

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ  
ESCOLA POLITÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**NAYANA MACHADO**

**PRINCÍPIOS DA PERMACULTURA E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O  
TRATAMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS NEGRAS**

**CURITIBA**

**2016**

**NAYANA MACHADO**

**PRINCÍPIOS DA PERMACULTURA E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O  
TRATAMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS NEGRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Denis Alcides Rezende

**CURITIBA**

**2016**

**NAYANA MACHADO**

**PRINCÍPIOS DA PERMACULTURA E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA O  
TRATAMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS NEGRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira em Engenharia Ambiental.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Denis Alcides Rezende  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

---

Prof. Msc. Jefferson Pedro Cunha  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

---

Prof. Msc. Rafaela da Silva Limons  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Cidade, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2016.

Dedico essa pesquisa a um dos grandes criadores e inspiradores da permacultura Bill Mollison que realizou sua passagem durante a elaboração deste documento. E também a minha filha que está por vir, que ela possa crescer em um mundo mais harmonioso e consciente.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a mãe Gaia que nos proporciona tudo que precisamos com a mais sofisticada bondade.

Agradeço também a todos que estudam e trabalham em prol do desenvolvimento e dissipação da permacultura.

## RESUMO

A permacultura é uma técnica de desenvolvimento de projetos que também visa o planejamento e execução de ocupações humanas sustentáveis, por meio da junção de práticas ancestrais com modernos conhecimentos das áreas, especialmente, de ciências agrárias, engenharias, arquitetura e ciências sociais, todas abordadas sob a ótica da ecologia. O objetivo da pesquisa foi identificar como os princípios da permacultura contribuem para o tratamento sustentável de águas negras. Foi evidenciada a problemática relacionada ao distanciamento do homem da natureza o que impacta na gestão de projetos de saneamento em escala tanto mundial quanto nacional. Sugerindo que a permacultura pode ser uma das ferramentas para elaboração de projetos alcançando tanto uma efetividade no tratamento do efluente, mas também respeitando o meio ambiente envolvido. A metodologia da pesquisa foi aplicada, por meio de análise qualitativa e descritiva, pois descreveu as características das relações entre variáveis ou critérios entre sustentabilidade, permacultura e os sistemas de tratamento de águas negras. Os resultados obtidos estão direcionados para as relações analisadas entre a sustentabilidade, permacultura e os sistemas de tratamento destacando três análises: análise quanto à sustentabilidade dos tratamentos de águas negras; análise quanto à aplicabilidade dos princípios da permacultura nos tratamentos de águas negras; análise comparativa inter-relacionando as variáveis das suas análises anteriores. A conclusão da pesquisa constatou que projetos de tratamento de efluente doméstico podem ser mais efetivos quanto a sua sustentabilidade quando utilizados os princípios da permacultura na sua elaboração, implantação, operação e manutenção. O homem necessita rever a forma com que interage com o meio ambiente preconizando o bem-estar de todos os elementos do sistema.

**Palavras-chave:** Permacultura. Tratamento águas negras. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

Permaculture is a design development technique that also covers the planning and implementation of sustainable human occupations through the junction of ancient practices with modern knowledge of different areas, especially in agricultural sciences, engineering, architecture and social sciences, all addressed under the perspective of ecology.

The objective of the research was to identify how the principles of permaculture contribute to sustainable blackwater treatment. It was highlighted the problems related to the detachment of man from nature which impacts the management of sanitation projects in both worldwide and nationally scale. Suggesting that permacultura can be one of the tools for preparing project achieving not only an effective treatment of the effluent, but also respecting the environment involved.

The research methodology was applied by means of qualitative and descriptive analysis, as described the characteristics of the relationships between variables and criteria of sustainability, permaculture and treatment systems.

The results are directed to the relationship analyzed between sustainability, permaculture and treatment systems highlighting three analyzes: analysis about the sustainability of black water treatment; analysis on the applicability of the principles of permaculture in the black water treatment; comparative analysis interrelating variables of its previous analysis.

The conclusion of the survey found that the domestic wastewater treatment projects can be more effective as its sustainability when used the principles of permaculture in their development, implementation, operation and maintenance. The man needs to review the way it interacts with the environment advocating the welfare of all system elements.

**Key-words:** Permaculture. Blackwater treatment. Sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Corte lateral e visão decima do tanque séptico.....	24
Figura 2 – Corte transversal e longitudinal do tanque de evapotranspiração.....	26
Figura 3 – Elementos de um design.....	29
Figura 4 – Princípios da permacultura.....	30
Figura 5 – Princípios éticos.....	31
Figura 6 - Fatores para escolha da tecnologia ‘mais apropriada’ de tratamento.....	38
Figura 7 – Perfil do tanque séptico quanto à sustentabilidade nos três temas de acordo com cada variável.....	44
Figura 8 – Porcentagem do total de pontos atingidos pelo tanque séptico.....	45
Figura 9 - Perfil do TEvap quanto à sustentabilidade nos três temas de acordo com cada variável.....	47
Figura 10 - Porcentagem do total de pontos atingidos pelo tanque séptico.....	48
Figura 11 - Comparação da TS e do TEvap de acordo com as variáveis.....	50
Figura 12 – Gráfico resultado pontuação dos princípios para TS e TEvap.....	52
Figura 13 – gráfico com a pontuação da TS e do TEvap nas duas análises comparando com a pontuação máxima possível.....	53
Figura 14 – pontuação de acordo com cada critério.....	54
Quadro 1 - - As principais características físicas das águas residuárias e seus conceitos.....	19
Quadro 2 - Check list para análise quanto à sustentabilidade dos tratamentos de águas negras.....	39
Quadro 3 - Check list para análise quanto à aplicabilidade dos princípios da permacultura nos tratamentos de águas negras.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontuação do tanque séptico nos três temas.....	43
Tabela 2 - Pontuação do TEvap nos três temas .....	46
Tabela 3 - Pontuação da TS e do TEvap nos três temas .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

OMS	Organização Mundial da Saúde
WHO	World Health Organ
Unicef	Fundo da ONU para a Infância
SNIS.	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	<i>Organização das Nações Unidas</i>
TS	Tanque Séptico
TEvap	Tanque de Evapotranspiração

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO .....	13
1.2	HIPÓTESE .....	15
1.3	OBJETIVOS .....	15
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>15</b>
1.4	JUSTIFICATIVA.....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1	ÁGUAS NEGRAS .....	18
<b>2.1.1</b>	<b>Parâmetros de qualidade</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Sistemas de tratamento</b> .....	<b>22</b>
2.1.2.1	Tanque séptico .....	23
2.1.2.2	Tanque de evapotranspiração .....	25
2.2	PERMACULTURA.....	28
<b>2.2.1</b>	<b>Princípios da Permacultura</b> .....	<b>30</b>
2.2.1.1	Princípios éticos.....	30
2.2.1.2	Princípios de design .....	31
2.3	SANEAMENTO SUSTENTÁVEL.....	34
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA</b> .....	<b>36</b>
3.1	MÉTODOS DE PESQUISA .....	36
3.2	PROCEDIMENTOS DA PESQUISA.....	36
3.3	CRITÉRIOS DE ANÁLISE E PROTOCOLO DE PESQUISA.....	39
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS DA PERMACULTURA NO TRATAMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS NEGRAS</b> .....	<b>43</b>
4.1	ANÁLISE DO TANQUE SÉPTICO.....	43
<b>4.1.1</b>	<b>Análise quanto à sustentabilidade</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Análise quanto aos princípios da permacultura</b> .....	<b>45</b>
4.2	ANÁLISE DO TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	46
<b>4.2.1</b>	<b>Análise quanto à sustentabilidade</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Análise quanto aos princípios da permacultura</b> .....	<b>48</b>
4.3	ANÁLISE COMPARATIVA .....	49
<b>4.3.1</b>	<b>Análise comparativa quanto à sustentabilidade</b> .....	<b>49</b>

4.3.2	Análise comparativa quanto aos princípios da permacultura .....	52
4.3.3	Análise quanto à correlação dos dois resultados .....	53
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>55</b>
5.1	RECUPERAÇÃO DOS OBJETIVOS .....	55
5.2	CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA .....	55
5.3	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	56
5.4	TRABALHOS FUTUROS.....	56
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>
	<b>APÊNDICE A – CRITÉRIOS DE ANÁLISE PARA A SUSTENTABILIDADE</b> .....	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE B – CRITÉRIOS DE ANÁLISE QUANTO AOS PRINCÍPIOS DA PERMACULTURA</b> .....	<b>66</b>
	<b>APÊNDICE C – PONTUAÇÃO DOS SISTEMAS</b> .....	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa envolve a sustentabilidade e a permacultura no contexto de tratamento de efluente doméstico. Considerando o déficit qualitativo e quantitativo em relação ao saneamento, principalmente em relação ao tratamento e disposição do esgoto, é necessário o uso de sistemas que além de efetivos não prejudiquem o meio ambiente e atuem em harmonia com os ecossistemas em que se encontram.

Neste capítulo será descrita a problematização, incluindo a hipótese bem como o objetivo da pesquisa e respectiva justificativa.

### 1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

Existem duas esferas básicas que garantem o futuro de uma nova civilização. A primeira é a sustentabilidade, que certifica a manutenção dos seres, bem como de sua reprodução considerando a atual e as futuras gerações. Entretanto, a sustentabilidade por si só não é capaz de garantir isto, é necessário o cuidado, um cuidado que proporcione uma relação contrária à agressão da modernidade, que abusa, é destrutiva e extingue os ecossistemas. (BOFF, 2016).

Essa necessidade de medidas preventivas é decorrente do modo de pensar racionalista que deteriorou com a harmonia primitiva dos seres, realocou-os dos lugares de origem, introduzindo no mundo outra ordem, a ordem da razão. As relações criadas pelas ideias substituíram as relações humanas, extinguindo o interesse em olhar e ouvir a voz dos seres. O problema é que o modelo de educação de nossas escolas, universidades e igrejas foram formados a partir desse pensamento. O mundo real foi trocado pelo mundo das ideias, vagarosamente o homem foi atrofiando suas raízes originais e perdendo a trama dos fios da existência que ligam todos os seres entre si (PILLON, 2004).

Como resultado desta perda das raízes originais, o ser humano se distancia de sua essência e passa a se descuidar com as consequências de seus atos, por exemplo, atualmente há 2,4 bilhões de pessoas no mundo vivendo sem saneamento adequado. Em 2015, 68% da população mundial tem acesso ao saneamento adequado, contra os 77% esperado dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) para o mesmo período. Da população mundial apenas 2,1 bilhões de pessoas passaram a ter acesso a um saneamento adequado, desde 1990. Da população

urbana 82% tem acesso ao saneamento, contra 51% da população rural, sendo assim, são sete pessoas em cada dez vivendo sem saneamento adequado. (UNICEF, 2015).

Para o Secretário-Geral da ONU, Ban Ki-moon, em declaração no Programa da Década da Água da ONU (2015), para a redução da pobreza, é fundamental que as pessoas tenham acesso à água potável e saneamento adequado.

O Instituto Trata Brasil (2015) afirma que para um país ser chamado de desenvolvido o saneamento é um fator essencial, o que inclui acesso à água tratada, coleta e tratamento dos esgotos resultando na melhoria da qualidade de vidas das pessoas, diminuição da mortalidade infantil, progressos na Educação, na ampliação do Turismo, na valorização dos Imóveis, na Renda do trabalhador, na Despoluição dos rios e Preservação dos recursos hídricos, etc.

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2014) afirma que no Brasil 103 milhões de pessoas não estão conectadas às redes de esgoto e apenas 38,7% dos esgotos gerados são tratados. Em 2014 o SNIS registrou um aumento de apenas 1,2 percentual no atendimento com rede coletora de esgotos em relação ao ano anterior em todo o território nacional e de 1,3 na área urbana.

O problema para o meio ambiente é que o lançamento de esgotos tratados ou não em córregos e rios é uma das principais causas da degradação de mananciais de água potável, sendo desejável a pesquisa de maneiras eficientes de tratar o esgoto domiciliar in loco e praticar o reuso (OTTERPOHL, 2001).

Elmitwalli et al. (2007) acredita que o conceito de saneamento tradicional e da gestão dos resíduos dos países industrializados está trabalhando com tecnologias de "Fim-de-linha", onde problemas agudos (não os de longo prazo) são resolvidos em vez de evitá-los com sistemas adequados.

Tratamentos convencionais de tanque séptico seguido de sumidouro, se mal dimensionado ocasionam a percolação de efluente em área de lençol freático alto, resultando na contaminação das águas subterrâneas com poluentes e patógenos. Doenças de veiculação hídrica causam cinco milhões de mortes por ano, em decorrência da falta de sistemas de tratamento de esgoto, mas também pela sobrecarga e mal funcionamento de sistemas de tratamento em países de terceiro mundo (OTTERPOHL, 2002).

Os tratamentos de esgotos propostos pelos sistemas convencionais provocam impactos à saúde das populações e ao meio ambiente, com o lançamento de esgotos parcialmente tratados em corpos de água. Esses sistemas apresentam sérios riscos ao meio ambiente e à saúde (ESREY, 1998).

## 1.2 HIPÓTESE

O uso dos princípios da permacultura no desenvolvimento de sistemas para tratamento de águas negras podem contribuir para torná-los mais sustentáveis quando comparados a sistemas convencionais?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Identificar como os princípios da permacultura contribuem para o tratamento sustentável de águas negras.

Nessa pesquisa os sistemas descentralizados de tratamento que serão enfatizados são o tanque séptico e o tanque de evapotranspiração.

E não os outros sistemas descentralizados, por exemplo, o banheiro seco, zona de raízes, fossa biodigestor entre outros.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Analisar a sustentabilidade dos tratamentos de águas negras (tanque séptico e tanque de evapotranspiração).
- b) Analisar as duas tecnologias de acordo com os princípios da permacultura.
- c) Comparar os dois sistemas e documentar as análises.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

Para um novo ensaio civilizatório necessita-se da sustentabilidade e do cuidado que agrega um conjunto de valores de ciclos e atitudes que tenham como

consequência a proteção e a manutenção daquilo existente e que vive (BOFF, 2016).

Desta forma, dentre os três princípios éticos norteadores da permacultura estão o cuidado com a terra, o cuidado com as pessoas, e a partilha justa (MOLLISON, 1981). Para Fukuoka (2009) a permacultura é uma filosofia que trabalha com a natureza e não contra ela, observa de maneira atenta para o cotidiano, em oposição ao descuido, observa plantas e animais considerando suas funções, em oposição a uma visão em que os elementos são sistemas de um produto apenas.

Necessita-se contestar os padrões impostos pelos sistemas econômicos e sociais atuais e pensar de maneira criativa e sagaz para solucionar problemas, e a permacultura pode ser usada para alcançar esse avanço de consciência. Na permacultura é possível desenvolver diferentes técnicas, dentre elas agroecologia, bioconstrução, planejamento e utilização de recursos naturais, que nos auxiliam a alcançar essa busca pelo novo por meio da transformação da vida de pessoas, famílias e comunidades (MENDES, 2010).

Para Mendes (2010), deve-se buscar uma nova ordem global, baseada no uso de energias e recursos renováveis, formas de produção sustentáveis em cooperação com a natureza, fazendo um reconhecimento de valores ecológicos, descartados em períodos anteriores de nossa história cultura.

As questões políticas e aspectos influenciados por investimentos econômicos são obstáculos para a inclusão social do saneamento no ambiente urbano e rural, sendo assim é necessário propor modelo que pulverizem o tratamento de efluentes a baixo custo apontando para a gestão descentralizada de esgoto (OLIVEIRA, 2013).

A literatura trata de alternativas sustentáveis desde a separação de águas à adoção de sistemas economicamente otimizados (OTTERPOHL, 1997).

De acordo com Esrey et al. (1998) a contaminação direta causada pela descarga de águas negras nos mananciais e demais ecossistemas pode ser prevenida com o reaproveitamento do efluente de águas negra para a ciclagem de nutrientes além de retornar os mesmos ao solo e plantas reduzindo a necessidade de utilizar fertilizantes industriais.

Nos sistemas existentes para tratar as águas negras é necessário o pré-tratamento para reduzir a carga de matéria orgânica e sólidos, bem com pós-tratamento para eliminar excesso de nutrientes e patógenos antes de ser disposto em corpos de água ou no solo. Alguns sistemas alternativos como o tanque de evapotranspiração tornam essas etapas mais simples (VIEIRA, 2006).

A utilização de sistemas com plantas para tratamento de efluentes domésticos é eficiente, baixo custo, manutenção mínima, reduzido consumo de energia, além de oferecer uma harmonia paisagística, não utiliza produtos químicos e pode ter uma aplicação comunitária ou residencial (PAULO; BERNARDES, 2009).

De acordo com Matsuda (2015), em 2010, a Assembleia Geral da ONU declarou o reconhecimento do direito à água potável e ao saneamento como um direito humano essencial para o pleno desfrute da vida e de todos os direitos humanos.

O saneamento está assegurado aos cidadãos no território brasileiro pela Lei Federal nº 11.445/07, que trata do conjunto dos serviços, infraestrutura e Instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais. Todavia para a autora, no Brasil nenhum destes aspectos está sendo atendido adequadamente (MATSUDA, 2015).

O direito humano e fundamental à água potável e ao saneamento básico cumpre papel elementar não apenas para o resguardo do seu próprio âmbito de proteção e conteúdo, mas também para o gozo dos demais direitos humanos (liberais, sociais e ecológicos). (SARLET; FENSTERSEIFER, 2011).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico irá primeiramente definir águas negras e seus parâmetros de qualidade, complementado com algumas tecnologias das quais são possíveis realizar o tratamento descentralizado que objetivam a melhora da qualidade destas águas, incluindo tanto tratamentos convencionais quanto alternativos, enfatizando as técnicas de tanque séptico e tanque de evapotranspiração.

Em seguida, contextualiza sobre a permacultura, relatando seu surgimento, conceitos, e especifica os princípios que regem essa prática. E por fim aborda sobre sustentabilidade.

### 2.1 ÁGUAS NEGRAS

O esgoto doméstico proveniente de residências, instituições, estabelecimentos comerciais ou qualquer edificação que disponha de instalações de banheiros, lavanderias e cozinha é caracterizado basicamente por água de banho, excretas, papel higiênico, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1999).

Para Mara (1976) o esgoto é composto 99,9% de água e 0,1% de sólidos. Esses sólidos podem ser orgânicos ou inorgânicos com a proporção de 70% e 30% respectivamente. Dentre os orgânicos estão proteínas (65%), carboidratos (25%) e gorduras (10%), sendo as areias, sais e metais a porção inorgânica.

A classificação do esgoto doméstico pode ser feita em duas categorias: águas negras e águas cinza. As provenientes de pias, chuveiros, banheiras e lavanderia, são as águas cinza, compondo o maior volume do efluente. Seu tratamento é relativamente simples e varia de acordo com o objetivo reutilização que pode ser na própria habitação, aplicação direta no solo, irrigação, entre outros atendendo sempre aos critérios de ordem sanitária (RIDDERSTOLPE, 2004).

Todavia Otterpohl (2001) classifica a água de acordo com a sua turbidez sendo assim, o esgoto sanitário gerado nas residências pode ser segregado da seguinte forma:

- água negra (blackwater): efluente proveniente dos vasos sanitários, incluindo fezes, urina e papel higiênico.
- água cinza (greywater): águas servidas, excluindo o efluente dos vasos sanitários.
- água amarela: representando somente a urina.
- água marrom: representando somente as fezes.

### 2.1.1 Parâmetros de qualidade

A água é um líquido incolor, inodoro, insípido e transparente. Diferencia as características da água em físicas (cor, turbidez, pH, sabor, odor, temperatura e condutividade elétrica), químicas (Alcalinidade, dureza, substâncias tóxicas, impurezas orgânicas e nitratos, entre outros) e biológicas (algas, bactérias, protozoários, vermes) (RICHTER, 1998 apud VALENÇA, 2003).

As principais características físicas das águas residuárias são a temperatura, cor, odor e turbidez. As químicas seriam os sólidos totais, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, pH, alcalinidade, cloretos, óleos e graxas (SPERLING, 1996). O quadro 1 a seguir define as principais características de alguns parâmetros de acordo com Sperling (1996).

Quadro 1 - As principais características físicas das águas residuárias e seus conceitos

Tipo	Parâmetro	Conceito
Físico	Cor	Responsável pela coloração na água.
	Turbidez	Representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma.
	Sabor e odor	O sabor é a interação entre o gosto e o odor sensação olfativa.
	Temperatura	Medição da intensidade de calor.
Químicos	pH	Potencial hidrogeniônico. Representa a concentração de íons hidrogênio H <sup>+</sup> (em escala antilogarítmica), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. A faixa de pH é de 0 a 14.
	Nitrogênio	No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas: nitrogênio molecular (N <sub>2</sub> ), nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia (NH <sub>3</sub> e ionizada NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) e nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).

Fósforo	Está presente na água principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico.
Alcalinidade	Quantidade de íons na água que reagirão para neutralizar os íons hidrogênio. É uma medição da capacidade da água de neutralizar os ácidos.
Cloretos	Todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contém íons resultantes da dissolução de minerais. Os cloretos são provenientes da dissolução de sais.
Matéria orgânica	É a causadora do principal problema de poluição das águas, o consumo de oxigênio dissolvido pelos microorganismos nos processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica.

Fonte: Von Sperling, 2005.

Para Sperling (2005), os parâmetros importantes relativos a esgotos domésticos são os sólidos, os indicadores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal.

Os sólidos totais (ST) são classificados de acordo com seu tamanho e estado, suas características químicas e sua decantabilidade. Em relação ao seu tamanho podem ser sólidos em suspensão (SS), expressando os materiais particulados ou sólidos dissolvidos (SD), quanto ao material solúvel. Suas características químicas definem se o sólido é volátil (matéria orgânica) ou fixo (matéria inorgânica) e sua sedimentabilidade os separa em sólidos sedimentáveis e não sedimentáveis. Já a matéria orgânica nos esgotos é classificada quanto à forma e tamanho, podendo ser particulada ou solúvel, bem como quanto a sua biodegradabilidade, verificando se o efluente é inerte ou biodegradável.

Para determinação da matéria orgânica são utilizados alguns métodos para medição do consumo de oxigênio, como por exemplo, o cálculo da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), e a demanda química de oxigênio (DQO). (SPERLING, 2005)

De acordo com Sperling (2005) “A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, por meio de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea”. Ou seja, mede-se em laboratório o consumo de oxigênio que um volume padronizado de esgoto ou outro líquido exerce em um período de tempo pré-fixado. Com esse indicador é possível medir o potencial de poluição de um determinado despejo pelo consumo de oxigênio que ele

traria, realizando uma quantificação indireta da potencialidade de geração de um impacto (SPERLING, 2005).

Para Sperling (2005) outro indicador importante para determinar a matéria orgânica é a demanda química de oxigênio (DQO) que consiste em um teste que mede o consumo de oxigênio ocorrido em função da oxidação química da matéria orgânica. A diferença entre este e o teste de DBO mencionado anteriormente é em relação a nomenclatura dos testes. A DBO considera a oxidação bioquímica da matéria orgânica, realizada inteiramente por microorganismos, enquanto que a DQO indica a oxidação química da matéria orgânica obtida por meio de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido.

Quanto ao nitrogênio é importante, pois é indispensável para o crescimento dos microorganismos responsáveis pelo tratamento do efluente e também para o crescimento de algas podendo conduzir a processos de eutrofização nas águas superficiais. Nos esgotos domésticos é predominante encontrado na forma de nitrogênio orgânico e amônia. (SPERLING, 2005). O fósforo é comumente encontrado na forma de fosfato na forma orgânica e inorgânica, sendo o primeiro de origem fisiológica e o segundo originado do uso de detergentes e outros produtos químicos domésticos (IAWQ, 1995).

Os principais indicadores de contaminação fecal utilizados são: coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF) e *Escherichia coli* (EC). Os coliformes totais caracterizam-se por um grupo de bactérias que têm sido coletados em amostras de água e solos poluídos e não poluídos, além de fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente. Entretanto não existe uma relação quantificável entre coliformes totais e microorganismos patogênicos. Podem ser entendidos de forma simplificada como “coliformes ambientais”. O que não é o caso dos coliformes fecais, também nomeados coliformes termotolerantes, que se refere a um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e outros animais. A principal bactéria do grupo de coliformes fecais (termotolerantes) é a *Escherichia coli*, abundante nas fezes humanas e de animais. Comumente encontra em esgotos, efluentes tratados e águas naturais expostas a contaminação recente por seres humanos. Em resumo, *E. coli* é o organismo predominante no grupo de coliformes fecais e dentre os coliformes totais

os fecais são os que mais se destacam para indicação de contaminação fecal (SPERLING, 2005).

### **2.1.2 Sistemas de tratamento**

Para Paraskeva et al. (2002), é possível encontrar dois modelos de gestão de águas residuárias, os centralizados e os descentralizados. Aqueles que são complexos, robustos em relação a sua estrutura e operação, além de alto custo, são os centralizados. Por conseguinte, no final do século XX e início do século XXI, os modelos descentralizados representam uma alternativa mais sustentável, especialmente para países em desenvolvimento.

Este sistema é também vantajoso para pequenas vilas isoladas bem como assentamentos rurais com baixa densidade demográfica correspondente a sua simplicidade e baixo custo (OTTERPOHL et al., 1997; PARASKEVAS et al., 2002). Como consequência a gestão descentralizada é gradualmente levada em consideração nas decisões de instalação de estruturas sanitárias urbanas e rurais devido seu aporte financeiro reduzido de recursos além da sua sustentabilidade ecológica (MASSOUD et al., 2009).

Dentre as tecnologias disponíveis ao longo da evolução tecnológica dos sistemas de tratamento, alguns se caracterizam como descentralizado, sendo, por exemplo, as fossas (1860), os tanques sépticos (1895) e também os tanques Imhoff (1902), denominados sistemas on-site, ou seja, instalados próximo ao local de geração. Posteriormente surgiram sistemas como as wetlands (1950) sistemas UASB (1970) para reduzir custos operacionais e melhorar a qualidade do efluente em locais desprovidos de coleta e transporte de águas residuárias (ANGELAKIS et al., 2005).

A descentralização por meio de sistemas anaeróbios de tratamento é atualmente uma proposta dos pesquisadores como uma tecnologia que agrega um ótimo custo-benefício para a qualidade do efluente como, por exemplo, resistência, não haver necessidade de energia elétrica, baixa produção de lodo e custos de implantação, operação e manutenção reduzidos (MASSOUD, et al., 2009). Dentre os sistemas de tratamentos descentralizados existem os de saneamento convencional e mais recentemente o uso de sistemas de saneamento alternativo também chamados de ecológicos que assim como os convencionais estão sendo aplicados

em regiões desprovidas de coleta de esgoto ou objetivam diminuir a carga do efluente disposto na rede coletora. Dentre os convencionais tem-se a fossa séptica e sumidouro, com a disposição do efluente no solo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1999)

O Saneamento Ecológico tem como enfoque principal o aumento da disponibilidade hídrica pela economia de água, a proteção dos recursos hídricos pelo não lançamento de esgoto – tratado ou não – nos cursos de água, possibilitando a reutilização racional de todos os nutrientes presentes nas excretas (WIMBLAD, 2004).

De acordo com o *Instituto Çaracura* (2007) o saneamento ecológico é um tipo de tecnologia social que tem como objetivo tratar a água e esgoto para minimizar o impacto ambiental e o desperdício da água, proporcionando que o material tratado se reintegre aos ciclos da natureza. Dentre as tecnologias possíveis estão o círculo de bananeiras, o banheiro seco, as zonas de raízes e tanques de evapotranspiração.

Martinetti et al. (2007) cita como alternativas para saneamento os sistemas não-hídricos como os banheiros secos ou sistemas hídricos como o biodigestor; sistemas combinados com tanques sépticos; sistema modular com separação para águas negras; sistema com uso de círculo de bananeiras; fossa séptica biodigestora; tanque séptico com poço de absorção.

#### 2.1.2.1 Tanque séptico

Dentre as técnicas o sistema de tanques sépticos (TS) para tratamento de esgotos é o mais usado em todos os países devido à sua simplicidade de construção e operação, associado a implantação de baixo custo. Segundo Chernicharo (2007), a utilização de TS é recomendada nas seguintes situações: para áreas desprovidas de rede pública coletora de esgoto; como alternativa de tratamento de esgotos em áreas providas de rede coletora local; para retenção prévia de sólidos sedimentáveis; quando a utilização da rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzida para o transporte de efluentes livres de sólidos sedimentáveis.

De acordo com Philippi (1999), mais de 100 milhões de pessoas trata seu esgoto doméstico com a utilização de tanques sépticos como sistema individual de tratamento, e tendo o solo e rios como destino final de descarga do efluente. Os

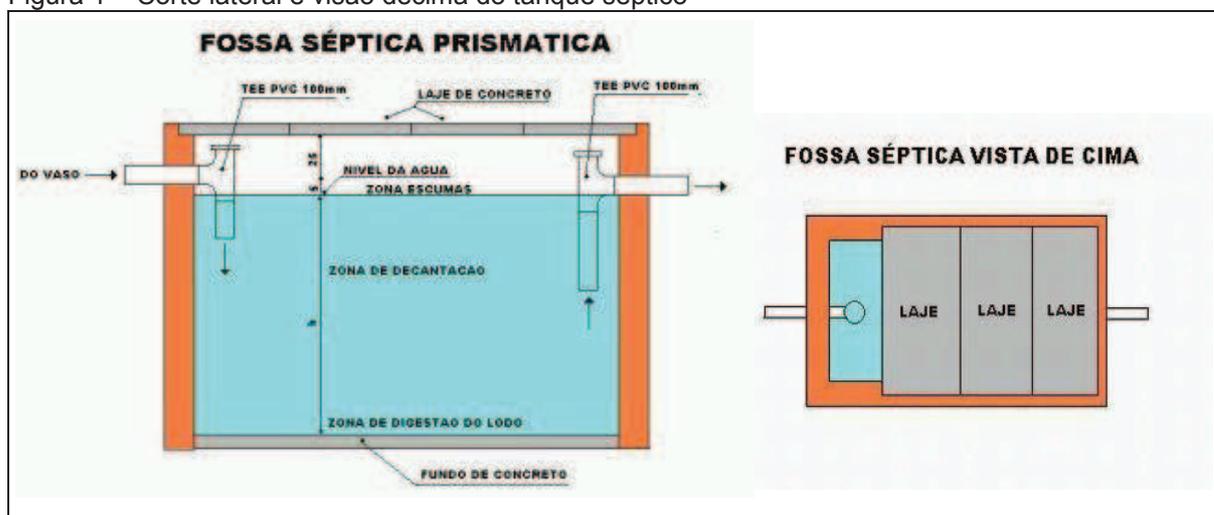
tanques sépticos são dispositivos de tratamento de esgoto amplamente difundidos e surgiram em 1895 na Inglaterra, sendo patenteados por D. Cameron. A sua finalidade básica é a remoção de matéria orgânica e os processos que ocorrem no seu interior são essencialmente: a sedimentação, a digestão anaeróbia da matéria orgânica e o adensamento do lodo.

Trata-se de uma unidade de uso comum para pequenas comunidades, hospitais e mesmo para domicílios unifamiliares que geralmente não apresentam cobertura da rede de esgoto sanitário. O seu amplo emprego no Brasil se deve a simplicidade de seu sistema e as facilidades de construção e operação, com baixa necessidade de manutenção (ALTVATER, 2008).

Os tanques são sistemas simples que não necessitam de mecanização e possuem uma fácil operação. Basicamente o tanque séptico é uma unidade de escoamento horizontal que objetiva a separação de sólidos leves e pesados pela da decomposição anaeróbia. O tanque séptico não é um simples decantador e digestor tratam-se de um sistema que realiza simultaneamente várias funções que objetivam o tratamento do esgoto local. O funcionamento baseia-se inicialmente na retenção do esgoto que ocorre simultaneamente com a decantação do efluente, quando os sólidos suspensos sedimentam e os sólidos não sedimentados se acumulam na parte superior do tanque formando a espuma, seguida da digestão anaeróbia do lodo resultando na redução do volume do lodo gerado (UNIVERSIDADE DA ÁGUA, 2008).

A Figura 1 ilustra como o layout de um tanque séptico modelo prismático:

Figura 1 – Corte lateral e visão decima do tanque séptico



Fonte: Oliveira, 2016.

As normas para construção do tanque séptico e disposição de seu efluente estão regulamentadas na norma brasileira para tanques sépticos e unidades complementares e de disposição final de efluentes (NBR 13.969: 1997) (OLIVEIRA, 2013).

Os desejos provenientes do vaso sanitário são dispostos no tanque que deve ser instalado a uma distância mínima de trinta metros da residência, mantendo-se distante também de poços e fontes de água. O tanque pode ser construído com alvenaria, concreto ou outro material que conserve o sistema seguro, resistente e duradouro, tendo um volume mínimo de 1250 litros. Inicialmente ocorre a decantação da parte sólida do efluente que fica depositada no fundo do tanque aonde acontece a decomposição da matéria orgânica por meio da ação de bactérias anaeróbicas (ALVES, 2015).

É necessária uma válvula de escape para que os gases provenientes do processo de fermentação possam sair do sistema. O tamanho do tanque irá variar de acordo com a quantidade de habitantes que farão uso do tanque. É preferível que o efluente de pias e ralos não entrem no tanque para que os materiais químicos como detergente e sabão, não interfiram no processo de decomposição matando as bactérias (ALVES, 2015).

#### 2.1.2.2 Tanque de evapotranspiração

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é também conhecido como bacia de evapotranspiração (BET) e popularmente de fossa de bananeiras é uma técnica disseminada por permaculturas em vários países e pode ser utilizada como uma alternativa sustentável para tratamento descentralizado de águas negras em regiões urbanas, periurbanas ou rurais (ECOFICIENTES, 2015; PAMPLONA & VENTURI, 2004).

O TEvap é uma alternativa aos sistemas de tratamento convencionais, sendo basicamente um tanque retangular impermeabilizado, preenchido com camadas diferentes de substrato e por fim é plantada espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água (PAULO; BERNARDES, 2009).

Os processos físicos, químicos e biológicos envolvidos no funcionamento do TEvap são: a precipitação e sedimentação de sólidos, a degradação microbiana

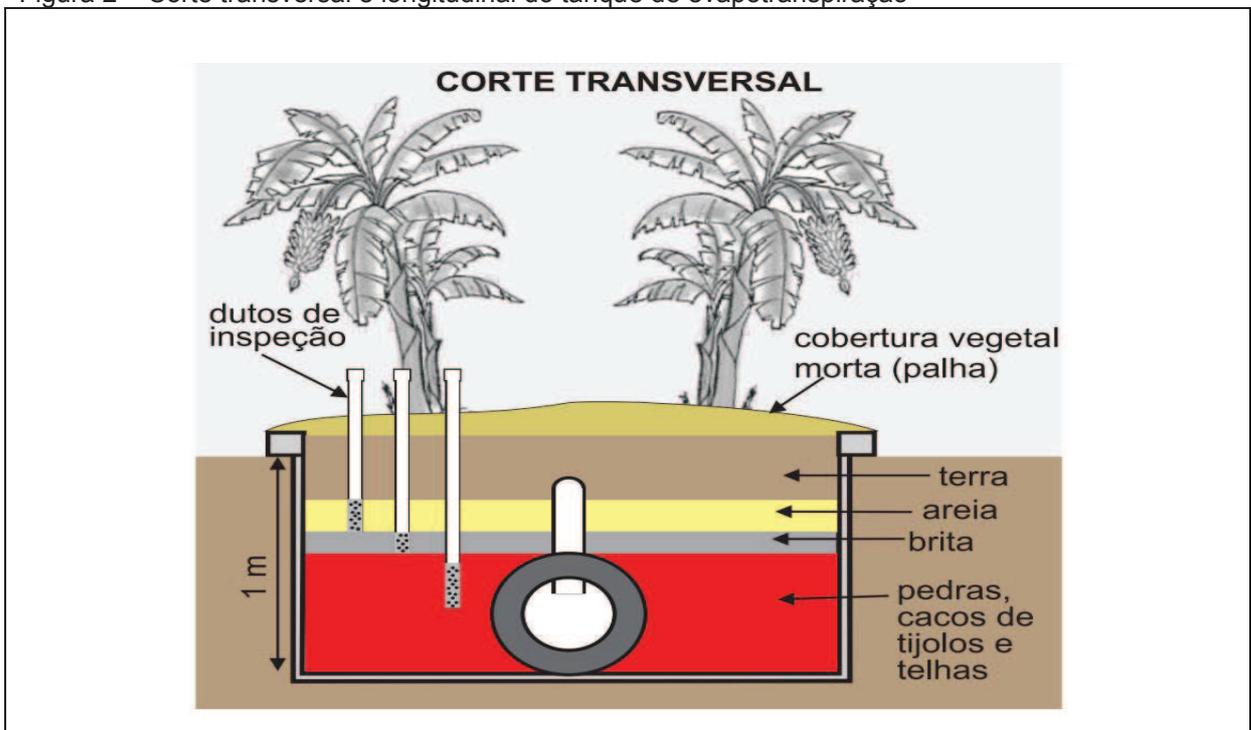
anaeróbia, a decomposição aeróbia e a movimentação da água por capilaridade e a absorção de água e nutrientes pelas plantas (FARINA, 2009)

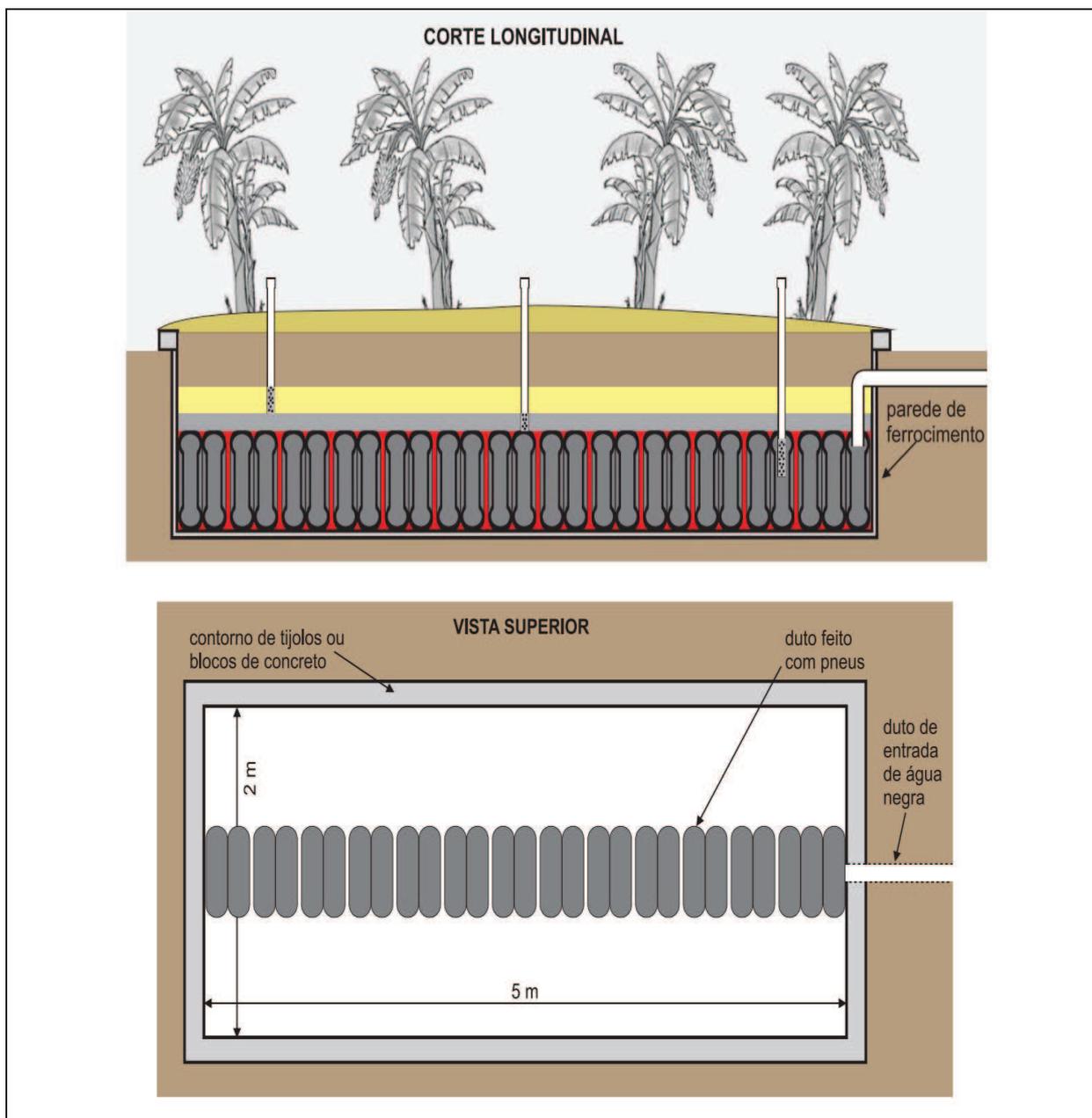
O processo de tratamento do efluente em um sistema de TEvap descrito a seguir por Mandai (2006) e Pamplona & Venturi (2004) são baseado nos seguintes fundamentos:

- decomposição da água negra gerando água limpa e nutrientes para plantas.
- enclausuramento dos patógenos no sistema
- evaporação da água limpa resultante e aproveitamento (consumo) dos nutrientes.
- evitar possíveis fontes de problemas (Ex.: alagamento pela chuva, infiltrações, vazamentos, dias sem sol, visitantes, etc.)

A Figura 2 ilustra corte transversal e longitudinal do tanque de evapotranspiração de acordo com Viera (2016).

Figura 2 – Corte transversal e longitudinal do tanque de evapotranspiração





Fonte: VIEIRA, 2016.

De acordo com Mandai (2006) e Pamplona & Venturi (2004) baseia-se na entrada do efluente proveniente do vaso sanitário, no caso as águas negras, pela câmara de recepção, duto construído com pneus ou tijolos, localizado no fundo do tanque. A camada de pedras, cacos de tijolos e telhas permeia esse duto. Nessa parte do sistema é onde ocorre a digestão anaeróbica do esgoto. Com o passar do tempo o volume de esgoto aumenta no tanque e o conteúdo preenche as camadas superiores de areia e brita atingindo posteriormente a camada de solo, e então por meio da ascensão por capilaridade até a superfície. As plantas realizam a evapotranspiração eliminando a água do sistema bem como retiram os nutrientes

presentes no efluente e incorporam os mesmos a sua biomassa. E por fim, para inspecionar o sistema nas diferentes camadas é instalado três dutos de inspeção em diferentes profundidades para checar como o sistema está realizando o processo de tratamento.

Pela experiência, identificou-se que dois metros cúbicos de bacia para cada morador é o suficiente para que o sistema funcione sem extravasar o efluente de seu interior. O formato de dimensionar a bacia é: largura de 2m e 1m de profundidade. O comprimento é igual ao número de moradores usuais da casa. Por exemplo, uma residência com cinco habitantes fica assim: (LxPxC) 2x1x5 = 10 m<sup>3</sup> (VIEIRA, 2010)

## 2.2 PERMACULTURA

Originada nos anos 70, foi inicialmente definida com um método de agricultura permanente, porém com o passar de seu desenvolvimento, atualmente a permacultura representa uma proposta de “cultura humana” permanente. O termo criado por Bill Mollison e David Holmgren, surge da contração da palavra em inglês Permanent mais Culture, formando Permaculture. Após sua criação o termo que surgiu na Austrália expandiu para a América do Norte e Europa, difundindo-se a América Latina e no Brasil por volta dos anos 80. (MOLLISON; HOLMGREN, 1978).

De acordo com Jacintho (2007) traduzida como permacultura (Permanente + cultura), a palavra ainda inexistente em todos os dicionários da Língua Portuguesa. Sua construção etimológica rebusca algumas considerações importantes, pois o abordando o conceito de cultura, a permacultura propõe a organização de atividades humanas, sejam ela socioespacial, produtiva e ambiental, interfere diretamente os hábitos e padrões societários. Além disso a palavra permanente aborda o conceito de sustentabilidade refletindo a capacidade de manter por tempo indeterminado a base de recursos para a sobrevivência das gerações futuras. Minimamente, a permacultura apresenta uma ferramenta metodológica de desenho ambiental em ecossistemas antrópicos.

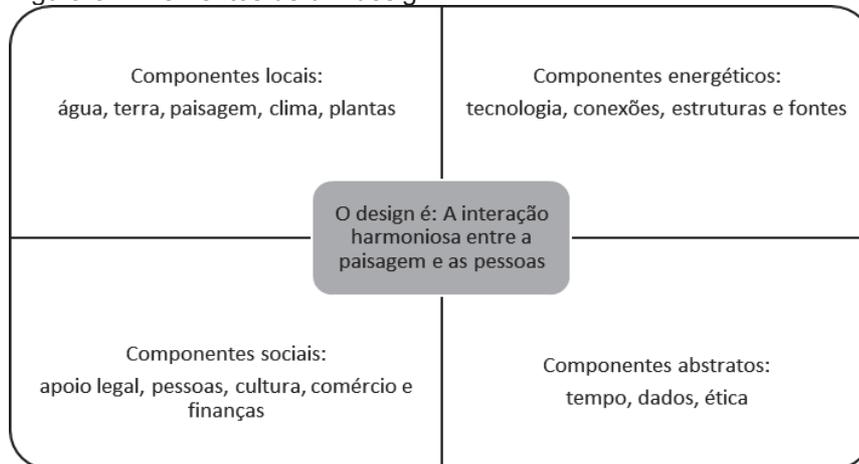
De maneira resumida a permacultura é segundo Mollison (1999) apud Jacintho (2002):

É o planejamento e execução de ocupações humanas sustentáveis, unindo práticas ancestrais aos modernos conhecimentos das áreas, principalmente, de ciências agrárias, engenharias, arquitetura e ciências sociais, todas abordadas sob a ótica da ecologia. “Em outras palavras é a elaboração, a implantação e a manutenção de ecossistemas produtivos que mantenham a diversidade, a resistência e a estabilidade dos ecossistemas naturais, promovendo energia, moradia e alimentação humana de forma harmoniosa com o ambiente”.

Para os estudantes e praticantes da permacultura, o termo “design” é utilizado para definir o planejar e projetar o desenho de ocupação humana produtiva sustentável. Tal planejamento envolve aspectos técnicos, adequação temporal e econômica de implementação, além de predispor e adequar o projeto as condições ambientais do local onde se aplica, o que o diferencia dos demais, pois adequa os objetivos desejados ao meio ambiente, enquanto respeita a dinâmica ecológica e valoriza os benefícios dos recursos locais (JACINTHO, 2007).

Mollinson (1998) reparte o design em quatro partes: técnicas; estratégias; recursos naturais; e organização. Os elementos totais de um design estão ilustrados na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Elementos de um design



Fonte: Mollison, 1998.

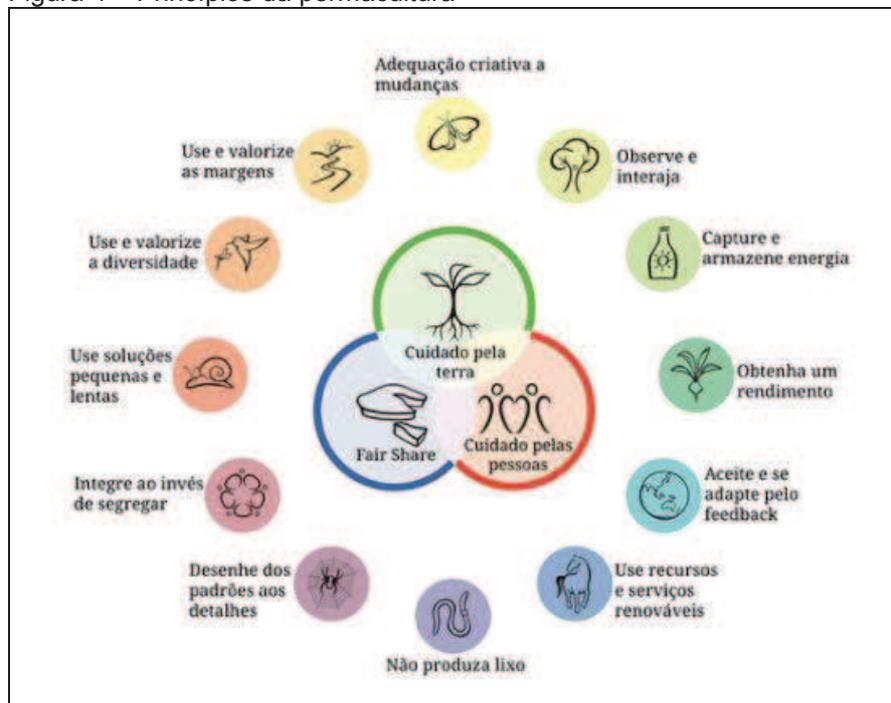
Para Mollison (1999) além da definição dos elementos (tipos de cultura, atividades produtivas, edificações, fontes de água e energia, entre outros), que fazem parte de um projeto de permacultura, é de suma importância as interconexões entre os elementos, de tal forma que resíduos ou excedentes de um possa ser reaproveitado por outros, com o objetivo de fechar os ciclos internos no projeto. Para Holmgren (2002, p. 13) “Um bom design depende de uma relação harmoniosa e livre

entre as pessoas e a natureza, na qual a observação cuidadosa e a interação racional provêm à inspiração, o repertório e os padrões para o design”

## 2.2.1 Princípios da Permacultura

A permacultura nos possibilita diversas maneiras de fazê-la e pensa-la, porém, sempre norteada por três princípios éticos essenciais e doze princípios básicos de design conforme apresenta a Figura 4.

Figura 4 – Princípios da permacultura



Fonte: Holmgren, 2007.

Os ícones no centro da imagem se referem aos princípios éticos e as doze esferas ao redor aos princípios de design.

### 2.2.1.1 Princípios éticos

A ética para a permacultura é o conjunto de crenças e atitudes morais em relação à sobrevivência em nosso planeta. (MOLLISON, 1981). A Figura 5 abaixo ilustra os três princípios éticos construídos dentro da permacultura:

Figura 5 – Princípios éticos



Fonte: Adaptado de Mollison, 1981.

- Cuidado com a terra

Solos, espécies e suas variedades, atmosfera, florestas, micro-habitats, animais e águas. Implica em atividades inofensivas e reabilitantes, conservação ativa, uso de recursos de forma ética e frugal, e um estilo de vida correto.

- Cuidado com as pessoas

Suprir as necessidades básicas de alimentação, abrigo, educação, trabalho satisfatório e contato humano.

- Partilha justa

Inicialmente nomeado de contribuição com excedente, a partilha justa visa a divisão de tempo, dinheiro e energia. Este princípio sugere que após suprimos nossas necessidades básicas e otimizamos nossos sistemas, poderemos expandir nossas influências para auxiliar outros para otimizar seus sistemas também.

Permacultura mantém uma ética da vida, a qual reconhece o valor intrínseco de tudo o que vive. A ética da permacultura permeia todos os aspectos dos sistemas ambientais, comunitários, econômicos e sociais, lembrando sempre que cooperação, e não competição, é a chave. (MOLLISON, 1981).

#### 2.2.1.2 Princípios de design

Os primeiros seis princípios tendem a considerar os sistemas de uma perspectiva de baixo para cima dos elementos, organismos e pessoas e os últimos

seis tendem a enfatizar a perspectiva de cima para baixo dos padrões e relações que tendem a emergir por meio da auto-reorganização e co-evolução dos sistemas. (HOLMGREEN, 2007). Os princípios estão organizados a com sua definição de acordo com Mollison e Holmgreen:

- Princípio 1: Observe e interaja

Este princípio assume que se depende de uma relação livre e harmônica entre as pessoas e a natureza. É necessária uma interação contínua e recíproca com o objeto de observação. É aplicável para garantir um uso mais efetivo das capacidades humanas e reduzir a dependência de alta tecnologia e de energias não renováveis.

- Princípio 2: Capte e armazene energia

Propõe que se precisa aprender como economizar e reinvestir as riquezas que se consome ou desperdiça-se.

- Princípio 3: Obtenha rendimento

Devem-se planejar qualquer sistema para que ele nos proporcione autossuficiência em todos os níveis (incluindo nós mesmos), utilizando energia capturada e armazenada eficientemente para manter o próprio sistema e capturar mais energia. Precisa-se criar ambientes funcionais e produtivos.

- Princípio 4: Pratique a autoregulação e aceite o feed back

A autoregulação é atingida quando cada elemento dentro do sistema se torna tão autossuficiente e independente quanto é eficiente do ponto de vista de energia. Devem-se entender os feed backs da natureza. Incentiva o desenvolvimento de comportamentos e culturas que tenham uma abordagem mais coletiva sobre as consequências de nossas ações e tenham afinidade para interpretar os feedbacks da natureza.

- Princípio 5: Use e valorize os serviços e recursos renováveis

Idealiza o melhor uso possível de serviços naturais que não envolvam consumo para minimizar nossas demandas consumistas de recursos, e enfatiza as possibilidades harmoniosas de interação entre seres humanos e a natureza.

- Princípio 6: Não produza desperdícios

Reúne os valores tradicionais da frugalidade e cuidado com os bens materiais, a preocupação moderna com a poluição, e a perspectiva de que o

desperdício é recurso e oportunidade. Induz a utilizar de maneira criativa e inovadora os picos de abundância

- Princípio 7: Design partindo de padrões para chegar aos detalhes

Evoca o planejamento de áreas por zonas e setores. Preconiza o contexto social e da comunidade de uma maneira mais ampla, ao invés de fatores técnicos.

- Princípio 8: Integrar ao invés de segregar

Dispõe os elementos de tal maneira que cada um deles satisfaça necessidades e aceite os produtos dos demais elementos. Focaliza mais detalhadamente os vários tipos de relacionamentos que aproximam os elementos em sistemas mais estreitamente integrados, e os métodos de design mais avançados de comunidade de plantas, animais e pessoas para obter benefícios desses relacionamentos.

- Princípio 9: Use soluções pequenas e lentas

Define que sistemas devem ser projetados para executar funções na menor escala que seja prática e eficiente no uso de energia para aquelas funções. Incentiva a ideia de que a movimentação de matérias, pessoas e outros seres vivos deveria ser um aspecto secundário de qualquer sistema.

- Princípio 10: Use e valorize a diversidade

Presume que a grande diversidade de formas, funções e interações na natureza e na humanidade são a fonte da complexidade sistêmica que evolui ao longo dos tempos. A diversidade necessita ser vista como o resultado do equilíbrio e da tensão existente na natureza entre variedade e possibilidade de um lado, e de produtividade e força do outro.

- Princípio 11: Use as bordas e valorize os elementos marginais

Funciona como base na premissa de que o valor e a contribuição das bordas e os aspectos marginais e invisíveis de qualquer sistema deveriam não apenas ser reconhecidos e preservados, mas que a ampliação desses aspectos pode aumentar a estabilidade e a produtividade do sistema.

- Princípio 12: Use criativamente e responda às mudanças

Precisa-se realizar um design levando em conta as mudanças de uma forma deliberada e cooperativa. Bem como, respondermos criativamente ou adaptarmos o design às mudanças de larga escala do sistema que escapam ao nosso controle e influência.

## 2.3 SANEAMENTO SUSTENTÁVEL

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) (2016), o conceito de saneamento se define por “Saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. ”.

Otterpohl (1997) define um sistema sustentável de saneamento como sendo o sistema que respeita quatro princípios básicos:

- usa pouca energia e material;
- não há transferência de problemas em espaço ou tempo ou para outras pessoas;
- não há redução ou degradação de recursos hídricos ou do solo, mesmo a longo período;
- integra atividades humanas preferencialmente dos ciclos naturais.

Assim, os sistemas naturais são processos que dependem primariamente de respostas naturais como a força da gravidade para a sedimentação, ou mesmo de componentes naturais como microrganismos (REED et al., 1995).

Em relação ao conceito da sustentabilidade, as discussões já ocorrem desde a década de 70, com o alarme para a degradação ambiental decorrente do modelo econômico que visava o lucro econômico apenas. Deste modo, com a criação da agenda 21 após a RIO-92 intensificou-se a discussão sobre desenvolvimento sustentável no Brasil (MARTINETTI et al., 2007).

Sustentabilidade ainda que muito difundido não possui uma definição consensual em decorrência da complexidade e diversidade de elementos envolvidos. Início-se correlacionando sustentabilidade com a questão ambiental, compreendendo as áreas econômicas, sociais e políticas, em um progresso contínuo de construção. Para Dos Santos (2015), as dimensões que englobam a sustentabilidade são:

- ambiental: relacionada com a manutenção da integridade ecológica, realizando um uso efetivo dos recursos naturais, precavendo-se das diferentes maneiras de poluição;
- social e política: enfatiza-se uma sociedade participativa nas tomadas de decisão, possibilitando uma equidade superior no que diz respeito a partilha de riquezas no combate a exclusão e discriminação;

- econômica: Distribuição de renda e riquezas.
- cultural: Promoção conservação do patrimônio urbanístico, paisagístico e ambiental, bem como da diversidade e identidade cultural.

Um saneamento mais sustentável requer uma infraestrutura que prime por sistemas seguros e saudáveis, objetivando a diminuição da poluição, economize água e energia, reduza a pressão de consumo de recursos naturais, aperfeiçoamento das condições de saúde e segurança dos trabalhadores, usuários finais e da comunidade como um todo (MARTINETTI et al., 2007).

Uma parcela significativa da poluição hídrica é ocasionada pelo despejo de efluente líquidos como o esgoto doméstico, industrial ou agrícola, a medida que não recebem tratamento prévio para o lançamento (IPEMA, 2006).

Uma maneira de tornar o esgoto mais sustentável é utilizar meios naturais para degradar a matéria, com a possibilidade de reintroduzir a água e nutrientes ao meio ambiente, ou reutiliza-los para adubação ou irrigação (MARTINETTI et al., 2007).

Lamentavelmente há pouca discussão sobre projetos mais sustentáveis em sistemas de tratamento de esgoto, majoritariamente pelo desconhecimento do assunto, especialmente nas áreas rurais, por essa razão, é de extrema importância o desenvolvimento desse assunto, inclusive no ambiente urbano. Como proposta Silveira et al. (2002) sugere maneiras alternativas de tratar efluentes como por exemplo, circuito de bananeiras, filtragem com o uso de britas, areia e terra, plantas aquáticas, bem como biotecnologia para desinfecção. Além disso, existem processos para reciclagem do composto sólido derivado do processo de tratamento, tornando viável a compostagem e utilização como fertilizante no solo para a agricultura.

### **3 METODOLOGIA DA PESQUISA**

#### **3.1 MÉTODOS DE PESQUISA**

Essencialmente esta pesquisa não enfatiza estudo de caso nem survey e está direcionada para uma pesquisa experimental (SILVA; MENEZES, 2005).

De acordo com as classificações de pesquisa propostas por Silva e Menezes (2005), este estudo é naturalizado como uma pesquisa aplicada, pois tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática e está direcionado à solução de problemas específicos. Em relação à abordagem do problema, será feita uma análise qualitativa, onde o processo e seu significado são os principais componentes, sendo a interpretação dos fenômenos e atribuição de significados imprescindível nessa categoria. Para pesquisas qualitativas não é necessário o uso de métodos estatísticos e possui perfil descritivo. Nesse modelo a coleta de dados é realizada diretamente no ambiente no ambiente natural e o pesquisador é essencial para o desenvolvimento da atividade. Os dados tendem a ser analisados de maneira indutiva.

O objetivo da pesquisa possui caráter descritivo de acordo com a classificação proposta por Gil (1991). Pois visa descrever as características da relação entre variáveis, envolvendo uma observação sistemática.

Para Gil (1991), os procedimentos técnicos adotados consistem em de uma pesquisa experimental, já que um objetivo de estudo é determinado, e em seguida, as variáveis são selecionadas de acordo com sua influência no objetivo e então são definidas maneiras de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

#### **3.2 PROCEDIMENTOS DA PESQUISA**

As etapas utilizadas para elaborar este estudo baseiam-se na organização proposta por Silva e Menezes (2005, p. 29). Inicialmente foi feita a escolha do tema principal, que é permacultura com enfoque no tratamento de águas negras. Em seguida foi realizado levantamento bibliográfico, e então a reflexão sobre a justificativa e formulação do problema para então determinar os objetivos. Após isto

foi descrita então a metodologia de pesquisa, posteriormente inicio-se a coleta de dados para então os resultados obtidos pudessem ser tabulados e analisados, finalmente abordando a conclusão da pesquisa.

#### Fase 1: Levantamento bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado por meio da revisão de literatura em textos, livros, e artigos científicos relativos ao tema. Além disso, foram revisados vídeos em ambientes online para enriquecimentos das informações coletadas.

#### Fase 2: Coleta de dados

O instrumento de coleta de dados se baseia nos objetivos propostos e no universo a ser investigado. Foi empregada uma observação sistemática e individual, havendo um planejamento considerando as condições necessárias para responder aos propósitos preestabelecidos.

#### Fase 3: Tabulação de dados

A tabulação e apresentação dos dados foram organizados com o uso de tabelas a fim de facilitar a interpretação do pesquisador, com a utilização de recursos computacional Office Excel.

Com o intuito de atender aos objetivos propostos de: analisar a sustentabilidade dos tratamentos de águas negras; analisar as duas tecnologias de acordo com os princípios da permacultura; e comparar os dois sistemas, os dados foram tabulados em duas tabelas específicas com objetivos singulares.

#### Fase 4: Análise da pesquisa

Para possibilitar a primeira análise quanto à sustentabilidade dos tratamentos de águas negras (tanque séptico e tanque de evapotranspiração), foi criada uma lista (checklist) com as particularidades necessárias para que um projeto de tratamento de águas negras seja caracterizado como sustentável de acordo com o que foi estudado na fase do levantamento bibliográfico. Neste caso o check list foi dividido em três principais temas: Econômica, social e ambiental. Os temas selecionados como parâmetros de análise das variáveis seguiram o esquema proposto por Massoud (2009) ilustrado na Figura 6:

Figura 6 - Fatores para escolha da tecnologia 'mais apropriada' de tratamento

Tecnologia Apropriada	<b>Economicamente Adequada</b>	Investimento Densidade populacional Eficiência tecnológica Operação e manutenção Gerenciamento de resíduos
	<b>Ambientalmente Sustentável</b>	Investimento Densidade populacional Eficiência tecnológica Operação e manutenção Gerenciamento de resíduos
	<b>Socialmente Aceitável</b>	Saúde pública Política governamental Planejamento Regulações legais

Fonte: Adaptado de Massoud et al., 2009.

Cada tema foi subdividido em subtemas, e individualmente foram analisados e pontuados de acordo com a satisfação dos requisitos propostos.

Para a segunda análise quanto à aplicabilidade dos princípios da permacultura entre os dois processos (tanque séptico e tanque de evapotranspiração), também foi criada uma lista (checklist) com as particularidades necessárias que um projeto de tratamento de águas negras necessita se adequar para que seja possível que o mesmo se enquadre como um projeto de permacultura. Neste caso o check list foi dividido em doze principais áreas sendo cada uma correspondente a um princípio.

#### Fase 5: Documentação da pesquisa

Elaboração das tabelas de relações apresentadas na seção Metodologia da Pesquisa e nas respectivas análises elaboradas na seção Análise, por fim a comparação dos dois sistemas e sua documentação.

### 3.3 CRITÉRIOS DE ANÁLISE E PROTOCOLO DE PESQUISA

Os critérios utilizados para a validação da pesquisa foram embasados na tabulação dos dados coletados. Para a primeira análise quanto à sustentabilidade dos tratamentos de águas negras (tanque séptico e tanque de evapotranspiração), foram criadas variáveis com base em três principais áreas: Econômica, ambiental e social. Cada tema foi subdividido em subtemas para auxiliar na elaboração das variáveis. Sendo assim cada variável possui uma descrição, uma unidade de medida e uma pontuação específica como constam no quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Check list para análise quanto à sustentabilidade dos tratamentos de águas negras

Tema	Variáveis				TS / TEvap	
	Subtema	Descrição	Unidade	Observação	Conteúdo	Pontuação
Economicamente adequada	Investimento	Gasto por m <sup>3</sup> para desenvolver o sistema de tratamento	% da renda média familiar*	* renda per capita média do brasileiro em 2015 chegou a R\$ 1.113 (IBGE) *Gasto considerando materiais, equipamentos, ferramentas e mão de obra		
	Densidade populacional	Gasto de instalação do sistema por pessoa atendida	R\$/Hab	Considerando projeto com valor total de R\$ 2480 tanque séptico (Dimensionamento do tanque séptico (ABNT - NBR n° 7.229/1993) 34 pessoas) e R\$1300,00 TEvap (5 pessoas)		
	Operação e manutenção	Gastos com operação e manutenção	R\$/ano	Operação e manutenção necessária para manter as funções de funcionamento do sistema		
	Gerenciamento de resíduos	Gastos com disposição de resíduos	R\$/ano	-		
Ambientalmente sustentável	Investimento	Recursos necessários para desenvolver o sistema de tratamento	Tipo de materiais de construção	-		
	Densidade populacional	Número de pessoas atendidas	Quantidade de Hab/m <sup>3</sup> construído atendidos	-		
	Eficiência tecnológica	Eficiência redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	%	Os resultados obtidos foram submetidos ao cálculo de eficiência de remoção, utilizando a Equação : $E = [(C_e - C_s) / C_e] \times 100\%$ Em que: E = eficiência de remoção		

		Eficiência redução da demanda química de oxigênio (DQO) (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> ) 1	%	(%); Ce = concentração na entrada; Cs= concentração na saída;			
		Eficiência redução sólidos totais (ST) (mg L <sup>-1</sup> )	%				
		Eficiência redução sólidos suspensos totais (SST) (mg L <sup>-1</sup> )	%				
		Eficiência redução coliformes fecais (CT) (NMP 100mL <sup>-1</sup> )	%				
		Eficiência redução E. coli	%				
		Eficiência redução turbidez (NTU)	%				
		Eficiência redução potencial hidrogeniônico (pH)	-				
		Necessidade de tratamentos adicionais	Quantidade				
	Operação e manutenção	Impacto Ambiental gerado com operação e manutenção	Pontencial				
	Gerenciamento de resíduos	Impacto ambiental gerado com gerenciamento de resíduos	impacto	Considerando transporte do resíduo e disposição final			
Socialmente aceitável	Saúde pública	Ocorrência de doenças em decorrência do uso do sistema de tratamento	Tipo positiva ou negativa	Considerando apenas doenças de veiculação hídrica			
	Paisagismo	Influencia na harmonia paisagística do terreno	Tipo positiva ou negativa				
	Política governamental	Existência de políticas governamentais que incentivem a instalação desse sistema de tratamento	Tipo positiva ou negativa	Nível federal, estadual e municipal			
	Planejamento	Existência de planejamentos para instalação, operação e manutenção desse sistema de tratamento	Tipo positiva ou negativa				
	Regulações legais	Existência de regulações legais que regularizem a instalação desse sistema de tratamento	Tipo positiva ou negativa				

Fonte: A autora, 2016.

Os critérios criados para pontuar as duas tecnologias em relação a sua sustentabilidade são encontrados no Apêndice A deste documento e possuem distinção de acordo com a resposta da tecnologia com a variável abordada. Cada variável é classificada em: Insatisfatório (1 ponto), parcialmente satisfatório (2 pontos) e satisfatório (3 pontos).

Para a segunda análise quanto à aplicabilidade dos princípios da permacultura entre os dois processos (tanque séptico e tanque de evapotranspiração), também foi desenvolvida uma lista (checklist) que possibilitou a correlação entre os doze princípios da permacultura e as particularidades de utilização das duas tecnologias pela análise das variáveis criadas. Sendo assim de acordo com as particularidades necessárias que um projeto de tratamento de águas negras necessita se adequar como um projeto de permacultura as variáveis foram pontuadas de acordo com critérios ilustrados no apêndice B que seguem o mesmo padrão da análise anterior pois possuem distinção de acordo com a resposta da tecnologia com a variável abordada. Cada variável é classificada em: Insatisfatório (1 ponto), parcialmente satisfatório (2 pontos) e satisfatório (3 pontos). A tabela com as variáveis que são utilizadas está ilustrada no quadro 3 a seguir:

Quadro 3 - Check list para análise quanto à aplicabilidade dos princípios da permacultura nos tratamentos de águas negras

Tema - Variável	Descrição	TS/TEvap		
		nível	Justificativa	Pontuação
PRINCÍPIO 1: Observe e interaja	Incentiva a observação do ambiente e a interação entre os usuários do sistema, e o sistema em si			
PRINCÍPIO 2: Capte e armazene energia	Aproveita de maneira inteligente a energia do sistema utilizando os nutrientes provenientes dos efluente			
PRINCÍPIO 3: Obtenha rendimento	Possui eficiência na remoção de poluentes			
PRINCÍPIO 4: Pratique a auto-regulação e aceite feed back	Necessita de atuação externa para regular o sistema			

PRINCÍPIO 5: Use e valorize os serviços e recursos renováveis	Utiliza a qualidade inerente a plantas e animais combinadas com a características naturais dos terrenos e edificações utilizando menor área praticamente possível			
PRINCÍPIO 6: Não produza desperdícios	Produz efluente e/ou resíduo no final do processo de tratamento			
PRINCÍPIO 7: Design partindo de padrões para chegar aos detalhes	Segue padrões propostos pela natureza incentivando a ciclagem de nutrientes			
PRINCÍPIO 8: Integrar ao invés de segregar	Integra os elementos de dentro e de fora do sistema			
PRINCÍPIO 9: Use soluções pequenas e lentas	Prioriza a qualidade ao invés da velocidade do tratamento do efluente			
PRINCÍPIO 10: Use e valorize a diversidade	Possibilita o uso de materiais diversos sem perder a eficiência de tratamento, inclusive prioriza os mais sustentáveis			
PRINCÍPIO 11: Use as bordas e valorize os elementos marginais	Preocupa-se com a qualidade ao entorno do sistema			
PRINCÍPIO 12: Use criativamente e responda às mudanças	O sistema se adequa a diferentes cenários			

Fonte: A autora, 2016.

E por fim, após a análise qualitativa de cada sistema de maneira isolada de acordo com sua sustentabilidade e os princípios da permacultura, os resultados serão correlacionados com o intuito de possibilitar a discussão sobre o comportamento dos sistemas e de que maneira à sustentabilidade e a permacultura se inter-relacionam no desenvolvimento de sistemas de tratamento de águas negras.

## 4 ANÁLISE DOS PRINCÍPIOS DA PERMACULTURA NO TRATAMENTO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS NEGRAS

Nessa etapa do estudo foram analisados os resultados dos diferentes projetos de tratamento de águas negras em relação a sua sustentabilidade e a aplicabilidade dos princípios da permacultura de acordo com a pontuação atingida de cada tecnologia. Os resultados serão primeiro discutidos separadamente por sistema de tratamento e em seguida será feita uma análise comparativa entre o tanque séptico e o tanque de evapotranspiração para identificar como o atendimento aos princípios da permacultura se relaciona com o desenvolvimento de projetos mais ou menos sustentáveis. A tabulação com a pontuação aferida para as tecnologias está no apêndice C.

### 4.1 ANÁLISE DO TANQUE SÉPTICO

#### 4.1.1 Análise quanto à sustentabilidade

Considerando a análise quanto à sustentabilidade do sistema, o tanque séptico teve maior destaque em relação a sua aceitabilidade social atingindo 11 dos 15 pontos possíveis para esse tema, ou seja, 73%. O sistema alcançou dois terços da pontuação referente à sua adequação econômica, 67% do total e teve a menor classificação em relação a ser ambientalmente sustentável, com 25 dos 39 possíveis. O tanque séptico teve uma pontuação geral de 43 em um total de 63, assim como mostra os dados na tabela 1 a seguir:

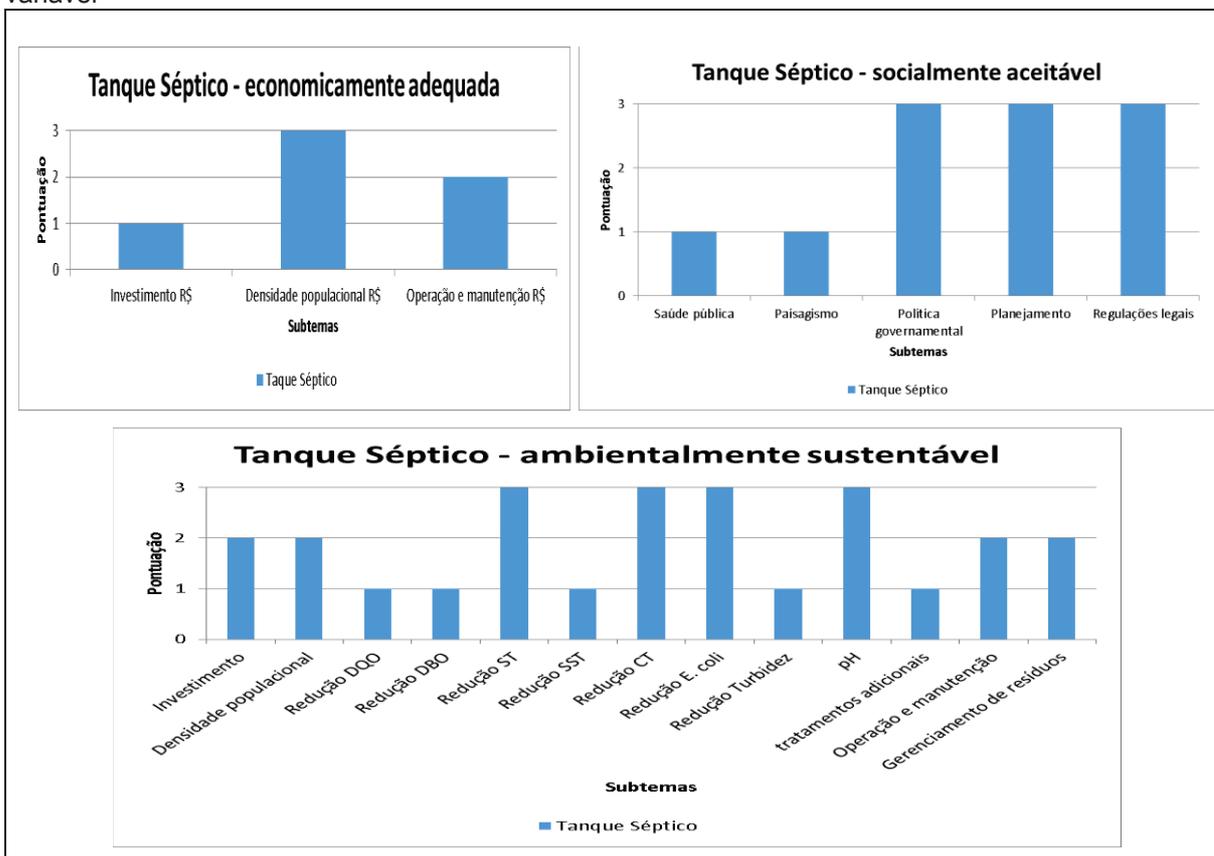
Tabela 1 – Pontuação do tanque séptico nos três temas

<b>Tema</b>	<b>Pontuação TS</b>	<b>Pontuação Máxima possível</b>	<b>% TS</b>
Economicamente adequada	6	9	67%
Ambientalmente sustentável	25	39	64%
Socialmente aceitável	11	15	73%
<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>63</b>	<b>68%</b>

Fonte: A autora, 2016.

Para possibilitar a análise de cada tema do ponto de vista comportamental de cada subtema, foram desenvolvidos os gráficos em barra ilustrados conforme apresenta a Figura 7 a seguir:

Figura 7 – Perfil do tanque séptico quanto à sustentabilidade nos três temas de acordo com cada variável



Fonte: A autora, 2016.

Analisando os subtemas que caracterizam o sistema como economicamente adequado, foi destacada a densidade populacional, que considera o custo por habitante atendido por metro cúbico de sistema, que custa menos de R\$ 100,00 (cem reais), sendo justificado pela capacidade elevada do sistema de atender muitas pessoas em um pequeno volume, porém o custo de investimento não pode ser considerado baixo de acordo com a renda média per capita do brasileiro para o ano de 2015, como mostra a variável de gasto por metro cúbico para desenvolver o sistema de tratamento. Quanto à operação e manutenção foi considerado um gasto com terceirização para limpeza e/ou reparos no sistema de R\$ 332,00 (cento e trinta e dois reais) por ano, considerado médio de acordo com os critérios de análise.

O tanque séptico tem destaque no âmbito de ser socialmente adequada, atingindo pontuação máxima nos subtemas em relação à existência de políticas públicas de incentivo, acesso a planejamentos do sistema e regulações legais, tendo em vista que se trata de uma tecnologia convencional e já bem aceita pela sociedade, entretanto não é bem pontuada referente à saúde pública e paisagismo, pois quando subdimensionado decorrente de um mau planejamento o tanque séptico pode ocasionar doenças de veiculação hídrica devido à percolação ou deflúvio de efluente contaminado, e não acrescenta em nada em relação à harmonia paisagística do local.

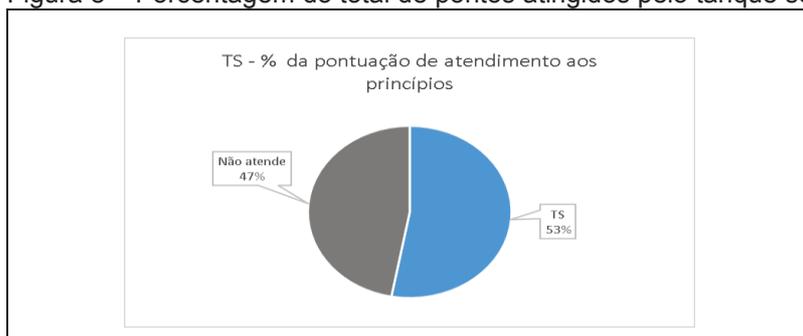
As análises ambientais do sistema evidenciam a baixa eficiência tecnológica do tanque séptico sendo de suma importância o uso de sistemas complementares para tratamento do efluente de saída para adequá-lo com a legislação de despejo em corpos hídricos ou infiltração no solo. O TS possui eficiência considerável apenas para redução de sólidos totais, coliformes fecais e E. coli, sendo ineficiente para redução de DQO, DBO, SST e turbidez.

Quanto aos materiais usados para construção do sistema, o mesmo não possibilita a reutilização de muitos materiais que seriam descartados, sendo assim parcialmente satisfatório em relação ao investimento de recursos no sistema.

#### 4.1.2 Análise quanto aos princípios da permacultura

Considerando a análise quanto à aplicabilidade dos princípios da permacultura, o tanque séptico obteve pouco menos que cinquenta por cento da pontuação possível, atingindo dezenove dos trinta e seis possíveis. A Figura 8 a seguir expressa essa proporção:

Figura 8 – Porcentagem do total de pontos atingidos pelo tanque séptico



Fonte: A autora, 2016.

Em sete dos doze princípios este sistema obteve nível baixo de classificação quanto ao atendimento aos princípios da permacultura, abrangendo três princípios com aplicabilidade média, sendo eles no princípio um, quatro e dez, que se referem a observar e interagir, e praticar a autoregulação, e usar e valorizar a diversidade respectivamente. O que mostra que ainda que não pratique a permacultura o tanque séptico é desenvolvido com um cuidado mínimo quanto ao local de instalação preocupando-se com os poços e sumidouros ao redor além de operar de maneira autônoma, porém necessitando de manutenção periódica para retirada do efluente acumulado em seu interior o sistema ainda dispõe de algumas opções de materiais para construção.

A pontuação máxima foi atingida somente no princípio nove que diz respeito ao uso de soluções pequenas e lentas e no princípio doza referente ao uso criativo e resposta a mudanças, o que indica que o TS não prioriza a velocidade do tratamento e sim a eficiência do processo anaeróbio além da vantagem da fácil adaptação a diferentes cenários.

## 4.2 ANÁLISE DO TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

### 4.2.1 Análise quanto à sustentabilidade

A análise em relação à sustentabilidade do tanque de evapotranspiração (TEvap) obteve 50 dos 63 pontos possíveis, significando 79% do total. Com maior destaque na área ambiental atingindo 32 dos 39 pontos, a TEvap teve 78% e 73% dos pontos nos requisitos econômicos e sociais respectivamente. A TEvap não obteve pontuação abaixo de 70% do total em nenhum dos três temas, podendo ser considerado como uma tecnologia satisfatória no que diz respeito a sua sustentabilidade. O resultado está ilustrado na tabela 2 a seguir:

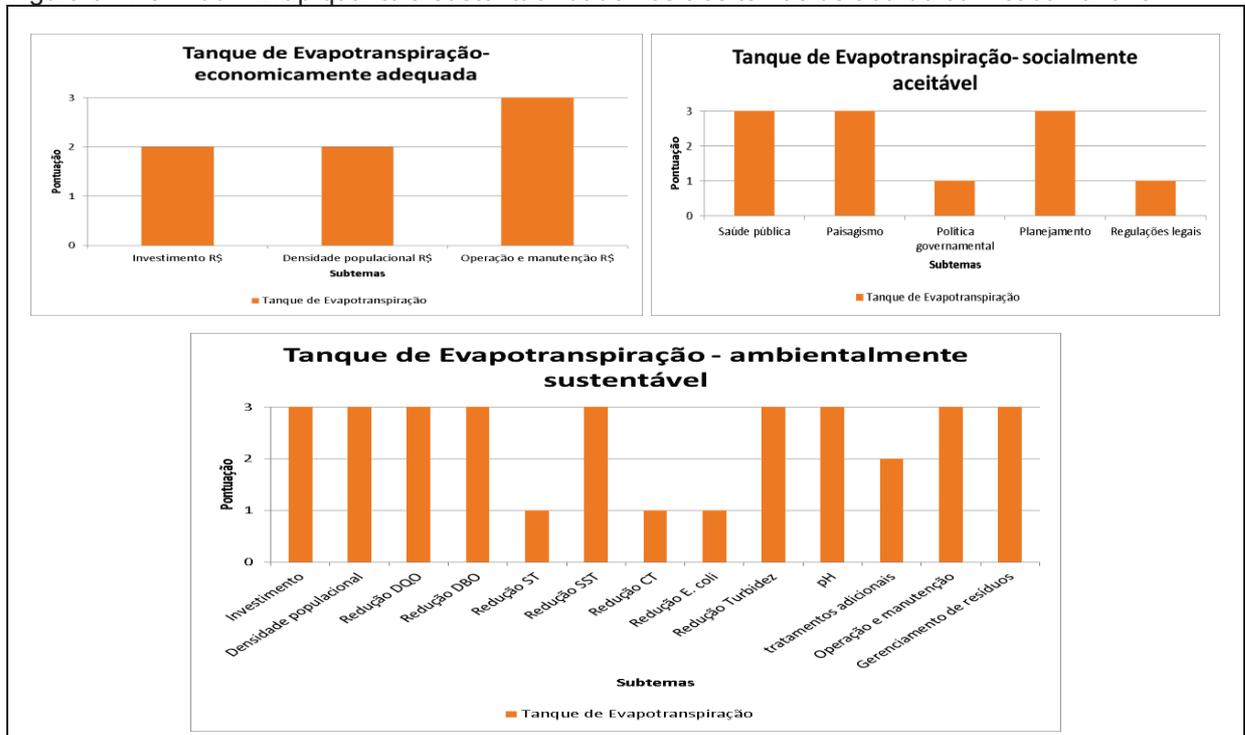
Tabela 2 - Pontuação do TEvap nos três temas

<b>Tema</b>	<b>Pontuação TEvap</b>	<b>Pontuação Máxima possível</b>	<b>% TEvap</b>
Economicamente adequada	7	9	78%
Ambientalmente sustentável	32	39	82%
Socialmente aceitável	11	15	73%
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>63</b>	<b>79%</b>

Fonte: A autora, 2016.

Assim como feito para o tanque séptico, para possibilitar a análise de cada tema do ponto de vista comportamental de cada subtema, foram desenvolvidos os gráficos em barra ilustrados conforme apresenta a Figura 9 a seguir:

Figura 9 - Perfil do TEvap quanto à sustentabilidade nos três temas de acordo com cada variável



Fonte: A autora, 2016.

O TEvap teve maior pontuação quanto à parte econômica do sistema em relação aos gastos de operação e manutenção que são praticamente nulos, pois esse tipo de serviço não é necessário visto que não ocorre acúmulo de efluente no sistema. Em relação ao investimento em reais e a quantidade de habitantes atendidos por metro cúbico de sistema construído, o valor pode variar bastante, porque o sistema possibilita diversas alternativas de materiais o que pode baratear a construção do mesmo. Em relação à mão de obra ainda não existe um preço pré-estabelecido no mercado, porém adotou-se o valor de um serviço qualquer de construção civil.

Em relação à aceitabilidade social do sistema foi a menos pontuada dentre os três principais temas, sendo insatisfatório no quesito de política governamental e regulações legais. O que é compreensível devido a baixa incidência do uso dessa tecnologia no país e por ser considerada recente quando comparado aos sistemas convencionais. Porém mesmo com a baixa regulamentação é possível encontrar

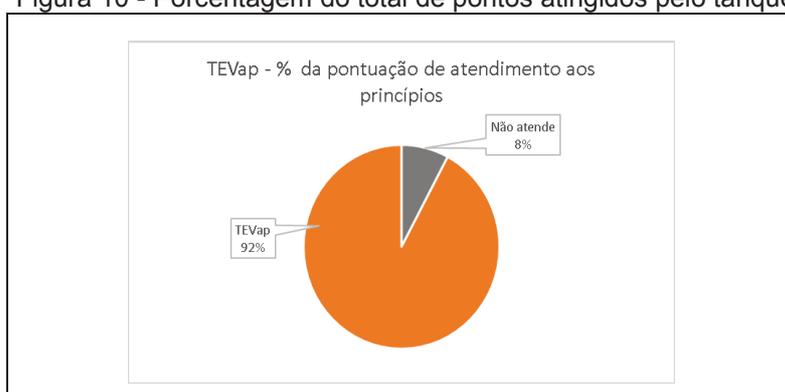
diversos materiais explicativos sobre construção, operação e manutenção do sistema, pois o TEvap é muito bem-conceituada dentre os permacultores, sendo assim satisfatório para a pesquisa. Outras duas variáveis que se destacam são a saúde pública e o paisagismo, já que o TEvap não influencia na contaminação do solo e da água em torno do sistema além de agregar para a harmonia paisagística do local com as plantas localizadas sobre o TEvap.

O tema de maior destaque do TEvap quanto a sua sustentabilidade é a questão ambiental, sendo satisfatório em nove das treze variáveis, esta tecnologia atende a eficiência de redução da maioria das variáveis referente aos poluentes do efluente e resultam em baixo impacto negativo em sua operação, manutenção e gerenciamento de resíduo. Foi considerado comportamento insatisfatório apenas para redução de ST, CT e E. Coli, o que resultou em uma classificação parcialmente satisfatória quanto à necessidade de tratamentos adicionais. Porém vale lembrar que os valores considerados são do efluente de saída do sistema, considerando que se o mesmo permanecesse dentro do TEvap seria infiltrado e absorvido pelas plantas no topo do sistema aumentando sua eficiência de remoção.

#### 4.2.2 Análise quanto aos princípios da permacultura

A análise da pontuação atingida pelo TEvap quanto aos princípios da permacultura foi mais de 90% do total. Do total de trinta e seis o TEvap pontuou trinta e quatro, caracterizando uma alta aplicabilidade dos princípios para esse sistema de tratamento de efluente doméstico. A Figura 10 a seguir ilustra a proporção da pontuação atingida.

Figura 10 - Porcentagem do total de pontos atingidos pelo tanque séptico



Fonte: A autora, 2016.

Em dez dos doze princípios o TEvap recebeu pontuação máxima e em nenhum princípio obteve classificação como sendo de baixa aplicabilidade. Somente nos princípios três e quatro recebeu pontuação média, pois necessita de tratamento complementar como a separação do efluente para águas negra e cinza além de receber manutenção periódica, porém de baixa complexidade referente à poda das árvores e verificação do nível de lodo no interior da câmara do processo anaeróbio.

A alta aplicabilidade do TEvap se deve a algumas características como, por exemplo, no princípio um normalmente é construída em multirões o que integra os usuários com a tecnologia, além de captar e armazenar energia com a a integração de elementos de dentro e fora do sistema, reduzindo o desperdício e valorizando os serviços e recursos renováveis, correlacionando os princípios dois, cinco, seis, sete, oito, dez, onze e doze.

Considerando que o sistema do TEvap é uma tecnologia criada por permacultores sua pontuação caracterizando sua alta aplicabilidade e nenhuma pontuação para baixa aplicabilidade aos princípios da permacultura era de se esperar pois desde a sua elaboração os devidos cuidados foram tomados para se certificar de que o TEvap fosse adequado além do tratamento do efluente, mas também respeitasse o ambiente ao redor trabalhando em parceria com os elementos do sistema.

#### 4.3 ANÁLISE COMPARATIVA

##### 4.3.1 Análise comparativa quanto à sustentabilidade

Comparando os dois sistemas com base na pontuação alcançada, verifica-se que do total possível de 63 o TEvap alcançou 50 e o TS 43, representando 79% e 68% respectivamente. Os resultados das duas tecnologias quanto aos temas estão na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Pontuação da TS e do TEvap nos três temas

Tema	Pontuação TS	% TS	Pontuação TEvap	% TEvap	Pontuação Máxima
Economicamente adequada	6	67%	7	78%	9
Ambientalmente sustentável	25	64%	32	82%	39
Socialmente aceitável	11	73%	11	73%	15
<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>68%</b>	<b>50</b>	<b>79%</b>	<b>63</b>

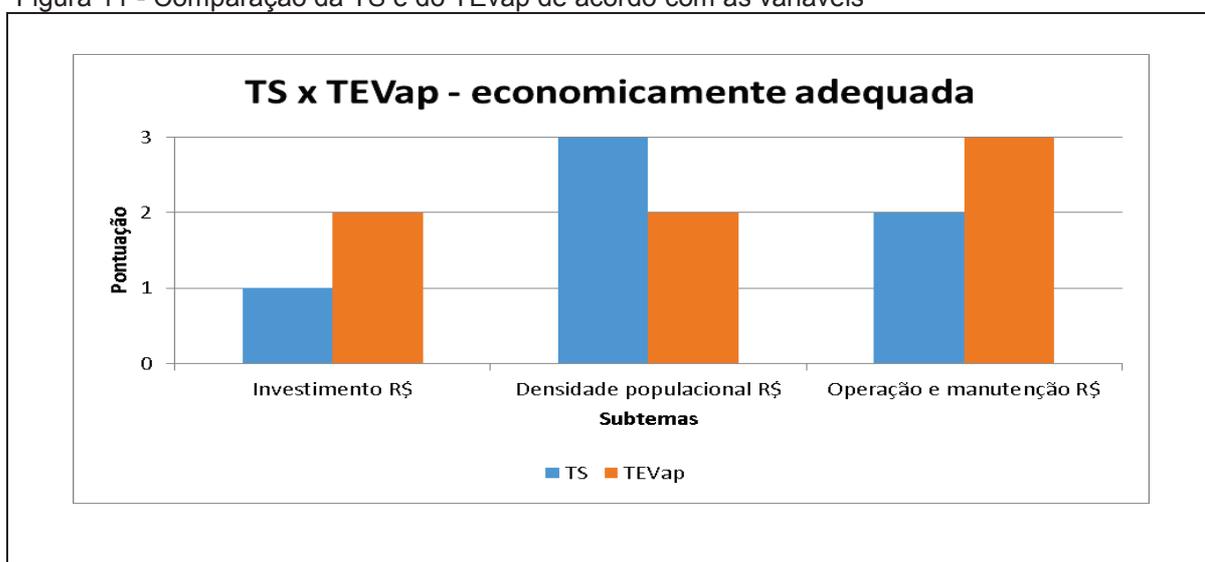
Fonte: A autora, 2016.

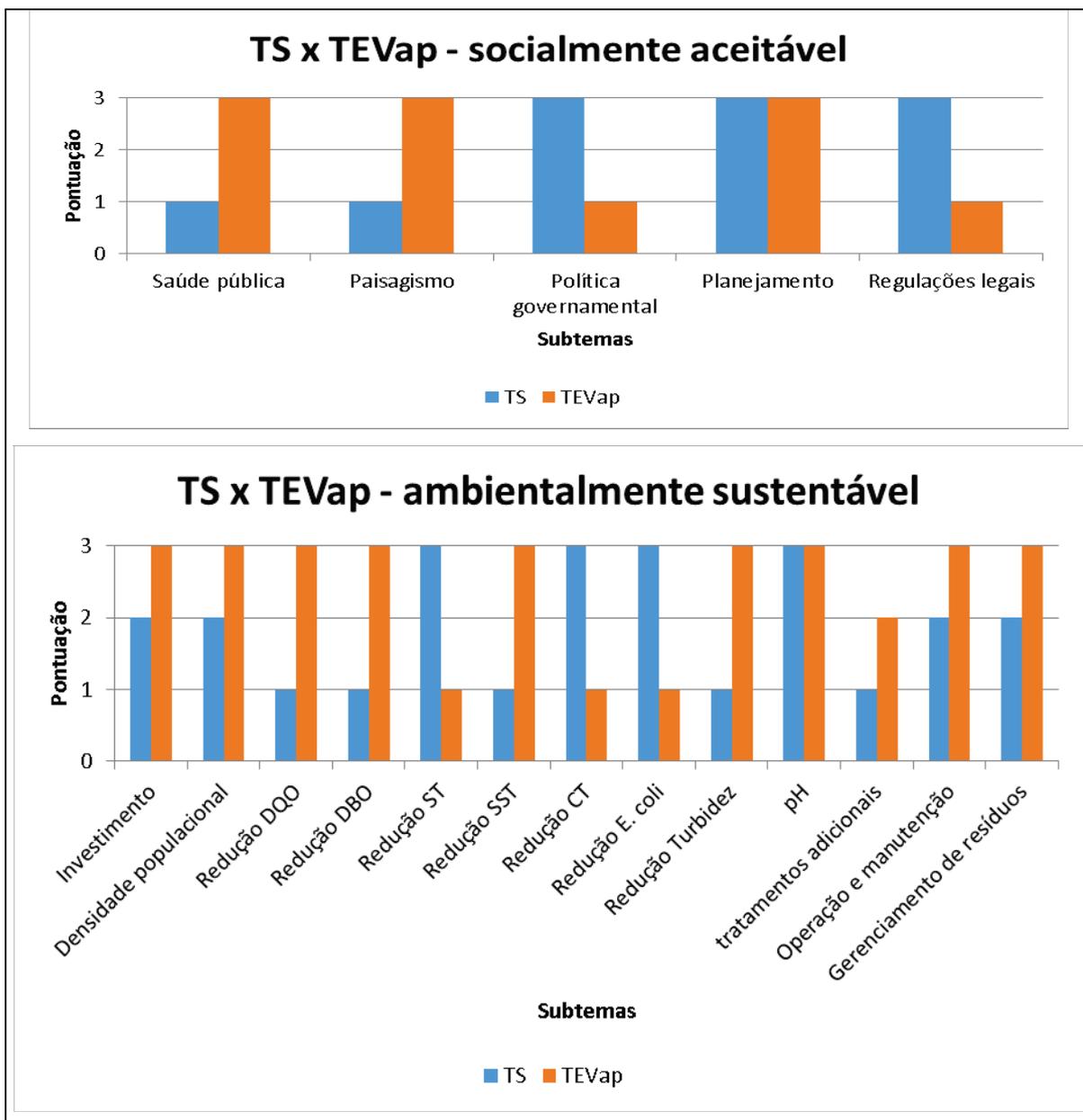
O TEvap obteve a melhor pontuação na análise das variáveis econômicas e ambientais, empatando com o TS nas variáveis sociais. No geral os dois sistemas alcançaram uma pontuação acima de 60%.

O TEvap teve quase dez pontos a mais que o TS no quesito ambiental devido à sua eficiência tecnológica elevada e a praticidade do sistema em se adequar ao uso de diferentes materiais para sua elaboração facilitando a construção em diversos cenários. Outro ponto positivo que auxilia esta tecnologia em sua pontuação foi em relação aos impactos gerados com a operação, manutenção e gerenciamento de resíduo que se comparado com o TS são satisfatórios, pois não são significativos apresentando necessidade de operação e manutenção esporádicos e apresentam baixo potencial de contaminação do solo e da água no entorno do sistema.

O TS se equipara com o TEvap no quesito social por ser uma tecnologia convencional e de alta aceitabilidade para todos, além de ser incentivado seu uso por meio de políticas públicas e regulação legal, sendo satisfatório pra todos em estas variáveis em contraste com o que ocorre com o TEvap que se trata de um sistema novo se comparado com o TS e não possui regulamentação legal nem incentiva de políticas públicas diretamente, entretanto pede-se que o saneamento seja universalizado, o que é possível com o uso de ambas as tecnologias. A Figura 11 a seguir ilustra os gráficos com a comparação entre os dois sistemas de acordo com a pontuação das variáveis.

Figura 11 - Comparação da TS e do TEvap de acordo com as variáveis





Fonte: A autora, 2016.

Entretanto ainda no cenário social, o TEVap apresenta-se satisfatória no quesito de saúde pública e paisagismo quando comparado o TS que é pontuada com insatisfatória, tal comportamento se deve ao fato do TEVap não apresentar riscos de espor as pessoas a doenças de veiculação hídrica e agregar valor para a paisagem onde é instalada decorrente da utilização de plantas para realizar a evapotranspiração.

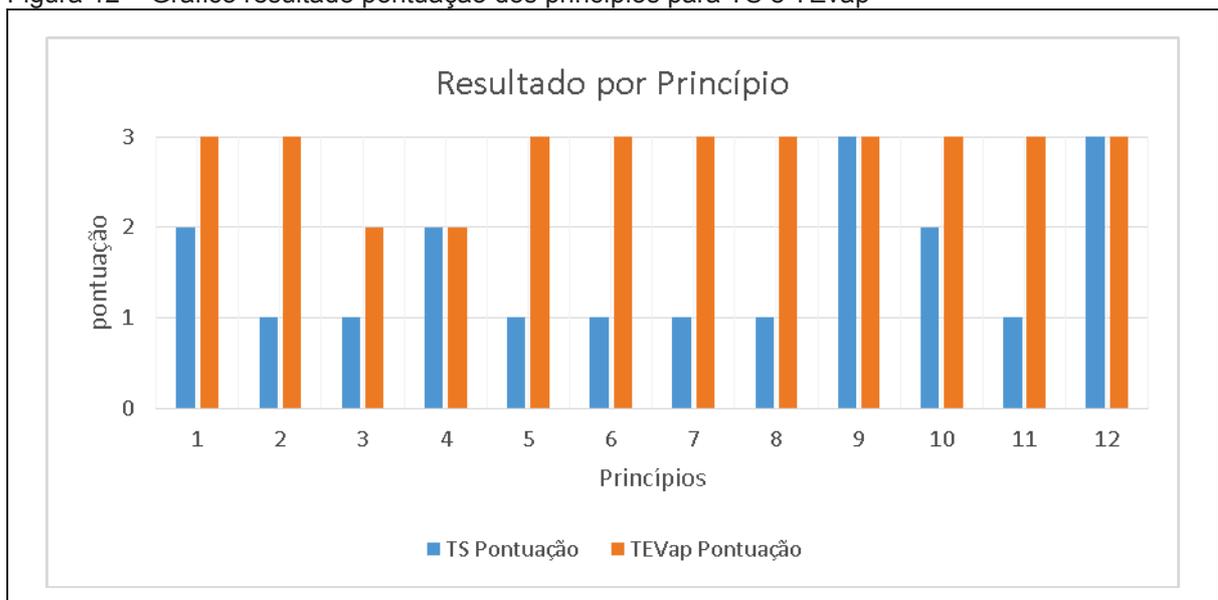
E por fim, analisando os resultados econômicos entre os dois sistemas é possível verificar que para construção do TEVap é necessário um investimento financeiro menor por metro cúbico quando comparado com o TS, assim como apresenta gastos satisfatórios quanto à operação e manutenção do sistema. O TS

apresentou comportamento satisfatório nesse tema quando analisado o gasto por habitante por metro cúbico de sistema devido a seu alto potencial de atendimento da demanda de efluente a ser tratado quando comparado com o TEvap.

#### 4.3.2 Análise comparativa quanto aos princípios da permacultura

Comparando a pontuação da TS e do TEvap em relação a sua aplicabilidade é evidente que o TEvap trabalha os princípios de maneira mais intensa do que a TS em quase todos os princípios, não havendo nenhum princípio em que a TS seja mais bem pontuada que o TEvap. A Figura 12 a seguir mostra os resultados de acordo com a pontuação para cada princípio.

Figura 12 – Gráfico resultado pontuação dos princípios para TS e TEvap



Fonte: A autora, 2016.

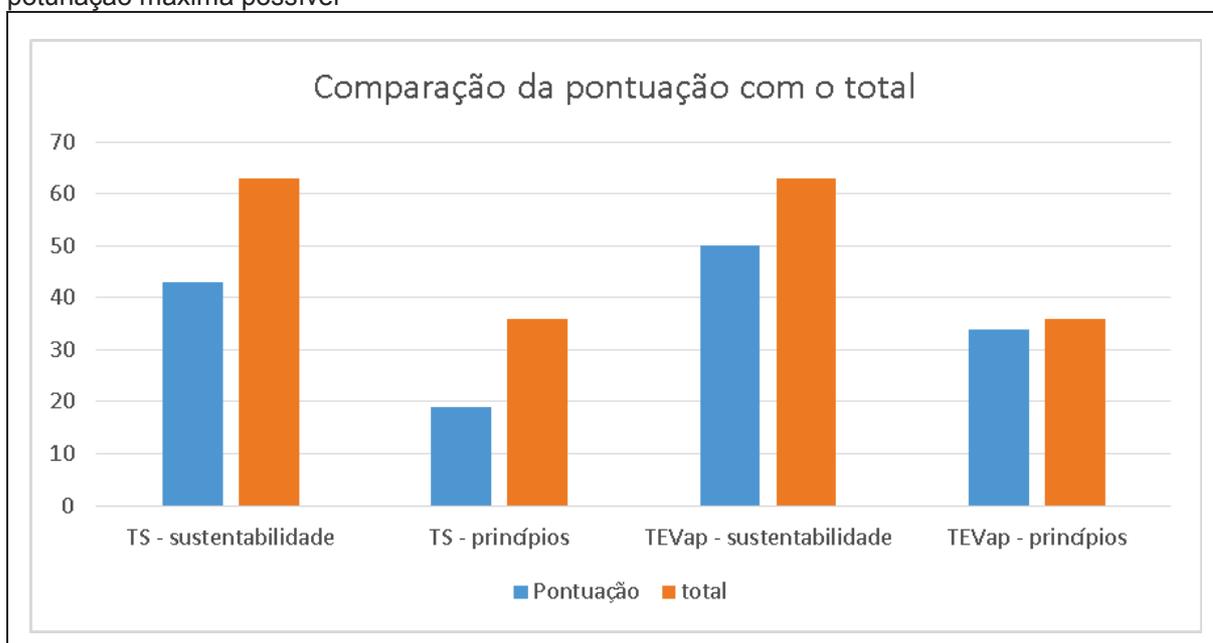
Em nove dos doze princípios o TEvap foi mais bem pontuada que o TS e houve empate apenas no princípio quatro com aplicabilidade média e nos princípios nove e doze com aplicabilidade alta, sendo referente à necessidade de atuação externa para regular o sistema, priorizar a qualidade ao invés da velocidade de tratamento e a adequação do sistema a diferentes cenários.

Possibilitando então identificar as similitudes em relação à aplicação dos princípios da permacultura entre os dois sistemas.

### 4.3.3 Análise quanto à correlação dos dois resultados

Correlacionando os resultados das duas análises, onde o TEvap obteve a maior pontuação quanto a sua sustentabilidade bem como é o sistema que mais aplica os princípios da permacultura, podem-se considerar a influencia da permacultura no desenvolvimento de sistemas para tratamento de águas negras. A Figura 13 a seguir mostra a pontuação total de cada sistema em cada uma das análises.

Figura 13 – gráfico com a pontuação da TS e do TEvap nas duas análises comparando com a pontuação máxima possível

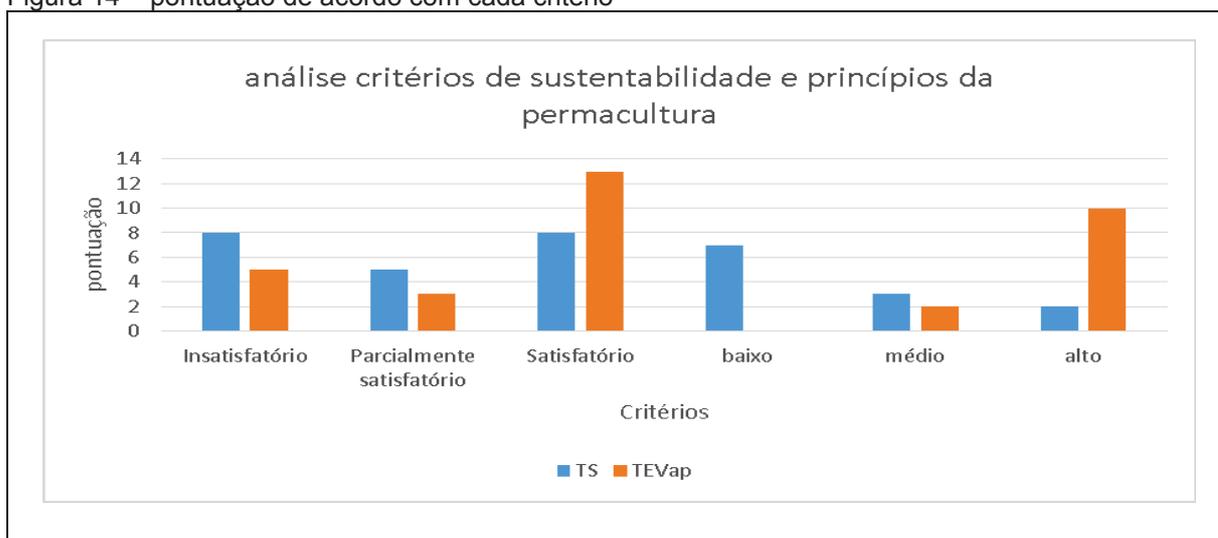


Fonte: A autora, 2016.

É possível verificar que a TS obteve resultados abaixo do TEvap nas duas análises. Enquanto a TS tem pouco mais que 40 pontos, a TEvap alcança 50 na análise da sustentabilidade e esta vantagem fica mais evidente na análise quanto aos princípios onde o TS não chega a 20 pontos dos 36 possíveis e o TEvap ultrapassa os 30.

Outra análise significativa é observar a pontuação das tecnologias de acordo com os critérios de análise estipulados para compreender a intensidade com que as tecnologias atendem a sustentabilidade e permacultura. A Figura 14, mostra os resultados de acordo com cada critério.

Figura 14 – pontuação de acordo com cada critério



Fonte: A autora, 2016.

O TS obteve a pontuação como satisfatório em oito variáveis enquanto o TEVap ultrapassou doze, e o mesmo ocorre quanto ao nível de aplicabilidade dos princípios, sendo o nível alto atingido em apenas duas variáveis pela TS enquanto o TEVap recebe essa classificação em dez das doze variáveis. Outro ponto relevante é que o TEVap não se enquadra em nenhum momento como de nível baixo quanto aos princípios e o TS tem essa classificação em mais da metade das variáveis estipuladas. Correlacionando com os critérios da sustentabilidade o TEVap é a que teve maior número de variáveis que se pontuam com o critério de satisfatório.

Considerando o objetivo dos princípios da permacultura e os preceitos da sustentabilidade, é presumível afirmar que aquela tecnologia que atende de maneira significativa aos princípios da permacultura tende a ser uma tecnologia sustentável como o ilustrado nos gráficos com os resultados das análises.

## 5 CONCLUSÃO

A conclusão reitera o fechamento do trabalho elaborado sintetizando os principais resultados e desafios.

### 5.1 RECUPERAÇÃO DOS OBJETIVOS

O objetivo geral foi de identificar como os princípios da permacultura contribuem para o tratamento sustentável de águas negras e foi alcançado quando da elaboração das tabelas de relações na seção 3. Metodologia da Pesquisa e nas respectivas análises elaboradas na seção 4. Análise das relações entre sustentabilidade e permacultura com os sistemas de tratamento. Reitera-se ainda a análise da sustentabilidade dos tratamentos de águas negras (tanque séptico e tanque de evapotranspiração); da análise das duas tecnologias de acordo com os princípios da permacultura; e da comparação dos dois sistemas e sua documentação.

### 5.2 CONTRIBUIÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa pode contribuir na área saneamento na medida em que sugere que os princípios da permacultura podem compor a metodologia de desenvolvimento dos sistemas.

No desenvolvimento de projetos para tratamento de efluente doméstico, os conceitos e os princípios da permacultura podem contribuir na sustentabilidade dos sistemas de tratamento sem prejudicar sua efetividade.

E para os demais cidadãos, no sentido de proporcionar um meio ambiente mais saudável, praticando os princípios da permacultura no tratamento do efluente de águas negras, interconectando os elementos e reintegrando os mesmos aos seus ciclos naturais, minimizando o desperdício e o gasto de recurso e energia.

### 5.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A referida pesquisa está metodologicamente limitada no sentido de que não faz uma pesquisa-ação acompanhando projetos de longo prazo e também não faz estudos de casos em projetos específicos de tratamento de águas negras.

### 5.4 TRABALHOS FUTUROS

A partir dessa pesquisa, recomendam-se outros trabalhos futuros que possam complementar ou ampliar os estudos aqui elaborados. Tal como, pode-se sugerir, pesquisa-ação em projetos de longo prazo e também estudos de casos em projetos específicos de tratamento de águas negras comparando não apenas o tanque séptico e o tanque de evapotranspiração, mas sim englobando uma diversidade mais de sistemas.

### 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A permacultura reintegra o homem à natureza, o que auxilia no desenvolvimento de projetos com uma percepção mais ecológica respeitando as limitações do ambiente e as especificidades de cada elemento envolvido, o que conseqüentemente resulta em projetos mais sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

ALTVATER Priscila Karina. **Avaliação do desempenho de um tanque séptico modificado e tratamento complementar**. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - Universidade Federal do Paraná, 2008. Disponível em:

<[http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/137-Priscila\\_Karina\\_Altvater.pdf](http://www.ppgerha.ufpr.br/publicacoes/dissertacoes/files/137-Priscila_Karina_Altvater.pdf)> Acesso em: 23 ago. 2016.

ANGELAKIS, Andreas; KOUTSOYIANNIS, Demetris. TCHOBANOGLIOUS, George. Urban wastewater and storm water technologies in ancient Greece. **Water Res.** Grécia, v. 205, n.39, p.210-20. [s.d.].

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2014. – Brasília: MCIDADES. SNSA, 2014. 408, p. texto, tabelas.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Saneamento**. 1999. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_saneamento\\_3ed\\_rev\\_p1.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p1.pdf)> Acesso em: 02 set. 2016.

BOOF, Leonardo. “Quem vai derrotar o capital será a Terra”. Disponível em: <<http://www.carosamigos.com.br/index.php/cotidiano/7465-leonardo-boff-quem-vai-derrotar-o-capital-sera-a-terra>> Acesso em: 30 ago. 2016.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG,. Vol. 5, 379p., 2007.

ECOFICIENTES. Saneamento Ecológico Vs Convencional. Disponível em: <http://www.ecoficientes.com.br/saneamento-ecologico-vs-convencional-3/> > Acesso em: 12 set. 2016.

ELMITWALLI, Tarek A.; OTTERPOHL, Ralf. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Water Research**, v. 41, n. 6, p. 1379-1387, 2007.

ESREY SA, GOUGH J, RAPAPORT D, SAWYER R, SIMPSON-HÉBERT M, VARGAS J & WINBLAD U. Saneamento Ecológico, tr. da edição em inglês **Ecological Sanitation**. Agencia Sueca de Cooperación para el desarrollo Internacional - SIDA, Estocolmo. 1998.

FARINA, Adriana Galbiati. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande. MS, 2009. Disponível em: <<https://sistemas.ufms.br/sigpos/portal/trabalhos/download/319/cursold:33>> Acesso em: 07 set. 2016.

FUKUOKA, Masanobu. **The one-straw revolution**: an introduction to natural farming. 8ª ed. India: Other India Press. 2009. 225p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas. 1991.

HOLMGREN, David. **Permaculture: principles & pathways beyond sustainability**. Austrália. Permanent Publications.2002.

HOLMGREN, David. **Os fundamentos da Permacultura**. Victoria, Austrália: Holmgren Design Service. 2007. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/GrupoTimbo/permaculturaFundamentos.pdf>> Acesso em: 02 ago. 2016.

IAWQ. The Activated Sludge Model No. 2: Biological phosphorus removal. **Water Science and Technology**, Inglaterra, v. 31, n. 2, Pages 1-11,1995.

INSTITUTO ÇARACURA, Saneamento Ecológico. Disponível em: <http://www.institutocarakura.org.br/index.php?mod=arquivos&grupo=570>> Acesso em: 12 set. 2016.

INSTITUTO TRATA BRASIL, Ociosidade das Redes de Esgotamento Sanitário no Brasil 2015. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/ociosidade/relatorio-completo.pdf>> Acesso em: 02 set. 2016.

IPEMA. Instituto de Permacultura e Ecovilas da Mata Atlântica. Disponível em: <<http://www.ipemabrasil.org.br>>. Acesso em: 06 set. 2016.

JACINTHO, Cláudio Rocha dos Santos; **Permacultura**: noções gerais. Universidade Católica de Brasília – OCB, Pró-reitoria de extensão – PROEx, Brasília, DF, 2002.

JACINTHO Cláudio Rocha dos Santos; **A agroecologia, a permacultura e o paradigma ecológico na extensão rural**: uma experiencia no assentamento colônia I – Padre Bernardo – Goiás. Dissertação de mestrado submetida ao centro de desenvolvimento sustentável da universidade de Brasília. Brasília, 2007. Disponível em: < [http://orgprints.org/21831/1/Jacinto\\_Agroecologia.pdf](http://orgprints.org/21831/1/Jacinto_Agroecologia.pdf)> Acesso em: 06 set. 2016.

FARINA, Adriana Galbiati. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande. MS, 2009. Disponível em: <<https://sistemas.ufms.br/sigpos/portal/trabalhos/download/319/cursold:33>> Acesso em: 07 set. 2016.

MANDAI, P. Modelo descritivo da implantação do sistema de tratamento de águas negras por evapotranspiração. **Associação Novo Encanto de Desenvolvimento Ecológico-ANEDE. Monitoria Canário Verde, Brasília. Relatório técnico**, 2006.

MARA, Duncan et al. **Sewage treatment in hot climates**. John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, Sussex. 1976.

MARTINETTI, Thaís H.; SHIMBO, Ioshiaqui; TEIXEIRA, Bernardo A. N. Análise de Alternativas mais Sustentáveis para Tratamento Local de Efluentes Sanitários Residenciais. In: IV ENCONTRO NACIONAL E II ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2007. Disponível em: <[http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007\\_artigo\\_019.pdf](http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_019.pdf)> Acesso em: 10 set. 2016.

MASSOUD, May A.; TARHINI, Akram; NASR, Joumana A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. **Journal of environmental management**, v. 90, n. 1, p. 652-659, 2009.

MATSUDA, Vivian. Saneamento Básico enquanto Direito Fundamental e Direito Humano. Disponível em: <<http://vivianmatsuda.jusbrasil.com.br/artigos/181097913/saneamento-basico-enquanto-direito-fundamental-e-direito-humano>> Acesso em: 22 ago. 2016.

MENDES, Rafaella. **Perma o Quê?**: Permacultura pra quem não sabe, mas quer saber. Graduação em jornalismo. Universidade Positivo. Curitiba-PR, 2010.

MOLLISON, Bill; Introdução à Permacultura. YANKEE PERMACULTURE, The Rural Education Center, Wilton NH USA 1981

MOLLISON, Bill; HOLMGREN, David. Permaculture one. **Morebank, NSW Australia: Transworld Publications**, 1978.

MOLLISON, Bill et al. Permaculture: a designer's manual. **Permaculture: a designer's manual.**, 1988.

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

OTTERPOHL, Ralf; GROTTKER, Matthias; LANGE, Jörg. Sustainable water and waste management in urban areas. **Water Science and Technology**, v. 35, n. 9, p. 121-133, 1997.

OTTERPOHL, Ralf. Design of highly efficient source control sanitation and practical experiences. **Decentralised sanitation and reuse**, p. 164-179, 2001.

OTTERPOHL, Ralf; BRAUN, Ulrich; OLDENBURG, Martin. Innovative technologies for decentralised wastewater management in urban and peri-urban areas. **Berichte-Wassergute Und Abfallwirtschaft Technische Universitat Munchen Berichtsheft**, v. 173, p. 109-126, 2002.

PAMPLONA, Santos; VENTURI, Marcos. Esgoto à flor da terra. **Permacultura Brasil. Soluções ecológicas**, v. 16, 2004.

PARASKEVAS, P. A.; GIOKAS, D. L.; LEKKAS, T. D. Wastewater management in coastal urban areas: the case of Greece. **Water science and technology**, v. 46, n. 8, p. 177-186, 2002.

PAULO, Paula Loureiro ; BERNARDES, Fernando Silva. Estudo de Tanque de Evapotranspiração Para o Tratamento Domiciliar de Águas Negras. **Coordenadoria de Pesquisa – PROPP**. Campo Grande, MS. 2009.

PHILIPPI, Luiz S.; DA COSTA, Rejane HR; SEZERINO, Pablo H. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. **Water science and technology**, v. 40, n. 3, p. 125-131, 1999.

PILLON J. J. **As Raízes do Homem**: Em Busca da Civilização da Fraternidade e do Amor. 1ª Ed. Rondônia: Ariquememes. 2004 120 p.

Programa da Década da Água da ONU-Água sobre Advocacia e Comunicação (UNW-DPAC). O Direito Humano à água e saneamento. . [s.d.]. Disponível em: <[http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief\\_por.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf)> Acesso em: 05 set. 2016.

REED, Sherwood C. et al. Natural systems for waste management and **treatment**. McGraw-Hill, Inc., 1995.

RIDDERSTOLPE, Peter. **Introduction to greywater management**. EcoSanRes Programme, 2004.

SARLET, Ingo Wolfgang; FENSTERSEIFER, Tiago. Notas sobre os deveres de proteção do estado e a garantia da proibição de retrocesso em matéria (socio) ambiental. **Direito constitucional do Ambiente: teoria e aplicação**. Org. Sergio Augustin e Wilson Steinmetz. Caxias do Sul: Educs, 2011.

Silva, Edna Lúcia da; MENEZES, Muszkat Estera. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. – Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

DOS SANTOS, Rubens Francisco et al. Abordagem descentralizada para concepção de Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico. **Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura**, v. 1, n. 1, 2015.

SILVEIRA, A.L.R.C.; LIMA, F.K.G.M.; PEREIRA, K.V.V. A sustentabilidade ambiental aplica em ecovilas no município de Teresina. **Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo** (NUTAU), Universidade Estadual de São Paulo (USP) 2002.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.

VALENÇA, JOANA FARIAS DOS SANTOS. **Rio Salgado: agente de agravos à saúde das populações ribeirinhas**. Tese de Doutorado. Dissertação do Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus. 2003. [http://www.uesc.br/cursos/pos\\_graduacao/mestrado/mdrma/teses/dissertacao\\_joana.pdf](http://www.uesc.br/cursos/pos_graduacao/mestrado/mdrma/teses/dissertacao_joana.pdf) [20-10-2013].

VIEIRA, I. Círculo de bananeiras, Relatório Ambiental Preliminar (RAP). Disponível em: <<http://www.setelombas.com.br/2006/10/14/circulo-de-bananeiras>>. Acessado em: 13 set. 2016.

UNICEF et al. Progress on Sanitation and Drinking-Water: 2015 Update and MDG Assessment. **World Health Organization: Geneva, Switzerland**, 2015.

WINBLAD, Uno (Ed.). **Ecological sanitation**. EcoSanRes Programme, 2004.

## APÊNDICE A – CRITÉRIOS DE ANÁLISE PARA A SUSTENTABILIDADE

Tema	Variáveis				Critérios		
	Subtema	Descrição	Unidade	Observação	1 (insatisfatório)	2 (parcialmente satisfatório)	3 (satisfatório)
Economicamente adequada	Investimento	Gasto por m <sup>3</sup> para desenvolver o sistema de tratamento	% da renda média familiar*	* renda per capita média do brasileiro em 2015 chegou a R\$ 1.113 (IBGE) *Gasto considerando materiais, equipamentos, ferramentas e mão de obra	Maior que 30 % da renda per capita média (R\$ 333,90) + sistemas adicionais	Entre 11% e 29 % da renda per capita média (R\$ 122,43 e R\$ 322,77) + sistemas adicionais	Menor ou igual a 10 % da renda per capita média (R\$ 111,30) + sistemas adicionais
	Densidade populacional	Gasto de instalação do sistema por pessoa atendida	R\$/Hab	Considerando projeto com valor total de R\$ 2480 TS (Dimensionamento do TS (ABNT - NBR n° 7.229/1993) 34 pessoas) e R\$1300,00 TEvap (5 pessoas)	Gasto maior que R\$400,00 por pessoa	Gasto entre R\$201,00 e R\$400,00 por pessoa	Gasto menos que R\$200,00 por pessoa
	Operação e manutenção	Gastos com operação e manutenção	R\$/ano	Operação e manutenção necessária para manter as funções de funcionamento do sistema	Gasto maior que R\$400,00 ao ano	Gasto entre R\$201,00 e R\$400,00 ao ano	Gasto menor que R\$200,00 ao ano
	Gerenciamento de resíduos	Gastos com disposição de resíduos	R\$/ano	-	Gasto maior que R\$ 200,00	Gasto entre R\$ 101,00 e R\$ 200,00 ao ano	Gasto menor que R\$ 100,00 ao ano
Ambientalmente sustentável	Investimento	Recursos necessários para desenvolver o sistema de tratamento	Tipo de materiais de construção	-	Utiliza apenas matéria prima nova	Possibilita a reutilização de resíduos sólidos, porém em sua maioria necessita matéria prima nova	Possibilita a reutilização de resíduos sólidos sendo sua maioria

	Densidade populacional	Número de pessoas atendidas	Quantidade de Hab/m <sup>3</sup> construído atendidos	-	Menos que 2 habitantes atendidos por m <sup>3</sup> de construção	Entre 3 e 4 habitantes atendidos por m <sup>3</sup> de construção	Maior que 5 habitantes atendidos por m <sup>3</sup> de construção
Eficiência tecnológica		Eficiência redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (mg O <sub>2</sub> L-1)	%	Os resultados obtidos foram submetidos ao cálculo de eficiência de remoção, utilizando a Equação: $E = [(C_e - C_s) / C_e] \times 100\%$ ; Em que: E = eficiência de remoção (%); C <sub>e</sub> = concentração na entrada; C <sub>s</sub> = concentração na saída;	Possui a menor eficiência	-	Possui a maior eficiência
		Eficiência redução da demanda química de oxigênio (DBO) (mg O <sub>2</sub> L-1) 1	%		Possui a menor eficiência	-	Possui a maior eficiência
		Eficiência redução sólidos totais (ST) (mg L-1)	%		Possui a menor eficiência	-	Possui a maior eficiência
		Eficiência redução sólidos suspensos totais (SST) (mg L-1)	%		Possui a menor eficiência	-	Possui a maior eficiência
		Eficiência redução coliformes fecais (CT) (NMP 100mL-1)	%		Possui a menor eficiência	-	Possui a maior eficiência
		Eficiência redução E. coli	%		Possui a menor eficiência	-	Possui a maior eficiência
		Eficiência redução turbidez (NTU)	%		Possui a menor eficiência	-	Possui a maior eficiência
		Eficiência redução potencial hidrogeniônico (pH)	-		Maior que 8 ou menor que 6	-	pH entre 6 e 8
		Necessidade de tratamentos adicionais	Quantidade			Necessita dois ou mais sistemas para realizar tratamento completo	Necessita de um sistema adicional para realizar tratamento completo

	Operação e manutenção	Impacto Ambiental gerado com operação e manutenção	Pontencial		Necessita limpeza e manutenção periódica com frequência; alto potencial de contaminação do solo e água;	Necessita limpeza e manutenção periódica, porém não frequentemente - anual; médio potencial de contaminação do solo e da água;	Necessita limpeza e manutenção esporádica; Baixo potencial de contaminação do solo e da água;
	Gerenciamento de resíduos	Impacto ambiental gerado com gerenciamento de resíduos	Impacto	Considerando transporte do resíduo e disposição final	Realiza emissão atmosféricas no transporte do resíduo e não garante a disposição correta dos resíduos sólidos;	Realiza emissão atmosférica no transporte do resíduo até o destino final e garante a destinação adequada para o resíduo;	Não influencia na emissão atmosférica no transporte e garante uma disposição correta dos resíduos
Socialmente aceitável	Saúde pública	Ocorrência de doenças em decorrência do uso do sistema de tratamento	Tipo positiva ou negativa	Considerando apenas doenças de veiculação hídrica	Existe	Em estudo	Não existe
	Paisagismo	Influência na harmonia paisagística do terreno	Tipo positiva ou negativa		Não contribui	-	Contribui
	Política governamental	Existência de políticas governamentais que incentivem a instalação desse sistema de tratamento	Tipo positiva ou negativa	Nível federal, estadual e municipal	Não existe	Em estudo	Existe
	Planejamento	Existência de planejamentos para instalação, operação e manutenção desse sistema de tratamento	Tipo positiva ou negativa		Não existe	Existe, porém, de difícil acesso	Existe de fácil acesso

	Regulações legais	Existência de regulações legais que regularizem a instalação desse sistema de tratamento	Tipo positiva ou negativa		Não existe	Em estudo	Existe

## APÊNDICE B – CRITÉRIOS DE ANÁLISE QUANTO AOS PRINCÍPIOS DA PERMACULTURA

Tema	Descrição	Critérios		
		1 (Nível baixo)	2 (Nível médio)	3 (Nível alto)
PRINCÍPIO 1: Observe e interaja	Incentiva a observação do ambiente e a interação entre os usuários do sistema, e o sistema em si	Não ocorre nenhuma observação do ambiente nem interação entre o sistema e os usuários do sistema	Ocorre observação do ambiente, porém não há interação entre o sistema e os usuários	Ocorre observação do ambiente e interação entre o sistema e os usuários
PRINCÍPIO 2: Capte e armazene energia	Aproveita de maneira inteligente a energia do sistema utilizando os nutrientes provenientes dos efluente	Não utiliza os nutrientes proveniente dos efluentes	Utiliza uma parte dos nutrientes provenientes dos efluentes	Utiliza os nutrientes provenientes do sistema
PRINCÍPIO 3: Obtenha rendimento	Possui eficiência na remoção de poluentes	Necessita de dois ou mais tratamentos para complementar o tratamento do efluente	Necessita de apenas um tratamento para complementar o tratamento do efluente	Não necessita de tratamento para complementar o tratamento do efluente
PRINCÍPIO 4: Pratique a auto-regulação e aceite feed back	Necessita de atuação externa para regular o sistema	É necessário um indivíduo para operar o sistema e a manutenção é periódica necessitando reparos regulares	Não é necessário ninguém para operar o sistema, porém é necessária manutenção periódica	Funciona praticamente de maneira autosuficiente necessita manutenção mínima apenas de caráter preventivo
PRINCÍPIO 5: Use e valorize os serviços e recursos renováveis	Utiliza a qualidade inerente a plantas e animais combinadas com as características naturais dos terrenos e edificações utilizando menor área praticamente possível	Prioriza o uso de tecnologia externa ao sistema não integrando os elementos ali presentes em prol da sua eficiência	Mescla tecnologia externa com o	Prioriza utilizar a qualidade dos elementos ao redor do sistema em prol da sua eficiência
PRINCÍPIO 6: Não produza desperdícios	Produz efluente e/ou resíduo no final do processo de tratamento	Produz efluente líquido e resíduo sólido	Produz efluente ou resíduo	Não produz efluente ou resíduo somente em caso de subdimensionamento
PRINCÍPIO 7: Design partindo de padrões para chegar aos detalhes	Segue padrões propostos pela natureza incentivando a ciclagem de nutrientes	Não entende os padrões da natureza seguindo técnicas e padrões pré-definidos e interfere de maneira negativa para o ambiente quando planejado de maneira incorreta	Não entende os padrões da natureza seguindo técnicas e padrões pré-definidos	Entende os padrões de funcionamento da natureza e reproduz os mesmo no sistema

PRINCÍPIO 8: Integrar ao invés de segregar	Integra os elementos de dentro e de fora do sistema	Não integra elementos de fora do sistema com o objetivo de melhorar o sistema	Integra de maneira parcial os elementos dentro e fora do sistema acarretando no dano ao redor do sistema, como contaminação	Integra desde os materiais usados, quanto a localização, clima, elementos do sistemas e saúde do ambiente ao redor
PRINCÍPIO 9: Use soluções pequenas e lentas	Prioriza a qualidade ao invés da velocidade do tratamento do efluente	Prioriza a velocidade do processo independente dos custos e recursos usados para acelerar o processo de tratamento	Prioriza a velocidade do processo dependendo dos custos e recursos usados para acelerar o processo de tratamento	A qualidade do tratamento independe da velocidade que o processo irá ocorrer sem adicionar apetrechos que podem acelerar o processo
PRINCÍPIO 10: Use e valorize a diversidade	Possibilita o uso de materiais diversos sem perder a eficiência de tratamento, inclusive prioriza os mais sustentáveis	Não possibilita outros materiais para construção do sistema	Possibilita pequeno número de possibilidades de substituição de materiais	Em todas as partes do sistema existe a possibilidade de usar o material disponível
PRINCÍPIO 11: Use as bordas e valorize os elementos marginais	Preocupa-se com a qualidade ao entorno do sistema	Não agrega para a harmonia paisagística do ambiente e pode ocasiona a contaminação do solo e da água	Agrega para a harmonia paisagística do ambiente e propor outros benefícios	Agrega para a harmonia paisagística do ambiente além de propor outros benefícios como minimizar a contaminação do solo e da água
PRINCÍPIO 12: Use criativamente e responda às mudanças	O sistema se adequa a diferentes cenários	Se adapta apenas em cenários muito específicos e sofre influencia do clima ou condições topográficas.	Não existe aprovação em todos os cenários, mas é possível na maioria deles independente do clima ou condições topográficas.	Pode ser instalado em qualquer cenário independente do clima ou condições topográficas.

## APÊNDICE C – PONTUAÇÃO DOS SISTEMAS

PONTUAÇÃO TS (sustentabilidade)

Variável	Conteúdo	Referência do dado	Pontuação
1	R\$ 248,00	Nichele material de construção (R\$1200,00 de material) + Pedreiro mão de obra (R\$1280,00 considerando 20h de serviço cobrando R\$80,00)	1
2	R\$ 72,94	ABNT - NBR n° 7.229/1993 ( $V = 1000 + N(C.T + K. Lf)$ sendo: V-volume em Litros; N-número de habitantes; C-contribuição de esgoto, litros/pessoa.dia; T-tempo de detenção, dias; K-Taxa de de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco; Lf-Contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa.dia	3
3	R\$ 332,86	<a href="http://www.mercadomineiro.com.br/pesquisa/desentupidora-pesquisa-precos">http://www.mercadomineiro.com.br/pesquisa/desentupidora-pesquisa-precos</a>	2
4	Concreto armado; Argamassa; Areia; Tubo PVC; Tijolo; Água; Cal;	<a href="http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/construindo-fossa-retangular/">http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/construindo-fossa-retangular/</a>	2
5	3,76	ABNT - NBR n° 7.229/1993 ( $V = 1000 + N(C.T + K. Lf)$ )	2

6	42,34%	COLARES, C. J. (2013) <a href="http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf</a>	1
7	23,58%	COLARES, C. J. (2013) <a href="http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf</a>	1
8	37,56%	COLARES, C. J. (2013) <a href="http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf</a>	3
9	54,31%	COLARES, C. J. (2013) <a href="http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf</a>	1
10	75,99%	COLARES, C. J. (2013) <a href="http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf</a>	3
11	64,73%	COLARES, C. J. (2013) <a href="http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf</a>	3
12	37,80%	COLARES, C. J. (2013) <a href="http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf</a>	1
13	7,44	COLARES, C. J. (2013) <a href="http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf">http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v8n1/13.pdf</a>	3
14	Necessita de dois ou mais sistemas de tratamento	Caixa de gordura; filtro anaeróbio ou vala de infiltração ou sumidouro;	1

15	Alto potencial	Ruptura da fossa séptica; Transbordo do efluente contaminado; Pontencial de mistura com águas da chuva	2
16	Emissão atmosférica no transporte do resíduo; Garante a destinação adequada para o resíduo	Padrão técnico de mercado	2
17	Existe registro de doenças de veiculação hídrica devido ao uso de fossa sépticas		1
18	Não contribui	Tecnologia se encontra no subsolo e não agrega valor a área externa	1
19	Existe	* existe política de incentivo ao uso de fossa séptica como alternativa de tratamento descentralizado de águas residuárias, porém sempre seguido de um pós-tratamento PLANSAB	3
20	Existe	NBR-7229 – “Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos” ; NBR-13969 – “Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento Complementar e Disposição Final de Efluentes Líquidos – Projeto e Construção”	3

21	Sim	NBR-7229 – “Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos” ; NBR-13969 – “Tanques Sépticos – Unidade de Tratamento Complementar e Disposição Final de Efluentes Líquidos – Projeto e Construção”	3
		TOTAL	42

PONTUAÇÃO TEVap (sustentabilidade)

Variável	Conteúdo	Referência do dado	Pontuação
1	R\$ 130,00	<a href="http://www.sbpcnet.org.br/livro/65ra/resumos/resumos/9916.htm">http://www.sbpcnet.org.br/livro/65ra/resumos/resumos/9916.htm</a>	2
2	R\$ 260,00	<a href="http://www.setelombas.com.br/download/rap.pdf">http://www.setelombas.com.br/download/rap.pdf</a>	2
3	R\$ -	Não existe necessidade de contratação de prestação de serviço externo	3
4	Ferrocimento; Argamassa; Tubo PVC; Cacos cerâmica; Entulhos construção; Pneus usados; Terra	<a href="https://pt.scribd.com/document/15919161/Bacia-de-Evapotranspiracao">https://pt.scribd.com/document/15919161/Bacia-de-Evapotranspiracao</a>	3

	vegetal; Serragem;		
5	0,5	<a href="http://www.setelombas.com.br/download/rap.pdf">http://www.setelombas.com.br/download/rap.pdf</a>	3
6	43,87%	Galbiati, A. (2009)	3
7	79,84%	Galbiati, A. (2009)	3
8	34,36%	Galbiati, A. (2009)	1
9	90,21%	Galbiati, A. (2009)	3
10	-96,36%	Galbiati, A. (2009)	1
11	27,96%	Galbiati, A. (2009)	1
12	81,70%	Galbiati, A. (2009)	3
13	7,81	Galbiati, A. (2009)	3
14	Apenas um tratamento preliminar	Separação de águas residuárias - cinzas e negras	2

15	Baixo potencial	Necessita limpeza e manutenção esporádica; Baixo potencial de contaminação do solo e da água;	3
16	Não ocorre o transporte do resíduo; Garante disposição correta dos resíduos	<a href="http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/DETEC_Ambientaltvap_com_defluvio.pdf">http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/DETEC_Ambientaltvap_com_defluvio.pdf</a>	3
17	Não existe	<a href="http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/DETEC_Ambientaltvap_com_defluvio.pdf">http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/DETEC_Ambientaltvap_com_defluvio.pdf</a>	3
18	Não contribui	<a href="http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/DETEC_Ambientaltvap_com_defluvio.pdf">http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/DETEC_Ambientaltvap_com_defluvio.pdf</a>	3
19	Não existe	-	1
20	Existe	<a href="http://www.setelombas.com.br/download/rap.pdf">http://www.setelombas.com.br/download/rap.pdf</a>	3
21	Não	-	1
		TOTAL	<b>50</b>

PONTUAÇÃO TS (permacultura)

Tema	Descrição	TS		
		nível	Justificativa	Pontuação
PRINCÍPIO 1: Observe e interaja	Incentiva a observação do ambiente e a interação entre os usuários do sistema, e o sistema em si	médio	NBR7229/93 determina distância de instalação da fossa em relação ao sumidouro, poço, residência.	2
PRINCÍPIO 2: Capte e armazene energia	Aproveita de maneira inteligente a energia do sistema utilizando os nutrientes provenientes dos efluente	baixo	São retirados ou infiltrados no solo	1
PRINCÍPIO 3: Obtenha rendimento	Possui eficiência na remoção de poluentes	baixo	Necessita de caixa de gordura; filtro anaeróbico ou vala de infiltração ou sumidouro;	1
PRINCÍPIO 4: Pratique a auto-regulação e aceite feed back	Necessita de atuação externa para regular o sistema	médio	Opera de maneira autônoma porém necessita manutenção periódica para retirada do efluente acumulado	2

PRINCÍPIO 5: Use e valorize os serviços e recursos renováveis	Utiliza a qualidade inerente a plantas e animais combinadas com a características naturais dos terrenos e edificações utilizando menor área praticamente possível	baixo	Não valoriza os serviços ofertados pelos elementos naturais para auxiliar no tratamento do efluente	1
PRINCÍPIO 6: Não produza desperdícios	Produz efluente e/ou resíduo no final do processo de tratamento	baixo	Produz efluente líquido e resíduo sólido	1
PRINCÍPIO 7: Design partindo de padrões para chegar aos detalhes	Segue padrões propostos pela natureza incentivando a ciclagem de nutrientes	baixo	Segue técnicas e padrões propostos por normas	1
PRINCÍPIO 8: Integrar ao invés de segregar	Integra os elementos de dentro e de fora do sistema	baixo	Não utiliza outros elementos além da estrutura do próprio sistema	1
PRINCÍPIO 9: Use soluções pequenas e lentas	Prioriza a qualidade ao invés da velocidade do tratamento do efluente	alto	A velocidade do tratamento é lenta não sendo prioridade no sistema	3
PRINCÍPIO 10: Use e valorize a diversidade	Possibilita o uso de materiais diversos sem perder a eficiência de tratamento, inclusive prioriza os mais sustentáveis	medio	Escolha entre alvenaria, fibra de vidro, polietileno	2

PRINCÍPIO 11: Use as bordas e valorize os elementos marginais	Preocupa-se com a qualidade ao entorno do sistema	baixo	Não agrega para a harmonia paisagística e quando subdimensionada ou construída de maneira incorreta possibilita a contaminação do solo e da água	1
PRINCÍPIO 12: Use criativamente e responda às mudanças	O sistema se adequa a diferentes cenários	alto	Pode ser instalado em qualquer cenário	3
			pontuação do TS	19

PONTUAÇÃO TEVap (permacultura)

Tema	Descrição	Bacia evapotranspiração		
		nível	Justificativa	Pontuação
PRINCÍPIO 1: Observe e interaja	Incentiva a observação do ambiente e a interação entre os usuários do sistema, e o sistema em si	alto	Normalmente a construção da BET é construída através de mutirão onde o conceito do faça você mesmo é utilizado integrando usuários e sistema	3
PRINCÍPIO 2: Capte e armazene energia	Aproveita de maneira inteligente a energia do sistema utilizando os nutrientes provenientes dos efluentes	alto	Utiliza a água para embeber as plantas e os nutrientes como fonte de energia	3
PRINCÍPIO 3: Obtenha rendimento	Possui eficiência na remoção de poluentes	medio	Necessita apenas da separação do efluente antes de entrar no	2

			sistema	
PRINCÍPIO 4: Pratique a auto-regulação e aceite feedback	Necessita de atuação externa para regular o sistema	alto	Opera de maneira autônoma porém necessita manutenção periódica para retirada do efluente acumulado	2
PRINCÍPIO 5: Use e valorize os serviços e recursos renováveis	Utiliza a qualidade inerente a plantas e animais combinadas com a características naturais dos terrenos e edificações utilizando menor área praticamente possível	alto	Utiliza plantas para realizar o processo de evapotranspiração no sistema	3
PRINCÍPIO 6: Não produza desperdícios	Produz efluente e/ou resíduo no final do processo de tratamento	alto	Reutiliza o efluente e os resíduos dentro do próprio sistema	3
PRINCÍPIO 7: Design partindo de padrões para chegar aos detalhes	Segue padrões propostos pela natureza incentivando a ciclagem de nutrientes	alto	Proporciona a reintrodução dos nutrientes no ciclo dos elementos através das plantas e microorganismos	3
PRINCÍPIO 8: Integrar ao invés de segregar	Integra os elementos de dentro e de fora do sistema	medio	Inclui o uso de plantas no sistema e escolhe os materias de acordo com a disponibilidade local	3

PRINCÍPIO 9: Use soluções pequenas e lentas	Prioriza a qualidade ao invés da velocidade do tratamento do efluente	alto	A velocidade do tratamento é lenta não sendo prioridade no sistema	3
PRINCÍPIO 10: Use e valorize a diversidade	Possibilita o uso de materiais diversos sem perder a eficiência de tratamento, inclusive prioriza os mais sustentáveis	alto	Escolha entre ferrocimento, alvenaria, lona de plástico (impermeabilização) pneus, telhas, manilhas (processo anaeróbio), entulhos de construção, brita	3
PRINCÍPIO 11: Use as bordas e valorize os elementos marginais	Preocupa-se com a qualidade ao entorno do sistema	alto	Agrega para a harmonia paisagística do ambiente por meio do jardim na parte superior do sistema e os riscos de contaminação são mínimos	3
PRINCÍPIO 12: Use criativamente e responda às mudanças	O sistema se adequa a diferentes cenários	medio	Pode ser instalado em qualquer cenário	3
			Pontuação da TEVap	34