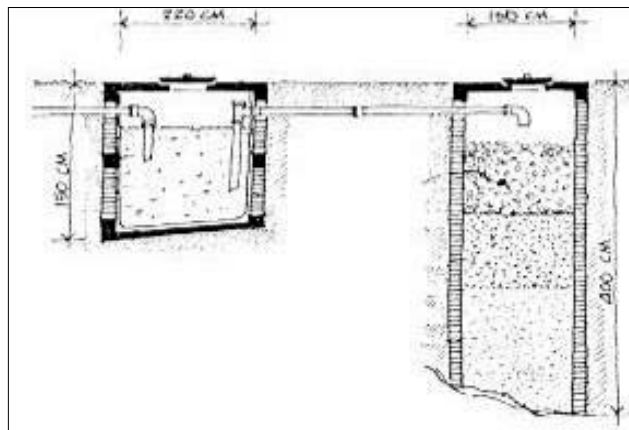


FIGURA 3. 14 – Detalhe do tanque séptico com poço de absorção (DEFFIS e MOLINA, 1992).

Essas alternativas que utilizam tanque séptico com processos de infiltração no solo apresentam como características o baixo custo, a facilidade e construção, porém manutenção um pouco complexa, devem ser realizadas análises da qualidade de solo que deve ser permeável para as infiltrações e do nível do lençol freático que não deve estar próximo à superfície. Após apresentados os sistemas hídricos combinados com tanques sépticos, os próximos quatro sistemas apresentam sistemas hídricos que não são combinados com fossa séptica.

3.4.2.2 Sistemas hídricos não combinados com tanque séptico

São sistemas que não utilizam a fossa séptica (prioritariamente) para tratamento do efluente sanitário. São os sistemas: fossa séptica biodigestora, biodigestor (contínuo e intermitente) e sistema modular com separação para águas negras.

3.4.2.2.1 Sistema 10: Fossa Séptica Biodigestora

Sistema desenvolvido pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária) denominado de Fossa Séptica Biodigestora, para substituição das fossas negras existentes na zona rural, de modo a evitar a contaminação do meio ambiente e o efluente gerado pode servir como fertirrigação em alguns cultivos (exceto hortaliças).

Segundo a EMBRAPA (2006), é composto por 3 caixas de fibrocimento (ou plásticas), interligadas por tubulação de PVC, por onde o efluente permanece por um mês até ser despejado em um leito de infiltração. Necessita de uso de esterco bovino para ativar o processo. A primeira caixa deve ser preenchida com aproximadamente 20L de uma mistura de 50% de água e 50% esterco bovino (fresco) e este procedimento deve ser repetido a cada 30 dias com 10 L da mistura água e esterco bovino, inseridos no sistema por uma válvula de retenção. Também deve haver a retirada do lodo quando necessário. Seu dimensionado foi para famílias com até 5 pessoas, necessita de manutenção constante e deve-se dificultar o acesso das pessoas ao local do sistema. A Figura 3.15 apresenta o esquema do sistema fossa séptica biodigestora.

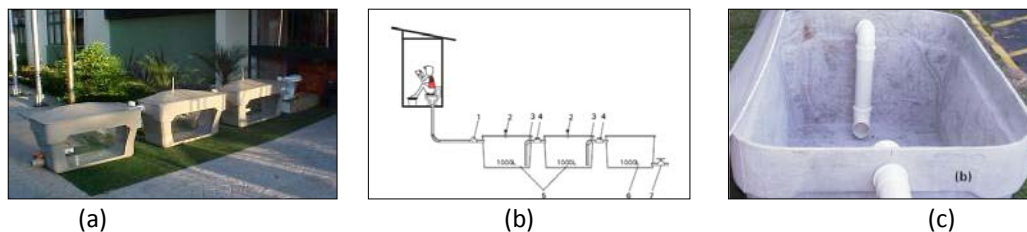


FIGURA 3. 15 – a e b-) esquema do sistema fossa séptica biodigestor, c-) detalhe da instalação hidráulica interna da fossa séptica biodigestora (Fonte: NOAVES et al., 2002).

3.4.2.2.2 Sistema 11: Sistema modular com separação das águas

O sistema modular com separação das águas traz uma concepção de sistema para águas cinzas e outra para águas negras. Em ambos os sistemas, o efluente é encaminhado para um leito de evapotranspiração e infiltração (LETI). Nele, realiza-se a passagem do efluente em uma camada de solo orgânico não compactado, permeado por plantas ou por leito de pedras, criando-se um jardim para a infiltração do material tratado (ERCOLE, 2003). A Figura 3.16 apresenta exemplo de LETI.

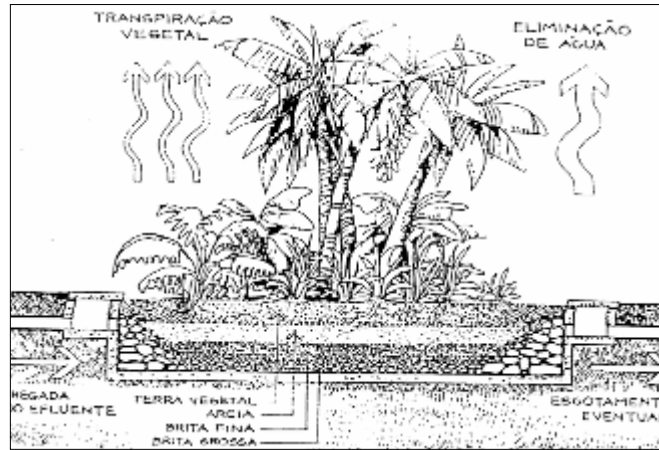
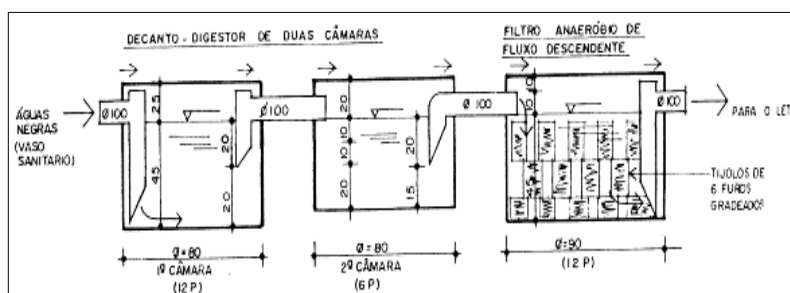


FIGURA 3. 16 – Detalhe do leito de evapotranspiração e infiltração (Fonte: ERCOLE, 2003).

Esse sistema foi desenvolvido por Ercole (2003). Para o tratamento das águas negras é utilizado um reator anaeróbico bi-compartimentado, em que o primeiro compartimento é um decanto-digestor (realiza atividades de decantação, sedimentação e flotação) e o segundo é um filtro anaeróbico (filtração do material).

Utiliza para sua construção materiais como tijolo, areia, pedras, e para sua manutenção é necessária a limpeza dos compartimentos. O sistema não depende das condições climáticas para operação, ocupa área de 1-3m²/habitante, não produz odores, não atrai insetos, o lodo gerado pode ser utilizado como adubo, necessita separação entre águas servidas e área para as unidades de tratamento. A Figura 3.17 apresenta detalhe do dimensionamento e a foto do sistema em fase de construção.



(a)

(b)

FIGURA 3. 17 – a-) Esquema do sistema. b-) imagem do sistema em implantação. (Fonte: ERCOLE, 2003).

3.4.2.2.3 Sistema 12: Biodigestor contínuo e Sistema 13: Biodigestor intermitente

Os biodigestores, de acordo com Macintyre²¹ (1996) citado por Ercole (2003), Deganutti et al (2000) são compostos por um tanque digestor anaeróbio que contém o material orgânico misturado com água, e um armazenador de biogás, produzido pela fermentação realizada pelas bactérias. É um sistema que deve ser fechado, sem contato com a luz e o ar.

Podem ser classificados em alimentação contínua, em que recebem a carga de biomassa periodicamente e a remoção do biofertilizante se faz com o sistema em funcionamento, ou alimentação intermitente de forma que os biodigestores são carregados com a carga total de biomassa que fica retida até completar o processo, para após ser utilizado novamente.

É um processo que permite o tratamento de esgoto e de outros resíduos sólidos (lixo orgânico, excretas de animais), produz biogás que pode ser usado como combustível para outras atividades, o composto para ser utilizado como adubo, não apresenta riscos de poluição ambiental e pode produzir odores. Sua eficiência na remoção de DBO é de 40-60%. A Figura 3.18 apresenta os tipos de biodigestores existente.

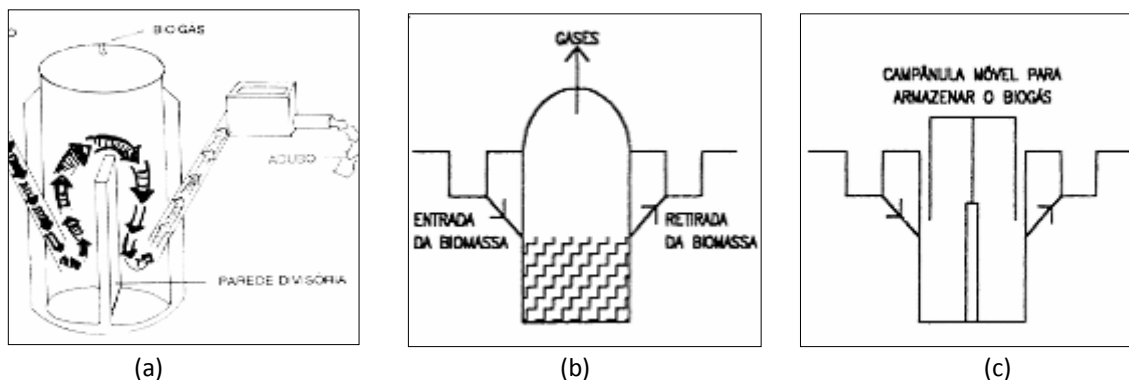


FIGURA 3. 18 – a-) Esquema da circulação dos efluentes pelo biodigestor. b-) Biodigestor modelo chinês. c-) Biodigestor modelo indiano. (Fonte: ERCOLE, 2003 e BARRERA, 1993).

Apresentados os quatros sistemas não hídricos que não são combinados com tanques sépticos, o próximo item apresenta os sistemas para tratamento de águas cinzas.

²¹ MACINTYRE, A.J. **Instalações hidráulicas**. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

3.4.3 Sistema de tratamento de águas cinzas

Para tratamento das águas cinzas (efluentes provenientes da pia de cozinha, tanques, ralos, chuveiro, pias, máquina de lavar) foram relacionados os seguintes sistemas: sistema circuito fechado, sistema modular para tratamento de águas cinzas, e sistema de plantas sobre o campo de lixiviação do tanque séptico.

3.4.3.1 Sistema 14: Sistema modular com separação das águas

O sistema modular para tratamento de águas cinzas foi desenvolvido por Ercole (2003) como complementação ao sistema desenvolvido para o tratamento de águas negras. É realizada uma filtragem da água para posteriormente ser enviada ao LETI, por meio de um decantador para retirar o material em suspensão (graxas, óleos, gorduras, sólidos), devendo o efluente ficar retido por um período de duas horas. Isso é realizado para impedir que o material obstrua os canais que levem ao LETI. A Figura 3.19 traz um detalhe do dimensionamento desse sistema para águas cinzas.

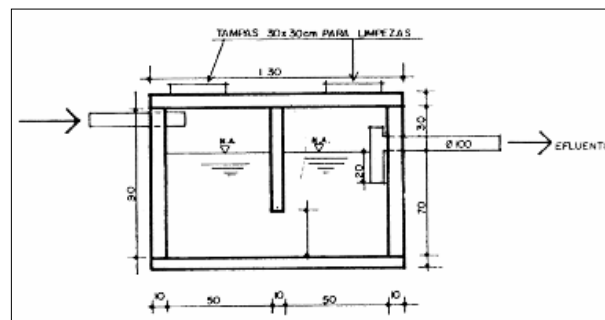


FIGURA 3. 19 – Detalhe do sistema de tratamento de águas cinzas (Fonte: ERCOLE, 2003).

3.4.3.2 Sistema 15: Sistema circuito fechado

O sistema circuito fechado foi desenvolvido pelo IPEMA (2006). São utilizados 2 tambores de 200 litros: primeiro: caixa séptica de gordura para separar o material grosso, em local ventilado e tampado; segundo reservatório com brita, areia e terra em camadas de 10 cm, deixando um espaço de 40 cm da borda superior para acúmulo do efluente que passará pela filtração.

Após passar pelo sistema, o efluente é encaminhado para um lago ornamental. Esse lago contém uma vala de 2,00 metros de diâmetro de 0,50 cm de profundidade, sendo coberto com uma lona plástica, com britas ao fundo. Sobre o lago são colocadas plantas aquáticas de várias espécies: lírios do brejo, junco e aguapé, nas bordas algumas pedras e plantas. Na extremidade oposta do lago pode-se recolher a água, armazenando-a em outro tambor para uso na irrigação de jardins.

A manutenção é com relação a limpeza dos filtros quando necessário, retirada do excesso de vegetação que venha aparecer, não influi no nível do lençol freático, é de fácil execução e baixo custo, não devendo possuir odores nem insetos e necessidade de pouca área para implantação. A Figura 3.20 apresenta imagens do detalhe desse sistema.

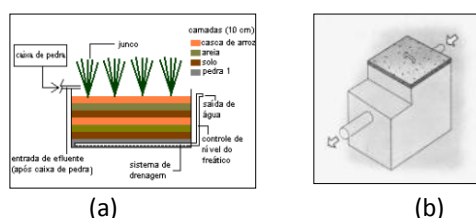


FIGURA 3. 20 – a) Detalhe do reservatório com britas e camada de areia / b) Esquema da caixa séptica de gordura (Fonte: IPEMA, 2003).

3.4.3.3 Sistema 16: Sistema plantas sobre o campo de lixiviação do tanque séptico

Ludwing (1994) traz em seu livro diversas formas de tratamento de águas cinzas, desde tratamento para apenas uma fonte, como para do efluente resultante da junção de vários equipamentos. Para este estudo será apresentado o processo denominado plantas sobre o campo de lixiviação do tanque séptico. Ele é semelhante à vala de infiltração, neste caso, tratando apenas águas cinzas.

É realizado com a construção de um tanque séptico para tratar as águas cinzas e a água efluente é encaminhada, via tubulação de PVC, para regiões onde há plantas para serem irrigadas. Nesses locais, são feitas perfurações nos tubos para irrigação. O custo desse sistema pode ser elevado, dependendo da distância da vegetação do tanque, acarretando em um maior número de tubulações. A manutenção a ser realizada é a limpeza do tanque séptico para que os sólidos não façam com que o sistema seja entupido, prejudicando sua eficiência, além de ser necessárias grandes áreas para implantação. A figura 3.21 apresenta este sistema.

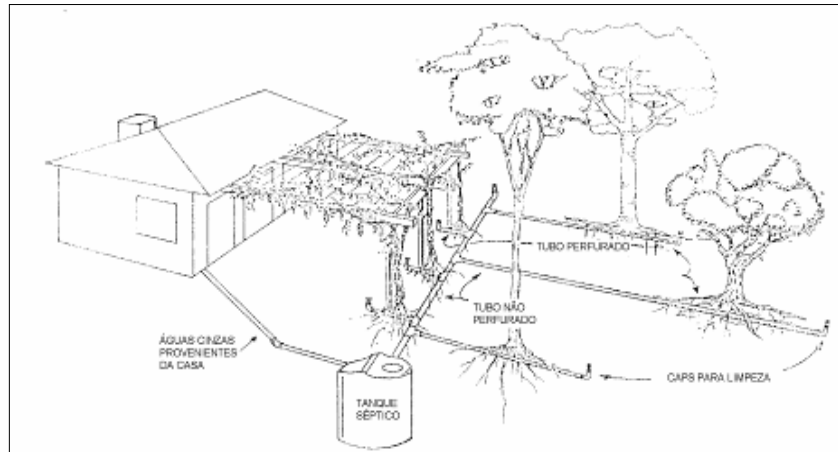


FIGURA 3. 21 – Esquema do sistema (Fonte: LUDWING, 1994).

Apresentados os 3 sistemas para tratamento de águas cinzas, o próximo item aborda os sistemas de tratamento não hídricos (banheiro seco).

3.4.4 Sistema de Tratamento não Hídrico (Banheiro seco)

Os sistemas não hídricos são sistemas que não utilizam a água como meio de transporte dos dejetos. Também são conhecidos por sanitário compostável (*composting toilet*), banheiro seco (*dry toilet*), banheiro biológico (*biological toilet*) ou banheiro ecológico (*ecological toilet*). O sistema banheiro seco é uma das formas de evitar poluição e conservar a água e recursos naturais (DEL PORTO e STEINFELD, 2000).

Segundo os mesmos autores, o banheiro seco é uma tecnologia utilizada em diversos países como os Estados Unidos, Canadá, Suécia, Noruega, Nova Zelândia, Inglaterra e Austrália. Ele utiliza o processo de compostagem para tratar e sanitizar (exterminar os agentes patogênicos) os dejetos humanos, reduzindo consideravelmente ou totalmente o uso de água para o transporte, armazenamento e tratamento destes resíduos.

Recomenda-se a implantação de banheiros secos em áreas onde não existe coleta de esgoto, principalmente zonas rurais e distantes dos centros urbanos, em que se apresenta como uma alternativa simples, de baixo custo e que não agride ao meio ambiente. O sanitário compostável não utiliza água, pois os dejetos ficam armazenados em uma câmara e passam por processo de compostagem. O composto obtido pode ser utilizado em jardins, ou como recurso agrícola. Esta alternativa respeita o ciclo natural dos elementos,

contribui para a redução do consumo de água, e evita a sua contaminação por dejetos humanos (SÁ, 2011).

O banheiro seco apresenta como vantagens seu baixo custo de construção, economia no consumo de água, ser de fácil execução e manutenção. O resíduo compostado se torna adubo para plantações, pode ser aplicado em locais que o nível do lençol freático é elevado, não polui o solo e não apresenta riscos à saúde, desde que sejam realizadas as manutenções periodicamente, principalmente quanto ao controle da temperatura do composto, para que não contenham organismos patogênicos. Porém é um sistema que causa aversão nas pessoas, que não querem manejar o composto, também não é agradável para pessoas acostumadas com sistema de descarga hidráulica.

Segundo Pereira Neto e Lelis (1999), por pior que seja o produto (composto), sempre estará inerte, não produzirá gases nem chorume e propiciará o crescimento de vegetais em áreas contaminadas, solos estéreis, voçorocas e aterros. No banheiro seco também se pode realizar a separação das águas negras em águas marrons (fezes) e águas amarelas (urina).

De acordo com Kvarnström et al (2006) a separação de urina melhora as instalações de saneamento seco reduzindo odores e facilitando a manutenção do sistema, contribui para melhorar a saúde sendo uma maneira mais fácil e higiênica de manusear as fezes, reduz o risco de contaminação das águas subterrâneas com patógenos, provê soluções permanentes contribuindo para o esvaziamento simplificado aumentando a vida útil do sanitário e facilita o ciclo dos nutrientes. A urina contém a maioria dos nutrientes encontrados na excreta, sendo um excelente fertilizante, apropriado para todos os cultivos que necessitam ação rápida de nitrogênio. A instalação de sistemas secos de separação de urina pode ser a opção mais econômica.

O tempo recomendado de armazenamento da urina, à temperatura que variam de 4 a 20° C duram entre um e seis meses. Para residências individuais, a urina pode ser aplicada diretamente a qualquer cultivo sem ser armazenada, desde que transcorra um mês entre a fertilização e a colheita. Deve-se evitar diluir a urina (SCHÖNNING e STENSTRÖM, 2004).

Segundo Jenkins (1996) e Del Porto e Steinfeld (2000)²², citado por Ercole (2003), existem três tipos de privadas secas mais conhecidas: sistema com recipientes móveis, sistema carrossel e sistema com duas câmaras.

3.4.4.1 Sistema 17: Banheiro seco com recipientes móveis

Sistema mais simples de banheiro seco. Consiste em coletar as excretas em um pequeno tonel no interior de uma estrutura sobre a qual está o assento sanitário, ou outro local adequado. Toda vez que é usado, cobre-se a excreta com um pouco de terra, cinzas ou serragem. Repete-se o procedimento até completar o recipiente, que é substituído por outro e transportado até local adequado para término da compostagem.

Esse local deve ficar na área exterior da edificação, ter elevada incidência solar e evitar o acesso às pessoas e animais. Após período de exposição, os dejetos compostados podem ser utilizados como fertilizante em alguns cultivos. As Figuras 3.22 e 3.23 apresentam o esquema simplificado de funcionamento do sistema, um modelo pronto para uso e um sistema portátil.



FIGURA 3. 22 – a) Esquema de funcionamento do banheiro seco com recipientes móveis / b) exemplo de banheiro seco recipientes móveis simplificado (Fonte: ERCOLE, 2003 e ROOF SIMPLE, 2009).

²² DEL PORTO, D.; STEINFELD, C. **The composting toilet system book**. Massachusetts, USA: The Center of Ecological Pollution Prevention, 2000.



FIGURA 3. 23 – Banheiro seco de recipientes móveis portáteis, com rodas que permitem sua movimentação (Fonte: BIOLAN, 2013).

3.4.4.2 Sistema 18: Banheiro seco com sistema carrossel

Esse tipo de banheiro seco possui vários compartimentos que após serem completados, são girados para posicionar outro compartimento sobre o sanitário, sendo que o material, após passar pelo período de compostagem, é retirado e utilizado como fertilizante. É um sistema de uso contínuo. Seu funcionamento é semelhante ao anterior, em que deve ser aplicado sobre as excretas serragens para o processo de compostagem e evitar odores.

Um dos desenvolvedores desse sistema foi a EcoTech (*Ecological Engineering Group*). Ele utiliza o processo biológico da compostagem rápida decomposição aeróbia por micro-organismos do ar e calor para quebrar resíduos orgânicos. A velocidade do carrossel de compostagem superior e a eficiência são o resultado das quatro câmaras de compostagem rotativas. O recipiente interno é dividido em quatro câmaras, que são perfurados na parte inferior. O líquido drena para o fundo do recipiente exterior, onde o ar aquecido, aspirado para dentro do recipiente, se evapora. O vácuo resultante assegura que nenhum odor escape para o quarto. Quando uma câmara está cheia, é girado para a próxima posição, assegurando que os resíduos frescos não interfiram no material de compostagem mais avançado (ECOTECH, 2012).

Cada câmara deve permanecer cerca de 6 meses em uso, sendo que ao final de um curso, são 2 anos para que o composto possa ser utilizado como fertilizante. A Figura 3.24 apresenta um esquema de funcionamento do sistema.

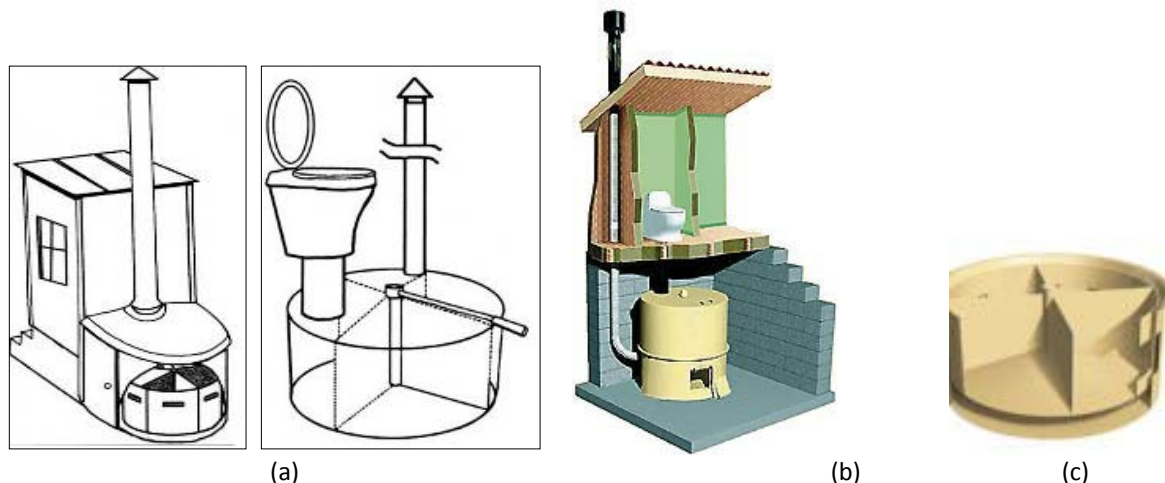


FIGURA 3. 24 – a) Esquema do banheiro seco carrossel / b) Imagem da instalação do sistema de banheiro seco carrossel / c) Detalhe do recipiente inferior do banheiro seco carrossel. (Fonte: ERCOLE, 2003 e ROOF SIMPLE, 2009).

3.4.4.3 Sistema 19: Banheiro seco com duas câmaras

Geralmente construído em alvenaria, os vasos sanitários devem ficar acima das câmaras de compostagem. São utilizadas duas câmaras de compostagem. Entre o assento sanitário e a câmara, existe uma rampa por onde descem os dejetos, com inclinação suficiente para que as excretas desçam sobre esta rampa, até o recipiente (câmara de compostagem) em que serão cobertas com serragem. É utilizada uma câmara de cada vez e deve ser previsto um sistema de ventilação para evitar odores. O período de utilização dura em média 6 meses.

A construção deve ser realizada deixando sempre as câmaras voltadas para a face Norte, no caso do hemisfério Sul, onde recebe maior irradiação solar, favorecendo o aquecimento da câmara. Na parte de traz do banheiro, onde estão as câmaras, há uma chapa metálica preta para garantir maior aquecimento do sistema. Existe também uma chaminé para a circulação do ar, que entra frio pela abertura do assento, é aquecido na câmara e sai pela chaminé. A Figura 3.25 apresenta o esquema de funcionamento desse sistema e uma imagem de um sistema construído.

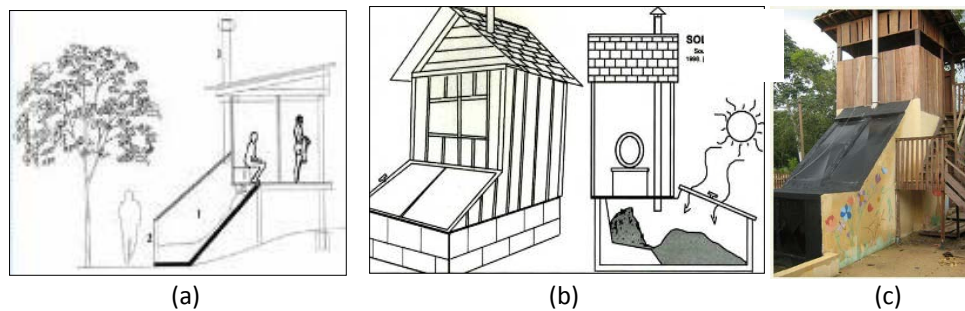


FIGURA 3. 25 – a) Esquema do banheiro seco duas câmaras / b) Esquema do banheiro seco duas câmaras / c) Imagem de sistema de banheiro seco duas câmaras construído. (Fonte: ERCOLE, 2003; JENKINS, 1996 e INSTITUTO REFAZENDA, 2013).

Apresentadas, resumidamente, as 19 alternativas locais para tratamento de efluentes sanitários residenciais e variáveis apresentadas, elaborou-se o quadro de comparação de alternativas x variáveis e realizou-se a análise da sustentabilidade de cada sistema, como proposta para auxiliar as pessoas no processo de escolha e tomada de decisão da alternativa mais adequada à sua necessidade e sustentável. Esses resultados são apresentados no próximo item.

3.5 ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DAS ALTERNATIVAS LOCAIS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO LOCAL DE EFLUENTES SANITÁRIOS

Para análise das alternativas locais de tratamento de efluentes sanitários foi elaborado quadro de comparação de alternativas x variáveis, um instrumento para facilitar a compreensão das pessoas no processo de tomada de decisão, para a escolha do sistema, baseando-se nas variáveis e alternativas abordadas nos itens anteriores.

O quadro é composto nas colunas pelas alternativas de tratamento de esgoto e nas linhas as variáveis selecionadas para análise, de modo que essa disposição auxilia na visualização das pessoas, possibilitando uma análise conjunta dos resultados. Para este estudo, utilizou-se o quadro de comparação elaborado por Martinetti (2006), com as 19 alternativas apresentadas. Há outras alternativas existentes para tratamento local de efluentes sanitários residenciais que não estão listadas nesse quadro, que é um objeto em constante construção e atualização.

Os quadros de comparação (ver o quadro na íntegra no apêndice B) que serão apresentados mostram os resultados individuais da análise da sustentabilidade de cada

alternativa local de tratamento de efluentes sanitários residenciais com base nas dimensões ambiental, econômica, social, política e cultural, dentro da perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios.

Neste estudo considerou-se a análise da sustentabilidade dos sistemas para habitações com até 5 moradores. É importante observar que algumas dessas alternativas propostas podem ser também utilizadas para pequenas comunidades, em sistemas condominiais, em estabelecimentos comerciais, hotéis, entre outros, impactando na área de implantação e volumes de efluentes tratados.

Neste caso, a análise deverá contemplar o número de pessoas a serem atendidas, impactando no dimensionamento do sistema. Para padronizar a análise da sustentabilidade e não ampliar o seu escopo, foi estipulado que seriam avaliados sistemas aplicados a habitações unifamiliares para até 5 habitantes. Dados do PNAD 2013 mostram que o número médio de moradores por domicílio particular permanente no Brasil é de 3,1. Para a região Norte, este valor é de 3,6 habitantes por domicílio, portanto quase 4 habitantes por residência (IBGE, 2014). O valor de 5 habitantes engloba as diferentes habitações unifamiliares brasileiras.

Os quadros foram subdivididos de acordo com o tipo de tratamento: I- Sistema de tratamento misto (águas cinzas e águas negras), II- Sistema de tratamento de águas negras (sistemas hídricos combinados com tanques sépticos e sistemas hídricos não combinados com tanque séptico), III- Sistema de tratamento de águas cinzas e IV- Sistema de tratamento não hídrico (banheiro seco).

3.5.1 SISTEMA DE TRATAMENTO MISTO (Águas Cinzas e Águas Negras)

Esse sistema não realiza a separação das águas em águas cinzas e águas negras. Isso resulta em um maior volume de efluente a ser tratado se comparado com o volume de efluentes em sistemas com separação das águas. Com base nos dados de estimativa de consumo de água por equipamento sanitário da USP, apresentados por May (2008) e dados de geração de esgoto, por dia, de acordo com a ABNT NBR 7229, para uma casa com 5 habitantes, temos:

- Contribuição diária de esgoto para classe baixa: 500 litros / dia.
- Águas Negras (vaso sanitário): 29%, ou seja, 145 litros de efluente por dia.
- Águas Cinzas (demais equipamentos): 71%, ou seja, 355 litros de efluente por dia.

Com relação à **dimensão ambiental** da sustentabilidade, sistemas que não fazem a separação das águas acarretam em maiores volumes de efluentes a serem tratados e, conseqüentemente, maior volume de água contaminada, prejudicando essa dimensão. Além disso, a dimensão das unidades de tratamento de efluentes sanitários residenciais também são maiores, resultando em maior consumo de materiais para construção do sistema e sua maior complexidade de manutenção. Também esses sistemas podem acarretar em um maior volume de lodo a ser digerido e tratado.

Esses fatores impactam diretamente na **dimensão econômica** da sustentabilidade, no que se refere aos custos de implantação e consumo dos materiais, além de maior consumo de água. Na **dimensão social e cultural** há uma maior aceitabilidade dos sistemas, pois, ainda, não há cultura de separação dos efluentes. Também seu uso é facilitado pela não necessidade de alteração da tubulação existente na edificação ou construção de novos ramais de coletores.

A **dimensão política** deve ser beneficiada se o processo de tomada de decisão para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial for participativo e propiciar que as pessoas tomem decisões adequadas ao contexto local e social, com acesso às informações necessárias.

Uma das formas de possibilitar o acesso ao conhecimento para permitir tomadas de decisão conscientes foi a construção do quadro comparativo (alternativas x variáveis), uma ferramenta que auxilia na visualização e interpretação das alternativas e comparação entre os sistemas para que os usuários finais para que façam escolhas adequadas às suas necessidades.


Em se tratando do equilíbrio dinâmico dos territórios, os ecossistemas possuem determinada capacidade de recuperação, retornando a uma situação homeostática, dentro de certo período de tempo. Sistemas de tratamento que não fazem separação das águas dificultam esta atividade, uma vez que levam aos sistemas maiores

volumes de efluentes para passarem pelo processo, e conseqüentemente, maior tempo para retorno a uma situação de equilíbrio. Para o sistema de tratamento misto são apresentadas duas alternativas, com respectivos quadros de comparação: 1- sistema reciclagem das águas e 2- sistema industrializado.

3.5.1.1 Análise da Sustentabilidade do Sistema Reciclagem das Águas

Para análise da sustentabilidade do sistema reciclagem das águas será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.6), o Quadro 3.7 com os fluxos da água, energia, materiais e participação e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 6- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento misto: Sistema de Reciclagem das Águas.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	SISTEMA DE RECICLAGEM DAS ÁGUAS
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	1- reservatório anaeróbio séptico (fossa séptica); 2- reservatório aeróbio filtro-misto (camadas de 10cm de terra e brita, com plantas aquáticas); 3- reservatório anaeróbio com plantas (água efluente + plantas); 2- reservatório aeróbio filtro misto (camadas de 10cm de terra, areia, solo e casca de arroz, com plantas aquáticas na superfície); 5- reservatório para armazenagem da água reciclada.
2.2- Materiais constituintes	Tubulação em PVC, reservatórios em concreto, alvenaria, plástico (Polietileno / Fibra de vidro), brita / pedrisco para filtro, plantas aquáticas.
3- Área necessária para implantação	A partir de 15,0m ²
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais (conforme dimensionamento por profissional capacitado)
5- Complexidade construtiva	Alta. São necessários 5 tanques para construção. É preciso manter os reservatórios desnivelados; Se utilizar materiais pré-fabricados tende a ser mais rápida e simples a construção ao invés de construir no local.
6- Operação e manutenção	Limpeza anual dos filtros, controle da vegetação e remoção do lodo de 1 a 5 anos, com tratamento e destino para adubação
7- Custo de implantação ¹	R\$500,00 a R\$ 700,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se não houver limpeza dos filtros, pela presença de filtro anaeróbio.
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica e controle da vegetação.
11- Eficiência na remoção de DBO	94-98%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo, por utilizar muitos tanques para completo tratamento.
13- Riscos à saúde	Baixo, desde que se dificulte o acesso ao efluente
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	IPEMA, 2006 / ERCOLE, 2003
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 7- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema de Reciclagem das Águas.

Fluxo da água	Geração → Reservatório anaeróbio séptico → Reservatório aeróbio filtro-misto → Reservatório anaeróbio com plantas → Reservatório aeróbio filtro misto → 5- Reservatório anaeróbio água reciclada → reuso não potável
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Reservatório anaeróbio séptico em alvenaria ou plástico → Reservatório aeróbio filtro-misto em alvenaria ou plástico → Reservatório anaeróbio com plantas em alvenaria ou plástico → Reservatório aeróbio filtro misto em alvenaria ou plástico → 5- Reservatório anaeróbio água reciclada em alvenaria ou plástico → tubos PVC

Etapas da participação	<ol style="list-style-type: none"> 1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente
------------------------	---

Para análise da sustentabilidade do sistema reciclagem das águas devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos 5 reservatórios nesse sistema, que podem ser construídos com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do trabalhador não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais e componentes pré-fabricados, reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de

reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda área elevada para implantação, uma vez que são 5 reservatórios ligados em série, o que pode inviabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, pois pode ser ou não enterrado. Isso favorece a não limitação de uso dessa solução.

Uma das vantagens desse sistema é seu elevado grau de tratamento da água efluente, para permitir seu reuso de forma mais segura ao usuário final, beneficiando a sustentabilidade ambiental. Uma das formas de reuso seria a irrigação de árvores frutíferas. Não se recomenda o reuso desse efluente na irrigação de hortaliças.

A operação e manutenção do sistema é simplificada. É preciso limpar os filtros (retro-lavagem) destinando o resíduo às áreas específicas para este fim, não sendo reaproveitado. É necessário conservar as plantas aquáticas que auxiliam no sistema, para que não se proliferem.

O lodo formado nos reservatórios deve ser removido em intervalos que podem variar de 1 a 5 anos. Para melhorar a sustentabilidade do sistema, deve-se evitar o uso de equipamento mecanizado para limpeza e destinação do lodo formado ou uso de veículos do tipo limpa fossa. Essa questão impacta na dimensão econômica da sustentabilidade. Devem-se adotar soluções para remoção e reaproveitamento do lodo (compostagem), possibilitando seu reuso na adubação de cultivos.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que demanda uma área elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes e insetos, principalmente no crescimento excessivo das plantas.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituto de promoção de técnicas permaculturais, que buscou soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação devido à dificuldade de construção e área necessária para implantação, uma vez que utilizam muitos reservatórios, o que torna sua operação um pouco complexa, e que muitos usuários buscam por soluções mais simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos elevados de construção, devido ao número elevado de reservatórios a serem construídos, o que pode inviabilizar sua implantação. Apesar disso, os custos de manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os

impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é maior que se comparado com sistemas separadores, assim como o volume de lodo gerado. Em contrapartida, o volume de água para reuso gerado é maior, o que pode acarretar em economia de água na residência.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa técnica tradicional (fossa séptica) para um uso mais contemporâneo, acrescentando fases e soluções para busca de maiores eficiências de tratamento. É preciso

garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local e social.

Outro sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais por sistema de tratamento misto, com complexidade construtiva maior, é o sistema industrializado, apresentado no próximo item.

3.5.1.2 Análise da Sustentabilidade do Sistema Industrializado

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.8), o Quadro 3.9 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 8- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento misto: Sistema Industrializado: Mizumo MF 3200.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	SISTEMA INDUSTRIALIZADO
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Reator anaeróbio 1; Reator anaeróbio 2; Reator aeróbio; Decantação e desinfecção
2.2- Materiais constituintes	Reservatório plástico reforçado por fibra de vidro; Conexões tubulares de PVC; meio suporte de polietileno; difusor de ar de EPDM e soprador de ar. Sistema de desinfecção por meio de pastilhas de cloro integradas ao produto.
3- Área necessária para implantação	3,5 a 8,0 m ²
4- Número de domicílios atendidos	Até 20 pessoas (até 5 domicílios)
5- Complexidade construtiva	Baixa. O reservatório está pronto para uso, podendo ser enterrado ou não.
6- Operação e manutenção	Limpeza até 3 vezes ao ano e verificação periódica do acúmulo de sólidos. Os resíduos e lodo devem ser encaminhados para uma ETE
7- Custo de implantação ¹	R\$ 2.500,00 a R\$ 4.200,00 / habitante
8- Custo de operação	Varia de acordo com a tarifa de energia elétrica
9- Produção de odores	Não há
10- Presença de insetos e vermes	Não há
11- Eficiência na remoção de DBO	90-96%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Alto
13- Riscos à saúde	Baixo. Não há acesso direto ao lodo e efluente
14- Geração de emprego e renda	Não há. Sistema industrializado
15- Acesso à tecnologia	Não há
Fonte	MIZUMO, 2006
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 9- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Industrializado.

Fluxo da água	Geração → Etapa anaeróbia 1 → Etapa anaeróbia 2 → Etapa aeróbia → Decantação e desinfecção → reuso não potável
Fluxo da energia	Tanque aeróbio com soprador de ar
Fluxo dos materiais	Tubo PVC → Tanque em Plástico reforçado com fibra de vidro → tubos de PVC
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha da empresa que fará a instalação do equipamento

Para análise da sustentabilidade do sistema industrializado devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos 1 reservatório pré-fabricado nesse sistema, não possibilitando sua construção com mão de obra local e com outros materiais. Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Esse sistema não possibilita a aquisição de materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda pouca área (até 8,0m²) para implantação, o

que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, pois pode ser ou não enterrado. Isso favorece a não limitação de uso dessa solução.

Uma das vantagens desse sistema é seu elevado grau de tratamento da água efluente, para permitir seu reuso de forma mais segura ao usuário final, beneficiando a sustentabilidade ambiental. Uma das formas de reuso seria a irrigação de árvores frutíferas. Não se recomenda o reuso desse efluente na irrigação de hortaliças.

A operação e manutenção do sistema um pouco mais complexa que o sistema anterior. É preciso limpar o sistema até três vezes ao ano, com verificação periódica do acúmulo de sólidos. Os resíduos e lodo devem ser encaminhados para uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), não sendo reaproveitado, prejudicando sua sustentabilidade ambiental e econômica.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades dos usuários. Essa questão da sustentabilidade não é beneficiada, pois não promove o acesso ao conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável. A forma de construção desse sistema é de difícil acesso aos usuários, demandando mão-de-obra especializada. Isso não permite a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social.

A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema possui boas condições de segurança, pois não há acesso direto ao efluente. É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes e insetos e manter o sistema com funcionamento adequado.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema tem elevado grau de aceitação, principalmente por ser um sistema industrializado, de uma empresa reconhecida no mercado nacional, que transfere segurança ao usuário final. Sua operação é pouco complexa, pois utiliza mecanismo automatizado e muitos

usuários buscam por soluções mais simplificadas e operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos elevados para investimento no reservatório e instalação. Os custos de operação e manutenção também são elevados, pois necessita de uso de energia elétrica para funcionamento e depende de sistemas mecanizados para limpeza e destinação do efluente e lodos gerados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis, o que não é possível com uso desse sistema. O sistema também faz uso de energia elétrica para sua operação. Deve-se evitar o uso de caminhões limpa-fossa para realizar a limpeza do sistema, pois prejudica sua sustentabilidade econômica e ambiental.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema não está disponível e é de difícil acesso, o que prejudica a sustentabilidade econômica, favorecendo a não distribuição de renda e riquezas. Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é maior que se comparado com sistemas separadores, assim como o volume de lodo gerado. Em contrapartida, o volume de água para reuso gerado é maior, o que pode acarretar em economia de água na residência.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso às informações técnicas desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos, porém não permite sua replicação por qualquer usuário. Uma forma de promover uma maior sustentabilidade política é por meio do desenvolvimento da negociação da compra coletiva do sistema para redução de custos.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema apresenta elevada aceitabilidade, como anteriormente apresentado. O sistema adequa técnicas tradicionais a um contexto mais contemporâneo, beneficiando essa dimensão. Porém dificulta o acesso às informações para replicação da técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Ao comparar esses dois sistemas, pode-se concluir que o sistema Reciclagem das Águas é mais sustentável que o sistema industrializado, principalmente pela possibilidade de uso de materiais locais e renováveis para sua construção e não utilizar energia elétrica para operação. Além disso, possibilita o acesso ao conhecimento e replicação da técnica, beneficiando a sustentabilidade social, econômica e política. Apresentada a análise da sustentabilidade de ambos os sistemas locais de tratamento misto de efluentes sanitários residenciais, o próximo item aborda os sistemas de tratamento de águas negras.

3.5.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS

São sistemas que demandam a separação das águas em águas negras (provenientes do vaso sanitário) e águas cinzas (provenientes do chuveiro, pias, tanques, ralos, etc.) Os sistemas locais de tratamento de águas negras foram subdivididos em: 1- sistemas hídricos combinados com tanque sépticos e 2- sistemas hídricos não combinados com tanque séptico.

3.5.2.1 Sistemas Hídricos para Tratamento Local de Efluentes Sanitários Residenciais

Esses sistemas também são válidos para serem utilizados como soluções de sistemas de tratamento misto. Porém, para esse trabalho, serão considerados esses sistemas utilizados somente para tratamento de águas negras.

Esse sistema realiza a separação das águas em águas cinzas e águas negras. Isso resulta em menor volume de efluente a ser tratado se comparado com o volume de efluentes em sistemas com separação das águas. Com base nos dados de estimativa de consumo de água por equipamento sanitário da USP, apresentados por May (2008) e dados de geração de esgoto, por dia, de acordo com a ABNT NBR 7229, para uma casa com 5 habitantes, temos:

- Águas Negras (vaso sanitário): 29%, ou seja, 145 litros de água por dia.

Com relação à **dimensão ambiental** da sustentabilidade, sistemas que fazem a separação das águas acarretam em menores volumes de efluentes a serem tratados e conseqüentemente, menores volume de água contaminada, beneficiando essa dimensão. Além disso, a dimensão das unidades de tratamento de efluentes sanitários residenciais também é menor, resultando em menor consumo de materiais para construção do sistema e sua menor complexidade de manutenção. Também esses sistemas podem resultar em um menor volume de lodo a ser digerido e tratado. Porém é preciso escolher e construir um sistema para tratamento de águas cinzas.

Esses fatores impactam diretamente na **dimensão econômica** da sustentabilidade, no que se refere aos custos de implantação e consumo dos materiais, além de menor consumo de água. Na **dimensão social e cultural** está uma menor aceitabilidade dos sistemas, pela dificuldade de se realizar a separação da água efluente, principalmente em edificações existentes, pois demanda construção de novos ramais coletores, além da necessidade de escolha de um sistema para tratamento das águas cinzas.

A **dimensão política** deve ser beneficiada se o processo de tomada de decisão para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial for participativo e propiciar que as pessoas tomem decisões adequadas ao contexto local e social, com acesso às informações necessárias.

Uma das formas de possibilitar o acesso ao conhecimento para permitir tomadas de decisão conscientes foi a construção do quadro comparativo (alternativas x variáveis), uma ferramenta que auxilia na visualização e interpretação das alternativas e comparação entre os sistemas para que os usuários finais possam fazer escolhas adequadas às suas necessidades.

Em se tratando do equilíbrio dinâmico dos territórios, os ecossistemas possuem determinada capacidade de recuperação, retornando a uma situação homeostática, dentro de certo período de tempo. Sistemas de tratamento que fazem separação das águas facilitam esta atividade, uma vez que levam aos sistemas menores volumes de efluentes para passarem pelo processo, e conseqüentemente, menor tempo para retorno a uma situação de equilíbrio.

Os sistemas hídricos para tratamento local de efluentes sanitários residenciais foram divididos em dois: 1- sistemas combinados com tanque séptico e 2- sistemas hídricos não combinados com tanque séptico.

3.5.2.1.1 Sistemas Hídricos Combinados com Tanque Séptico

Foram apresentados sete sistemas hídricos combinados com tanque séptico: 1- sumidouro, 2- vala de infiltração, 3- vala de filtração, 4- filtro anaeróbio, 5- filtro aeróbio, 6- círculo de bananeiras e 7- poço de absorção.

Uma vez que todos os sistemas utilizam tanques sépticos, realizou-se a análise da sustentabilidade do tanque séptico, que se repetem para as sete alternativas. Após análise da sustentabilidade do tanque séptico, foi apresentado o quadro de comparação para cada alternativa de unidade de tratamento complementar ou disposição final, com respectiva análise da sustentabilidade.

3.5.2.1.1.1 Análise da Sustentabilidade do Tanque Séptico

Para análise da sustentabilidade do uso do tanque séptico devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a

dimensão ambiental considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção do tanque séptico, os mesmos podem ser construídos com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. O tanque séptico não demanda área elevada para implantação, o que pode inviabilizar sua instalação em pequenos lotes. Para esta análise, é preciso uma área de cerca de 2,50m² para implantação da unidade. Nesse caso, o maior impacto na área será da unidade de tratamento complementar ou disposição final, que influencia na tomada de decisão. Esse aspecto foi considerado na análise da sustentabilidade de cada unidade. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores.

O grau de tratamento do efluente, com relação à DBO, para a fossa séptica não é tão elevado, podendo variar de 30 a 55% (ANDREOLI, 2001). Por isso a necessidade de outra unidade de tratamento para melhorar essas características dos efluentes e permitir o seu reuso, beneficiando a sustentabilidade ambiental. Uma das formas de reuso seria a irrigação de árvores frutíferas. Não se recomenda o reuso desse efluente na irrigação de hortaliças.

A operação e manutenção do sistema é simplificada. O lodo formado no tanque séptico deve ser removido em intervalos que podem variar de 1 a 5 anos. Para melhorar a sustentabilidade do sistema, deve-se evitar o uso de equipamento mecanizado para limpeza e destinação do lodo formado ou uso de veículos do tipo limpa fossa. Essa questão impacta na dimensão econômica da sustentabilidade. Devem-se adotar soluções para remoção e reaproveitamento do lodo (compostagem), possibilitando seu reuso na adubação de cultivos.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que demanda uma área elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e

manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que o uso de fossa séptica tem elevado grau de aceitação devido à facilidade de construção e área necessária para implantação, uma vez que é uma tecnologia utilizada há diversos anos, com sua operação pouco complexa, e os usuários buscam por soluções mais simplificadas e operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema não apresenta custos elevados de construção, se comparado aos sistemas anteriores, além da aceitabilidade do tanque séptico. Apesar disso, os custos de manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação do tanque séptico é antiga e está disponível e é de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema não é elevada, assim como o volume de lodo gerado, pois é realizada a separação das águas cinzas. Em contrapartida, o volume de água para reuso gerado é menor.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e

faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.


A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa técnica tradicional (fossa séptica) para um uso mais contemporâneo, pois pode acrescentar fases e soluções para busca de maiores eficiências de tratamento. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Apresentada a análise da sustentabilidade do tanque séptico, na sequência são apresentados os quadros de comparação de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais combinados com tanque séptico, iniciando-se com o sistema que utiliza o sumidouro como unidade complementar de tratamento / disposição final.

3.5.2.1.1.2 Análise da Sustentabilidade do Sistema Tanque Séptico com Sumidouro

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.10), o Quadro 3.11 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 10- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: sumidouro.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	SUMIDOURO
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Tanque séptico e sumidouro
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro), Sumidouro em tijolos maciços ou blocos de concreto
3- Área necessária para implantação	Maior que 4 m ²
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa. Construção de fossa séptica e unidade de disposição
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 (vinte e quatro) meses, em volume igual a 2/3 (dois terços) da capacidade total da fossa. Encaminhar para ETE ou reuso.
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80,00 a R\$ 160,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.
11- Eficiência na remoção de DBO	30 – 50%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Alto
13- Riscos à saúde	Não há, pois não há contato direto com o efluente (infiltração)
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	ERCOLE (2003), CAESB (2006) e BATALHA E GASI (1988)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 11- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Sumidouro.

Fluxo da água	Geração → Tanque séptico → Sumidouro
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Tanque séptico em alvenaria ou plástico → sumidouro em alvenaria ou pré-moldado em concreto
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com sumidouro deve ser considerado os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

O sistema tanque séptico com sumidouro tem sua sustentabilidade ambiental prejudicada, pois não permite o reuso da água efluente do sistema. O efluente proveniente do tanque séptico é infiltrado diretamente no solo. Portanto essa solução não pode ser adotada em locais em que o nível do lençol freático é elevado.

Ao analisarmos os materiais para construção, o sumidouro pode ser construído com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do trabalhador não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de

cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação, pois após o efluente sair do tanque séptico é direcionado ao sumidouro, o que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores.

Uma das desvantagens desse sistema é seu baixo grau de tratamento da água efluente (30 a 50% de remoção da DBO) e não permite seu reuso de forma segura ao usuário final. A operação e manutenção do sistema é simplificada ou inexistente. A manutenção é realizada apenas no tanque séptico.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema tem boas condições de segurança, pois dificulta o acesso ao efluente. É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, sendo uma técnica disseminada e com regulamentação normativa (ABNT NBR 13969). Devido a este fato, esse sistema tem elevado grau de aceitação e também devido à facilidade de construção, área necessária para implantação e soluções mais simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos não elevados de construção, operação e manutenção. A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é menor que se comparado com sistemas não separadores, assim como o volume de lodo gerado. Porém o sistema não permite o reuso da água efluente.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos e normativos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente,

se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

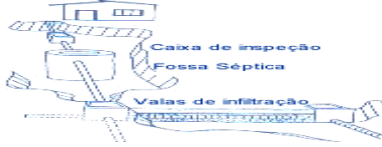
A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequada é uma técnica tradicional, com facilidade de acesso às informações e aceitabilidade. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Apresentada a análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com sumidouro, o próximo item apresenta o sistema tanque séptico com vala de infiltração.

3.5.2.1.1.3 Análise da Sustentabilidade do Sistema Tanque Séptico com Vala de Infiltração

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.12), o Quadro 3.13 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 12- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: vala de infiltração.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	VALA DE INFILTRAÇÃO
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Fossa séptica e vala de infiltração
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro), tubos para drenagem (PVC, cerâmico, concreto ou bambu), britas para leito de infiltração
3- Área necessária para implantação	3 – 10 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa a média, devido a construção das valas de infiltração
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 (vinte e quatro) meses, em volume igual a 2/3 (dois terços) da capacidade total da fossa. Encaminhar para ETE ou reuso.
7- Custo de implantação ¹	R\$ 100,00 a R\$ 200,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica e as valas estiverem superficiais
11- Eficiência na remoção de DBO	50 – 85%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Alto
13- Riscos à saúde	Não há, pois não há contato direto com o efluente (infiltração)
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	ERCOLE (2003) / BATALHA E GASI (1988) / CAESB (2006)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 13- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Vala de Infiltração.

Fluxo da água	Geração → Tanque séptico → Vala de infiltração → Reuso indireto da água
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Tanque séptico em alvenaria ou plástico → vala em tubo PVC ou tubo cerâmico perfurados ou bambu
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com vala de infiltração deve ser considerado os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

O sistema tanque séptico com vala de infiltração tem sua sustentabilidade ambiental beneficiada, pois possibilita o reuso da água efluente do sistema. O efluente é infiltrado superficialmente no solo, e entre as valas podem ser plantadas árvores frutíferas para reutilizarem esse efluente. Essa solução pode ser adotada em locais em que o nível do lençol freático é elevado, pois a infiltração ocorre superficialmente.

Ao analisarmos os materiais para construção, as valas de infiltração podem ser construídas com diferentes materiais (tubos em PVC, cerâmico, concreto, bambu) e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (tubulação PVC), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso das valas em materiais não renováveis, como tubos plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação. A sustentabilidade ambiental é beneficiada com o uso das valas em tubulação de bambu, material de fácil aquisição e renovável.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda área elevada para implantação, pois após o efluente sair do tanque séptico é direcionado ao campo de infiltração, por meio de tubulações de cerca de 16 m de comprimento, em 3 diferentes linhas de infiltração, o que pode inviabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores.

Uma das desvantagens desse sistema é seu baixo grau de tratamento da água efluente (30 a 50% de remoção da DBO). Apesar disso, o efluente é reutilizado por meio da infiltração direta no solo, sem contato com o usuário final, garantindo segurança na operação. A operação e manutenção do sistema é simplificada e quase inexistente. A manutenção é realizada apenas no tanque séptico.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema tem boas condições de segurança, pois dificulta o acesso ao efluente. É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores. Também é preciso verificar as tubulações, para que as raízes das árvores não obstruam os canais de infiltração.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, sendo uma técnica disseminada e com regulamentação normativa (ABNT NBR 13969). Devido a este fato, esse sistema tem elevado grau de aceitação e também devido à facilidade de construção, área necessária para implantação e soluções mais

simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos mais elevados de construção, que a alternativa anterior, porém custos não elevados de operação e manutenção.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é menor que se comparado com sistemas não separadores, assim como o volume de lodo gerado. Porém o sistema permite o reuso da água efluente no campo de infiltração.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos e normativos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.


A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa é uma técnica tradicional, com facilidade de acesso às informações e aceitabilidade. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Apresentada a análise do sistema tanque séptico com vala de infiltração, o próximo item apresenta o sistema tanque séptico com vala de filtração.

3.5.2.1.1.4 Análise da Sustentabilidade do Sistema Tanque Séptico com Vala de Filtração ou Filtro de Areia

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.14), o Quadro 3.15 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 14- - Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: vala de filtração ou filtro de areia.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	VALA DE FILTRAÇÃO OU FILTRO DE AREIA
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Fossa séptica e vala de filtração / filtro de areia
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro), tubos para drenagem (PVC, concreto, alvenaria ou bambu), areia para leito de filtração
3- Área necessária para implantação	2 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa a média, devido a construção das valas de filtração
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 (vinte e quatro) meses, em volume igual a 2/3 (dois terços) da capacidade total da fossa. Encaminhar para ETE ou reuso.
7- Custo de implantação ¹	R\$ 100,00 a R\$ 200,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica e as valas estiverem superficiais
11- Eficiência na remoção de DBO	70 – 95%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Não há, pois não há contato direto com o efluente (infiltração)
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	ERCOLE (2003) / CAESB (2006) / BATALHA E GASI (1988)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 15- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Vala de Filtração.

Fluxo da água	Geração → Tanque séptico → Vala de filtração → reuso indireto da água
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Tanque séptico em alvenaria ou plástico → vala em tubo PVC ou tubo cerâmico perfurados → filtro de areia
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com vala de filtração deve ser considerado os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

O sistema tanque séptico com vala de filtração tem sua sustentabilidade ambiental beneficiada, pois possibilita o reuso da água efluente do sistema. O efluente é infiltrado superficialmente no solo, e entre as valas podem ser plantadas árvores frutíferas para reutilizarem esse efluente. Essa solução pode ser adotada em locais em que o nível do lençol freático é elevado, pois a infiltração ocorre superficialmente.

Ao analisarmos os materiais para construção, as valas de filtração podem ser construídas com diferentes materiais (tubos em PVC, cerâmico, concreto, bambu) e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (tubulação PVC), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso das valas em materiais não renováveis, como tubos plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação. A sustentabilidade ambiental é beneficiada com o uso das valas em tubulação de bambu, material de fácil aquisição e renovável.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda área elevada para implantação, pois após o efluente sair do tanque séptico é direcionado ao campo de infiltração, por meio de tubulações de cerca de 16m de comprimento, em 3 diferentes linhas de infiltração, o que pode inviabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores.

Uma das desvantagens desse sistema é seu maior grau de tratamento da água efluente (70 a 95% de remoção da DBO), devido a passagem por leito de filtração (camadas de areia) antes de ser reaproveitada. O efluente é reutilizado por meio da infiltração direta no solo, sem contato com o usuário final, garantindo segurança na operação. A operação e manutenção do sistema é simplificada. A manutenção é realizada apenas no tanque séptico.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema possui boas condições de segurança, pois o acesso ao efluente é dificultado. É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores. Também é preciso verificar as tubulações, para que as raízes das árvores não obstruam os canais de filtração.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, sendo uma técnica disseminada e com regulamentação normativa (ABNT NBR 13969). Devido a este fato, esse sistema tem elevado grau de aceitação e também devido à facilidade de construção, área necessária para implantação e soluções mais

simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos mais elevados de construção, que a alternativa anterior, porém custos não elevados de operação e manutenção.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é menor que se comparado com sistemas não separadores, assim como o volume de lodo gerado. Porém o sistema permite o reuso da água efluente no campo de infiltração.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos e normativos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa é uma técnica tradicional, com facilidade de acesso às informações e aceitabilidade. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Apresentada a análise do sistema tanque séptico com vala de filtração, o próximo item apresenta o sistema tanque séptico com filtro anaeróbio.

3.5.2.1.1.5 Análise da Sustentabilidade do Sistema Tanque Séptico com Filtro Anaeróbio

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.16), o Quadro 3.17 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 16- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: filtro anaeróbio.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	FILTRO ANAERÓBIO
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Fossa séptica e filtro anaeróbio com britas
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro), reservatório anaeróbio em concreto, alvenaria ou plástico, com britas.
3- Área necessária para implantação	0,2 – 0,4 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa a média. Dificuldade na execução do filtro anaeróbio
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 (vinte e quatro) meses, em volume igual a 2/3 (dois terços) da capacidade total da fossa. Troca da brita do filtro
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80,00 a R\$ 200,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 30,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.
11- Eficiência na remoção de DBO	70 – 95%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos. Vírus → grande; Bactérias → grande; Protozoários → baixo; Vermes → baixo
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil, se não utilizar sistema industrializado
Fonte	ERCOLE (2003) / BATALHA E GASI (1988) / EDIFIQUE (2006)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 17- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Filtro Anaeróbio.

Fluxo da água	Geração → Tanque séptico → Filtro Anaeróbio → reuso da água ou infiltração
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Tanque séptico em alvenaria ou plástico → Filtro anaeróbio em alvenaria ou plástico → tubos PVC → brita
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com filtro anaeróbio deve ser considerado os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

O sistema tanque séptico com filtro anaeróbio tem sua sustentabilidade ambiental beneficiada, pois possibilita o reuso da água efluente do sistema. O efluente pode ser armazenado em um tanque para posteriormente ser reutilizado ou infiltrado no solo. Essa solução pode ser adotada em locais em que o nível do lençol freático é elevado.

Ao analisarmos os materiais para construção, o filtro anaeróbio pode ser construído com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de

cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação, pois após o efluente sair do tanque séptico é direcionado ao filtro anaeróbio, e ao sair do filtro, pode ser reutilizado, o que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores.

Uma das desvantagens desse sistema é seu maior grau de tratamento da água efluente (70 a 95% de remoção da DBO) e permite seu reuso de forma segura ao usuário final. A operação e manutenção do sistema é simplificada. A manutenção é realizada no tanque séptico e no tanque anaeróbio, com a troca do material filtrante (brita).

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, sendo uma técnica disseminada e com regulamentação normativa (ABNT NBR 13969). Devido a este fato, esse sistema tem elevado grau de aceitação e também devido à facilidade de construção, área necessária para implantação e soluções mais simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos mais elevados de construção. Porém os custos de operação e manutenção.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é menor que se comparado com sistemas não separadores, assim como o volume de lodo gerado. Porém o sistema permite o reuso da água efluente, que pode ser infiltrada ou utilizada na irrigação de cultivos, exceto hortaliças.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos e normativos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequada é uma técnica tradicional, com facilidade de acesso às informações e aceitabilidade. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Apresentada a análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com filtro anaeróbio, o próximo item apresenta o sistema tanque séptico com filtro aeróbio.

3.5.2.1.1.6 Análise da Sustentabilidade do Sistema Tanque Séptico com Filtro Aeróbio

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.18), o Quadro 3.19 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 18- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: filtro aeróbio.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	FILTRO AERÓBIO
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Fossa séptica e reservatório aeróbio com agitação
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro), reservatório anaeróbio em concreto, alvenaria ou plástico, com agitação rotacional em metal. Britas no leito
3- Área necessária para implantação	0,05-0,25 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa a média. Dificuldade na execução do filtro aeróbio com sistema de rotação
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 (vinte e quatro) meses, em volume igual a 2/3 (dois terços) da capacidade total da fossa. Limpeza do filtro e troca da brita
7- Custo de implantação ¹	R\$ 120,00 a R\$ 320,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 320,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.
11- Eficiência na remoção de DBO	60-95%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil, se não utilizar sistema industrializado
Fonte	ERCOLE (2003)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 19- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Filtro Aeróbio.

Fluxo da água	Geração → Tanque séptico → Filtro Aeróbio → reuso da água ou infiltração
Fluxo da energia	Aeração mecânica ou elétrica
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Tanque séptico em alvenaria ou plástico → Filtro aeróbio em alvenaria ou plástico → tubos PVC
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com filtro aeróbio deve ser considerado os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

O sistema tanque séptico com filtro aeróbio tem sua sustentabilidade ambiental beneficiada, pois possibilita o reuso da água efluente do sistema. O efluente pode ser armazenado em um tanque para posteriormente ser reutilizado ou infiltrado no solo. Essa solução pode ser adotada em locais em que o nível do lençol freático é elevado.

Ao analisarmos os materiais para construção, o filtro anaeróbio pode ser construído com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de

cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação, pois após o efluente sair do tanque séptico é direcionado ao filtro aeróbio, e ao sair do filtro, pode ser reutilizado, o que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores.

Uma das vantagens desse sistema é seu maior grau de tratamento da água efluente (até 95% de remoção da DBO) e permite seu reuso de forma segura ao usuário final. A operação e manutenção do sistema são mais complexas que a anterior, pois necessita o uso de energia elétrica para aeração do efluente. A manutenção é realizada no tanque séptico e no tanque aeróbio, com a troca do material filtrante (areia).

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários, porém mais complexa que o filtro anaeróbio. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, sendo uma técnica disseminada e com regulamentação normativa (ABNT NBR 13969). Devido a este fato, esse sistema tem elevado grau de aceitação e também devido à facilidade de construção, área necessária para implantação e soluções mais simplificadas de manutenção, apesar de operação mais complexa. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos mais elevados de construção. Porém os custos de operação e manutenção.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também faz uso de energia elétrica ou de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é menor que se comparado com sistemas não separadores, porém, por ser um sistema aeróbio, o volume de lodo gerado é maior. O sistema permite o reuso da água efluente, que pode ser infiltrada ou utilizada na irrigação de cultivos, exceto hortaliças.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos e normativos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.


A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequada é uma técnica tradicional, com facilidade de acesso às informações e aceitabilidade. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Apresentada a análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com filtro aeróbio, o próximo item apresenta o sistema tanque séptico com círculo de bananeiras.

3.5.2.1.1.7 Análise da Sustentabilidade do Sistema Tanque Séptico com Círculo de Bananeiras

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.20), o Quadro 3.21 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 20- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico: círculo de bananeiras.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	CÍRCULO DE BANANEIRAS
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Fossa séptica e círculo de bananeiras
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro. Vala circular para receber o efluente, brita, terra e bananeiras
3- Área necessária para implantação	1 – 3 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1
5- Complexidade construtiva	Baixa
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 (vinte e quatro) meses, em volume igual a 2/3 (dois terços) da capacidade total da fossa. Controle da vegetação
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80 a R\$ 160,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado. Pode ocorrer se o efluente não estiver adequadamente disposto no círculo de bananeiras
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica e o efluente não estiver coberto
11- Eficiência na remoção de DBO	50 – 70%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Baixo. Cuidados devem ser tomados para evitar contato com efluente
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	IPEMA (2006) / BUKLEY (2003) / PROJECTO MADEIRA VOLUNTÁRIA (2012)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 21- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Círculo de Bananeiras.

Fluxo da água	Geração → Tanque séptico → Círculo de bananeiras → reuso da água em irrigação
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Tanque séptico em alvenaria ou plástico → tubos PVC → restos de vegetais
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com círculo de bananeiras deve ser considerado os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

O sistema tanque séptico com círculo de bananeiras tem sua sustentabilidade ambiental beneficiada, pois possibilita o reuso da água efluente do sistema. O efluente é destinado diretamente para o reuso no lago rodeado por bananeiras. Essa solução pode ser adotada em locais em que o nível do lençol freático é elevado.

Para a sua construção, não é preciso utilizar materiais de elevada complexidade. É construído um lago artificial, sobre um solo compactado, recoberto por britas. Ao redor são plantadas bananeiras e plantas que se adaptam a ambientes úmidos para utilizar essa água efluente. Sobre o efluente são colocados restos de vegetais para evitar odores. Os materiais utilizados em sua construção são de fácil acesso, local e renovável. Para construção não é preciso mão-de-obra especializada.

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a execução e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda área pouca para implantação, o que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, pois pode ser ou não enterrado. Isso favorece a não limitação de uso dessa solução.

Uma das desvantagens desse sistema é seu baixo grau de tratamento da água efluente (50 a 70% de remoção da DBO) o que pode permitir seu reuso de forma insegura ao usuário final. É preciso impedir que o usuário tenha contato direto com o efluente, para evitar contaminação. A operação e manutenção do sistema é simplificada. A manutenção é realizada no tanque séptico e no círculo de bananeiras, com o controle da vegetação.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que não demanda uma área elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes e insetos, principalmente no crescimento excessivo das plantas.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituições de pesquisa que buscou soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação devido ao desconhecimento da tecnologia. Porém que muitos usuários buscam por soluções mais simplificadas e operação e manutenção, o que pode beneficiar com o acesso ao conhecimento dessa alternativa e sua escolha. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos não elevados de construção, o que pode viabilizar sua implantação, principalmente para a população e baixa renda. Os custos de manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o

uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

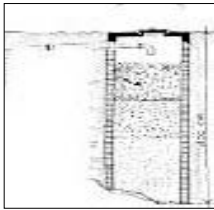
A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa técnica tradicional (fossa séptica) para um uso mais contemporâneo, acrescentando fases e soluções para busca de maiores eficiências de tratamento. É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Apresentada a análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com círculo de bananeiras, o próximo item apresenta o sistema tanque séptico com poço de absorção.

3.5.2.1.1.8 Análise da Sustentabilidade do Sistema Tanque Séptico com Poço de Absorção

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.22), o Quadro 3.23 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 22- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos combinado com tanque séptico poço de absorção.

VARIÁVEIS \ ALTERNATIVAS	POÇO DE ABSORÇÃO
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Fossa séptica e poço de absorção
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro). Poço com camadas de areia, brita e carvão ativado. Poço em alvenaria ou concreto.
3- Área necessária para implantação	Mínimo de 0,80 m ²
4- Número de domicílios atendidos	1
5- Complexidade construtiva	Baixa a média. Dificuldade na execução do poço de absorção
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 (vinte e quatro) meses, em volume igual a 2/3 (dois terços) da capacidade total da fossa. Troca do material filtrante
7- Custo de implantação ¹	R\$ 40,00 a R\$ 240,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque for adequadamente manejado.
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.
11- Eficiência na remoção de DBO	50 – 85%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo. Dificuldade na construção do poço
13- Riscos à saúde	Não há, pois não há contato direto com o efluente (infiltração)
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	DEFFIS E MOLINA (1992)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 23- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Tanque Séptico com Poço de Absorção.

Fluxo da água	Geração → Tanque séptico → Poço de absorção com filtração → infiltração da água no solo
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Tanque séptico em alvenaria ou plástico → Poço de absorção em alvenaria ou pré-moldado de concreto → camada filtrante (areia / terra / brita) → tubos PVC
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema tanque séptico com poço de absorção deve ser considerado os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

O sistema tanque séptico com poço de absorção tem sua sustentabilidade ambiental prejudicada, pois não possibilita o reuso da água efluente do sistema. O efluente proveniente do tanque séptico é infiltrado diretamente no solo. Portanto essa solução não pode ser adotada em locais em que o nível do lençol freático é elevado.

Ao analisarmos os materiais para construção, o poço de absorção pode ser construído com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de

reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação, pois após o efluente sair do tanque séptico é direcionado ao poço de absorção, o que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores.

Uma das vantagens desse sistema em relação ao uso do sumidouro é seu maior grau de tratamento da água efluente (50 a 85% de remoção da DBO) e permite sua infiltração de forma segura ao usuário final. A operação e manutenção do sistema é simplificada. A manutenção é realizada no tanque séptico e na troca do material filtrante do poço de absorção, quando necessário.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema possui boas condições de segurança, pois não permite o acesso ao efluente. É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A sustentabilidade social desse sistema também não é favorecida no acesso ao conhecimento. É um sistema que não tem a tecnologia disseminada. Devido a este fato, esse sistema não tem elevado grau de aceitação, porém tem facilidade de construção, utiliza pouca área necessária para implantação e soluções mais simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos não elevados de construção, operação e manutenção.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema não está disponível e não é de fácil acesso, o que dificulta a aprendizagem de um novo trabalho, que pode prejudicar a geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é menor que se comparado com sistemas não separadores, assim como o volume de lodo gerado. Porém o sistema não permite o reuso da água efluente.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos e normativos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente,

se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema apresenta baixa aceitabilidade, como anteriormente apresentado. O sistema adequa técnicas tradicionais a um contexto mais contemporâneo, beneficiando essa dimensão. Porém dificulta o acesso às informações para replicação da técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Ao comparar as 7 alternativas apresentadas de soluções de tratamento local de efluentes sanitários residenciais combinadas com tanques sépticos, observa-se que o sistema que utiliza círculo de bananeiras tende a uma maior sustentabilidade entre as alternativas. Isso se deve à possibilidade de reuso da água efluente na irrigação de cultivos, facilidade de construção e operação, permite a disseminação da tecnologia, além do baixo custo de construção e operação.

Desta forma, os sistemas que apresentam um grau reduzido de sustentabilidade são o sumidouro e poço de absorção, pois não permitem o reuso da água efluente, com a direta infiltração no solo. Porém são beneficiados na questão da segurança, pois não permitem o contato direto com o efluente. Apresentadas as análises da sustentabilidade referente aos 7 sistemas hídricos combinados com tanque séptico, o próximo item apresenta os sistemas hídricos não combinados com tanque séptico.

3.5.2.1.2 Sistemas Hídricos Não Combinados com Tanque Séptico

Esses sistemas não utilizam a fossa séptica como unidade de tratamento. Esses sistemas também são válidos como sistemas de tratamento misto. Porém, para esse trabalho, foi considerado o uso desses sistemas utilizados somente para o tratamento de

águas negras. Foram apresentadas quatro alternativas: 1- fossa séptica biodigestora, 2- sistema modular de separação das águas, 3- biodigestor contínuo e 4- biodigestor intermitente.

3.5.2.1.2.1 Análise da Sustentabilidade do Sistema Fossa Séptica Biodigestora

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.24), o Quadro 3.25 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 24- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos não combinado com tanque séptico: fossa séptica biodigestora.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Fossa séptica e biodigestores
2.2- Materiais constituintes	3 reservatórios em fibrocimento, concreto, alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro), tubos PVC, brita, esterco
3- Área necessária para implantação	8 m ²
4- Número de domicílios atendidos	1
5- Complexidade construtiva	Baixa
6- Operação e manutenção	Uso de esterco mensal
7- Custo de implantação ¹	R\$ 260,00 a R\$ 300,00/ habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00/habitante.ano
9- Produção de odores	Baixa. Se houver há problemas no sistema.
10- Presença de insetos e vermes	Podem ocorrer se não houver limpeza periódica.
11- Eficiência na remoção de DBO	80 – 90%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Alto
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	EMBRAPA (2006) / NOVAES ET AL. (2002)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 25- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Fossa Séptica Biodigestora.

Fluxo da água	Geração água negra → Biodigestor 1 → Biodigestor 2 → Biodigestor 3 → reuso em irrigação ou infiltração no solo
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos de PVC → Biodigestores em fibrocimento, alvenaria, plástico ou pré-moldado em concreto → tubos de PVC
Etapas da participação	<ol style="list-style-type: none"> 1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema fossa séptica biodigestora devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos 3 reservatórios nesse sistema, que podem ser construídos com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação, cerca de 8m², o que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, pois pode ser ou não enterrado. Isso favorece a não limitação de uso dessa solução.

Uma das vantagens desse sistema é seu elevado grau de tratamento da água efluente, podendo chegar a 90% da DBO, para permitir seu reuso de forma mais segura ao usuário final, beneficiando a sustentabilidade ambiental. Uma das formas de reuso seria a irrigação de árvores frutíferas, não sendo recomendado na irrigação de hortaliças.

A operação e manutenção do sistema é simplificada. É preciso limpar os filtros destinando o resíduo às áreas específicas para este fim, podendo ser reaproveitado em compostagem. É preciso utilizar uma mistura de esterco bovino mensalmente para ativar o processo de tratamento. Para melhorar a sustentabilidade do sistema, deve-se evitar o uso de equipamento mecanizado para limpeza e destinação do lodo formado ou uso de veículos do tipo limpa fossa. Essa questão impacta na dimensão econômica da sustentabilidade. Devem-se adotar soluções para remoção e reaproveitamento do lodo (compostagem), possibilitando seu reuso na adubação de cultivos.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que demanda uma área elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituição de pesquisa (EMBRAPA) que buscou soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação devido à dificuldade de acesso à informação, porém apresenta soluções mais simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos elevados de construção, devido ao número elevado de reservatórios a serem construídos, o que pode inviabilizar sua implantação. Apesar disso, os custos de manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.


Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa técnica tradicional (fossa séptica) para um uso mais contemporâneo, acrescentando fases e soluções para busca de maiores eficiências de tratamento. É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local. Outro sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais não combinados com tanque séptico é o sistema Modular com Separação das Águas, apresentado no próximo item.

3.5.2.1.2.2 Análise da Sustentabilidade do Sistema Modular com Separação das Águas

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.26), o Quadro 3.27 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 26- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos não combinado com tanque séptico: sistema modular com separação das águas.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	SISTEMA MODULAR COM SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Decanto-digestor, filtro anaeróbio e LETI
2.2- Materiais constituintes	Decanto-digestor em alvenaria, concreto ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro), tubos em PVC ou manilha cerâmica, leito de evapotranspiração em alvenaria, vegetação.
3- Área necessária para implantação	1-3 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa a média. Complexidade de construção dos reservatórios e LETI
6- Operação e manutenção	Controle da vegetação e limpeza anual dos tanques
7- Custo de implantação ¹	R\$ 40,00 a R\$ 80,00 20-40 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 16,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Baixo. Se houver há problemas no sistema
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica
11- Eficiência na remoção de DBO	90 - 98%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Patogênicos, se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	ERCOLE (2003)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 27- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Modular de Separação das Águas.

Fluxo da água	Geração → Decanto-digestor → filtro anaeróbio → leito de evapotranspiração e infiltração (LETI)
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos de PVC → Decanto-digestor em alvenaria ou plástico → filtro anaeróbio alvenaria ou plástico → leito de evapotranspiração e infiltração (LETI) em alvenaria com plantas aquáticas
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema modular de separação das águas devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos 2 reservatórios nesse sistema e 1 leito de evapotranspiração e infiltração, que podem ser construídos com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação, cerca de 15m²m, que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, pois pode ser ou não enterrado. Isso favorece a não limitação de uso dessa solução.

Uma das vantagens desse sistema é seu elevado grau de tratamento da água efluente, podendo chegar a 98% da DBO, para permitir seu reuso de forma mais segura ao usuário final, beneficiando a sustentabilidade ambiental. O reuso do efluente ocorre no LETI, em que podem ser plantadas árvores frutíferas.

A operação e manutenção do sistema é simplificada. É preciso limpar os filtros destinando o resíduo às áreas específicas para este fim, podendo ser reaproveitado em compostagem. É preciso realizar a manutenção das plantas no LETI. Para melhorar a sustentabilidade do sistema, deve-se evitar o uso de equipamento mecanizado para limpeza e destinação do lodo formado ou uso de veículos do tipo limpa fossa. Essa questão impacta na dimensão econômica da sustentabilidade. Devem-se adotar soluções para remoção e reaproveitamento do lodo (compostagem), possibilitando seu reuso na adubação de cultivos.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que demanda uma área elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituição de pesquisa (UFRGS) que buscou soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação devido à dificuldade de acesso à informação, porém apresenta soluções mais simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos elevados de construção, devido ao número elevado de reservatórios a serem construídos, o que pode inviabilizar sua implantação. Apesar disso, os custos de manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

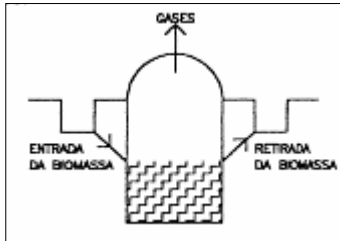
Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa técnica tradicional (fossa séptica) para um uso mais contemporâneo, acrescentando fases e soluções para busca de maiores eficiências de tratamento. É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local. Outro sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais não combinados com tanque séptico é o Sistema Biodigestor Contínuo, apresentado no próximo item.

3.5.2.1.2.3 Análise da Sustentabilidade do Sistema Biodigestor (Contínuo)

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.28), o Quadro 3.29 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 28- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos não combinado com tanque séptico: biodigestor (contínuo).

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	BIODIGESTOR (CONTÍNUO)
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	1 biodigestor
2.2- Materiais constituintes	Biodigestor em alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro). Interior com pedra e areia. Tubos em PVC
3- Área necessária para implantação	0,15 - 0,20 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Média. Dificuldade na execução das camadas internas do biodigestor
6- Operação e manutenção	Armazenagem do biogás, limpeza do sistema constante
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80,00 a R\$ 160,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 16,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Sim, se não houver processo de coleta dos gases
10- Presença de insetos e vermes	Média
11- Eficiência na remoção de DBO	40 - 60%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Médio
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos. Vírus → grande; Bactérias → grande; Protozoários → pequeno; Vermes → pequeno
14- Geração de emprego e renda	Parcial
15- Acesso à tecnologia	Baixo
Fonte	ERCOLE (2003) / BARRERA (1993) / BATALHA E GASI (1988)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 29- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Biodigestor (Contínuo).

Fluxo da água	Geração → Biodigestor 1 → infiltração da água
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubo PVC → Biodigestor em alvenaria ou plástico → camadas de brita → tubo de PVC
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema biodigestor (contínuo) devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos 1 biodigestor, que podem ser construídos com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação, que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores e riscos de explosões pela liberação do biogás. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, pois pode ser ou não enterrado. Isso favorece a não limitação de uso dessa solução. O sistema não ocupa grandes áreas, porém se a opção de reuso do efluente for infiltrar em valas de infiltração, demanda uma área maior.

Uma das desvantagens desse sistema é seu não tão elevado grau de tratamento da água efluente, (40 a 60% da DBO), que não permite seu reuso de forma mais segura ao usuário final, prejudicando a sustentabilidade ambiental. Isso pode colocar em risco à saúde do usuário se tiver contato direto com o efluente. A indicação seria a infiltração do efluente no solo. Não há necessidade de outra unidade de tratamento para melhorar essas características dos efluentes e permitir o seu reuso. Porém é preciso prever alguma forma de disposição final do efluente. Há possibilidade de uso do gás gerado e o sistema pode gerar odores.

A operação e manutenção do sistema é simplificada. É preciso limpar os filtros destinando o resíduo às áreas específicas para este fim, podendo ser reaproveitado em compostagem. Esse sistema não pode ser utilizado no tratamento das águas cinzas. Para melhorar a sustentabilidade do sistema, devem-se adotar soluções para remoção e reaproveitamento do lodo (compostagem), possibilitando seu reuso na adubação de cultivos.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que não demanda uma área elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao

profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de acesso mais difícil aos usuários. Isso prejudica a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação devido à dificuldade de acesso à informação, porém apresenta soluções mais simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos elevados de construção, devido sua complexidade construtiva, o que pode inviabilizar sua implantação. Apesar disso, os custos de manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso

que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

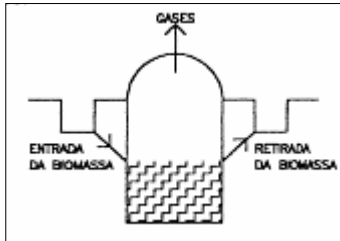
A última dimensão é a **dimensão cultural**. É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Outro sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais não combinados com tanque séptico é o sistema Biodigestor Intermitente, apresentado no próximo item.

3.5.2.1.2.4 Análise da Sustentabilidade do Sistema Biodigestor (Intermitente)

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.30), o Quadro 3.31 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 30- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas hídricos não combinado com tanque séptico: biodigestor (intermitente).

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	BIODIGESTOR (INTERMITENTE)
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	2 biodigestores
2.2- Materiais constituintes	Biodigestor em alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro). Interior com pedra e areia. Tubos em PVC
3- Área necessária para implantação	0,15 - 0,30 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1
5- Complexidade construtiva	Média. Dificuldade na execução das camadas internas do biodigestor
6- Operação e manutenção	Armazenagem do biogás, limpeza do sistema, troca do biodigestor
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80,00 a R\$ 320,00 / habitante
8- Custo de operação	R\$ 32,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Sim, se não houver processo de coleta dos gases
10- Presença de insetos e vermes	Média
11- Eficiência na remoção de DBO	40 - 60%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Médio
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos. Vírus → grande; Bactérias → grande; Protozoários → pequeno; Vermes → pequeno
14- Geração de emprego e renda	Parcial
15- Acesso à tecnologia	Baixo
Fonte	ERCOLE (2003) / BARRERA (1993) / BATALHA E GASI (1988)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 31- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Biodigestor (Intermitente).

Fluxo da água	Geração → Biodigestor 1 → infiltração da água
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubo PVC → Biodigestor em alvenaria ou plástico → camadas de brita → tubo de PVC
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema biodigestor (intermitente) devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

A análise da sustentabilidade do biodigestor intermitente é semelhante à anterior, variando apenas na dimensão da unidade de tratamento, uma vez que no biodigestor intermitente ela é maior, para acumular o efluente por período suficiente para tratamento.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos 1 biodigestor, que podem ser construídos com diferentes materiais e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de

cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda área maior que o anterior para implantação, porém ainda não elevada, se comparado com os demais sistemas, que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores e riscos de explosões pela liberação do biogás. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, pois pode ser ou não enterrado. Isso favorece a não limitação de uso dessa solução. O sistema não ocupa grandes áreas, porém se a opção de reuso do efluente for infiltrar em valas de infiltração, demanda uma área maior.

Uma das desvantagens desse sistema é seu não tão elevado grau de tratamento da água efluente, (40 a 60% da DBO), o que não permite seu reuso de forma mais segura ao usuário final, prejudicando a sustentabilidade ambiental. Isso pode colocar em risco à saúde do usuário se tiver contato direto com o efluente. A indicação seria a infiltração do efluente no solo. Não há necessidade de outra unidade de tratamento para melhorar essas características dos efluentes e permitir o seu reuso. Porém é preciso prever alguma forma de disposição final do efluente. Há possibilidade de uso do gás gerado e o sistema pode gerar odores.

A operação e manutenção do sistema é simplificada. É preciso limpar os filtros destinando o resíduo às áreas específicas para este fim, podendo ser reaproveitado em compostagem. Esse sistema não pode ser utilizado no tratamento das águas cinzas. Para melhorar a sustentabilidade do sistema, devem-se adotar soluções para remoção e reaproveitamento do lodo (compostagem), possibilitando seu reuso na adubação de cultivos.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que não demanda uma área elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de acesso mais difícil aos usuários. Isso prejudica a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação devido à dificuldade de acesso à informação, porém apresenta soluções mais simplificadas de operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos elevados de construção, devido sua complexidade construtiva, o que pode inviabilizar sua implantação. Apesar disso, os custos de manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo

trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Dentre os quatros sistemas não combinados com tanque sépticos, observa-se que o sistema fossa séptica biodigestora e sistema modular de separação das águas são os mais sustentáveis, se comparados com os demais, porém com características semelhantes. Isso devido à possibilidade de reaproveitamento do efluente com segurança, com bons níveis de tratamento. Também podem ser construídos com diferentes tecnologias e permitem o fácil acesso do usuário. A diferença está na área disponível para implantação, que no sistema modular é superior ao sistema fossa séptica biodigestora.

Finalizada a análise da sustentabilidade dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais para águas negras, o próximo item apresenta a análise da sustentabilidade para os sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais para águas cinzas.

3.5.3 SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS

Os sistemas utilizados apenas para tratamento das águas cinzas (provenientes do chuveiro, pias, tanques, etc.), diferentemente dos sistemas de tratamento de águas negras, não podem ser utilizados também para o tratamento de águas negras.

Esse sistema realiza a separação das águas em águas cinzas e águas negras. Isso resulta em um menor volume de efluente a ser tratado se comparado com o volume de efluentes em sistemas sem separação das águas. Com base nos dados de estimativa de consumo de água por equipamento sanitário da USP, apresentados por May (2008) e dados de geração de esgoto, por dia, de acordo com a ABNT NBR 7229, para uma casa com 5 habitantes, temos:

- Águas Cinzas (demais equipamentos): 71%, ou seja, 355 litros de efluente por dia.

Com relação à **dimensão ambiental** da sustentabilidade, sistemas que fazem a separação das águas acarretam em menores volumes de efluentes a serem tratados e conseqüentemente, menores volume de água contaminada, beneficiando essa dimensão. Além disso, a dimensão das unidades de tratamento de efluentes sanitários residenciais também é menor, resultando em menor consumo de materiais para construção do sistema e sua menor complexidade de manutenção. Também podem acarretar em um menor volume de lodo a ser digerido e tratado.

Esses fatores impactam diretamente na **dimensão econômica** da sustentabilidade, no que se refere aos custos de implantação e consumo dos materiais, além de menor consumo de água. Na **dimensão social e cultural** está uma menor aceitabilidade dos sistemas, pela dificuldade de se realizar a separação da água efluente, principalmente em edificações existentes, pois demanda construção de novos ramais coletores, além da necessidade de escolha de um sistema para tratamento das águas negras.

A **dimensão política** deve ser beneficiada se o processo de tomada de decisão para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial for participativo e propiciar que as pessoas tomem decisões adequadas ao contexto local e social, com acesso às informações necessárias.

Uma das formas de possibilitar o acesso ao conhecimento para permitir tomadas de decisão conscientes foi a construção do quadro comparativo (alternativas x variáveis), uma ferramenta que auxilia na visualização e interpretação das alternativas e comparação entre os sistemas para que os usuários finais para que façam escolhas adequadas às suas necessidades.


Em se tratando do equilíbrio dinâmico dos territórios, os ecossistemas possuem determinada capacidade de recuperação, retornando a uma situação homeostática, dentro de certo período de tempo. Sistemas de tratamento que fazem separação das águas facilitam esta atividade, uma vez que levam aos sistemas menores volumes de efluentes para passarem pelo processo, e conseqüentemente, menor tempo para retorno a uma situação de equilíbrio.

Os sistemas para tratamento de águas cinzas apresentados no quadro de comparação são três: 1- sistema modular com separação das águas, 2- sistema circuito fechado e 3- plantas sobre o campo de lixiviação do tanque séptico.

3.5.3.1 Análise da Sustentabilidade do Sistema Modular com Separação das Águas

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.32), o Quadro 3.33 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 32- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas cinzas: sistema modular com separação das águas.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	SISTEMA MODULAR COM SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Decantador de duas câmaras e LETI
2.2- Materiais constituintes	Decantador em alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro), tubos de PVC, leito de evapotranspiração em alvenaria, vegetação.
3- Área necessária para implantação	1 - 3 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1
5- Complexidade construtiva	Baixa
6- Operação e manutenção	Controle da vegetação e limpeza dos tanques
7- Custo de implantação ¹	R\$ 40,00 a R\$ 80,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 16,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Baixo. Se houver há problemas no sistema
10- Presença de insetos e vermes	Baixo
11- Eficiência na remoção de DBO	90 - 98%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Médio
13- Riscos à saúde	Baixo. Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	ERCOLE (2003)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 33- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Modular com Separação das Águas.

Fluxo da água	Geração águas cinzas → Decantador de duas câmaras → LETI
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → Decantador de duas câmaras em alvenaria → LETI em alvenaria com plantas aquáticas
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema modular com separação das águas para águas cinzas devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos 1 decantador de duas câmaras e um leito de evapotranspiração e infiltração (LETI), que podem ser construídos com diferentes tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação (cerca de 15m²), o que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, favorecendo a não limitação de uso dessa solução.

Uma das vantagens desse sistema é seu elevado grau de tratamento da água efluente (DBO até 98%), para permitir seu reuso de forma mais segura ao usuário final, beneficiando a sustentabilidade ambiental. Uma das formas de reuso seria a irrigação de árvores frutíferas. Não se recomenda o reuso desse efluente na irrigação de hortaliças.

A operação e manutenção do sistema é simplificada. É preciso limpar os tanques, quando necessário e conservar as plantas que auxiliam no sistema, para que não se proliferem. Devem-se adotar soluções para remoção e reaproveitamento do lodo (compostagem), possibilitando seu reuso na adubação de cultivos.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que demanda uma área não elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado (sistema

hermeticamente fechado). É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes e insetos, principalmente no crescimento excessivo das plantas.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituição de pesquisa (UFRGS) que buscou soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação devido ao desconhecimento da técnica, apesar de ser de fácil construção e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos não muito elevados de construção, o que pode viabilizar sua implantação principalmente para a população de baixa renda. Os custos de operação e manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante

questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa técnica tradicional (fossa séptica) para um uso mais contemporâneo, acrescentando fases e soluções para busca de maiores eficiências de tratamento. É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Outro sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais para sistema de tratamento de águas cinzas, é o Sistema Circuito Fechado, apresentado no próximo item.

3.5.3.2 Análise da Sustentabilidade do Sistema Circuito Fechado

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.34), o Quadro 3.35 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 34- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas cinzas: sistema circuito fechado.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	SISTEMA CIRCUITO FECHADO
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Caixa de gordura; filtro e lago ornamental.
2.2- Materiais constituintes	Caixa de gordura em alvenaria ou plástico, reservatório em alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro), camadas de 10cm de brita, areia e terra; vala de 2m de diâmetro de 50cm de profundidade, brita e plantas aquáticas.
3- Área necessária para implantação	A partir de 4,0m ²
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa
6- Operação e manutenção	Controle da vegetação e limpeza dos tanques
7- Custo de implantação ¹	R\$ 60,00 a R\$ 180,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Médio. Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema
10- Presença de insetos e vermes	Baixo
11- Eficiência na remoção de DBO	70 - 90%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Médio. Permite acesso ao efluente. Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	IPEMA (2006)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 35- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Circuito Fechado.

Fluxo da água	Geração de águas cinzas → caixa de gordura → reservatório de filtração → reuso da água ou infiltração
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → caixa de gordura em alvenaria ou plástico → reservatório de filtração em alvenaria ou plástico → tubos PVC
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema circuito fechado devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos 1 caixa de gordura, 1 filtro de areia e brita e um lago ornamental, que podem ser construídos com diferentes tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis, como reservatórios plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre

uso e ocupação do solo. Esse sistema não demanda área elevada para implantação (acima de 4m²), o que pode viabilizar sua instalação em pequenos lotes. O maior componente do sistema é o lago ornamental. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores. Esse sistema também pode ser utilizado em locais que o nível do lençol freático é elevado, favorecendo a não limitação de uso dessa solução.

Uma das vantagens desse sistema é seu elevado grau de tratamento da água efluente (DBO até 90%), para permitir seu reuso de forma mais segura ao usuário final, beneficiando a sustentabilidade ambiental. Uma das formas de reuso seria a irrigação de árvores frutíferas. Não se recomenda o reuso desse efluente na irrigação de hortaliças.

A operação e manutenção do sistema é simplificada. É preciso limpar os tanques e trocar o filtro de areia e brita quando necessário e conservar as plantas que auxiliam no sistema, para que não se proliferem. Devem-se adotar soluções para remoção e reaproveitamento do lodo (compostagem), possibilitando seu reuso na adubação de cultivos.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário, visto que demanda uma área não elevada de implantação. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter boas condições de segurança, desde que o acesso ao efluente seja dificultado, principalmente no lago ornamental. É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes e insetos, principalmente no crescimento excessivo das plantas.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituição de pesquisa (IPEMA) que buscou

soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação devido ao desconhecimento da técnica, apesar de ser de fácil construção e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos não muito elevados de construção, o que pode viabilizar sua implantação principalmente para a população de baixa renda. Os custos de operação e manutenção não são elevados.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente,

se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequa técnica tradicional (fossa séptica) para um uso mais contemporâneo, acrescentando fases e soluções para busca de maiores eficiências de tratamento. É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Outro sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais para sistema de tratamento de águas cinzas, é o Sistema Plantas Sobre o Campo de Lixiviação do Tanque Séptico, apresentado no próximo item.

3.5.3.3 Análise da Sustentabilidade do Sistema Plantas Sobre o Campo de Lixiviação do Tanque Séptico

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.36), o Quadro 3.37 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 36- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas cinzas: plantas sobre o campo de lixiviação do tanque séptico.

VARIÁVEIS \ ALTERNATIVAS	PLANTAS SOBRE O CAMPO DE LIXIVIAÇÃO DO TANQUE SÉPTICO
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Tanque séptico e tubos de PVC perfurados.
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro. Tubos de PVC perfurados e brita.
3- Área necessária para implantação	3 – 10 m ² /habitante
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa a média, devido a construção das valas de infiltração
6- Operação e manutenção	Limpeza da tubulação e do tanque séptico
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80,00 a R\$ 160,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 160,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema
10- Presença de insetos e vermes	Baixo
11- Eficiência na remoção de DBO	70-90%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Baixo. Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil
Fonte	LUDWING (1994)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 37- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e etapas da participação para o Sistema Plantas Sobre o Campo de Lixiviação do Tanque Séptico.

Fluxo da água	Geração de águas cinzas → caixa de gordura → reservatório de filtração → reuso da água ou infiltração
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Tubos PVC → caixa de gordura em alvenaria ou plástico → reservatório de filtração em alvenaria ou plástico → tubos PVC
Etapas da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso da água efluente 8- Escolha da forma de reuso do lodo efluente

Para análise da sustentabilidade do sistema Plantas Sobre o Campo de Lixiviação do Tanque Séptico devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade da água efluente e possibilidade de reuso. Para análise da sustentabilidade do tanque séptico ver item 3.5.2.2.1.1

O sistema tem sua sustentabilidade ambiental beneficiada, pois possibilita o reuso da água efluente do sistema. O efluente é infiltrado superficialmente no solo, e entre as valas podem ser plantadas árvores frutíferas para reutilizarem esse efluente. Essa solução pode ser adotada em locais em que o nível do lençol freático é elevado, pois a infiltração ocorre superficialmente.

Ao analisarmos os materiais para construção, o campo de lixiviação pode ser construído com diferentes materiais (tubos em PVC, cerâmico, concreto, bambu) e tecnologias. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (tubulação PVC), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A construção do sistema com esses materiais beneficia a mão-de-obra, pois demanda maior quantidade de pessoas para trabalhar, porém devem ser avaliadas as condições de trabalho, para que a saúde do profissional não seja prejudicada.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional e maior velocidade da obra). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio e mão-de-obra local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso da tubulação em materiais não renováveis, como tubos plásticos, prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação. A sustentabilidade ambiental é

beneficiada com o uso das valas em tubulação de bambu, material de fácil aquisição e renovável.

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda área elevada para implantação, pois após o efluente sair do tanque séptico é direcionado ao campo de lixiviação, por meio de tubulações de cerca de 16 m de comprimento, em, no mínimo 3 diferentes linhas de infiltração, o que pode inviabilizar sua instalação em pequenos lotes. Os sistemas não devem ficar próximos à residência para evitar maus odores.

Uma das desvantagens desse sistema para águas cinzas é seu maior grau de tratamento da água efluente (70 a 90% de remoção da DBO). O efluente é reutilizado por meio da infiltração direta no solo, sem contato com o usuário final, garantindo segurança na operação. A operação e manutenção do sistema é simplificada. A manutenção é realizada no tanque séptico e no desentupimento das tubulações pelas raízes das plantas.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se durante a construção do sistema para que o profissional tenha condições adequadas de trabalho (respeito ao profissional, não utilizar trabalho infantil ou compulsório, entre outros) e que promova o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. A operação e manutenção do sistema não devem expor os usuários à contaminação. Esse sistema possui boas condições de segurança, pois o acesso ao efluente é dificultado. É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes, insetos e maus odores. Também é

preciso verificar as tubulações, para que as raízes das árvores não obstruam os canais de infiltração.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, sendo uma técnica disseminada e com regulamentação normativa (ABNT NBR 13969). Porém o sistema é desconhecido, o que prejudica sua aceitabilidade, porém é de simples operação e manutenção. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta custos mais elevados de construção, que a alternativa anterior, porém custos não elevados de operação e manutenção.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema não está facilmente disponível, o que não permite a aprendizagem de um novo trabalho e desenvolvimento das localidades.

Em se tratando do efluente, a quantidade de água necessária para o sistema é menor que se comparado com sistemas não separadores, assim como o volume de lodo gerado. Porém o sistema permite o reuso da água efluente no campo de lixiviação.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis nos meios eletrônicos e normativos.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema beneficia essa dimensão, pois adequada é uma técnica tradicional, com facilidade de acesso às informações e aceitabilidade. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Apresentados os três sistemas de tratamento de águas cinzas, observa-se que o sistema circuito fechado pode ser considerado o mais sustentável pela facilidade de construção e acesso à tecnologia, grau de tratamento do efluente, permite reuso do efluente, além de baixo custo para implantação, se comparado aos demais sistemas. O próximo item aborda os sistemas de tratamento não hídrico (banheiro seco).

3.5.4 SISTEMA DE TRATAMENTO NÃO HÍDRICO (Banheiro Seco)

Esse sistema não utiliza a água como meio de transporte dos dejetos, tratando o efluente sanitário residencial a seco. Também pode ocorrer separação das águas negras em as águas em marrons (fezes) e amarelas (urina). Esse sistema apresenta um ganho na **sustentabilidade ambiental e econômica** por não utilizar a água. Com isso, não há poluição das águas com os efluentes dos sistemas de tratamento.

Nesses sistemas é necessário utilizar outro sistema para tratamento das águas cinzas. Na concepção da permacultura, podemos associar ao uso sistema de banheiro seco, o sistema que faz uso do círculo de bananeiras. Nesse estudo ele foi considerado para tratamento de águas negras, após passar pela fossa séptica, porém pode ser utilizado para águas cinzas, sem passagem pela fossa séptica.

Com relação à **dimensão ambiental e econômica** esse sistema propicia a redução do uso de recursos naturais em todo seu ciclo de vida, pois não usa água como meio de transporte, utiliza como “descarga” restos de vegetais, folhas, para misturar aos dejetos e auxiliar o processo de compostagem, fonte de energia renovável e propicia o reuso do composto formado como fertilizante.

Nas **dimensões social e cultural** apresenta uma baixa aceitabilidade, pois as pessoas estão acostumadas a sistemas hídricos, porém esse sistema resulta em um composto estável e seguro para reuso. A **dimensão política** deve estar presente no processo de escolha e definição pelo uso de sistema não hídrico para tratamento de efluentes sanitários residenciais.

Em se tratando do equilíbrio dinâmico dos territórios, os ecossistemas possuem determinada capacidade de recuperação, retornando a uma situação homeostática, dentro de certo período de tempo. Sistemas de tratamento não utilizam a água como meio de transporte dos dejetos, e usam processos físicos e biológicos para tratamento para estabilização e retorno a uma situação de equilíbrio, beneficiando este aspecto. Para o sistema banheiro seco são apresentadas três alternativas: 1- sistema com recipientes móveis, 2- sistema carrossel e 3- sistema duas câmaras.

3.5.4.1 Análise da Sustentabilidade do Sistema Banheiro Seco com Recipientes Móveis

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.38), o Quadro 3.39 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 38- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas não hídricos: Banheiro seco com recipientes móveis.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	BANHEIRO SECO (RECIPIENTES MÓVEIS)	
1- Imagens / Fotos		
2- Componentes	Recipiente de coleta. Serragem e cinzas para cobrir o dejetos.	
2.2- Materiais constituintes	Recipiente plástico ou metálico, serragem e cinzas	
3- Área necessária para implantação	3-5m ² /hab	
4- Número de domicílios atendidos	1	
5- Complexidade construtiva	Baixa. Precisa apenas de recipientes.	
6- Operação e manutenção	Retirada do composto para uso em adubação, troca dos recipientes.	
7- Custo de implantação ¹	R\$ 10,00 a R\$30,00 / habitante	
8- Custo de operação	Não há	
9- Produção de odores	Baixa, desde que seja realizado o cobrimento dos dejetos adequadamente	
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema	
11- Eficiência na remoção de DBO	95%	
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo	
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos	
14- Geração de emprego e renda	Sim	
15- Acesso à tecnologia	Sim	
Fonte	ERCOLE (2003) / ROOF SIMPLE, 2009 / BIOLAN, 2013	
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.	

QUADRO 3. 39- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e participação para o Sistema Banheiro Seco com Recipientes Móveis.

Fluxo da água	Não há água. Geração → adição de serragem → compostagem → uso do composto
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Recipiente de coleta em metal ou plástico → serragem → composto
Fluxo da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso do composto gerado

Para análise da sustentabilidade do sistema banheiro seco com recipientes móveis devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade do composto e possibilidade de reuso.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, um sistema simplificado, pois deve conter um assento sanitário e um recipiente de coleta dos dejetos, que podem ser construídos com diferentes materiais e tecnologias. Ele pode ser construído com materiais disponíveis na residência (tambores de plástico e suportes em madeira) ou ser adquirido o vaso sanitário em cerâmica, com separação ou não das águas cinzas e marrons. Não é preciso realizar obra civil nesse sistema.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de reservatório em materiais não renováveis prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis. Os sistemas que fazem separação das

águas amarelas e marrons podem ser considerados uma inovação no mercado e beneficiam a sustentabilidade ambiental, visto que as águas amarelas possuem usos importantes como fertilizantes e até mesmo na produção de cosméticos.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda pouca área para implantação, pois necessita de um local para ser a unidade geradora e outro para colocar os dejetos em processo de compostagem. A “descarga” o sistema é a aplicação de restos de vegetais, para auxiliar no processo de compostagem.

Uma das vantagens desse sistema é o elevado grau de tratamento dos dejetos, conferindo segurança e um composto estável para reuso. A operação e manutenção do sistema são simples, com a troca dos recipientes quando atingem o limite superior de estocagem e disposição dos mesmos em local para complementação do período de compostagem. Esses efluentes ficam expostos ao sol e intempéries por cerca de 6 meses para estabilização do composto, para serem reutilizados. O composto gerado pode ser considerado um material inerte.

Uma das dificuldades desse sistema é a liberação de gases e odores. Como não é previsto sistema de exaustão, pode ser que ocorra maus odores, portanto deve-se prever sua instalação em locais de adequada ventilação.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Uma das indicações desse sistema seria para locais com dificuldade de acesso à água (chácaras, assentamentos rurais, bairros distantes dos centros urbanos). A segurança desse sistema pode ser considerada adequada, pois o resultado é um composto inerte e disponível para reuso.

A construção e operação do sistema devem possibilitar condições adequadas de trabalho e não expor os usuários à contaminação. Esse sistema pode ter risco de contaminação no momento de troca dos recipientes móveis, portanto é preciso utilizar luvas para manejo. É preciso realizar limpezas periódicas para evitar a proliferação de vermes e insetos.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se o processo de construção do sistema permitir o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituição de pesquisa e universidades que buscou soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação, uma vez que os usuários não estão adaptados ao uso de sistemas secos. Porém sua operação é simples e o acesso ao conhecimento pode acarretar em maior aceitabilidade do sistema. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta baixo custo (custos acessíveis) de implantação, uso, operação e manutenção. Porém é um sistema para águas negras, sendo necessário investimento na construção de outro sistema para tratamento de águas cinzas. Apesar disso, os custos de manutenção não quase inexistentes.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A possibilidade de reuso do composto gerado nas culturas locais favorece a sustentabilidade econômica do sistema, pois não é preciso buscar destinos para esses compostos que demandam o uso de equipamento elétrico e mecânicos para transporte e disposição final, podendo ser reutilizados em fertilizações (pontuais) e incrementando a consciência ambiental.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis em diferentes meios de comunicação.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema apresenta uma barreira cultural, pois as pessoas não estão acostumadas a utilizarem banheiros não hídricos. Outro ponto é a necessidade de manipular o resíduo compostado. Apesar do banheiro seco ser uma técnica existente há diversos anos, sofreu alterações para um uso mais contemporâneo, acrescentando soluções para busca de maiores eficiências de tratamento e reduzir o acesso ao composto.

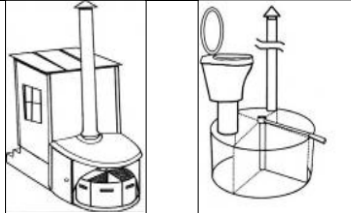
É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica e recuperar a confiança dos usuários nessa tecnologia. É necessário respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar

ao contexto local. Outro sistema de banheiro seco, com características semelhantes, porém com complexidade construtiva maior, é o banheiro seco carrossel, apresentado no próximo item.

3.5.4.2 Análise da Sustentabilidade do Sistema Banheiro Seco Carrossel

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.40), o Quadro 3.41 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 40- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas não hídricos: Banheiro seco carrossel.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	BANHEIRO SECO (CARROSSEL)
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Recipiente de coleta carrossel. Serragem e cinzas para cobrir o dejetos.
2.2- Materiais constituintes	Edificação em madeira ou alvenaria. Sistema carrossel metálico, plástico ou alvenaria. Serragem e cinzas.
3- Área necessária para implantação	3-5m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1
5- Complexidade construtiva	Alta. Construção de uma edificação com sistema de carrossel.
6- Operação e manutenção	Retirada do composto para uso em adubação, giro do recipiente.
7- Custo de implantação ¹	R\$ 140,00 a R\$ 600,00 / habitante
8- Custo de operação	Não há
9- Produção de odores	Baixo, desde que seja realizado o cobrimento dos dejetos adequadamente e a exaustão das câmaras
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema
11- Eficiência na remoção de DBO	95%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Sim
Fonte	JENKINS (1996) / ERCOLE (2003) / ROOF SIMPLE (2009)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 41- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e participação para o Sistema Banheiro Seco com Recipientes Móveis.

Fluxo da água	Não há água. Geração → adição de serragem → compostagem → uso do composto
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Edificação em alvenaria → serragem → composto
Fluxo da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso do composto gerado

Para análise da sustentabilidade do sistema banheiro seco carrossel deve ser considerado os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade do composto e possibilidade de reuso. Esse sistema apresenta uma análise da sustentabilidade semelhante ao apresentado para o sistema de recipientes móveis, com relação à separação das águas, reuso de composto e critérios de aceitação. A diferença está nos aspectos construtivos do sistema.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos um sistema de banheiro seco mais complexo que o anterior, pois deve conter um recipiente circular, dividido em quatro partes, em forma de carrossel, que permita a rotação das câmaras. Essas câmaras devem estar a um nível inferior ao vaso sanitário. Portanto deve ser construído um local específico para abrigar esse tipo de banheiro.

Para construção do abrigo do banheiro seco pode ser utilizado materiais de construção convencional (tijolo, areia, cimento), ou alternativos como madeira ou sistemas pré-fabricados. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A EcoTech foi a desenvolvedora desse sistema e possuiu um equipamento pré-fabricado para o carrossel. A proposta era criar um sistema contínuo.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. O uso de abrigos em materiais não renováveis prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis. Os sistemas que fazem separação das águas amarelas e marrons podem ser considerados uma inovação no mercado e beneficiam a sustentabilidade ambiental, visto que as águas amarelas possuem usos importantes como fertilizantes e até mesmo na produção de cosméticos.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda uma área maior que o anterior para implantação, pois necessita da construção de um abrigo com 2 andares para o sistema. A “descarga” o sistema é a aplicação de restos de vegetais, para auxiliar no processo de compostagem. Porém é preciso inovar nos materiais a serem utilizados e nas técnicas construtivas, para facilitar a montagem e causar menores impactos ao meio ambiente.

Uma das vantagens desse sistema é o elevado grau de tratamento dos dejetos, conferindo segurança e um composto estável para reuso. A operação e manutenção do sistema é simples, com o giro das câmaras a cada 6 meses para alternas as câmaras de compostagem, resultando em um ciclo de 2 anos. Esses compostos ficam expostos ao sol e intempéries por cerca de 1,5 ano para estabilização do composto, para serem reutilizados. O composto gerado pode ser considerado um material inerte. Nesse sistema é previsto um sistema de exaustão para os gases gerados e impedir o mau cheiro. Também não se observa a presença de vermes e insetos durante a operação do sistema.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Uma das indicações desse sistema seria para locais com dificuldade de acesso à água (chácaras, assentamentos rurais, bairros distantes dos centros

urbanos). A segurança desse sistema pode ser considerada adequada, pois o resultado é um composto inerte e disponível para reuso.

A construção e operação do sistema devem possibilitar condições adequadas de trabalho e não expor os usuários à contaminação. Esse sistema apresenta um baixo risco de contaminação, pois não há contato direto do usuário final com o material não compostado. Há contato apenas com o material inerte. É preciso realizar limpezas periódicas e verificações do funcionamento para evitar a proliferação de vermes e insetos.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se o processo de construção do sistema permita o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituição de pesquisa e universidades que buscou soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação, uma vez que os usuários não estão adaptados ao uso de sistemas secos. Porém sua operação é simples e o acesso ao conhecimento pode acarretar em maior aceitabilidade do sistema. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta baixo custo (custos acessíveis) de implantação, uso, operação e manutenção. Porém é um sistema para águas negras, sendo necessário investimento na construção de outro sistema para tratamento de águas cinzas. Apesar disso, os custos de manutenção não quase inexistentes.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os

impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A possibilidade de reuso do composto gerado nas culturas locais favorece a sustentabilidade econômica do sistema, pois não é preciso buscar destinos para esses compostos que demandam o uso de equipamento elétrico e mecânicos para transporte e disposição final, podendo ser reutilizados em fertilizações (pontuais) e incrementando a consciência ambiental.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis em diferentes meios de comunicação.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema apresenta uma barreira cultural, pois as pessoas não estão acostumadas a utilizarem banheiros não hídricos. Outro ponto é a necessidade de manipular o resíduo compostado. Apesar do banheiro seco ser uma técnica existente há diversos anos, sofreu alterações para um uso mais contemporâneo, acrescentando soluções para busca de maiores eficiências de tratamento e reduzir o acesso ao composto.

É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica e recuperar a confiança dos usuários nessa tecnologia. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local. Outro sistema de banheiro seco, com características semelhantes, que apresenta algumas experiências de uso no Brasil é o banheiro seco com duas câmaras, apresentado no próximo item.

3.5.4.3 Análise da Sustentabilidade do Sistema Banheiro Seco com Duas Câmaras

Para análise da sustentabilidade do sistema será apresentado o quadro de comparação para escolha de alternativa de tratamento de efluente sanitário residencial do sistema (Quadro 3.42), o Quadro 3.43 com os fluxos da água, energia, materiais e participação para o sistema e análise da sustentabilidade do sistema.

QUADRO 3. 42- Quadro de comparação para escolha de sistema local de tratamento de efluente sanitário residencial para sistema de tratamento de águas negras, por sistemas não hídricos: Banheiro seco com duas câmaras.

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	BANHEIRO SECO (DUAS CÂMARAS)
1- Imagens / Fotos	
2- Componentes	Rampa, duas unidades, serragem, cinzas
2.2- Materiais constituintes	Edificação em madeira ou alvenaria. Rampa em alvenaria, com tampa metálica. Duas unidades de coleta em alvenaria. Serragem e cinzas.
3- Área necessária para implantação	3-5m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1
5- Complexidade construtiva	Alta. Construção de uma edificação com desnível para rampa.
6- Operação e manutenção	Retirada do composto para uso em adubação, troca da unidade.
7- Custo de implantação ¹	R\$ 140,00 a R\$ 600,00 / habitante
8- Custo de operação	Não há
9- Produção de odores	Baixo, desde que seja realizado o cobrimento dos dejetos adequadamente e a exaustão das câmaras
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema
11- Eficiência na remoção de DBO	95%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim
15- Acesso à tecnologia	Sim
Fonte	ERCOLE (2003) / JENKINS (1996) / INSTITUTO REFAZENDA (2013)
Observações	¹ Considerando custo para 1 habitação unifamiliar com 5 moradores. Valores atualizados para o ano de 2014.

QUADRO 3. 43- Quadro do fluxo da água, energia, materiais e participação para o Sistema Banheiro Seco com Recipientes Móveis.

Fluxo da água	Não há água. Geração → adição de serragem → compostagem → uso do composto
Fluxo da energia	Sistema por gravidade
Fluxo dos materiais	Edificação em alvenaria → rampa em aço → serragem → composto
Fluxo da participação	1- Escolha de separação ou não das águas 2- Escolha por uso de sistema hídrico ou não hídrico 3- Escolha do sistema de tratamento de efluentes adequado às condições locais e sociais 4- Escolha do local de instalação do sistema 5- Escolha dos materiais a serem utilizados para construção 6- Escolha do tipo de mão-de-obra a ser utilizada 7- Escolha da forma de reuso do composto gerado

Para análise da sustentabilidade do sistema banheiro seco duas câmaras devem ser considerados os aspectos ambientais, sociais, econômicos, políticos e culturais. Para a **dimensão ambiental** considerou-se os materiais a serem utilizados na construção, qualidade do composto e possibilidade de reuso. Esse sistema apresenta uma análise da sustentabilidade semelhante ao apresentado para o sistema de recipientes móveis, com relação à separação das águas, reuso de composto e critérios de aceitação. A diferença está nos aspectos construtivos do sistema.

Ao analisarmos os materiais para construção das unidades de tratamento, temos um sistema de banheiro seco menos complexo que o anterior, pois deve conter duas câmaras de compostagem, que são alternadas a cada 6 meses de uso. É desenvolvido um mecanismo que permite essa alteração das câmaras. Essas câmaras devem estar a um nível inferior ao vaso sanitário. Portanto precisa ser construído um local específico para abrigar esse tipo de banheiro. É obrigatório ter contato direto com a incidência da luz solar.

Para construção do abrigo do banheiro seco pode ser utilizado materiais de construção convencional (tijolo, areia, cimento), ou alternativos como madeira ou sistemas pré-fabricados. Ao realizarmos a construção com sistema convencional (alvenaria), há facilidade em encontrar os materiais, favorecendo sua aquisição e acesso. A proposta é criar um sistema contínuo e rotativo.

Ao adquirir materiais de empresas terceirizadas (pré-fabricação), reduz-se o volume de trabalho a ser executado no local, favorecendo algumas condições de trabalho (menor esforço profissional). Porém deve-se buscar a aquisição desses materiais de regiões próximas, para desenvolver o comércio local e regional, e evitar deslocamentos, impactando na emissão de poluentes e queima de combustíveis fósseis.

É preciso quantificar os impactos que essa atividade industrializada apresenta sobre o sistema, além de verificar o grau de emissão de poluentes para o meio ambiente. A construção de abrigos em materiais não renováveis prejudica a sustentabilidade ambiental, uma vez que, após sua vida útil, não é possível reciclar o material e gera-se um novo resíduo que precisa de destinação. Além de utilizar material de fonte não renovável (petróleo) para sua fabricação.

É necessário verificar os impactos que esses materiais causam no meio ambiente e nas pessoas. Para ilustrar um exemplo de cálculo das emissões atmosféricas de reservatórios fabricados com diferentes materiais, o Apêndice A apresenta um modelo de cálculo das emissões de CO₂ para tanques construídos em alvenaria, pré-moldado de concreto e plástico (polietileno).

A sustentabilidade ambiental pode ser beneficiada com uso de técnicas e materiais inovadores, que facilitem a montagem e causem menores impactos ao meio ambiente, com uso de materiais locais e renováveis. Os sistemas que fazem separação das águas amarelas e marrons podem ser considerados uma inovação no mercado e beneficiam a sustentabilidade ambiental, visto que as águas amarelas possuem usos importantes como fertilizantes e até mesmo na produção de cosméticos.

A área necessária para implantação também impacta na sustentabilidade ambiental e econômica, pois quanto maior a unidade de tratamento, maior impacto sobre uso e ocupação do solo. Esse sistema demanda uma área semelhante que o anterior para implantação, pois necessita da construção de um abrigo com 2 andares para o sistema. A “descarga” o sistema é a aplicação de restos de vegetais, para auxiliar no processo de compostagem. Porém é preciso inovar nos materiais a serem utilizados e nas técnicas construtivas, para facilitar a montagem e causar menores impactos ao meio ambiente.

Uma das vantagens desse sistema é o elevado grau de tratamento dos dejetos, conferindo segurança e um composto estável para reuso. A operação e manutenção do sistema é simples, com a alternância das câmaras de compostagem a cada 6 meses, resultando em um ciclo de 1 ano. Esses compostos ficam expostos ao sol por cerca de 6 meses para estabilização do composto, para serem reutilizados. O composto gerado pode ser considerado um material inerte. Nesse sistema é previsto um sistema de exaustão para os gases gerados e impedir o mau cheiro. Também não se observa a presença de vermes e insetos durante a operação do sistema.

Com relação à **dimensão social** da sustentabilidade, este sistema deve se adaptar às necessidades do usuário. Uma das indicações desse sistema seria para locais com dificuldade de acesso à água (chácaras, assentamentos rurais, bairros distantes dos centros

urbanos). A segurança desse sistema pode ser considerada adequada, pois o resultado é um composto inerte e disponível para reuso.

A construção e operação do sistema devem possibilitar condições adequadas de trabalho e não expor os usuários à contaminação. Esse sistema apresenta um baixo risco de contaminação, pois não há contato direto do usuário final com o material não compostado. Há contato apenas com o material inerte. É preciso realizar limpezas periódicas e verificações do funcionamento para evitar a proliferação de vermes e insetos.

A forma de construção desse sistema é de fácil acesso aos usuários. Isso pode permitir a formação de novos profissionais e o desenvolvimento local social. Essa questão da sustentabilidade é beneficiada se o processo de construção do sistema permita o conhecimento de uma nova técnica para possibilitar sua replicação, com a aprendizagem de um novo trabalho beneficiando a geração de emprego e renda de forma mais sustentável.

A sustentabilidade social desse sistema também é favorecida no acesso ao conhecimento, pois foi desenvolvido por instituição de pesquisa e universidades que buscou soluções alternativas aos sistemas tradicionais utilizados e que apoiam os programas de capacitação e disseminação do conhecimento.

A aceitabilidade do sistema também é importante. Observa-se que esse sistema não tem elevado grau de aceitação, uma vez que os usuários não estão adaptados ao uso de sistemas secos. Porém sua operação é simples e o acesso ao conhecimento pode acarretar em maior aceitabilidade do sistema. Essa questão também se relaciona com a **dimensão cultural**.

A **dimensão econômica** impacta, primeiramente, nos custos de implantação e operação do sistema. Esse sistema apresenta baixo custo (custos acessíveis) de implantação, uso, operação e manutenção. Porém é um sistema para águas negras, sendo necessário investimento na construção de outro sistema para tratamento de águas cinzas. Apesar disso, os custos de manutenção não quase inexistentes.

A escolha e definição dos materiais a serem utilizados impactam diretamente nesses custos de construção e operação. É preciso viabilizar soluções que reduzam os

impactos financeiros, principalmente para a população de baixa renda. Deve-se incentivar o uso de materiais locais e renováveis. O sistema também não faz uso de energia elétrica ou outro tipo de energia não renovável para operação.

Como observado anteriormente, a tecnologia de construção e operação desse sistema está disponível e de fácil acesso, o que permite a aprendizagem de um novo trabalho, que pode acarretar na geração de emprego e renda e desenvolvimento das localidades.

A possibilidade de reuso do composto gerado nas culturas locais favorece a sustentabilidade econômica do sistema, pois não é preciso buscar destinos para esses compostos que demandam o uso de equipamento elétrico e mecânicos para transporte e disposição final, podendo ser reutilizados em fertilizações (pontuais) e incrementando a consciência ambiental.

A **dimensão política** deve estar presente nas diversas fases do processo de escolha, construção uso e operação do sistema, para garantir sua sustentabilidade. É preciso que o usuário seja participativo em todas as fases e possibilitar o acesso ao conhecimento e faça escolhas adequadas às suas necessidades e contexto local e social, com constante questionamento dos detalhes que presentes em cada etapa. O acesso ao conhecimento desse sistema é facilitado, com informações disponíveis em diferentes meios de comunicação.

Na etapa de definição dos materiais a serem utilizados na construção deve-se buscar acesso ao conhecimento de materiais que causem menor impacto ao meio ambiente, se possível, com parcerias e cooperação para desenvolvimento de ações mais sustentáveis. Deve-se desenvolver a negociação coletiva dos materiais para redução de custos do sistema.

Buscar o consenso nas decisões é importante, que devem ser coletivas e beneficiar a maioria, com a busca de uma cidadania ativa. O processo de escolha desse sistema deve ser participativo para sua maior sustentabilidade política. Devem-se coletar informações para monitoramento e avaliação do sistema.

A última dimensão é a **dimensão cultural**. Esse sistema apresenta uma barreira cultural, pois as pessoas não estão acostumadas a utilizarem banheiros não hídricos. Outro ponto é a necessidade de manipular o resíduo compostado. Apesar do banheiro seco ser uma técnica existente há diversos anos, sofreu alterações para um uso mais contemporâneo, acrescentando soluções para busca de maiores eficiências de tratamento e reduzir o acesso ao composto.

É preciso garantir o acesso às informações para romper com as barreiras de preconceito do uso dessa técnica e recuperar a confiança dos usuários nessa tecnologia. É preciso respeitar os hábitos e culturas locais, pois o sistema deve-se adequar e adaptar ao contexto local.

Ao comparar os três sistemas não hídricos, podemos considerar que o sistema que utiliza duas câmaras tende a ser o mais sustentável, pois apesar de custo superior ao sistema duas câmaras, evita o contato direto com o composto gerado (manipulação), não é preciso destinar área específica para tratar os dejetos, há sistema de exaustão dos gases e operação facilitada. Com relação ao sistema carrossel, a vantagem é o custo de instalação e modo de operação mais simplificado.

Expostos os três sistemas de tratamento não hídricos para tratamento de águas negras e apresentada a análise da sustentabilidade dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, o próximo item apresenta uma os princípios gerais considerados para análise do grau de tendência à sustentabilidade dos sistemas.

3.6 PRINCÍPIOS GERAIS CONSIDERADOS PARA ANÁLISE DO GRAU DE TENDÊNCIA À SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS LOCAIS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

O presente estudo procurou analisar o grau de sustentabilidade e recomendações para cada tipo de tratamento local de efluentes sanitários, considerando as dimensões da sustentabilidade (ambiental, cultural, econômica, social e política), na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios.

Os quadros de comparação apresentados (ver apêndice B) trazem a sistematização das alternativas estudadas e auxiliam na tomada de decisão permitindo que se faça uma análise conjunta de todas as alternativas, de modo que as pessoas possam fazer escolhas de acordo com suas necessidades e realidade social. Desta forma, determina-se uma ou mais variáveis de interesse, compara-se com as alternativas existentes e define-se o sistema a ser adotado.

A busca pela sustentabilidade do sistema é uma forma de proporcionar às pessoas acesso a técnicas desconhecidas, garantir melhores condições de higiene no local, viabilizar uso de técnicas com custo acessível e níveis de tratamentos adequados, conscientizarem as pessoas sobre a preservação do meio ambiente e permitir que elas possam aprender a gerenciar o sistema de tratamento e manejar efluente e lodo para reutilizá-los.

É preciso compreender as etapas que compõe o processo de escolha de sistema de tratamento local de efluentes sanitários residenciais. Foram elencadas quatro etapas: etapa de escolha da alternativa de tratamento, etapa de projeto, etapa de construção, etapa de uso, operação e manutenção.

Em cada etapa é preciso considerar as cinco dimensões da sustentabilidade, para que se façam escolhas adequadas à realidade local e social, com a busca do equilíbrio dinâmico os territórios. É necessário que o processo seja participativo, para aumentar a sua sustentabilidade, promovendo o acesso à informação e tecnologias alternativas, de forma a propiciar uma tomada de decisão consciente para cada etapa do processo. Garantir a participação das pessoas é um dos principais desafios para a sustentabilidade política.

Após compreensão das etapas do processo de escolha de sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais, foram apresentadas as diferentes alternativas existentes para este fim. Os sistemas foram subdividido em sistemas para tratamento misto (sem separação das águas em cinzas e negras), sistemas para tratamento de águas negras, sistemas para tratamento de águas cinzas e sistemas não hídricos (banheiro seco). Os sistemas para tratamento de águas negras foram subdivididos em sistemas hídricos combinados com tanques sépticos e sistemas hídricos não combinados com tanques sépticos.

A análise da sustentabilidade de cada sistema buscou apresentar os principais aspectos que interferem na tomada de decisão para cada uma das 5 dimensões da sustentabilidade. Com relação aos materiais utilizados na construção das unidades, o uso de materiais com recursos locais e renováveis na construção do sistema favorece a sustentabilidade.

Na dimensão ambiental e econômica foram considerados os aspectos de custo de construção das unidades e custos de operação e manutenção, com possibilidade ou não de uso de energia renovável. A dimensão social focou na saúde dos usuários (segurança do sistema), formas de construção das unidades (trabalho excessivo) e acesso ao conhecimento.

A dimensão cultural abordou questões sobre a aceitação de alternativas inovadoras e a possibilidade de adequação de técnicas antigas a um projeto mais contemporâneo, adequando às necessidades locais. A dimensão política enfatizou o uso de processos participativos para escolha e tomada de decisão do sistema local de efluente sanitário residencial mais adequado ao contexto local e social. O acesso à informação e a facilidade de compreensão das alternativas facilita sua escolha e beneficia a sustentabilidade política.

A busca pelo equilíbrio dinâmico do território é importante para o debate da sustentabilidade e análise das alternativas. O uso de alternativas que apresentam baixo impacto ambiental e proporcionem a busca pela homeostase tendem a ter ganho em sustentabilidade em relação às demais alternativas para tratamento de efluentes, com a minimização dos impactos negativos que demandam maiores consumos de energia, matéria-prima, para retorno a uma situação de equilíbrio.

Para resumir a análise da sustentabilidade apresentada para cada sistema de tratamento de efluentes sanitários, o quadro 3.44 sistematiza os sistemas de acordo com os ganhos em sustentabilidade para cada variável analisada e respectiva dimensão da sustentabilidade.

QUADRO 3. 44- Quadro síntese da comparação das alternativas de tratamento de efluentes sanitários residenciais, com respectivas variáveis e dimensão da sustentabilidade.

DIMENSÕES	SISTEMA	Tratamento Misto		Tratamento de Águas Negras										Tratamento de Águas Cinzas			Tratamento não Hídrico				
	VARIÁVEIS	SRA	SI	TS	TVI	TVF	TFAN	TFAE	TCB	TPA	FSB	SMSN	SBC	SBI	SMSC	SCF	SCL	BSRM	BSC	BS2C	
Dimensão Ambiental	Componentes	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
	Materiais constituintes	+++	+	+++	+++	+++	+++	++	+++	+	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	++	++	
	Área necessária para implantação	+	+++	+++	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++	
	Nº de domicílios atendidos	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
	Eficiência na remoção de DBO	+++	+++	+	++	+++	+++	++	++	++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
	Produção de odores	++	+++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+++	+	+	+++	++	++	+	+++	+++	
Dimensão Social	Complexidade construtiva	+	+++	+++	++	++	++	++	+++	++	+++	++	++	++	+++	+++	++	+++	+	+	
	Operação e manutenção	+++	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+	+++	+++	+	+	+++	+++	++	+++	+++	+++	
	Presença de insetos e vermes	++	+++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+	++	++	++	+	+++	+++	
	Riscos à saúde	+++	+++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	
Dimensão Econômica	Custo de implantação	+	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++
	Custo de operação	+++	+	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
	Geração de emprego e renda	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++	
Dimensão Cultural	Grau de aceitação da tecnologia	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+	+	+	
Dimensão Política	Acesso à tecnologia	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	

LEGENDA:

SRA: SISTEMA DE RECICLAGEM DAS ÁGUAS / **SI:** SISTEMA INDUSTRIALIZADO / **TS:** SUMIDOURO / **TVI:** VALA DE INFILTRAÇÃO / **TVF:** VALA DE FILTRAÇÃO OU FILTRO DE AREIA / **TFAN:** FILTRO ANAERÓBIO / **TFAE:** FILTRO AERÓBIO / **TCB:** CÍRCULO DE BANANEIRAS / **TPA:** POÇO DE ABSORÇÃO / **FSB:** FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA / **SMSN:** SISTEMA MODULAR COM SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS NEGRAS / **SBC:** BIODIGESTOR (CONTÍNUO) / **SBI:** BIODIGESTOR (INTERMITENTE) / **SMSC:** SISTEMA MODULAR COM SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS CINZAS / **SCF:** SISTEMA CIRCUITO FECHADO / **SCL:** PLANTAS CAMPO DE LIXIVIAÇÃO DO TQ SÉPTICO / **BSRM:** BANHEIRO SECO (RECIPIENTES MÓVEIS) / **BSC:** BANHEIRO SECO (CARROSSEL) / **BS2C:** BANHEIRO SECO (DUAS CÂMARAS).

De acordo com o quadro 3.44, quando maior o número de símbolo “+” na tabela, maior a tendência a ganhos de sustentabilidade do sistema. A descrição detalhada de cada análise da sustentabilidade de cada sistema foi apresentada em seu respectivo item. Esse resumo auxilia na visualização das alternativas que tendem a ser mais sustentáveis, permitindo uma comparação com demais alternativas.

Esse capítulo buscou apresentar uma forma mais simplificada de analisar o grau da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários, na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios, que pode ser utilizada para processos de tomada de decisão de outros processos. A análise proposta está sujeita a alterações e contribuições que se façam necessárias.

A sistematização dos resultados em análise da sustentabilidade contribui para auxiliar ao usuário final do sistema a tomada de decisão da alternativa mais adequada ao contexto social e local. O capítulo 4 apresenta um resumo da análise da sustentabilidade dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, as principais conclusões do estudo e as perspectivas de continuidade.

CAPÍTULO 4

ALGUMAS CONCLUSÕES E NOVAS QUESTÕES

Esse estudo buscou analisar a sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários. A discussão central da sustentabilidade foi focada no atendimento continuado das necessidades humanas, reduzindo as formas de degradação de recursos naturais que pudessem afetar as sociedades humanas. Contudo, muito mais do que uma questão técnica de gerenciamento de recursos naturais, a sustentabilidade provoca uma discussão aprofundada sobre as necessidades humanas e a busca do equilíbrio dinâmico dos territórios.

A sustentabilidade pode ser compreendida como a interação entre diferentes dimensões (ambiental, econômica, social, cultural e política), que se inter-relacionam e buscam descrever as principais diretrizes que embasam o conceito. A dimensão ambiental foca nas questões do meio ambiente, com a manutenção da sua integridade ecológica, prevenção das diferentes formas e fontes de poluição, com preservação dos recursos naturais e da sua diversidade, respeitando a capacidade de carga dos sistemas, com a constante preocupação com o futuro do planeta. Procurar por soluções e promover pesquisas para desenvolvimento de tecnologias que reduzam os resíduos e sejam mais eficientes no uso dos recursos para o desenvolvimento urbano, rural e industrial.

A dimensão social remete às pessoas e suas relações sociais, com a busca da equidade na distribuição das riquezas e oportunidades (interagindo com a dimensão econômica), combate à discriminação e políticas e práticas de exclusão, respeitando a

diversidade em suas diferentes formas de expressão. Também a redução das diferenças entre diferentes padrões de vida.

A dimensão econômica retrata a equidade de distribuição de riquezas e oportunidades, a realização de potenciais econômicos locais, promovendo o desenvolvimento local, com resultados macrossociais positivos, com redução das externalidades socioambientais. Ela não deve estar focada apenas no critério da rentabilidade empresarial de caráter microeconômico.

A dimensão cultural pode estar incluída na dimensão social. Porém, quando analisamos a sustentabilidade urbana, é importante considerar esse aspecto como mais uma dimensão, pois aborda a conservação de patrimônio urbanístico, paisagístico e ambiental, que represente as histórias locais, além de promover a diversidade e identidade cultural em todas suas formas de expressão e representação, identificando as raízes endógenas.

A dimensão política pode ser considerada a principal dimensão da sustentabilidade, estando presente em todas as demais dimensões. Enfoca a participação da sociedade nos processos de tomadas de decisões, de modo a respeitar o direito de todos e superar práticas e políticas de exclusão, promovendo o desenvolvimento da cidadania ativa. Para considerar ganhos em sustentabilidade, a análise de qualquer dimensão deve abordar processos participativos na tomada de decisão. Os atores participantes nos processos devem ter acesso ao conhecimento para que tomem decisões adequadas ao seu contexto local e social e promovam ações que beneficiem a todos, com a busca do consenso nas decisões. A participação também aumenta e favorece a sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios, com o acesso ao conhecimento de soluções e técnicas alternativas.

A adoção de sistema de análise de sustentabilidade, com base em princípios, indicadores e dimensões, pode auxiliar as pessoas na definição das prioridades no processo de escolha do sistema local de tratamento de efluentes sanitários mais adequados às necessidades e localidades. Além disso, o fortalecimento de um processo de governança democrática (dimensão política) é importante para que a definição das diretrizes da área e possibilitar o acesso às informações e à participação.

O que se pode observar na análise da sustentabilidade é a indissociabilidade das dimensões (ambiental, econômica, social, política e cultural). Também o conceito remete, além das dimensões, à necessidade da busca de uma situação de equilíbrio, ou uma situação de durabilidade. Para determinar se uma situação é sustentável é preciso verificar os impactos positivos e negativos que causa no sistema, se permite sua regeneração e não irá privar as futuras gerações do acesso aos recursos existentes. Acrescenta-se ao conceito de sustentabilidade a questão do equilíbrio dinâmico dos territórios.

O conceito de homeostase pode ser caracterizado como quando o sistema é perturbado ou sofre interferências, tem a tendência a voltar à estabilidade por meio de mecanismos de realimentação negativa ou positiva, que buscam reduzir desvios gerados aos sistemas, para uma situação de equilíbrio, ou seja, um equilíbrio dinâmico. Em sistemas de tratamento de efluentes sanitários, o sistema recebe uma perturbação, e os mecanismos iniciam suas ações para tratamento dos dejetos e depuração das águas, até, ao final do processo, estabelecerem uma situação de equilíbrio, com retorno à situação próxima do inicial. Este conceito coloca limites nos direitos dos homens de usar e alterar a natureza, pois se considera que a natureza não humana tem valor intrínseco, independentemente dos valores e da consciência humanas. Neste aspecto, o uso dos recursos naturais deve atender às necessidades de subsistência, de modo a preservar a integridade do meio ambiente, com uso mais consciente dos recursos disponíveis.

A análise da sustentabilidade buscou abranger as cinco dimensões (ambiental, econômica, social, política e cultural), a busca do equilíbrio dinâmico dos territórios e as questões mais importantes a serem consideradas no processo de tomada de decisão para escolha de sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais. Buscou-se incluir princípios que priorizam a adaptação à realidade local, pois devem estar de acordo com o meio físico, biológico, cultural e político do lugar onde será aplicado, com a busca do equilíbrio dinâmico. A questão do acesso à informação, práticas de governança e autogestão é importante nesse processo.

A compreensão do conceito e princípios de sustentabilidade e a participação dos usuários na tomada de decisão aumentam o grau de sustentabilidade no processo de escolha e tomada de decisão de sistemas de tratamento de efluentes sanitários na

perspectiva do equilíbrio dinâmico do território, tendendo a uma situação de homeostase e pode permitir o acesso ao uso de tecnologias mais adequadas a um contexto local e social.

No debate da literatura (ver capítulo 1) sobre métodos de análise da sustentabilidade observou-se que métodos existentes privilegiam os aspectos econômicos e ambientais. A dimensão política da sustentabilidade (compreende a participação na tomada de decisão, uso e operação e manutenção) de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários favorece a utilização de sistemas não convencionais, o reuso dos resíduos, diminuição do consumo de água e oportunidade da geração de trabalho e renda.

Isso devido possibilitar o acesso ao conhecimento e técnicas alternativas de tratamento de efluentes sanitários, na perspectiva do equilíbrio dinâmico, com uso de soluções mais adequadas ao contexto local e social, que privilegiam o reuso dos efluentes, lodos formados, redução dos resíduos, possibilidade de geração de trabalho e renda, na aprendizagem de novo ofício. O desafio que se coloca é: *como incrementar estudos de análise de sustentabilidade que incorporem as múltiplas dimensões na perspectiva do equilíbrio dinâmico do território?* A multidisciplinaridade das dimensões e a ausência de um referencial teórico para embasar os conceitos de sustentabilidade dificulta esta atividade.

Devem-se motivar as pessoas para sua participação ativa, favorecer o acesso às informações necessárias que impactam na tomada de decisão, buscar o consenso das decisões coletivas e adaptar as soluções às necessidades do usuário. A participação inicia-se no processo de definição de uso de sistemas com escolha da alternativa mais adequada à realidade local e social, escolha dos materiais, escolha do local de implantação do sistema, escolha das formas de reuso do efluente, escolha das formas de operação e manutenção do sistema. Outra forma de participação a ser considerada é a possibilidade de compras coletiva, de forma a reduzir os custos e aperfeiçoar os meios de transporte dos materiais para a construção dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários.

O que se observa é *que existem poucos métodos de análise da sustentabilidade que enfatizam a participação dos usuários na tomada de decisão nas diferentes etapas, com gestão e controle social do processo*. Isso também pode ser analisado na revisão da literatura técnica e científica (ver capítulo 1), em que houve dificuldade em encontrar publicações sobre o tema, o que demonstra uma lacuna do conhecimento nesta

área. Outra questão que se coloca é: *como incrementar pesquisas e estudos em análise da sustentabilidade que enfatizem os processos participativos?*

O quadro de comparação proposto foi um instrumento desenvolvido pela autora para auxiliar no processo de escolha de sistema local de tratamento de efluentes sanitários residenciais de forma a facilitar a compreensão das pessoas sobre o assunto, permitir o acesso às informações e tomar a decisão de qual melhor sistema a ser utilizado. Esse trabalho possibilitou a sistematização do conhecimento para facilitar o acesso a técnicas alternativas para tratamento e disposição local de efluentes sanitários, de modo que pessoas com diferentes graus de conhecimento possam ter acesso às técnicas alternativas e executá-las, adequando à sua realidade local e social.

Dentre as variáveis selecionadas para análise, as consideradas mais importantes para a população de baixa renda são os custos (implantação, operação e manutenção), a área necessária para implantação do sistema, complexidade de operação e manutenção, referindo-se, principalmente, às dimensões econômica e social (forma com que as pessoas irão lidar com os produtos do processo), conforme experiência do assentamento rural Sepé-Tiaraju. A dimensão ambiental entendida como o respeito ao meio ambiente e ao bom uso dos recursos naturais deve também ser.

Com relação à análise da sustentabilidade das 19 alternativas de sistema local de tratamento de efluentes sanitários, *os sistemas que favorecem a separação das águas em cinzas e negras ou não usam água, sistemas que possibilitam o uso de resíduos, diminuição do consumo de água, a participação dos usuários na tomada de decisão nas diferentes etapas, com gestão e controle social do processo tendem a ser mais sustentáveis*, pois integram as dimensões da sustentabilidade na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios, além de permitir o acesso à tecnologias alternativas para tratamento de efluentes sanitários. Isso é devido às características do tratamento de efluentes, pois se pode adequar soluções específicas para cada tipo de efluente a ser tratado, evitando a poluição de um volume maior de águas.

Neste aspecto, a questão que se coloca é *como incrementar o uso de técnicas mais sustentáveis em sistemas de tratamento de efluentes sanitários, que considerem a*

separação das águas, reuso dos resíduos, do consumo de água, na perspectiva do equilíbrio dinâmico dos territórios?

As condições para que as pessoas façam uso de sistemas não convencionais de tratamento de efluentes sanitários residenciais é o acesso à informação e à assessoria técnica, que permite o acesso ao conhecimento de técnicas alternativas, a disponibilidade de recursos financeiros, impacta na qualidade do tratamento e dos materiais a serem utilizados, dificuldades operacionais, que podem influenciar na escolha, caso a operação seja complexa e a conscientização ambiental.

Dentre os sistemas separadores, o que apresenta ganhos em sustentabilidade, entre os sistemas comparados, são os sistemas não hídricos. Isso devido não utilizarem água como forma de transporte dos efluentes, não a poluindo, além de possibilitar o reuso do composto formado na adubação de cultivos, com segurança aos usuários finais. Os ganhos em sustentabilidade do sistema podem ser ampliados separando-se as águas negras em águas marrons (fezes) e águas amarelas (urina), com resultados de compostagem mais eficazes. A urina é uma fonte importante de nutrientes, com possibilidade de reuso na agricultura (fertilização) e até em cosméticos. Para incrementar o uso de sistemas não hídricos é preciso fornecer informações para que as pessoas tenham acesso ao conhecimento e compreendam os benefícios dessas tecnologias alternativas. Contudo, a necessidade de uma maior preocupação com a qualidade da água e seu desperdício, essas soluções surgem como novas formas para tratamento dos dejetos humanos.

Em se tratando de sistemas hídricos, o uso de fossa séptica se apresenta também como uma solução que pode ter ganhos em sustentabilidade, porém não equivalente ao sistema não hídrico (banheiro seco). É um sistema utilizado há diversos anos, de fácil acesso à população, além de ter uma eficiência de tratamento adequada para pequenos volumes (remoção de até 70% da DBO). A sustentabilidade do sistema pode ser melhorada com as soluções para disposição final dos efluentes sanitários. As soluções que propiciam o reuso do efluente, principalmente em irrigação, tem ganhos de sustentabilidade em comparação com soluções que infiltram diretamente no solo.

Dentre os sistemas apresentados, o sistema fossa séptica com círculo de bananeiras se destaca entre os sistemas hídricos combinados com tanque séptico. Isso se

deve ao fato da possibilidade de reuso do efluente sanitário da fossa séptica com segurança ao usuário final e permitir a produção de alimentos. O sistema é de fácil construção e baixo custo, permitindo o acesso das pessoas aos materiais construtivos e tecnologia.

Sistemas com ganhos de sustentabilidade semelhante é a fossa séptica biodigestora (sistema EMBRAPA) e sistema modular de separação das águas (ERCOLE, 2003). São sistemas desenvolvidos por instituições de ensino e de pesquisa, como solução alternativa ao uso da fossa séptica. O resultado é um grau superior na qualidade do tratamento do efluente. São sistemas de fácil construção, com informações disponíveis para acesso da população. Em ambos os sistemas é possível reutilizar o efluente de forma segura ao usuário final, possibilitando também na irrigação de pequenos cultivos. O leito de evapotranspiração e infiltração é uma técnica bastante eficiente no tratamento das águas, na remoção dos nutrientes presentes nos efluentes.

A questão do processo de escolha dos materiais a serem utilizados na construção dos sistemas de tratamento de efluentes sanitários residenciais também é importante para ganhos de sustentabilidade. Deve-se priorizar o uso de materiais locais e renováveis, que sejam de fácil acesso às pessoas e com tecnologia disponível. Quanto maior o grau de industrialização do material, mais distante o local de aquisição desse material e maior o uso de insumos não renováveis, maior perda da sustentabilidade do sistema. É possível a utilização de materiais industrializados, desde que desenvolvam a economia e comércio locais, com maiores ganhos em sustentabilidade.

O sistema industrializado apresenta um menor grau de sustentabilidade nesse requisito, pois faz uso de materiais não renováveis, é um produto industrializado e não desenvolve o comércio local. Além desse requisito, o sistema necessita de energia elétrica para seu correto funcionamento, na injeção de ar pelos sopradores. O uso de energia proveniente de sistemas não renováveis também prejudica a sustentabilidade do sistema. Em se tratando de sistemas para tratamento de águas cinzas, o sistema reciclagem das águas seria com maior ganho de sustentabilidade, devido, principalmente, à sua facilidade de construção (com uso de materiais locais e renováveis), poucas etapas de tratamento e possibilidade de reuso do efluente na irrigação e produção de alimentos.

A questão que se coloca é como romper com as barreiras do acesso ao conhecimento e da participação para que as pessoas utilizem sistemas não convencionais de tratamento de efluentes sanitários, com a busca de maior sustentabilidade ao sistema?

Este trabalho pode propiciar diversos desdobramentos entre eles, a aplicação da análise da sustentabilidade em diferentes segmentos (educação, transportes, saúde, emprego, etc.), para permitir comparações entre sistemas com diferentes características e viabilizar a avaliação da tendência à sustentabilidade. Esse estudo buscou propor uma análise de sustentabilidade mais simplificada, para possibilitar o acesso das pessoas ao conhecimento e auxiliar no processo de escolha e tomada de decisão do sistema de tratamento de efluentes sanitários residenciais a serem utilizados.

Como decorrências deste trabalho também estão a inclusão de novas alternativas locais para tratamento de efluentes sanitários residenciais no quadro de comparação e realizar sua análise da sustentabilidade. Estudar formas de mensurar a sustentabilidade subjetiva de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais, além de questionar os novos conceitos de sustentabilidade e suas formas aplicação nesses sistemas. Também incrementar o acesso ao conhecimento para que as pessoas possam escolher sistemas alternativos para tratamento de efluentes sanitários residenciais, e mais sustentáveis, adequados ao contexto local e social.

A compreensão do conceito e princípios de sustentabilidade e a participação dos usuários na tomada de decisão aumentam o grau de sustentabilidade de sistemas de tratamento de efluentes sanitários na perspectiva do equilíbrio dinâmico do território. A dimensão política da sustentabilidade (compreende a participação na tomada de decisão, uso e operação e manutenção) favorece a utilização de sistemas não convencionais, o reuso dos resíduos, diminuição do consumo de água e oportunidade da geração de trabalho e renda. Os sistemas que permitem a separação das águas em cinzas e negras ou não hídricas, que possibilitam o uso de resíduos, diminuição do consumo de água, a participação dos usuários na tomada de decisão nas diferentes etapas, com gestão e controle social do processo tendem a ser mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ACSERALD, H. Sentidos da Sustentabilidade Urbana. In:_____. **A Duração das Cidades:** sustentabilidade e risco nas políticas urbanas. Rio de Janeiro: DP&A, 2001. p. 27-56.

ALEMANHA. Agência Federal de Meio Ambiente. **Sustainable Germany:** towards an environmentally sound development. Berlim: Agência Federal de Meio Ambiente, 1997. 239 p.

ALEMANHA. Ministério Federal de Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear. **Report on the environment** (abstract). Bonn: Ministério Federal de Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear, 1998. 69 p.

ANDRADE, C.O.N. **Sistemas simples para tratamento de esgoto sanitário:** experiência brasileira; vol. 1. Rio de Janeiro: ABES, 301 p. 1997. ISBN: 8570221231.

ANDREOLI, C. V. (Coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento:** processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 282 p. Projeto PROSAB. ISBN: 85-86552-19-4.

ANDREOLI, C.V. (Coordenador). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: ABES, 2006. 417p. Projeto PROSAB. ISBN 85-7022-151-7. ISBN: 978-85-7022-151-3.

ANDREOLI, C.V. (Coordenador). **Lodo de fossa e tanque séptico:** caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 388p. Projeto PROSAB. ISBN: 978-85-7022-166-7.

ANINK, D.; BOONSTRA, C.; MAK, J. **Handbook of sustainable building:** environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment. Londres: James & James, 1996. 175p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969:** Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60p.

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

BANDEIRA, P. **Participação, articulação de atores sociais e desenvolvimento regional**. Texto para discussão nº 630. Brasília, 1999. 87p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/TDs/td_0630.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2007.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 2. ed. São Paulo: Ícone, 1993.

BASTOS, R.K.X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro : ABES, 2006. 427 p. Projeto PROSAB. ISBN 85-86552-71-2.

BASTOS, R.K.X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 267 p. Projeto PROSAB.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D. Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 427 p. Projeto PROSAB.

BATALHA, B. H.; GASI, T. M. T. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo: CETESB, 1988.

BELLEN, H.M.V. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2002. 235p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BENNETT, P. S. **Indicadores de sustentabilidade em habitação popular: construção e validação de um instrumento de medição da realidade local de comunidades de baixa renda**. 2004. 176p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BIOLAN. **Biolan Komplet Dry Toilet**. Disponível em: <http://www.biolan.fi/english/default4.asp?active_page_id=107>. Acesso em: 10 jan. 2013.

BOFF, L. **O pecado maior do capitalismo: o risco do ecocídio e do biocídio**. Disponível em: <<http://www.leonardoboff.com/site/lboff.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

BOND, A., MORRISON, A. S., POPE, J. **Sustainability assessment: the state of the art, Impact Assessment and Project Appraisal**, 2012, 53-62, DOI: 10.1080/14615517.2012.661974. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/14615517.2012.661974>>. Acesso em: 01 nov. 2013.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p. ISBN: 85-7346-045-8.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Saneamento ambiental, sustentabilidade e permacultura em assentamentos rurais: algumas práticas e vidências**. Brasília: FUNASA, 2013. 80p. ISBN: 978-85-98156-77-4.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Saneamento rural**. 2014. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/>>. Acesso em: 10 out. 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 181 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=105>>. Acesso em: 02 out. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54**. DOU 09/03/06. Brasília, 2005. 3p. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54_2005_criterios_gerais_uso_agua.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2008.

BRASIL. Ministério do Planejamento. **Sobre o PAC**. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac>>. Acesso em: 11 jan. 2015.

BURTON, J. M. Sustainable waste management: a case study from the UK waste industry. **Water Science & Technology**, v. 38, n. 11, p. 51-58, 1998.

CAESB – Companhia de saneamento ambiental do distrito federal. **Instruções para instalação de fossa séptica e sumidouro em sua casa**. 2006. Disponível em <http://www3.caesb.df.gov.br/_conteudo/FolhetosManuais/Instala%C3%A7%C3%A3oFossaS%C3%A9pticaSumidouro.pdf>. Acesso de 12 abr. 2006.

CAMPOS, J.R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p. Projeto PROSAB.

CAPRA, F. **A teia da vida**. Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 1999.

CARVALHO, M.C.A.A. Participação social no Brasil hoje. Instituto Polis – **Polis Papers**. v.27. n.2. p. 1-27. 1998. Disponível em: <http://www.polis.org.br/publicacoes_interno.169>. Acesso em: 10 mar. 2007.

CASTILLO, L. **Sanitario ecológico seco**: manual de diseño, construcción, uso y mantenimiento. Guadalajara: México, 2002. 98 p.

CASTORIADIS, C. **As encruzilhadas do labirinto 2**: os domínios do homem. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 1987.

CETESB. **Qualidades das Águas no Estado de São Paulo**. CETESB: São Paulo, 1988.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. DESA - UFMG. Belo Horizonte, 1997.

CIDIN, R.C.P.J.; SILVA, R.S. **Pegada Ecológica**: instrumento de avaliação de impactos antrópicos no meio natural. Rio Claro: Estudos Geográficos, 2004.

COHIM, E., COHIM, F. Reuso de água cinza: a percepção do usuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte-MG. **Anais....** Belo Horizonte: ABES, 2007.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Sistemas de esgotamento sanitários: conhecer o passado para moldar o futuro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABES, 2007, II-163. p. 1-11.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – CMMAD. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro. Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Von SPERLING, M. **Crítérios e dados para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. Cetesb. São Paulo, 1988.

CONSELHO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL - CBCS. **Seleção em 6 passos**. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/selecaoem6passos/>>. Acesso em 15 set. 2013.

CUNHA, F.L.S.J. **O uso de indicadores de sustentabilidade ambiental no monitoramento do desenvolvimento agrícola**. 2003, 86p. Brasília: Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade de Brasília– UNB/CDS, Brasília, 2003.

CURRAN, M. A. **Environmental Life Cycle Assessment**. McGraw-Hill. New York, USA. 1996.

DEFFIS, A.C.; MOLINA, S.D.D. **La casa ecológica autosuficiente: para climas templado y frio**. 4. ed. México: editorial concepto s.a., 1992.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C.J.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. **Biodigestores rurais: model indiano, chinês e batelada**. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita, Bauru – SP. 2000. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzv02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf>. Acesso em 11 jun. 2008.

DEL PORTO, D. e STEINFELD, C. **Composting Toilet System Book: A Practical Guide Pollution to Choosing, Planning, and Maintaining Composting Toilet Systems**. Center of Ecological Prevention. Concord. 2000.

DJALALI, A.; VOLLARD, P. **The Complex History of Sustainability**. Disponível em: <<http://issuu.com/archis/docs/thecomplexhistoryofsustainability#>>. Acesso em: 27 out. 2013.

DUARTE, C.G. **Planejamento e sustentabilidade: uma proposta de procedimentos com base na avaliação de sustentabilidade e sua aplicação para o caso do etanol de cana-de-açúcar**. 2013. 303p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

ECOTECH. **EcoTech Carousel Composting Toilet System**. 2012. Disponível em: <<http://ecotechproducts.net/product/ecotech-carousel-composting-toilet-system/>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

EDIFIQUE. **Fossa Séptica Prevenção de doenças e da contaminação do solo**. 2006. Disponível em: <http://www.edifique.arq.br/nova_pagina_12.htm>. Acesso em: 12 mar 2006.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Jensen, A. A., Hoffman, L., Moller, B.T.,

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa em Agropecuária. **Fossa Séptica Biodigestora**. 2006. Disponível em: <<http://www.cnpdia.embrapa.br/produtos/fossa.html>>. Acesso em: 16 abr. 2006.

ERCOLE, L.A.S. **Sistema modular de gestão das águas residuais domiciliares**: uma opção mais sustentável para gestão de resíduos líquidos. 2003, 192p. Dissertação de mestrado (programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRG), Porto Alegre, 2003.

EUROPARL- Resolução sobre a Comunicação ao Conselho e ao Parlamento Europeu sobre as “**Orientações à EU sobre Indicadores Ambientais e Contabilidade Verde Nacional – A Integração de Sistemas Ambientais e Econômicos de Informação**”. 1995. Disponível em: <<http://www.europarl.europa.eu/pv2/pv2>>. Acesso em: 01 dez. 2008.

FLAMENT, M. **Glossário Multicritério**. Red Iberoamericana de Evaluación y Decisión Multicritério, Espanha, 1999. Disponível em: <<http://www.unesco.org.uy/redm/glosariom.htm>>. Acesso em 24 nov. 2010.

FLORENCIO, F.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Coordenador). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 427 p. Projeto PROSAB. ISBN: 85-7022-152-5. ISBN: 978-85-7022-152-0.

FORNARI, M. Na Assembleia da Assemae, municípios se animam com o PAC. **Saneamento ambiental**, São Paulo, v. 17, n. 129, p. 25-28, 2007.

FURTADO, L.C.B.G. **Homeostase na Arquitetura**: Adaptação causada às mudanças causadas pelas alterações climáticas. 2010. 112f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade da Beira Interior. Covilhã. 2010. Disponível em: <<https://ubithesis.ubi.pt/bitstream/10400.6/2202/>>. Acesso em 19 jun. 2015.

GARTNER, I.R. **Avaliação Ambiental de Projetos em Bancos de Desenvolvimento Nacionais e Multilaterais**: evidências e propostas. Brasília: Editora Universia, 2001.

GASPARATOS, A.; EL-HARAM, M.; HORNER, M. A critical review of reductionist approaches for assessing the progress towards sustainability. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 28, n. 4-5, p. 286-311, doi:10.1016/j.eiar.2007.09.002, 2008.

- GIBSON, R.; HASSAN, S.; HOLTZ, S.; TANSEY, J.; WHITELA, W, G. **Sustainability Assessment Criteria, Processes and Applications**. Earthscan Publications Limited, Londres, Reino Unido, 2005.
- GLADWIN, T. N.; KENNELLY, J. J.; KRAUSE, T. S. **Shifting paradigms for sustainable development**: implications for management theory and research. *Academy of Management Review*, New York, v.20, n.4, p. 874-907, 1995.
- GOMES, L.F.M.; MOREIRA, A.M.M. **Da Informação à Tomada de Decisão**: agregando valor através dos métodos multicritério. *RECITEC*, Recife, v.2, n.2, p.117-139, 1998. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/rtec/res/res-001.html>>. Acesso em: 16 nov. 2010.
- GONÇALVEZ, R. F. (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. Rio de Janeiro : ABES, 2006. 352 p. Projeto PROSAB. ISBN 85-7022-154-1, ISBN 978-85-7022-154-4.
- GONÇALVEZ, R. F. (Coordenador). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro : ABES, RIMA, 2003 438 p. Projeto PROSAB. ISBN 85-86552-72-0.
- GREEN BUILDING DIGEST. **GREEN BUILDING DIGEST**. 1995. Liverpool: ACTAC.
- GREEN GLOBES. **Green globes**. 2004. Disponível em: <<http://www.greenglobes.com/design/about.asp>>. Acesso em: 02 dez. 2010.
- GTZ. **Capacity building for ecological sanitation**: ecosan resource material. Eschborn – Alemanha: GTZ, 2006. CD-ROM.
- GUIMARÃES, M. **Sustentabilidade e Educação Ambiental**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J.T. (orgs.). *A questão ambiental: diferentes abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- HAMMOND, A.L., et al. **Environmental Indicators**: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development. Washington, D.C.: World Resources Institute, 1995.
- HELLER, L.; REZENDE, S.C.; HELLER, P.G.B. Participação e controle social em saneamento básico: aspectos teóricos-conceituais. In: GALVÃO, A.C.J.; XIMENES, M.M.F. (Ed.) **Regulação**: controle social da prestação dos serviços de água e esgoto. Fortaleza: Pouchain Ramos, 2007. p. 37- 68.
- HENZE, M.; LEDIN, A. **Types, characteristics and quantities of classic, combined domestic wastewaters**. New York: IWA Published, 2001.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). **Síntese indicadores 2013**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2013/sintese_defaultods.shtml>. Acesso em 15 nov. 2014.
- INSTITUTO REFAZENDA. **Permacultura, arte e espiritualidade**. 2013. Disponível em: <<https://institutorefazenda.wordpress.com/oficinas-e-vivencias-2/>>. Acesso em: 25 jun. 2013.

IPEMA. Instituto De Permacultura e Ecovilas da Mata Atlântica. **Água e Esgoto**. Disponível em: <<http://www.ipemabrasil.org.br/institutoweb13.htm>>. Acesso em: 12 mar. 2006.

JACOBI, P. R. **Ampliação da Cidadania e da Participação**: desafios na democratização da relação poder público - sociedade civil no Brasil. 1996. 278 f. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/48/tde-25102005-105004>>. Acesso em: 08 mar. 2008.

JENKINS, Joseph.C. **The Humanure Handbook** : a guide to composting human manure. Jenkins Publishing (PA). 1996.

JOHANSSON, M.; et al. **Urine separation**: closing the nutrient cycle. Verna Ecology. Stockholm, 2001

JOHN, V.M. Categoria 4: Conservação de Recursos Materiais. In JOHN, V.M.; PRADO, R.T.A. (Coord.). **Boas práticas para habitação mais sustentável**. 1.ed. São Paulo: Páginas & Letras – Editora Gráficas, 2010. 204p. (Selo Casa Azul).

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 969p. 2011.

KASS, G. et al. Open Channels. **Public Dialogue in Science and Technology**. Parliamentary Office of Science and Technology. Report No. 153, London (UK), 2001.

KAYANO, J. & CALDAS, E. L. Indicadores para o diálogo. In: CACCIA-BAVA, S.; PAULICA, V.; SPINK, P. (orgs). **Novos contornos da gestão local**: conceitos em construção. Polis: Programa Gestão Pública e Cidadania / FGV – EAESP, São Paulo, 2002.

KELLNER, Erich; CALIJURI, Maria do Carmo; PIRES, Eduardo Cleto. Aplicação de indicadores de sustentabilidade para lagoas de estabilização. **Eng. Sanit. Ambient.** 2009, vol.14, n.4, pp. 455-464. ISSN 1413-4152.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo, Ceres, 1985.

KVANSTRÖM E.; BRACKEN, P.; YSUNZA, A.; KÄRRMAN, E.; FINSSON, A.; SAYWELL, D. **Sustainability Criteria in Sanitation Planning**. WEDC International Conference, Vientiane, Lao 2004.

KVARNSTRÖM, E. e al., **Separação de urina**: Um passo em direção ao saneamento sustentável - Programa EcoSanRes e do Instituto Ambiental de Estocolmo, 2006.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. Livraria do Arquiteto. Rio de Janeiro, 2008.

LUDWING, A. **Branched drain greywater systems**. Santa Barbara-CA: Oasis Design. 1994.

MALISIE, A F. **Sustainability Assessment on Sanitation Systems for Low Income Urban Areas in Indonesia**. Hamburg University of Technology. Hamburg, 2008.

- MAMBELLI, T. **Social impact assessment**. 2000. Disponível em: <<http://www.research.scpm.salford.ac.uk/bqtoolkit/index2.htm>>. Acesso em: 01 dez. 2010.
- MARTINETTI, T. H. **Análise das Estratégias, Condições e Obstáculos para Implantação de Técnicas mais Sustentáveis para Tratamento local de Efluentes Sanitários Residenciais: caso assentamento rural Sepé-Tiaraju, Serra Azul, SP**. 2009. 228 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- MARTINETTI, T.H.; SHIMBO, I.; TEIXEIRA, B.A.N. Estudo de Alternativas para Tratamento de Efluentes Sanitários mais Sustentáveis. In: XIV JORNADA DE JOVENS PESQUISADORES DA AUGM (ASSOCIAÇÃO DE UNIVERSIDADES DO GRUPO MONTEVIDÉO). 2006. **Anais..** Campinas: Coordenadoria de Relações Institucionais e Internacionais. Disponível em: <<http://www.cori.unicamp.br/jornadas>>.
- MATTAR NETO, J.; KRÜGER, C.M.; DZIEDZIC, M. Análise de indicadores ambientais no reservatório do Passaúna. **Engenharia Sanitária & Ambiental**, v .14, n. 2, p. 205-214, 2009.
- MAY, S. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2008.
- MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L. & RANDERS, J. **Beyond the limits: confronting global collapse, envisioning a sustainable future**. White River Junction: Chelsea Green Publishing Company, 1992. 300 p.
- MEADOWS, D. H.; RANDERS, J.; MEADOWS, D. L. **Limits to Growth: The 30-Year Update**. White River Junction: Chelsea Green, 2004. 368 p.
- MEADOWS, Donella. **Indicators and Information Systems for Sustainable Development**. A report to the Balaton Group. The Sustainability Institute, 1998.
- MENDONÇA, L.R. **Desenvolvimento e sustentabilidade: um estudo de alianças estratégicas intersetoriais no empreendedorismo social**. 2007. 166p. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2007.
- MILANEZ, B. **Resíduos Sólidos e Sustentabilidade: princípios, indicadores e instrumentos de ação**. 2002. 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.
- MIRANDA, A.B.; TEIXEIRA, B.A.N. **Indicadores para o monitoramento da sustentabilidade em Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. 2004. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 269-279.
- MIRANDA, D.J.P. Permacultura: conceitos de sustentabilidade para o planejamento e desenvolvimento da gestão socioambiental. In: IX ENGEMA - Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 9.2007, Curitiba. **Anais...** Curitiba: 2007. Disponível

em: <<http://engema.up.edu.br/arquivos/engema/pdf/PAP0153.pdf>>. Acesso em: 24 ago. de 2010.

MIZUMO. Sistemas Pré-fabricados de Tratamento de Esgoto. **Mizumo Family**. Disponível em <<http://www.mizumo.com.br/index.php/site/family>>. Acesso em: 12 mar. 2006.

NABERS. **National Australian built environment rating system** (NABERS). 2004. Disponível em: <<http://www.deh.gov.au/industry/construction/nabers/user-spreadsheets.html>>. Acesso em: 07 dez. 2010.

NESS, B. et al. Categorizing Tools for Sustainability Assessment. **Ecological Economics**, Elsevier, v.60, 3p. 498-508, 2007.

NOAVES, A. P.; SIMÕES M. L.; MARTIN, L. N.; CRUVINEL, P. E.; SANTANA, A.; NOVOTNY, E.H.; SANTIAGO, G.; NOGUEIRA, A.R.A. **Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do Saneamento Rural e desenvolvimento da Agricultura Orgânica**. 2002. 14p. Disponível em: <<http://www.cnpdia.embrapa.br/produtos/img/fossa.pdf>>. Acesso em: 24 jul. 2006.

OAKLEY, P.; CLAYTON, A. **Monitoramento e avaliação do empoderamento**. Inglaterra: INTRAC. 2003. 96p.

OECD. ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. OECD. **Core set of indicators for environmental performance reviews: a synthesis report by the Group on the State of the Environment**. Environment Monographs, n. 83. 1993. 39 p.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 293 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Administração. 2004.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Doenças ambientais matam 233 mil por ano no Brasil**. 2007. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2007/06/070613_oms_doencas_pu.shtml>. Acesso em: 13 jan. 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Report of the United Nations conference on human settlements** (Habitat II). Istambul: Organização das Nações Unidas. 1996. 289 p.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Rio declaration on environment and development: application and implementation report of the secretary-general**. [S.l.]: Organização das Nações Unidas, 1997. 65 p.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. 1 ed. Belo Horizonte: Fundo das Nações Unidas para a Infância - UNICEF, 1996. 56p.

PIORR, H.P. Environmental Policy, Agri-environmental Indicators and Landscape Indicators. Agriculture. **Ecosystems & Environment**, v.98, 1-3p. 17-33, 2003.

PROJECTO MADEIRA VOLUNTÁRIA. **Círculo de bananeiras**: aproveitamento das águas cinzas. 2012. Disponível em: < <https://madeiravoluntaria.wordpress.com/2012/09/09/circulo-de-bananeiras-aproveitamento-das-aguas-cinzas/>>. Acesso em: 05 fev. 2013.

RATTNER, H. Sustentabilidade: uma visão humanista. **Revista Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 2, n. 5, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X1999000200020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 03 mar. 2008.

RESILIENCE ALLIANCE. **Assessing Resilience in Social-Ecological Systems**: Workbook for Practitioners. 2. ed. [S.l.]: Resilience Alliance, 2010. 54 p.

ROOF SIMPLE. **Humanure Dry Toilet Made From a Milk Crate**. 2009. Disponível em: <<http://www.rootsimple.com/2009/07/humanure-dry-toilet-made-from-a-milk-crate/>>. Acesso em: 22 jan. 2010.

SÁ, M. C. **Avaliação da qualidade do composto e dos aspectos construtivos e operacionais de banheiros compostáveis**. 2011. 100 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia, Limeira-SP.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI**. In: BURSZTYN, M. Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: Brasiliense, 1993. p. 29-56.

SANCHES, A.B. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de tratamento de esgotos sanitários**: uma proposta metodológica. 2009. 278f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul-RS.

SANTAELLA, S.T. (Coord.). Disposição no solo como alternativa de tratamento e pós-tratamento de esgoto doméstico para pequenas comunidades. In: BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **1º. Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública**. Brasília: FUNASA, 2007. p. 171-199.

SANTOS, A. M.; MOTTA, A. **Desafios para a Sustentabilidade no Espaço Urbano Brasileiro**. Rio de Janeiro: Projeto Brasil Sustentável: FASE, 2001. Disponível em: <<http://www.brasilsustentavel.fase.org.br/downloads.htm>>. Acesso em: 22 dez. 2007.

SANTOS, M.F.N.; BASTITELLE, R.A.G.; HORI, C.Y.; JULIOTI, P.S. Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. In: **GEPROS**. Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Vol 6, nº 2, p. 57-73, Abr-Jun/2011.

SARTI, A.; SAKAMOTO, I.K.; VARESCHE, M.B.A; ZAIAT, M.; FORESTI, E. **Tratamento de esgoto sanitário utilizando reatores anaeróbios operados em bateladas seqüenciais**: escala piloto. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Vol 11, no 1, p73-83, fev 2006.

SATO, M.; SANTOS, J. E. **Agenda 21**: em sinopse. 1 ed. São Carlos: EdUFSCar, 1999. 60 p.

- SAWAIA, B.B. Participação social e subjetividade. In: SORRENTINO, M. (Coord.). **Ambientalismo e participação na contemporaneidade**. São Paulo: EDUC, 2001. p.115-134.
- SCHERER-WARREN, I. Movimentos sociais e participação. In: SORRENTINO, M. (Coord.). **Ambientalismo e participação na contemporaneidade**. São Paulo: EDUC, 2001. p.41-56.
- Schmidt, A., Christiansen, K., Elkington, J., van Dijk, F. (editores). LCA. **Life Cycle Assessment: a guide to approaches, experiences and information sources**. Dinamarca, 1997.
- SCHÖNNING, C.; STENSTRÖM, T. A. **Guidelines on the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems**. EcoSanRes Programme, Stockholm Environment Institute. Sweden, 2004.
- SETELOMBAS. **Sanitário Compostável**. 2006. Disponível em: <<http://www.setelombas.com.br/2006/04/sanitario-compostavel/>>. Acesso em: 20 dez. 2014.
- SETTI, A.A. LIMA, J.E.F.W., et al. **Recursos Hídricos: Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**, ANEEL, ANA, 2001.
- SILVA, A.S. **Entidades da sociedade civil, administração pública local e as dimensões da sustentabilidade**: Estudo de caso Projeto Jaboticabal Sustentável. São Carlos, 2005. 256p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos, 2005.
- SILVA, A.S.; SHIMBO, I. A Dimensão Política na Conceituação da Sustentabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ENTAC. 2006. p.3806-3815.
- SILVA, K.V; SILVA, M.H. **Dicionário de conceitos históricos**. São Paulo: Contexto, 2005.
- SILVA, S.R.M. **Indicadores de sustentabilidade urbana**: as perspectivas e as limitações da operacionalização de um referencial sustentável. São Carlos, 2000. 200p. Dissertação de mestrado em Engenharia Urbana – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana do Deptº de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000.
- SILVA,S.R.M.; SHIMBO,I. Proposição Básica para Princípios de Sustentabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL, II e ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, I, 2001, Canela-RS. **Anais..** Rio Grande do Sul: ENTAC, 2001. p. 73-79. São Paulo.
- SIR JAMES MITCHELL PARK TREE PLANTING PROJECT. City of Perth. **Sustainability Assessment**: Final Report - March 2010. 55p. 2010. Disponível em: <http://www.southperth.wa.gov.au/Documents/Sustainability/Sustainability-Assessment-SJMP_Final-Report_01.pdf>. Acesso em 01 nov. 2013.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos** – 2011. Brasília: MCIDADDES, SNSA, 2013. 432p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=101>>. Acesso em 27 jul. 2013.

- SOARES, A. L. J. **Conceitos básicos sobre permacultura**. Brasília, MA/SDR/PNFC, 1998, 53 p.
- SOARES, S.R. **Análise Multicritério como Instrumento de Gestão Ambiental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- SPERLING, V. M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**; vol. 1. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.
- STARKL, M. e BRUNNER, N. **Feasibility versus sustainability in urban water management**. *Journal of Environmental Management*, 71 (2004) 245-260.
- STARKL, Markus e BRUNNER, Norbert. Feasibility versus sustainability in urban water management. **Journal of Environmental Management**, 71 (2004) 245-260.
- STRAND, S.M. & FOSSDAL, S.. Do standards and regulations supply the necessary incentive for sustainable building? 2003. **UNEP Industry And Environment**,. v. 26 n.2-3. p. 33-36.
- TEIXEIRA, B.A.N. et al. **Cadernos Jaboticabal Sustentável: conceitos**. Jaboticabal: Artsigner Editores, 2002. 20p
- TEIXEIRA, M. B.; MOTTA, A. L. T. S. **Sanitário Seco Compostável: uma Alternativa Viável de Saneamento Ambiental**. V Congresso Nacional de Excelência em Gestão. RJ, 2008.
- THOMAZ, H.J.R. **Seleção de Empregados em Indústria de Petróleo: uma análise pelo método AHP**. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Administração). Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, Rio de Janeiro, 2006.
- UN - UNITED NATIONS. **The future we want**. Rio de Janeiro: UN, 2012.
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME – UNDP. Human Development Report, 1990.
- UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). LEED™ **Green Building Rating System for new construction and major renovations (LEED NC) – Version 2.1**. 2002. Disponível em: <<http://www.usgbc.com>>. Acesso em: 03 dez. 2010.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia. **Esgotamento Sanitário: conceitos básicos**. Disponível em: <<http://www.etg.ufmg.br/tim1/esgotsanit.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2014.
- VEIGA, J. E. Os Princípios de Bellagio. In: LOUETTE, Anne (Org.) et. al. **Indicadores de Nações: uma Contribuição ao Diálogo da Sustentabilidade – Gestão do Conhecimento**. 1ª. Ed. São Paulo: WHH – Willis Harman House, 2007. (p.28-29).
- VEIGA, J. E. **Sustentabilidade: a legitimação de um valor**. São Paulo: Editora Senac São Paulo. 2010. p. 11-50.

WARREN, J. L. **How do we know what is sustainable?** A retrospective and prospective view. In: MUSCHETT, F. D. (Ed.). Principles of sustainable development Florida: St Lucie Press, 1997. p. 131-149.

WATER RHAPSODY. **Urine provides excellent sanitation solution.** 2010. Disponível em: <<http://www.savingwater.co.za/tag/wastewater-treatment-plants/page/2/>>. Acesso em: 27 jan. 2014.

WHO. **Reuse of effluents:** methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517), 1973.

WILSON, A. **Building materials:** what makes a product Green? Environmental Building News, Brattleboro, jan. 1997. Disponível em: <http://www.buildinggreen.com/features/qp/green_products.htm>. Acesso em: 25 nov. 2010.

YUBA, A. N. **Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais.** 2005. 227 p. Tese (Doutorado Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

APÊNDICE

APÊNDICE A: ANÁLISE COMPARATIVA DAS EMISSÕES DE CO₂ DE TANQUES SÉPTICOS EXECUTADOS EM ALVENARIA CONVENCIONAL, CONCRETO PRÉ-MOLDADO OU RESERVATÓRIO PLÁSTICO

Para auxiliar na análise da sustentabilidade dos materiais utilizados na construção dos sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários residenciais utilizou-se a metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV) dos materiais. Nesse trabalho procurou-se apresentar a ACV para os materiais.

A análise do ciclo de vida (ACV) ou life-cycle assessment (LCA) pode ser considerada uma abordagem sistêmica que estuda e quantifica os efeitos ambientais potenciais de um produto ou serviço desde a obtenção das matérias primas (petróleo, minério, colheitas, etc.) ao ponto em que o material retorna à terra. Isto inclui fluxos de subprodutos que vão para o ar, para a água e para o solo. (EEA, 1997, CURRAN, 1996).

Dentre as considerações a serem analisadas na ACV, está a emissão de gases do efeito estufa (principalmente o gás carbônico CO₂) para a atmosfera. Há diversas metodologias para determinação das emissões de CO₂, porém a que será apresentada nesse exemplo de avaliação usa como base a metodologia IPCC (2006).

O objetivo do trabalho foi apresentar uma forma de quantificar as emissões dos diferentes materiais construtivos para fossa séptica, foram utilizados valores calculados de emissões com base na literatura técnico e científica.

Foram comparadas as emissões de CO₂ de três diferentes materiais utilizados para construir um tanque séptico: 1- tanque séptico pré-moldado, 2- tanque séptico em alvenaria convencional e 3- tanque séptico plástico (polietileno).

O primeiro passo foi determinar a dimensão do tanque séptico para tratamento local de efluentes sanitários residenciais para uma habitação unifamiliar com 5 moradores. Os cálculos apresentados referem-se apenas para a unidade de tratamento (tanque séptico). Não foram considerados no dimensionamento os coletores que captam os efluentes da edificação e destinam até a unidade de tratamento.

Os resultados serão apresentados da seguinte forma:

A.1- Determinação do volume do tanque séptico;

A.2- Dimensionamento da fossa séptica em alvenaria convencional e quantificação das emissões de CO₂;

A.3- Dimensionamento da fossa séptica em pré-moldado de concreto e quantificação das emissões de CO₂;

A.4- Dimensionamento da fossa séptica em reservatório plástico (PE) e quantificação das emissões de CO₂.

A.1 - DETERMINAÇÃO DO VOLUME DO TANQUE SÉPTICO

Para determinação do volume do tanque séptico foi utilizada a proposta de dimensionamento presente na ABNT NBR 7229. De acordo com a norma, para determinar o volume útil do tanque séptico realizou-se seguinte cálculo:

$$V = 1000 + N \times (C \times T + K \times L_f) \quad (1)$$

Em que:

V = volume útil, em litros.

N = número de contribuintes.

C = contribuição de despejos, em litros / pessoa x dia (tabela 1 NBR 7229).

T = período de detenção, em dias (tabela 2 NBR 7229).

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, (tabela 3 NBR 7229).

L_f = contribuição de lodo fresco em litros / pessoa x dia (tabela 1 NBR 7229).

De acordo com a equação 1, temos:

$$V = 1000 + 5 \times (100 \times 1 + 65 \times 1) = \mathbf{1825 \text{ litros}}$$

Portanto, os tanques sépticos dimensionados devem atender a um volume mínimo de 1825 litros.

A.2 - DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO EM ALVENARIA CONVENCIONAL E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂

Para dimensionamento do tanque séptico em alvenaria convencional foram utilizados os parâmetros da ABNT NBR 7229 e o consumo dos materiais utilizados foram calculados com base na TCPO (2008).

Parâmetros mínimos da ABNT NBR 7229:

- Largura interna mínima (L): 0,70 m
- Relação entre comprimento e a largura (L): $2 \leq C/L \leq 4$
- Profundidade útil (h) mínima: 1,20 m
- Profundidade útil (h) máxima: 2,50 m e:

$$V = C \times L \times h = 1,825m^3 \quad (2)$$

Adotando-se $h = 1,20$ m e $L = 0,80$ m e calculando-se pela equação 2, obtém-se $C = 1,90$ m e $C/L = 2,38$.

Para construção do tanque séptico em alvenaria convencional, devem ser utilizados os seguintes materiais:

- Tijolo tipo comum 5,7x9x19 cm, assentados com argamassa mista traço 1:2:8 (cimento: cal: areia).
- Revestimento em argamassa mista traço 1:2:8 (cimento: cal: areia).
- Lastro de concreto (concreto magro) de espessura 5cm: traço 1:8:11 (cimento: areia: brita).
- Base em concreto armado de espessura 6cm: traço 1:4:6 (cimento: areia: brita) e malha de ferro $\varnothing 4,2$ a cada 20cm .
- Tampa em concreto armado de espessura 5cm: traço 1:4:6 (cimento: areia: brita) e malha de ferro $\varnothing 4,2$ a cada 15cm.
- Tubulação em PVC DN100.

A figura A.1 apresenta o projeto do tanque séptico em alvenaria convencional, com sua respectiva planta e o corte.

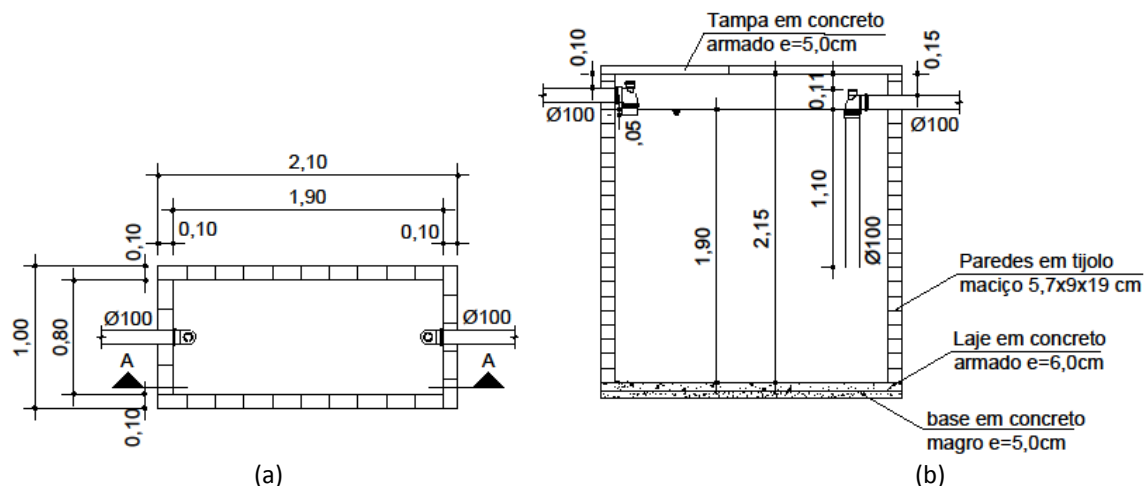


FIGURA A. 1: a-) Planta baixa do tanque séptico em alvenaria convencional para diâmetro de 1,20 metros / b) corte transversal do tanque séptico em alvenaria convencional (sem escala, medidas em metros).

Com base nos valores de consumo dos materiais da TCPO (2008) e dados de emissões de CO₂ dos materiais propostos por Deeke (2009), Isaia e Gastaldini (2004) e Costa (2012), elaborou-se a tabela A.1, com os resultados dos cálculos da quantificação dos materiais e estimativa das emissões de CO₂ dos materiais do tanque séptico em alvenaria convencional.

Tabela A. 1: Estimativa das emissões de CO₂ dos materiais constituintes do tanque séptico em alvenaria convencional (Fonte: autora, DEEKE, 2009, ISAIA e GASTALDINI, 2004, TCPO, 2008 e COSTA, 2012).

Tanque séptico - Estrutura					
Item	Descrição	Quantidade	Unidade	Emissões de CO ₂ /unidade (ton)	Emissões de CO ₂ totais (ton)
1	Tijolo cerâmico 5,7x9x19cm	0,990	ton	0,1110	0,11
2	Areia	1,395	ton	0,0861	0,12
3	Cal	0,112	ton	1,1840	0,13
4	Cimento CP II	0,204	ton	0,6518	0,13
5	Pedra britada 1	0,406	ton	0,0858	0,03
6	Aço CA-50	0,005	ton	1,8452	0,01
7	Tubulação PVC	0,002	ton	0,6150	0,00
Total					0,54

Notar que os materiais que apresentam maiores contribuições para emissões para o efeito estufa são a cal e o aço para construção civil. As emissões de cimento CP II também são consideráveis devido ao volume de material utilizado. Na sequência é apresentado o dimensionamento do tanque séptico em pré-moldado de concreto.

A.3 - DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO EM PRÉ-MOLDADO DE CONCRETO E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂

Para dimensionamento do tanque séptico em pré-moldado de concreto foram utilizados os parâmetros da ABNT NBR 7229 e o consumo dos materiais utilizados foram calculados com base na TCPO (2008). Foi considerada a construção de um tanque séptico cilíndrico, com uso de anéis pré-moldados em concreto.

Parâmetros mínimos da ABNT NBR 7229:

- Diâmetro interno mínimo (D): 1,10 m
- Profundidade mínima (h): 1,20 m
- $D < 2 h$

$$V = \frac{h \times \pi \times D^2}{4} = 1,825m^3 \quad (3)$$

Adotando-se valores de diâmetros comerciais para tanque séptico cilíndrico em anéis de concreto pré-moldado, utilizando-se a equação 3 obtém-se:

$D = 1,20 \text{ m} \rightarrow h = 1,61 \text{ m}$, como $h_{\text{mín}} = 1,20\text{m}$, esse será o valor utilizado.

Deve-se garantir uma folga superior de no mínimo 20 cm, portanto:

$D = 1,20\text{m}$ adota-se $h = 1,81 \text{ m} \rightarrow 4$ anéis de concreto de 0,50 m.

Para construção do tanque séptico em anéis pré-moldados de concreto, devem ser utilizados os seguintes materiais:

- Anéis de concreto armado de diâmetro 1,20 metros.
- Lastro de concreto (concreto magro) de espessura 5cm: traço 1:8:11 (cimento: areia: brita)
- Base em concreto armado de espessura 6cm: traço 1:4:6 (cimento: areia: brita) e malha de ferro $\varnothing 4,2$ a cada 20cm.
- Tampa em concreto armado de espessura 5cm: traço 1:4:6 (cimento: areia: brita) e malha de ferro $\varnothing 4,2$ a cada 15cm.

A figura A.2 apresenta o projeto do tanque séptico em anéis pré-moldados de concreto, com sua respectiva planta e o corte.

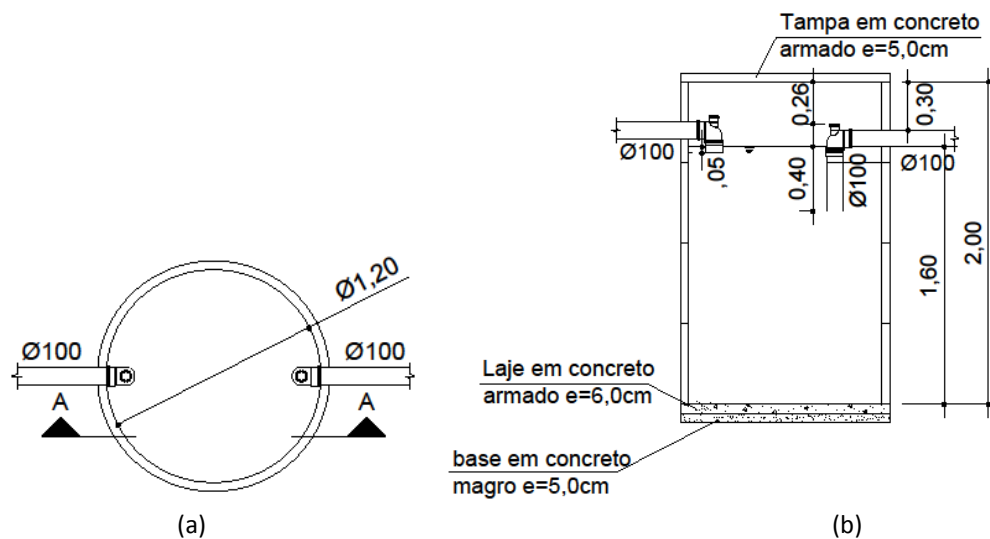


FIGURA A. 2: a-) Planta baixa do tanque séptico pré-moldada para diâmetro de 1,20 metros / b) corte transversal do tanque séptico cilíndrico (sem escala, medidas em metros).

Com base nos valores de consumo dos materiais da TCPO (2008) e dados de emissões de CO₂ dos materiais propostos por Deeke (2009), Isaia e Gastaldini (2004) e Costa (2012), elaborou-se a tabela A.2, com os resultados dos cálculos da quantificação dos materiais e estimativa das emissões de CO₂ dos materiais do tanque séptico em anéis pré-moldados de concreto.

Tabela A. 2: Emissões de CO₂ dos materiais constituintes do tanque séptico prismático (Fonte: autora, DEEKE, 2009, ISAIA e GASTALDINI, 2004, TCPO, 2008 e COSTA, 2012).

Tanque séptico - Estrutura					
Item	Descrição	Quantidade	Unidade	Emissões de CO ₂ /unidade (ton)	Emissões de CO ₂ totais (ton)
1	Tijolo cerâmico 5,7x9x19cm	0,990	ton	0,1110	0,00
2	Areia	1,395	ton	0,0861	0,04
3	Cal	0,112	ton	1,1840	0,00
4	Cimento CP II	0,204	ton	0,6518	0,12
5	Pedra britada 1	0,406	ton	0,0858	0,04
6	Aço CA-50	0,005	ton	1,8452	0,10
7	Tubulação PVC	0,002	ton	0,6150	0,00
Total					0,31

Ressaltar que a maior contribuição para as emissões de CO₂ para a tanque séptico em anéis pré-moldados de concreto é para o cimento CP-II, devido seu maior volume de material utilizado. Porém as emissões são inferiores à alvenaria convencional (0,54 ton CO₂), demonstrando uma maior sustentabilidade ambiental dessa solução. O próximo item aborda as emissões para tanque séptico em reservatório plástico (PE).

A.4 - DIMENSIONAMENTO DO TANQUE SÉPTICO EM RESERVATÓRIO PLÁSTICO (PE) E QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂

Para dimensionamento do tanque séptico em reservatório plástico (PE) foram utilizados os parâmetros da ABNT NBR 7229 e o consumo dos materiais foram com base em pesquisa de fabricantes desses reservatórios. A figura A.3 apresenta a tanque séptico em polietileno da empresa Fortlev e suas respectivas dimensões.

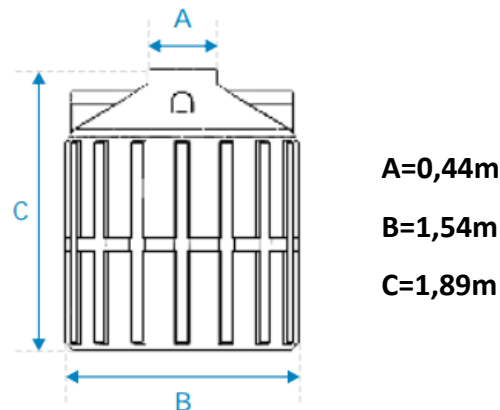


FIGURA A. 3: Tanque séptico em polietileno e respectivas dimensões (FORTLEV, 2010).

Com base nos valores de peso de material fornecido pelo catálogo técnico do fabricante, elaborou-se a tabela A.3 com os resultados dos cálculos da quantificação dos materiais e estimativa das emissões de CO₂ dos materiais do tanque séptico em reservatório plástico.

Tabela A. 3: Emissões de CO₂ dos materiais constituintes do tanque séptico em reservatório plástico (Fonte: autora, DEEKE, 2009, ISAIA e GASTALDINI, 2004, FORTLEV, 2010 e COSTA, 2012).

Tanque séptico - Estrutura					
Item	Descrição	Quantidade	Unidade	Emissões de CO ₂ /unidade (ton)	Emissões de CO ₂ totais (ton)
1	Tanque séptico Plástica	0,110	ton	0,6150	0,07
2	Tubulação PVC	0,002	ton	0,6150	0,00
Total					0,07

Verifica-se que a tanque séptico em reservatório plástico apresenta o menor índice de emissões de CO₂ se comparados com os demais apresentados. Isso se deve ao fato do material ser leve, em comparação com os demais, com menor volume e matéria-prima para construção, impactando no cálculo das emissões. Portanto, em termos de emissões de CO₂ o uso de tanque séptico plástica seria o que mais beneficia a sustentabilidade ambiental.

É importante observar que reservatórios plásticos são provenientes de materiais fósseis não renováveis, o que também impacta na sua sustentabilidade ambiental. Também não beneficia a sustentabilidade econômica e social, pois não promove o comércio local e não permite o acesso e conhecimento a uma tecnologia construtiva, com possibilidade de replicação e geração de emprego e renda.

REFERÊNCIAS

COSTA, B. L. C. **Quantificação das Emissões de CO₂ Geradas na Produção de Materiais Utilizados na Construção Civil no Brasil**. 2012. 190p. Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2012.

CURRAN, M. A. **Environmental Life Cycle Assessment**. McGraw-Hill. New NewYork, USA. 1996.

DEEKE, V. **Materiais convencionais utilizados na construção civil e emissão de CO₂**: estudo de caso de um edifício educacional da UTFPR. 2009. 221p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Tecnologia, Curitiba, 2009.

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Jensen, A. A., Hoffman, L., Moller, B.T., Schmidt, A., Christiansen, K., Elkington, J., van Dijk, F. (editores). **LCA. Life Cycle Assessment: a guide to approaches, experiences and information sources**. Dinamarca, 1997.

FORTLEV. **Soluções Fortlev para cuidar do meio ambiente**: estações compactas para tratamento de esgoto domiciliar. 2010. Disponível em: <http://www.fortlev.com.br/externos/produto/catalogo/Catalogo%20Tecnico%20ETE%20_1000.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2014.



IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change, National Greenhouse Gas Inventories Programme. 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Japão: IGES, 2006.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A.L.G. Perspectivas ambientais e econômicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, n.2, p. 19-30, abr./jun. 2004.




TCPO, **Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos**. São Paulo: Pini, v.13, 2008. ISBN: 978-85-7266-201-7

APÊNDICE B: QUADRO DE COMPARAÇÃO (ALTERNATIVAS X VARIÁVEIS) DE SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS

B.1 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO MISTO (ÁGUAS CINZAS E ÁGUAS NEGRAS)

VARIÁVEIS \ ALTERNATIVAS	SISTEMA DE RECICLAGEM DAS ÁGUAS	SISTEMA INDUSTRIALIZADO
1- Imagens / Fotos		
2- Componentes	1- reservatório anaeróbio séptico; 2- reservatório aeróbio filtro-misto; 3- reservatório anaeróbio com plantas; 2- reservatório aeróbio filtro misto; 5- reservatório para água reciclada.	Reator anaeróbio 1; Reator anaeróbio 2; Reator aeróbio; Decantação e desinfecção
2.2- Materiais constituintes	Tubulação em PVC, reservatórios em concreto, alvenaria, plástico (Polietileno / Fibra de vidro), brita / pedrisco para filtro, plantas aquáticas.	Reservatório plástico reforçado por fibra de vidro; Conexões de PVC; meio suporte de polietileno; difusor de ar de EPDM e soprador de ar. Sistema de desinfecção por pastilhas de cloro.
3- Área necessária para implantação	A partir de 15,0m ²	3,5 a 8,0 m ²
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais (dimensionamento por profissional capacitado)	Até 20 pessoas (até 5 domicílios)
5- Complexidade construtiva	Alta. São necessários 5 tanques para construção, e reservatórios desnivelados; Se utilizar materiais pré-fabricados tende a ser mais rápida e simples a construção ao invés de construir no local.	Baixa. O reservatório está pronto para uso, podendo ser enterrado ou não.
6- Operação e manutenção	Limpeza anual dos filtros, controle da vegetação e remoção do lodo de 1 a 5 anos, com tratamento e destino para adubação	Limpeza até 3 vezes ao ano e verificação periódica do acúmulo de sólidos. Os resíduos e lodo destinados para uma ETE
7- Custo de implantação ¹	R\$500,00 a R\$ 700,00 / habitante	R\$ 2.500,00 a R\$ 4.200,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano	Varia de acordo com a tarifa de energia elétrica
9- Produção de odores	Pode ocorrer se não houver limpeza dos filtros.	Não há
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer - necessária limpeza periódica e controle vegetação	Não há
11- Eficiência na remoção de DBO	94-98%	90-96%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo, por utilizar muitos tanques para completo tratamento.	Alto
13- Riscos à saúde	Baixo, desde que se dificulte o acesso ao efluente	Baixo. Não há acesso direto ao lodo e efluente
14- Geração de emprego e renda	Sim	Não há. Sistema industrializado
15- Acesso à tecnologia	Fácil	Não há
Fonte	IPEMA, 2006 / ERCOLE, 2003	MIZUMO, 2006

B.2 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS POR SISTEMAS HÍDRICOS COMBINADOS COM TANQUE SÉPTICO

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	SUMIDOURO	VALA DE INFILTRAÇÃO	VALA DE FILTRAÇÃO OU FILTRO DE AREIA
1- Imagens / Fotos			
2- Componentes	Tanque séptico e sumidouro	Fossa séptica e vala de infiltração	Fossa séptica e vala de filtração
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico, Sumidouro em tijolos maciços ou blocos de concreto	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico, tubos para drenagem (PVC, cerâmico, concreto ou bambu), britas para leito de infiltração	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico, tubos para drenagem (PVC, concreto, alvenaria ou bambu), areia para leito de filtração
3- Área necessária para implantação	Maior que 4 m ²	3 – 10 m ² /hab	2 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais	1 ou mais	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa. Construção de fossa séptica e unidade de disposição	Baixa a média, devido à construção das valas de infiltração	Baixa a média, devido à construção das valas de filtração
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 meses. Encaminhar para ETE ou reuso.	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 meses. Encaminhar para ETE ou reuso.	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 meses. Encaminhar para ETE ou reuso.
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80,00 a R\$ 160,00 / habitante	R\$ 100,00 a R\$ 200,00 / habitante	R\$ 100,00 a R\$ 200,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano	Até R\$ 20,00 / habitante.ano	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica e as valas estiverem superficiais	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica e as valas estiverem superficiais
11- Eficiência na remoção de DBO	30 – 50%	50 – 85%	70 – 95%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Alto	Alto	Baixo
13- Riscos à saúde	Não há, contato direto com o efluente	Não há, contato direto com o efluente	Não há, contato direto com o efluente
14- Geração de emprego e renda	Sim	Sim	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil	Fácil	Fácil
Fonte	ERCOLE (2003), CAESB (2006) e BATALHA E GASI (1988)	ERCOLE (2003) / BATALHA E GASI (1988) / CAESB (2006)	ERCOLE (2003) / CAESB (2006) / BATALHA E GASI (1988)

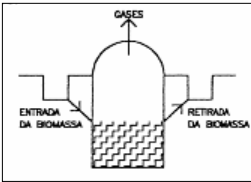
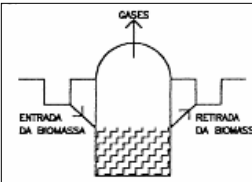
B.3 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS POR SISTEMAS HÍDRICOS COMBINADOS COM TANQUE SÉPTICO

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	FILTRO ANAERÓBIO	FILTRO AERÓBIO	CÍRCULO DE BANANEIRAS
1- Imagens / Fotos			
2- Componentes	Fossa séptica e filtro anaeróbico com britas	Fossa séptica e reservatório aeróbico com agitação	Fossa séptica e círculo de bananeiras
2.2- Materiais constituintes	Fossa em concreto, alvenaria ou material plástico, reservatório anaeróbico em concreto, alvenaria ou plástico, com britas.	Fossa em concreto, alvenaria ou material plástico, reservatório anaeróbico em concreto, alvenaria ou plástico, com agitação rotacional. Britas no leito	Fossa em concreto, alvenaria ou material plástico. Vala circular para receber o efluente, brita, terra e bananeiras
3- Área necessária para implantação	0,2 – 0,4 m ² /hab	0,05-0,25 m ² /hab	1 – 3 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais	1 ou mais	1
5- Complexidade construtiva	Baixa a média.	Baixa a média.	Baixa
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 meses Troca da brita do filtro	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 meses Limpeza do filtro e troca da brita	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 meses. Controle da vegetação
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80,00 a R\$ 200,00 / habitante	R\$ 120,00 a R\$ 320,00 / habitante	R\$ 80 a R\$ 160,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 30,00 / habitante.ano	Até R\$ 320,00 / habitante.ano	Até R\$ 20,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado	Pode ocorrer se o tanque não for adequadamente manejado	Pode ocorrer se o tanque e o efluente não tiver manejado e disposição adequados.
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica e o efluente não estiver coberto
11- Eficiência na remoção de DBO	70 – 95%	60-95%	50 – 70%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo	Baixo	Baixo
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos.	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos	Baixo. Cuidados devem ser tomados para evitar contato com efluente
14- Geração de emprego e renda	Sim	Sim	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil, se não utilizar sistema industrializado	Fácil, se não utilizar sistema industrializado	Fácil
Fonte	ERCOLE (2003) / BATALHA E GASI (1988) / EDIFIQUE (2006)	ERCOLE (2003)	IPEMA (2006) / BUKLEY (2003) / PROJECTO MADEIRA VOLUNTÁRIA (2012)


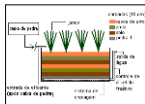
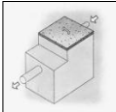

B.4 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS POR SISTEMAS HÍDRICOS COMBINADOS COM TANQUE SÉPTICO E NÃO COMBINADOS

ALTERNATIVAS	POÇO DE ABSORÇÃO	FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA	SISTEMA MODULAR COM SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS
VARIÁVEIS			
1- Imagens / Fotos			
2- Componentes	Fossa séptica e poço de absorção	Fossa séptica e biodigestores	Decanto-digestor, filtro anaeróbio e LETI
2.2- Materiais constituintes	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico. Poço com camadas de areia, brita e carvão ativado. Poço em alvenaria ou concreto.	3 reservatórios em fibrocimento, concreto, alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro), tubos PVC, brita, esterco	Decanto-digestor em alvenaria, concreto ou plástico, tubos em PVC ou manilha cerâmica, leito de evapotranspiração em alvenaria, vegetação.
3- Área necessária para implantação	Mínimo de 0,80 m ²	8 m ²	1-3 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1	1	1 ou mais
5- Complexidade construtiva	Baixa a média. Dificuldade na execução do poço de absorção	Baixa	Baixa a média. Complexidade de construção dos reservatórios e LETI
6- Operação e manutenção	Limpeza do lodo da fossa séptica a cada 24 meses. Troca do material filtrante	Uso de esterco mensal	Controle da vegetação e limpeza anual dos tanques
7- Custo de implantação ¹	R\$ 40,00 a R\$ 240,00 / habitante	R\$ 260,00 a R\$ 300,00/ habitante	R\$ 40,00 a R\$ 80,00 20-40 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 20,00 / habitante.ano	Até R\$ 20,00 / habitante.ano	Até R\$ 16,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Pode ocorrer se o tanque for adequadamente manejado.	Baixa. Se houver há problemas no sistema.	Baixo. Se houver há problemas no sistema
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica.	Pode ocorrer se não houver limpeza periódica
11- Eficiência na remoção de DBO	50 – 85%	80 – 90%	90 - 98%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo. Dificuldade na construção do poço	Alto	Baixo
13- Riscos à saúde	Não há, pois não há contato direto com o efluente (infiltração)	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos	Patogênicos, se não houver controle rigoroso do dejetos
14- Geração de emprego e renda	Sim	Sim	Sim
15- Acesso à tecnologia	Fácil	Fácil	Fácil
Fonte	DEFFIS E MOLINA (1992)	EMBRAPA (2006) / NOVAES ET AL. (2002)	ERCOLE (2003)

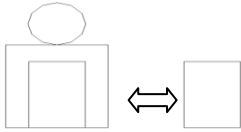
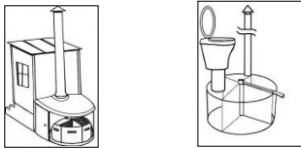

B.5 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS NEGRAS POR SISTEMAS HÍDRICOS NÃO COMBINADOS COM TANQUE SÉPTICO

ALTERNATIVAS VARIÁVEIS	BIODIGESTOR (CONTÍNUO)	BIODIGESTOR (INTERMITENTE)
1- Imagens / Fotos		
2- Componentes	1 biodigestor	2 biodigestores
2.2- Materiais constituintes	Biodigestor em alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro). Interior com pedra e areia. Tubos em PVC	Biodigestor em alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro). Interior com pedra e areia. Tubos em PVC
3- Área necessária para implantação	0,15 - 0,20 m ² /hab	0,15 - 0,30 m ² /hab
4- Número de domicílios atendidos	1 ou mais	1
5- Complexidade construtiva	Média. Dificuldade na execução das camadas internas do biodigestor	Média. Dificuldade na execução das camadas internas do biodigestor
6- Operação e manutenção	Armazenagem do biogás, limpeza do sistema constante	Armazenagem do biogás, limpeza do sistema, troca do biodigestor
7- Custo de implantação ¹	R\$ 80,00 a R\$ 160,00 / habitante	R\$ 80,00 a R\$ 320,00 / habitante
8- Custo de operação	Até R\$ 16,00 / habitante.ano	R\$ 32,00 / habitante.ano
9- Produção de odores	Sim, se não houver processo de coleta dos gases	Sim, se não houver processo de coleta dos gases
10- Presença de insetos e vermes	Média	Média
11- Eficiência na remoção de DBO	40 - 60%	40 - 60%
12- Grau de aceitação da tecnologia	Médio	Médio
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos. Vírus → grande Bactérias → grande Protozoários → pequeno Vermes → pequeno	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos. Vírus → grande Bactérias → grande Protozoários → pequeno Vermes → pequeno
14- Geração de emprego e renda	Parcial	Parcial
15- Acesso à tecnologia	Baixo	Baixo
Fonte	ERCOLE (2003) / BARRERA (1993) / BATALHA E GASÍ (1988)	ERCOLE (2003) / BARRERA (1993) / BATALHA E GASÍ (1988)

B.6 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO DE CINZAS

VARIÁVEIS	ALTERNATIVAS	SISTEMA MODULAR COM SEPARAÇÃO DAS ÁGUAS	SISTEMA CIRCUITO FECHADO	PLANTAS SOBRE O CAMPO DE LIXIVIAÇÃO DO TANQUE SÉPTICO
1- Imagens / Fotos				
2- Componentes	Decantador de duas câmaras e LETI	Caixa de gordura; filtro e lago ornamental.	Tanque séptico e tubos de PVC perfurados.	
2.2- Materiais constituintes	Decantador em alvenaria ou plástico (Polietileno ou Fibra de Vidro), tubos de PVC, leito de evapotranspiração em alvenaria, vegetação.	Caixa de gordura em alvenaria ou plástico, reservatório em alvenaria ou plástico, camadas de 10cm de brita, areia e terra; vala de 2m de diâmetro de 50cm de profundidade, brita e plantas.	Reservatórios em concreto, alvenaria ou material plástico (Polietileno / Fibra de vidro). Tubos de PVC perfurados e brita.	
3- Área necessária para implantação	1 - 3 m ² /hab	A partir de 4,0m ²	3 – 10 m ² /habitante	
4- Número de domicílios atendidos	1	1 ou mais	1 ou mais	
5- Complexidade construtiva	Baixa	Baixa	Baixa a média, devido a construção das valas de infiltração	
6- Operação e manutenção	Controle da vegetação e limpeza dos tanques	Controle da vegetação e limpeza dos tanques	Limpeza da tubulação e do tanque séptico	
7- Custo de implantação ¹	R\$ 40,00 a R\$ 80,00 / habitante	R\$ 60,00 a R\$ 180,00 / habitante	R\$ 80,00 a R\$ 160,00 / habitante	
8- Custo de operação	Até R\$ 16,00 / habitante.ano	Até R\$ 20,00 / habitante.ano	Até R\$ 16,00 / habitante.ano	
9- Produção de odores	Baixo. Se houver há problemas no sistema	Médio. Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema	Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema	
10- Presença de insetos e vermes	Baixo	Baixo	Baixo	
11- Eficiência na remoção de DBO	90 - 98%	70 - 90%	70-90%	
12- Grau de aceitação da tecnologia	Médio	Baixo	Baixo	
13- Riscos à saúde	Baixo. Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos	Médio. Permite acesso ao efluente. Patogênicos se não houver controle	Baixo. Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos	
14- Geração de emprego e renda	Sim	Sim	Sim	
15- Acesso à tecnologia	Fácil	Fácil	Fácil	
Fonte	ERCOLE (2003)	IPEMA (2006)	LUDWING (1994)	

B.7 QUADRO DE COMPARAÇÃO PARA SISTEMA LOCAL DE TRATAMENTO POR SISTEMAS NÃO HÍDRICOS (BANHEIRO SECO)

VARIÁVEIS	ALTERNATIVAS	BANHEIRO SECO (RECIPIENTES MÓVEIS)	BANHEIRO SECO (CARROSSEL)	BANHEIRO SECO (DUAS CÂMARAS)
1- Imagens / Fotos				
2- Componentes	Recipiente de coleta. Serragem e cinzas para cobrir o dejetos.	Recipiente de coleta carrissel. Serragem e cinzas para cobrir o dejetos.	Rampa, duas unidades, serragem, cinzas	
2.2- Materiais constituintes	Recipiente plástico ou metálico, serragem e cinzas	Edificação em madeira ou alvenaria. Sistema carrissel metálico, plástico ou alvenaria. Serragem e cinzas.	Edificação em madeira ou alvenaria. Rampa em alvenaria, tampa metálica. Duas unidades de coleta. Serragem e cinzas.	
3- Área necessária para implantação	3-5m ² /hab	3-5m ² /hab	3-5m ² /hab	
4- Número de domicílios atendidos	1	1	1	
5- Complexidade construtiva	Baixa. Precisa apenas de recipientes.	Alta. Construção de uma edificação com sistema de carrissel.	Alta. Construção de uma edificação com desnível para rampa.	
6- Operação e manutenção	Retirada do composto para uso em adubação, troca dos recipientes.	Retirada do composto para uso em adubação, giro do recipiente.	Retirada do composto para uso em adubação, troca da unidade.	
7- Custo de implantação ¹	R\$ 10,00 a R\$30,00 / habitante	R\$ 140,00 a R\$ 600,00 / habitante	R\$ 140,00 a R\$ 600,00 / habitante	
8- Custo de operação	Não há	Não há	Não há	
9- Produção de odores	Alta, desde que seja realizado o cobrimento dos dejetos	Baixo, correto cobrimento dos dejetos e a exaustão das câmaras	Baixo, correto o cobrimento dos dejetos e a exaustão das câmaras	
10- Presença de insetos e vermes	Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema	Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema	Pode ocorrer se não manejar corretamente o sistema	
11- Eficiência na remoção de DBO	95%	95%	95%	
12- Grau de aceitação da tecnologia	Baixo	Baixo	Baixo	
13- Riscos à saúde	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos	Patogênicos se não houver controle rigoroso do dejetos	
14- Geração de emprego e renda	Sim	Sim	Sim	
15- Acesso à tecnologia	Sim	Sim	Sim	
Fonte	ERCOLE (2003) / ROOF SIMPLE, 2009 / BIOLAN, 2013	JENKINS (1996) / ERCOLE (2003) / ROOF SIMPLE (2009)	ERCOLE (2003) / JENKINS (1996) / INSTITUTO REFAZENDA (2013)	