



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

PABLO VIRGOLINO FREITAS

**REAPROVEITAMENTO DE PNEUMÁTICOS INSERVÍVEIS NA
CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA INDIVIDUAL DE TRATAMENTO
DE ESGOTO DOMÉSTICO: Contribuição para a Aplicação da Logística
Reversa no Município de Tucuruí-PA**

Tucuruí - PA
2015

PABLO VIRGOLINO FREITAS

**REAPROVEITAMENTO DE PNEUMÁTICOS INSERVÍVEIS NA
CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA INDIVIDUAL DE TRATAMENTO
DE ESGOTO DOMÉSTICO: Contribuição para a Aplicação da Logística
Reversa no Município de Tucuruí-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil, na
Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Pará, Campus
Universitário de Tucuruí. Orientador: Profº.
M.Sc. Davi Edson Sales e Souza.
Co-orientador: Profº. M.Sc. Francisco das
Chagas de Oliveira Cacela Filho.

Tucuruí - PA
2015

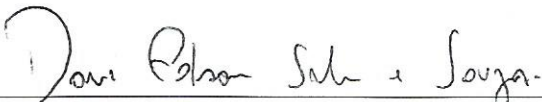
PABLO VIRGOLINO FREITAS

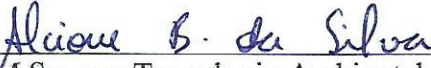
**REAPROVEITAMENTO DE PNEUMÁTICOS INSERVÍVEIS NA
CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA INDIVIDUAL DE TRATAMENTO
DE ESGOTO DOMÉSTICO: Contribuição para a Aplicação da Logística
Reversa no Município de Tucuruí-PA**

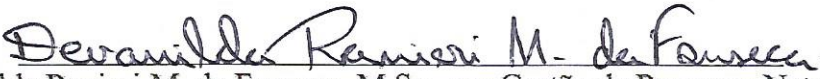
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil, na
Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal do Pará, Campus
Universitário de Tucuruí.

Tucuruí, 23 de Janeiro de 2015.

Aprovado por:


Davi Edson Sales e Souza, M.Sc. em Engenharia Civil (UFPA)
(Orientador)


Alcione Batista da Silva, M.Sc. em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (UFPA)
(Examinador Interno)


Devanilda Ranieri M. da Fonseca, M.Sc. em Gestão de Recursos Naturais e
Desenvolvimento Local na Amazônia (IFPA)
(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

Aos meus queridos pais, Benedito Afonso e Renildes, à minha amada Viviane, à minha irmã Pâmela e aos meus amigos. Dedico-lhes esse trabalho como fruto do grande apoio que vocês me ofereceram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois foi Ele quem me deu forças e graças para prosseguir e vencer.

Aos meus pais, Benedito Afonso da Silva Freitas e Renildes Virgolino Freitas, que sempre me apoiaram a seguir pelo melhor caminho e me ofereceram a ajuda que estava aos seus alcances para terminar esse trabalho.

A minha mulher, Viviane Nere Pimentel, que me apoiou e sofreu com a minha ausência durante a elaboração desse trabalho.

Ao meu amigo Marquese Macedo Lima pela sua imensa ajuda, companheirismo e solidariedade para com esse trabalho.

Ao professor Davi Edson Sales e Souza, que além de orientador foi um amigo que sempre me motivou e confiou em mim.

Ao senhor Bernardo Machado e a senhora Graciete Rodrigues pela paciência e ajuda durante a construção do sistema individual de tratamento esgoto, e por ceder o espaço para a implantação do mesmo.

A minha irmã, Pâmela Virgolino Freitas, e seu namorado, André Felipe Souza da Cruz, pelo apoio quando solicitei.

Ao meu co-orientador, Francisco das Chagas de Oliveira Cacula Filho, que me incentivou a trabalhar com o tema abordado e se fez presente o quanto pôde.

Ao DGIMP, nas pessoas do senhor Edilberto e do senhor Edinaldo, pela paciência e apoio durante as coletas dos pneumáticos.

RESUMO

Foi proposto estudo da viabilidade econômica da implantação de um sistema alternativo de tratamento individual de esgoto doméstico com dois tanques dispostos em série, antecedendo um filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente, cujos insumos utilizados para a construção da estrutura de contenção destes efluentes são pneumáticos inservíveis fixados uns aos outros com massa asfáltica, a fim de obter um conjunto estanque que obedeça às recomendações da NBR 7229/1993 (Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos) e a NBR 13969/1997 (Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação). A principal expectativa do uso de pneumáticos como insumo em obras de construção é a retirada dos mesmos do meio ambiente, desta forma, praticando o disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos quanto a resíduos de logística reversa e a proposta de insumos de baixo custo e fácil aquisição. Para tanto, o sistema foi implantado em residência no bairro mais populoso do município de Tucuruí, e que não apresentava sistema individual de tratamento de esgoto com o mínimo de critérios técnicos. Comparou-se os orçamentos para construção do sistema alternativo e do convencional, de alvenaria e blocos cerâmicos, prevalecendo a viabilidade econômica do sistema estruturado em pneumáticos com 9,9% de economia. Foi realizada projeção do quantitativo de pneumáticos retirados do meio ambiente caso esta tecnologia seja aceita por 100% das residências do bairro, obtendo-se um total de 55.903 pneumáticos retirados do meio ambiente.

Palavras-chave: tratamento individual de esgoto doméstico, tanque séptico de pneus inservíveis, logística reversa.

ABSTRACT

It was proposed study of the economic viability of implementing an alternative individual treatment system of domestic sewage with two tanks arranged in series preceding an anaerobic filter with fixed bed with upflow, whose raw material used for the construction of the containment structure of these effluents are unserviceable tires fitted together with asphaltic mass, in order to achieve a watertight set that meets the recommendations of the NBR 7229/1993 (Project, construction and operation of septic tank systems) and the NBR 13969/1997 (Septic tanks - Complementary treatment plants and final disposal of wastewater - Project, construction and operation). The main expectation of the use of tires as raw material in works building is its removing from the environment, thus practicing the provisions of the National Solid Waste Policy and reverse logistics waste, and the proposal of raw materials of low-cost and easy to purchase. Therefore, the system was deployed in a residence in the most populous neighborhood of the city of Tucuruí, and which hadn't individual treatment of sewage system with minimal technical criteria. Compared up the budgets for the construction of alternative and conventional too, made with masonry and ceramic blocks, systems, prevailing the economic viability of the system structured on tires with 9.9% savings. A projection of the tires quantitative removed from the environment was made in the case of this technology would be accepted by 100% of neighborhood homes, resulting in a total of 55903 tires.

Keywords: individual treatment of domestic sewage, septic tank of uncerviceable tires, reverse logistics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Lançamento de efluentes domésticos no Igarapé Santana no bairro Matinha	16
Esquema 1 – Constituição do esgoto sanitário	18
Figura 2 – Lançamento de esgotos na rede de drenagem de águas	20
Figura 3 – Sistema convencional de tratamento de esgotos	22
Figura 4 – Sistema de esgotamento sanitário	24
Figura 5 – Fossa seca	24
Figura 6 – Fossa seca estanque	25
Figura 7 – Fossa seca estanque de fermentação	25
Figura 8 – Tanque séptico com valas de infiltração como unidade complementar e disposição no solo	26
Figura 9 – Sequência de processos da digestão anaeróbia	28
Figura 10 – Tanque séptico de câmaras sobrepostas	33
Figura 11 – Funcionamento geral de um tanque séptico	34
Figura 12 – Tanque séptico pré-moldado	34
Figura 13 – Execução da alvenaria do tanque séptico	37
Figura 14 – Tanque séptico prismático de câmara única	37
Figura 15 – Tanque séptico de pneus inservíveis	39
Figura 16 – Tanque séptico de pneus inservíveis	39
Figura 17 – Estrutura de um pneu de passeio	41
Figura 18 – Estrutura de um pneu de carga	41
Figura 19 – Processo industrial de fabricação de emulsão asfáltica	43
Figura 20 – Uso da massa asfáltica para aderência dos pneus	45
Figura 21 – Tanque séptico cilíndrico de câmara tripla	48
Figura 22 – Tanque séptico seguido de filtro anaeróbio de pré-moldado	50

Figura 23 – FAN de leito fixo com fluxo ascendente	52
Figura 24 – FAN de pneus inservíveis	54
Figura 25 – Sumidouro de blocos cerâmicos	56
Figura 26 – Acúmulo de pneumáticos em borracharia em Tucuruí/PA	57
Figura 27 – Local de queima de pneumáticos no lixão de Tucuruí/PA	58
Figura 28 – Posição do local de implantação do sistema	60
Figura 29 – Residência onde o sistema foi implantado	60
Figura 30 – Fossa encontrada na residência	61
Figura 31 – Tanque séptico de unidades em série	63
Figura 32 – FAN de pneumáticos inservíveis	64
Figura 33 – Cava preparada para implantação do sistema	64
Figura 34 – Espaço utilizado do quintal	65
Figura 35 – Preparo de radier em diferentes cotas	65
Figura 36 – Escavação das cotas para as unidades do sistema	65
Figura 37 – “Espera” de pneumático	65
Figura 38 – Fixação do pneumático no radier sobre a armadura	65
Figura 39 – Preparo da massa asfáltica	65
Figura 40 – Massa asfáltica	65
Figura 41 – Disposição de água no tanque	66
Figura 42 – Desagregação nas juntas entre os pneumáticos	66
Figura 43 – Ruptura da massa asfáltica	66
Figura 44 – Reparos nas juntas dos tanques	66
Figura 45 – Base para o concreto com furos	67
Figura 46 – Colocação da armadura	67
Figura 47 – Lançamento do concreto	67

Figura 48 – Concreto não hidratado	67
Figura 49 – Disposição dos pneumáticos sobre o fundo falso	67
Figura 50 – FAN de pneumáticos inservíveis (corte)	68
Figura 51 – Leito filtrante do FAN	68
Figura 52 – Disposição das tubulações nas unidades	68
Figura 53 – Tanque intermediário	69
Figura 54 – Tanque de entrada de efluentes	69
Figura 55 – Disposição das unidades com as tubulações	69
Figura 56 – Unidades aterradas	69
Figura 57 – Medidas de blocos cerâmicos e argamassa	71
Figura 58 – Distribuidora HC Pneus	71
Figura 59 – Borracharia Itapemirim	71
Figura 60 – Borracharia Fort-Ar	72
Figura 61 – Transporte de pneumáticos	72
Figura 62 – Armazenamento dos pneumáticos	72
Figura 63 – Local de queima dos pneumáticos no lixão municipal	72
Figura 64 – Medidas de blocos cerâmicos e argamassa	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – A vida aquática	21
Tabela 2 – Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %)	29
Tabela 3 – Valores comuns para DBO do efluente e de remoção em sistemas anaeróbios	31
Tabela 4 – Classificação da emulsão asfáltica de acordo com a ruptura e o tipo de agente emulsificante	43
Tabela 5 – Classificação das emulsões asfálticas de acordo com a % de CAP	44
Quadro 1 – Ensaio realizados com diferentes tipos de emulsão asfáltica	45
Tabela 6 – Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante em litros	46
Tabela 7 – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária	46
Tabela 8 – Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio	47
Tabela 9 – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil	49
Tabela 10 – Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em dias)	53
Tabela 11 – Conversão de valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial	56
Tabela 12 – Relação de materiais para a implantação do sistema com pneumáticos inservíveis	76
Tabela 13 – Relação de materiais para a implantação de um sistema em alvenaria	78
Tabela 14 – Comparação orçamentária entre os sistemas	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a/c	Água/Cimento
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental
CAP	Concreto Asfáltico de Petróleo
CONAMA	Conselho Nacional Do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAN	Filtro Anaeróbio
FS	Fossa Séptica
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
TS	Tanque Séptico
UHE	Usina Hidroelétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	JUSTIFICATIVA	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO	18
2.1.1	Esgoto Industrial	19
2.1.2	Águas de Infiltração	19
2.1.3	Esgoto Doméstico	19
2.2	TRATAMENTO DE ESGOTO	22
2.2.1	Sistema Coletivo de Tratamento de Esgoto	23
2.2.2	Sistema Individual de Tratamento de Esgoto	24
2.2.3	Digestão Anaeróbia	26
2.2.4	Efluentes	29
2.2.5	Disposição no Solo	31
2.3	UNIDADES DO SISTEMA INDIVIDUAL	32
2.3.1	Tanque Séptico	32
2.3.2	Características e Dimensionamento de um TS	35
2.3.3	Aspectos construtivos	36
2.3.3.1	<i>Tanque séptico convencional</i>	36
2.3.3.2	<i>Tanque séptico de pneumáticos inservíveis</i>	38
2.3.4	Dimensionamento de Tanques Sépticos	45
2.3.5	Filtro Anaeróbio (FAN)	50
2.3.6	Características e Dimensionamento de um Filtro Anaeróbio	51
2.3.6.1	<i>FAN convencional</i>	51
2.3.6.2	<i>FAN de pneumáticos inservíveis</i>	54
2.3.7	Sumidouros	55
2.3.7.1	<i>Considerações e Dimensionamento</i>	55
2.4	LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUMÁTICOS	57
2.4.1	Ciclo de Vida do Produto	58
3	METODOLOGIA	60
3.1	ÁREA DE ESTUDO	60
3.2	ETAPAS DA PESQUISA	61
4	RESULTADOS	71
4.1	ETAPA 1: COLETA DE PNEUMÁTICOS	71
4.2	ETAPA 2: SELEÇÃO DO LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	72
4.3	ETAPA 3: IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA	73
4.4	ETAPA 4: VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA E VANTAGENS DA APLICAÇÃO DO PROCESSO DE LOGÍSTICA REVERSA	74
4.4.1	Orçamento Comparativo	74

5	CONCLUSÕES	79
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores dificuldades enfrentadas no Brasil é a precariedade nos serviços de saneamento, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, o que provoca o aumento no número de doenças relacionadas a esses serviços, reduzindo a expectativa de vida da população e gerando o aumento nos custos de investimentos em serviços de saúde, uma vez que estes poderiam ser reduzidos realizando investimentos nos serviços básicos de saneamento. Segundo o Ministério da Saúde para cada real investido setor de saneamento, economiza-se quatro reais na área de medicina curativa (FUNASA, 2006)

Os serviços de esgotamento sanitário são os que possuem menor cobertura nos municípios brasileiros (IBGE, 2010). Dentro deste contexto, no município de Tucuruí foram elaborados o plano municipal de abastecimento de água e esgotamento sanitário (TUCURUI, 2014), e o plano municipal de gerenciamento integrado de resíduos sólidos (TUCURUI, 2013), com o objetivo de criar diretrizes para a melhoria desses serviços no município.

Atualmente, o município é desprovido de um sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, com exceção a vila residencial da Eletrobrás Eletronorte, que representa 9% da população municipal, segundo informações do Plano Municipal de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (2014).

É importante ressaltar a precariedade dos sistemas individuais de tratamento de esgoto utilizados pela população, que no município são compostos, em sua maioria, por fossas fora das especificações técnicas, fossas secas ou fossas negras¹.

Além da ausência de sistema individual de tratamento de esgoto, outro serviço de saneamento que merece destaque é a disposição final dos resíduos sólidos urbanos, defendida e especificada na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010).

O município de Tucuruí, assim como a maioria das cidades brasileiras, não apresenta aterro sanitário, muito menos critérios técnicos de como lidar com o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Logo, um dos critérios que merece atenção, é o processo de logística reversa, onde os distribuidores, os revendedores, os destinadores, os consumidores finais de pneus e o Poder Público em articulação com os fabricantes e importadores, devem adotar procedimentos para a coleta dos pneumáticos inservíveis existentes no País e promover uma destinação ambientalmente correta.

¹ Quando há contato direto dos dejetos *in natura* com o lençol freático, ou outros corpos d'água.

Neste contexto, merece destaque no município de Tucuruí o crescimento da frota de veículos automotores (DENATRAN, 2014), gerando aumento no consumo de pneumáticos, contribuindo para a geração de resíduos sólidos urbanos do município e criando condições de desconforto, uma vez que estes não possuem condições ambientalmente corretas de destino final.

Portanto, é neste cenário deficitário que o objetivo deste trabalho é sanar a problemática do tratamento individual de esgoto doméstico, aliada a utilização de pneumáticos inservíveis, ou seja, construir um sistema alternativo com pneumáticos que não passaram pelo processo de logística reversa e encontram-se abandonados em borracharia da cidade de Tucuruí.

Essa expectativa visa aperfeiçoar o gerenciamento de resíduos sólidos, uma vez que o descarte inadequado destes contribui para a proliferação de vetores e poluição atmosférica, devido sua queima, além de adequar, tecnicamente, o tratamento individual de esgoto doméstico utilizado no município.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Implantar um sistema individual de tratamento de esgoto doméstico, utilizando pneumáticos inservíveis, visando à substituição de estruturas convencionais em alvenaria e estimular o processo de logística reversa.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Criar uma ferramenta de auxílio para a logística reversa em Tucuruí.
- Reaproveitar resíduos sólidos na construção civil.
- Construir um sistema de tratamento de esgoto alternativo mais econômico.
- Propor uma nova forma alternativa de destino final para os rejeitos domésticos de moradores da zona rural e de localidades desprovidas de sistema coletivo de esgotamento sanitário.
- Avaliar a viabilidade econômica do sistema alternativo.
- Avaliar a viabilidade ambiental do sistema alternativo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O município de Tucuruí é desprovido de um sistema coletivo de tratamento de esgoto, possuindo muitas unidades de tratamento unifamiliar que causam impacto negativos ao meio ambiente, assim como não há muitas formas de destinar de forma ambientalmente correta os pneumáticos inservíveis gerados no município de Tucuruí, salvo para a vila residencial da Eletrobras Eletronorte que possui seu próprio sistema de tratamento de esgoto, beneficiando apenas 9% da demanda de munícipes.

Segundo o Plano Municipal de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Tucuruí (2014), 9% da malha urbana do município é atendida com coleta de esgoto. Todavia, essa porcentagem representa apenas a área que pertence à vila residencial da Eletrobrás Eletronorte, ou seja, a parcela da população que não reside nesta vila não possui acesso a esse sistema.

Nas áreas desprovidas de esgotamento sanitário a população constrói sistemas em desacordo com as especificações técnicas recomendada pelas normas, ou mesmo, usa corpos hídricos como destino final de seus rejeitos sem um pré-tratamento conforme Figura 1. Esses fatores acarretam uma série de riscos à saúde pública.

Assim, neste trabalho buscou-se uma forma de reaproveitamento dos pneumáticos inservíveis em um conjunto menos oneroso de tratamento de esgoto individual e que realize esse processo de acordo com as normas vigentes, para que a população esteja menos propensa à doenças.



Figura 1 – Lançamento de efluentes domésticos no Igarapé Santana no bairro Matinha.

No município de Tucuruí a água para abastecimento é captada em lagos, lagoas e igarapés, como o igarapé Santana que corta o centro do município. Porém, a distribuição de água é intermitente, atendendo os bairros por horários distintos, apesar de a rede de distribuição de água contemplar 96% da população segundo o Plano

municipal de abastecimento de água e esgotamento sanitário (2014), fato que leva a população captar água de abastecimento em poços freáticos ou nos igarapés. Devido a falta de um sistema coletivo de esgotamento sanitário municipal há o risco de contaminação da água dos corpos hídricos por esgoto advindos das habitações, já que as normas para sistemas individuais de tratamento de esgoto não são atendidas na construção desse tipo de sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

O esgoto sanitário é toda água residuária composta de esgoto doméstico, despejo industrial e água de infiltração, de acordo com o Esquema 1, onde, segundo a NBR 7229/1993, água residuária é todo líquido que contém resíduos de atividade humana.



Esquema 1 – Constituição do esgoto sanitário.

Em média, a composição do esgoto sanitário é de 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, sendo que cerca de 75% desses sólidos são constituídos de matéria orgânica em decomposição (NUVOLARI et al., 2011). Considerando que os esgotos domésticos encontram-se como parte constituinte do esgoto sanitário, sua composição é basicamente a mesma.

As contribuições de esgotos dependem de fatores como a região atendida, atividades desenvolvidas, atividades industriais, hábitos de higiene, nível socioeconômico, nível de cultura, entre outros, destacando que essa produção está condicionada a disponibilidade de água oferecida a população atendida.

Das características físicas, o teor de matéria sólida é o de maior importância, em termos de dimensionamento e controle de operações das unidades de tratamento. A remoção da matéria sólida é fonte de uma série de operações unitárias de tratamento, ainda que represente apenas cerca de 0,08% dos esgotos. (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

No esgoto sanitário bruto encontram-se quantidades de nitrogênio total da ordem de 40 mg/l e fósforo total da ordem de 10 mg/l (ANDRADE NETO, 1997). Estes nutrientes são os principais responsáveis pela proliferação de algas em corpos

hídricos e redução do oxigênio dissolvido, devido o lançamento de esgotos não tratados, esse fator ocasiona a eutrofização do corpo receptor.

2.1.1 Esgoto Industrial

É todo despejo líquido resultante de processos industriais, caso respeitados os padrões de lançamento estabelecidos (NBR 9648/1986). Este, geralmente se origina nas áreas de processamento, possuindo natureza orgânica ou inorgânica.

Como compostos de natureza orgânica podem ser citados os hidrocarbonetos, ácidos e sais orgânicos, álcoois, aldeídos e cetonas, éteres, compostos nitrogenados, entre outros. Por sua vez, os poluentes químicos de natureza inorgânica podem ser subdivididos em metálicos e não-metálicos.

2.1.2 Águas de Infiltração

É toda água proveniente do subsolo ou de chuva indesejável ao sistema de tratamento, seja como infiltração no sistema separador das redes de coleta de esgoto, seja por infiltração nas unidades de tratamento individual.

2.1.3 Esgoto Doméstico

Conforme NBR 7229/1993 esgoto doméstico é a água residuária de atividade higiênica e/ou limpeza, composto principalmente de água, porém com uma concentração de nutrientes superior às águas naturais.

Dependendo de sua concentração, o esgoto doméstico bruto contém de 99,53% a 99,87% de água e apenas 0,13% a 0,47% de constituintes suspensos e dissolvidos em sua massa líquida (LEME, 2010), contribuindo com o aumento na concentração de microrganismos patogênicos presentes nos sólidos, que compõem os esgotos domésticos. Dependendo da população que originou os esgotos a variedade de microrganismos é diversificada.

Segundo Souza e Andrade (2007 apud BRANCO, 1986), em geral o esgoto é separado em duas partes: uma sedimentável, que constitui o lodo de esgoto, tratado anaerobicamente em digestores, outra líquida contendo matéria orgânica solúvel e partículas de pequenas dimensões [...], a qual é tratada aerobicamente.

Sendo assim, tem-se que esgoto doméstico é toda água advinda de domicílios utilizada para higienização dos que o habitam, seja por meio de limpeza de bens como para encaminhamento de seus dejetos, que devido a inexistência de sistemas de esgotamento sanitário é encaminhado para sistemas de drenagem de águas pluviais (Figura 2), sendo armazenado em tanques sépticos fora dos padrões técnicos.



Figura 2 – Lançamento de esgotos na rede de drenagem.

As características dos esgotos que mais afetam as populações desprovidas de sistemas de tratamento são, principalmente, as biológicas, possuindo como principais componentes os coliformes fecais, coliformes totais e agentes patogênicos interferindo diretamente nas condições de saúde. A ocorrência de enchentes durante os períodos de chuva em determinadas regiões agrava ainda mais as condições de insalubridade.

As inundações, quando associadas ao lançamento de esgoto não tratado em rios e a disposição inadequada do lixo, podem causar sérios problemas sanitários e de saúde pública, e contribuir para disseminar doenças de veiculação hídrica, aumentando a incidência de leptospirose, de hepatites virais, de diarreias e outras. (IBGE, 2011).

Segundo o IBGE (2011) cerca de 30,5% do total dos municípios lançam esgotos não tratados em corpos superficiais e utilizam estes corpos receptores para vários usos a jusante, desde o abastecimento de água à recreação. Entre estes municípios, 23% lançam o esgoto não tratado nos corpos hídricos e os utilizam à jusante para a

irrigação, e 16% os usam para o abastecimento humano, o que encarece o tratamento de água para abastecimento, devida necessidade de maior eficiência para retirada dos poluentes e agentes patogênicos.

Neste cenário, deve-se utilizar de parâmetros que possam identificar a quantidade de matéria orgânica e/ou agentes patogênicos presentes nos esgotos domésticos, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Oxigênio Dissolvido (OD), coliformes e Escherichia Coli (E. Coli), estabelecendo, assim, valores aceitáveis de determinadas concentrações de componentes dos efluentes para que os mesmos venham a ser lançados em um corpo receptor.

A quantidade de matéria orgânica presente nos esgotos pode ser identificada indiretamente pela determinação em laboratório da DBO, ou seja, da quantidade de oxigênio necessária para oxidar ou queimar a matéria orgânica dos esgotos (ANDRADE, 2006), sendo esta a forma mais utilizada, uma vez que a quantidade de oxigênio consumida nas reações de oxidação da matéria orgânica é proporcional a quantidade de impurezas.

Dentro do conceito de DBO tem-se diferentes parcelas desta que se utilizam para a determinação do grau poluidor de um efluente doméstico, a mais utilizada é a DBO_{5,20}, que é a DBO de cinco dias à 20°C, ou seja, é a “quantidade de oxigênio consumido para estabilizar bioquimicamente o material orgânico biodegradável contido no esgoto, sob condição aeróbia, no teste de incubação durante cinco dias, a 20°C” (ABNT, 1997).

Por sua vez, a DQO é a quantidade de oxigênio consumida para a oxidação química da mesma. Como exemplo, a Tabela 1 relaciona as condições de poluição de um rio pela quantidade de matéria orgânica lançada presente em esgotos domésticos com as condições de vida aquática.

Tabela 1 – A vida aquática.

Condição do rio	DBO5 20°, mg/l	Aspecto Estético	OD % saturação	Vida peixes
Muito limpo	1	Bom	80%	Vida aquática
Limpo	2	Bom	80%	Vida aquática
Relat. limpo	3	Bom	80%	Vida aquática
Duvidoso	5	Turvo	50%	Só os mais resistentes
Pobre	7,5	Turvo	50%	Só os mais resistentes
Mau	10	Mau	Quase nulo	Difícil
Péssimo	20	Mau	Quase nulo	Difícil

Fonte: JORDÃO e PESSÔA, 2011.

2.2 TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento de esgotos é desenvolvido, essencialmente, por processos biológicos, associados às operações físicas de concentração e separação de sólidos (PIVELI, 2006).

A fim de se evitar o lançamento dos efluentes domésticos ricos em matéria orgânica e microrganismos no meio ambiente, faz-se necessária a depuração do mesmo por meio de processos de tratamento biológico aeróbio ou anaeróbio, onde há, respectivamente, a presença de oxigênio para a oxidação dos compostos ou ausência do mesmo.

Dependendo das características dos esgotos, o tratamento pode abranger diferentes níveis denominados tecnicamente de primário, secundário ou terciário, proporcionando, de acordo com o nível de tratamento, um grau de tratamento superior. A Figura 3 apresenta um esquema de uma estação com sistema convencional de tratamento de esgotos domésticos.

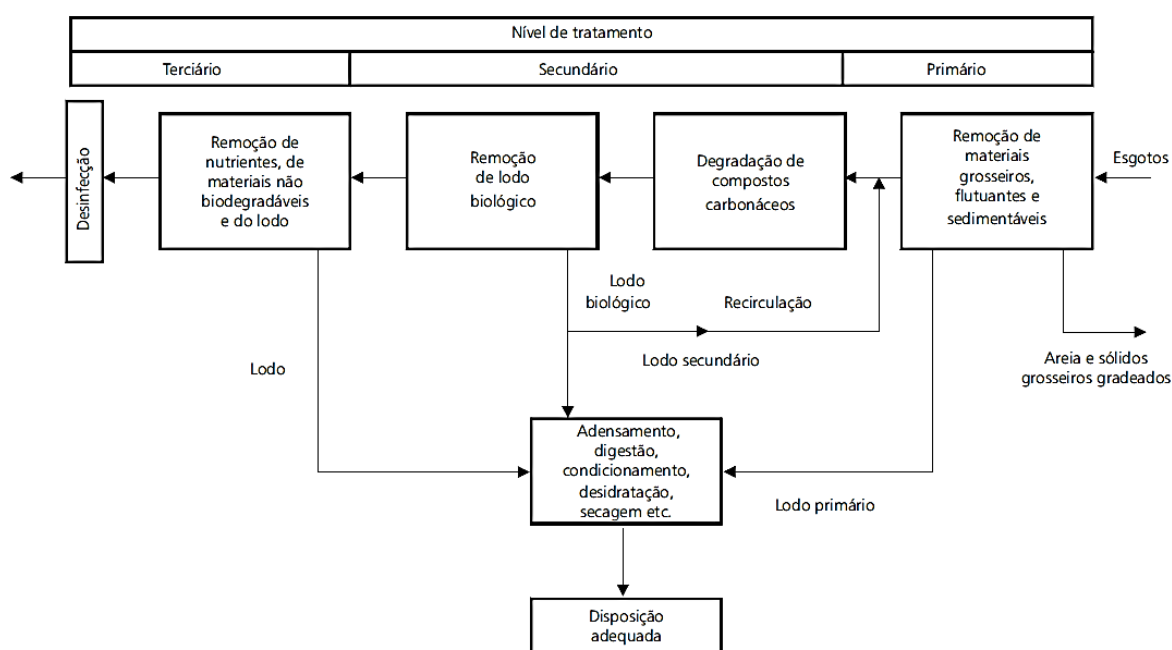


Figura 3 – Sistema convencional de tratamento de esgotos. Fonte: CAMPOS et al., 1999.

Apesar da eficiência dos sistemas convencionais, deve-se ressaltar as vantagens de adotar soluções funcionalmente simples, com alta relação custo/benefício diante das condições ambientais, culturais e econômicas de certas localidades, como municípios do interior, tendo em vista que essas soluções são as que utilizam os processos mais naturais e os reatores mais baratos e mais fáceis de serem construídos e operados.

O tratamento de esgotos domésticos pode ser realizado de forma coletiva (tratamento dos efluentes coletados por redes ligadas a várias residências) ou de forma individual (tratamento simplificado realizado na própria residência).

2.2.1 Sistema Coletivo de Tratamento de Esgoto

É o sistema adotado geralmente em cidades de grande e médio porte devido o grande crescimento populacional e a redução do espaço livre no nível do terreno para implantação de sistemas que requeiram espaço.

É composto por unidades de coleta, elevação e tratamento, podendo ser dividido em: sistema unitário e sistema separador.

- Sistema unitário: é a coleta do conjunto formado pelas águas de precipitação, esgotos domésticos e industriais em um único coletor, o que implica em um sistema mais oneroso devido as maiores dimensões das tubulações e capacidade para grandes vazões que as estações de tratamento devem possuir.
- Sistema separador: coleta dos esgotos doméstico e industrial, sem intervenção de águas pluviais. Devido a exclusão das águas pluviais o sistema se torna menos dispendioso, tanto para implantação quanto para a manutenção.
- Sistema misto: coleta dos esgotos industrial e doméstico parcialmente com as águas pluviais.

No sistema de esgotamento sanitário coletivo o esgoto é coletado por tubulações que formam uma malha urbana e encaminham o mesmo por gravidade até a estação de tratamento de esgoto (ETE), conforme Figura 4, quando a declividade favorece o transporte. Em regiões caracterizadas por aclives e declives faz-se necessária implantação de estações elevatórias para levar o esgoto à ETE.

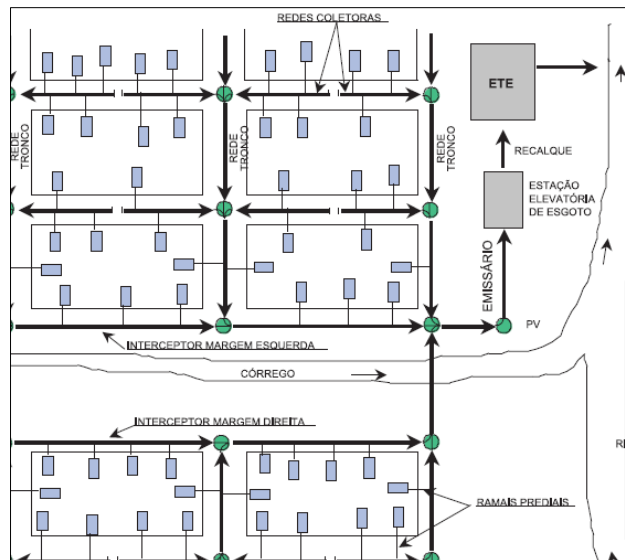


Figura 4 – Sistema de esgotamento sanitário. Fonte: FUNASA, 2006.

2.2.2 Sistema Individual de Tratamento de Esgoto

Os sistemas individuais de tratamento de esgoto são direcionados para o atendimento domiciliar, sendo estes mais utilizados em áreas desprovidas de tratamento coletivo e objetivando pequenas contribuições.

Desta forma, um sistema individual de tratamento de esgoto doméstico pode ser encontrado das seguintes formas (FUNASA, 2006):

- Fossa seca: fossa escavada no solo sob um abrigo, onde o buraco escavado não possui revestimento interno que impeça o contato direto das excretas com o solo conforme Figura 5. O material depositado dentro da fossa seca não é direcionado para outra unidade de tratamento ocasionando a decomposição do material por processo anaeróbio.

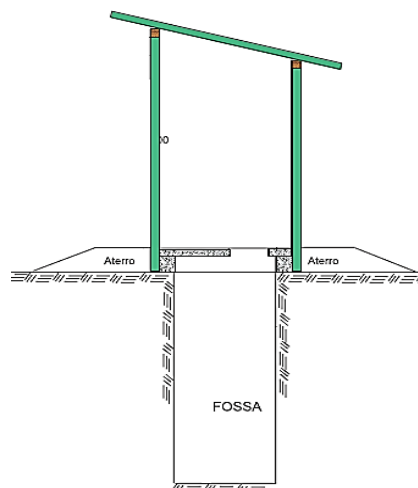


Figura 5 – Fossa seca. Fonte: FUNASA, 2006.

- Fossa seca estanque: semelhante à fossa seca, esta consta de uma de um tanque onde serão depositadas as excretas, sendo normalmente implantada em locais de baixo nível do lençol freático, como ilustrado na Figura 6.

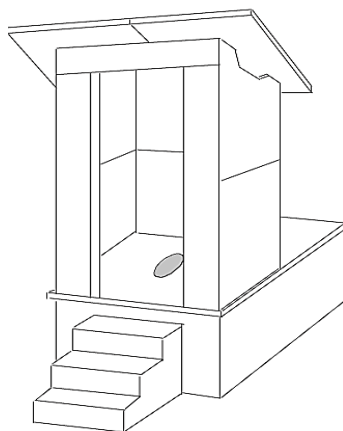


Figura 6 – Fossa seca estanque. Fonte: FUNASA, 2006.

- Fossa seca estanque de fermentação: similar à fossa estanque, porém há a presença de duas câmaras contíguas e independentes para a deposição dos excrementos onde cada câmara tem a finalidade de realizar a fermentação do material depositado enquanto a outra permanece em funcionamento, assim ambas funcionam alternadamente, como ilustrado na Figura 7.

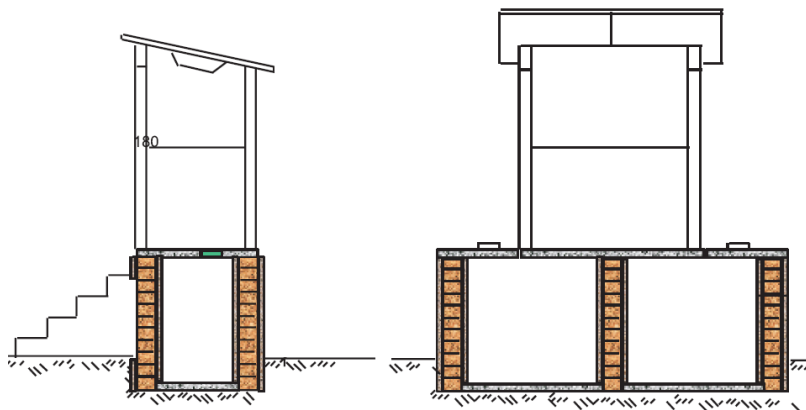


Figura 7 – Fossa seca estanque de fermentação. Fonte: FUNASA, 2006.

- Sistema de Tanque Séptico: sistema composto por um tanque fechado seguido de unidades complementares com disposição final no solo; possui eficiência de tratamento superior aos demais sistemas individuais de tratamento. Este sistema será tratado com maiores detalhes no decorrer deste trabalho.

As alternativas para o tratamento domiciliar dos esgotos funcionam, prioritariamente, por meio de processos anaeróbios, ou seja, ocorrem em ambientes sem a presença de oxigênio, requerendo sistemas menores do que os aeróbios, reduzindo

custos de implantação e manutenção, tornando-se o mais indicado para a implantação em sistemas domiciliares.

A pequena formação de biomassa do processo anaeróbio em relação ao aeróbio é uma das grandes vantagens atribuídas ao uso das bactérias que proliferam em ambiente anaeróbio pelo tratamento de efluentes, pois o custo e as dificuldades para tratamento, transporte e disposição final dos lodos biológicos são bastante reduzidos. Geralmente o volume de lodo no processo anaeróbio é menor que 30% do volume produzido pelo processo aeróbio, para um mesmo afluente líquido. (CAMPOS et al., 1999).

Atualmente, no Brasil existem diversas tecnologias de tratamento anaeróbio que podem ser aplicados desde pequenos aglomerados humanos, como residências, à populações relativamente maiores, sendo eles: os tanques sépticos (decanto-digestores), filtros anaeróbios, lagoas de estabilização, reatores de manta de lodo e formas de disposição dos efluentes no solo, como pode ser observado na Figura 8.

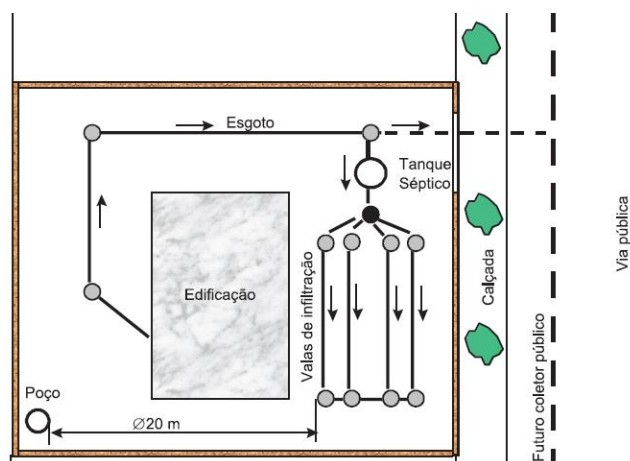


Figura 8 – Tanque séptico com valas de infiltração como unidade complementar e disposição no solo. Fonte: FUNASA, 2006.

2.2.3 Digestão Anaeróbia

O conceito de digestão anaeróbia trata de um processo bioquímico complexo, composto por várias reações sequenciais, cada uma com sua população bacteriana específica (ERCOLE, 2003), possuindo como principal finalidade a conversão da matéria orgânica de estrutura mais complexa em compostos inorgânicos mais simples como água, gás metano, gás carbônico, amônia entre outros.

Outros autores definem como um processo biológico conduzido por uma associação de diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular,

promovendo a transformação de compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em produtos mais simples como gás metano e carbônico.

A digestão anaeróbia se inicia no tanque séptico com a retenção de sólidos sedimentáveis e seu posterior tratamento por digestão anaeróbia para a formação do lodo de onde, por conseguinte, a parcela líquida com sólidos dissolvidos é encaminhada para a próxima etapa do tratamento.

Para que haja maior eficiência no tratamento dos efluentes domésticos por meio do processo anaeróbio, faz-se necessária a presença de colônias de microrganismos nos substratos dos filtros subsequentes aos tanques sépticos, assim ao passar pelos microfilmes aderidos no meio filtrante, a água residuária sofrerá uma série de processos fermentativos de decomposição da matéria orgânica remanescente dos tanques sépticos.

Segundo Campos et al. (1999), para a digestão anaeróbia [...] podem-se distinguir quatro etapas diferentes no processo global da conversão.

I. Hidrólise

O primeiro passo na digestão anaeróbia é a hidrólise dos polímeros de cadeia longa que é feita pelas bactérias hidrolíticas. Os principais compostos a serem hidrolisados são a celulose, as proteínas e os lipídios (JÚNIOR, 2005).

As proteínas são degradadas por meio de peptídeos para formar aminoácidos. Os carboidratos se transformam em açúcares solúveis e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia carbônica longa e glicerina (CAMPOS et al., 1999).

A partida dos processos anaeróbios tende a ser mais lentas em relação aos da digestão aeróbia haja vista a necessidade de colônias de microrganismos fermentadores da matéria orgânica para a formação do lodo, logo, deve-se utilizar de métodos para acelerar a mesma; para tanto, pode-se utilizar de fezes de animais como bovinos ou suínos.

II. Acidogênese

Os compostos gerados na hidrólise são absorvidos nas células das bactérias fermentativas e, após a acidogênese, excretadas como substâncias orgânicas simples

como ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGV), álcoois lácticos e compostos minerais [...] (CAMPOS et al., 1999).

As vias bioquímicas pelos quais o substrato é fermentado, e a natureza do produto (tipo de ácido volátil produzido) dependerão, principalmente, do tipo de substrato e da pressão parcial de hidrogênio (JÚNIOR, 2005).

A Figura 9 apresenta a sequência de processos que ocorrem durante a digestão anaeróbia de macromoléculas complexas, onde os valores indicados correspondem às porcentagens de DQO.

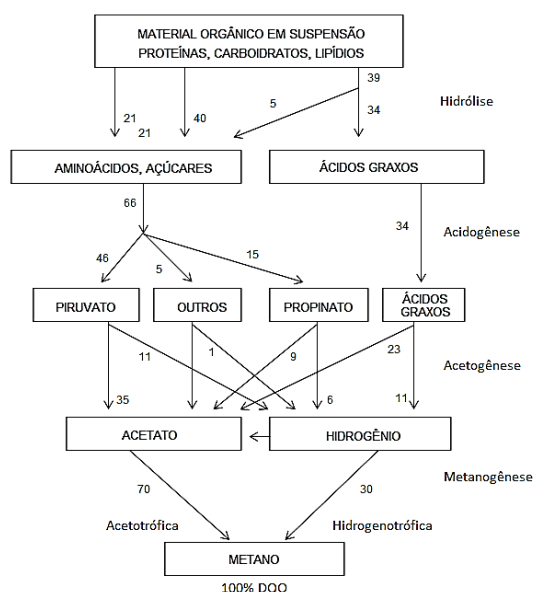


Figura 9 – Sequência de processos da digestão anaeróbia. Fonte: CAMPOS et al., 1999.

III. Acetogênese

Bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio são capazes de converter ácidos graxos com mais de dois carbonos a ácidos acéticos, CO₂, H₂ que são os substratos para as bactérias metanogênicas (JÚNIOR, 2005).

Conforme Campos et al. (1999), aproximadamente 70% da DQO digerida é convertida em ácido acético, enquanto o restante da DQO é concentrado no hidrogênio formado.

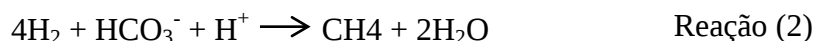
IV. Metanogênese

É a etapa final de degradação da matéria orgânica das águas residuárias, produzindo o metano como produto final da digestão anaeróbia. De acordo com Campos et al. (1999) o processo ocorre segundo as seguintes reações catabólicas:

- Metanogênese acetotrófica ou acetoclástica:



- Metanogênese hidrogenotrófica:



Observa-se que o metano pode ser produzido tanto pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético (reação 1), quanto pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução de dióxido de carbono (reação 2).

A formação de metano como produto final do processo depende da existência de populações com funções distintas, e em proporções tais que permitam a manutenção do fluxo de substratos e energia sob controle (JÚNIOR, 2005).

2.2.4 Efluentes

Após o tratamento das águas residuárias, os efluentes dos processos de tratamento devem ser encaminhados a um corpo receptor, logo, os efluentes líquidos devem estar de acordo com os valores preponderados na legislação ambiental e os padrões técnicos.

A Norma Brasileira 13969/1997 estabelece faixas de remoção dos poluentes dos esgotos para diversas formas de pós-tratamento em tanques sépticos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Faixas prováveis de remoção dos poluentes, conforme o tipo de tratamento, consideradas em conjunto com o tanque séptico (em %).

Parâmetro	Processo Filtro anaeróbio submerso	Filtro aeróbio	Filtro de areia	Vala de filtração	LAB	Lagoa com plantas
DBO ₅ ,20	40 a 75	60 a 95	50 a 85	50 a 80	70 a 95	70 a 90
DQO	40 a 70	50 a 80	40 a 75	40 a 75	60 a 90	70 a 85
SNF	60 a 90	80 a 95	70 a 95	70 a 95	80 a 95	70 a 95
Sólidos sedimentáveis	70 ou mais	90 ou mais	100	100	90 a 100	100
Nitrogênio amoniacal	-	30 a 80	50 a 80	50 a 80	60 a 90	70 a 90
Nitrato	-	30 a 70	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 80
Fosfato	20 a 50	30 a 70	30 a 70	30 a 70	50 a 90	70 a 90
Coliformes fecais	-	-	99 ou mais	99,5 ou mais	-	-

Fonte: ABNT, NBR 13969 (1997).

Para o lançamento dos efluentes tratados, a concentração de poluentes nos corpos receptores não deverá ultrapassar os seguintes valores, segundo Campos et al. (1999).

- $DBO \leq 5 \text{ mg/l}$.
- $OD \geq 5 \text{ mg/l}$.
- Nitrogênio amoniacal $\leq 0,5 \text{ mg/l}$.
- Fósforo $\leq 0,025 \text{ mg P/l}$.

Os padrões de substâncias presentes em corpos d'água e seu uso, assim como os padrões de lançamento de efluentes de esgotos tratados são estabelecidos pelas legislações vigentes. As razões de concentração de poluentes são estabelecidas pela Resolução CONAMA 430/2011 para os seguintes parâmetros:

- pH entre 5 e 9.
- Temperatura: inferior a 40°C , sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- Materiais sedimentáveis: até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C : máximo de 120 mg/L , sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
- Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L ; e
- Ausência de materiais flutuantes.

Os filtros anaeróbios somente terão efluente com sólidos sedimentáveis ultrapassando 1ml/l , após períodos de operação superiores a 4 a 6 meses, caso não seja feita a 'limpeza' do filtro e do fundo falso [...] (CAMPOS et al., 1999). Quanto à DBO,

pode-se observar na Tabela 3 faixas de remoção de DBO de acordo os diferentes sistemas de tratamento.

Tabela 3 – Valores comuns para DBO do efluente e de remoção em sistemas anaeróbios.

Sistema Anaeróbio	DBO do efluente (mg/l)	Remoção de DBO (%)
Lagoa anaeróbia	70 - 160	40 - 70
Reator UASB	60 - 100	55 - 75
Fossa séptica	80 - 150	35 - 60
Tanque Imhoff	80 - 150	36 - 60
Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio	40 - 60	75 - 85
Reator compartimentado	70 - 160	40 - 65
Reator de leito expandido	60 - 100	60 - 75

Fonte: CAMPOS et al., 1999.

Os filtros anaeróbios são normalmente utilizados como unidades complementares de tanques sépticos, sendo hoje limitados às pequenas populações. Devido este fator e os atuais parâmetros de dimensionamento, que resultam em unidades relativamente grandes limitando o seu uso a apenas pequenas populações.

Campos et al. (1999 apud BRAILE e CAVALCANTI, 1979) reporta que, após tratamento adequado, os efluentes podem ter os seguintes reusos intencionais:

- Como água não potável municipal, de emprego não nobre.
- Como água para abastecimento público.
- Como água para piscicultura
- Como água para aplicação no solo.
- Como água para utilização em finalidades secundárias.

2.2.5 Disposição no Solo

É uma das formas mais antigas e simples de disposição final dos esgotos domésticos, onde parte do despejo que infiltra no terreno sofre tratamento no interior do solo devido este se comportar como camada filtrante, possibilitando as ações de absorção e as atividades dos microrganismos, os quais usam a matéria orgânica contida nos despejos como alimento convertendo-a em nutrientes que fica a disposição da vegetação.

Apesar da capacidade de tratamento do solo deve-se considerar que os efluentes tratados contêm alguns produtos que requerem um tempo maior para estabilização, assim como microrganismos patogênicos. Para tanto, para a determinação

do local adequado para a disposição final desses efluentes deve-se considerar a presença de corpos hídricos, superficiais e/ou subterrâneos, haja vista a captação de água para abastecimento humano e criação de animais para abate.

Logo, para escolha do método de disposição no solo mais adequado deve-se levar em consideração a natureza e utilização do solo, a profundidade do lençol freático, a permeabilidade do solo, presença de pontos de coleta de água e volume e taxa de renovação das águas de superfície.

2.3 UNIDADES DO SISTEMA INDIVIDUAL

2.3.1 Tanque Séptico

Para atender a sistemas individuais, tais como residências ou condomínios isolados, há a opção de utilizar fossas sépticas FS, também chamadas de decanto-digestores (NUVOLARI et al., 2011).

O decanto-digestor não apresenta alta eficiência, mas produz efluente de qualidade razoável, que pode, no entanto, ser mais facilmente encaminhado para um pós-tratamento complementar, possuindo operação muito simples e baixo custo (CAMPOS et al., 1999).

O decanto-digestor foi criado em 1872, na França, por Jean Louiz Mouras consistindo em um tanque hermético com entrada e saída para os esgotos tendo o objetivo de reter os sólidos presentes nos esgotos, afastando, assim, a fração líquida. Mais tarde em 1986 o engenheiro inglês Donald Cameron patenteou um decanto-digestor denominado tanque séptico.

Tanque séptico (TS) é um tanque estanque, cilíndrico ou retangular, utilizado no tratamento de esgotos domésticos destinado a receber contribuições de uma ou mais habitações e dar-lhe um grau de tratamento compatível com a sua simplicidade e custo.

É uma unidade que realiza simultaneamente a decantação e digestão de sólidos em suspensão, formando, assim, o lodo, pela decantação de sólidos e a espuma, pela flotação de materiais de menor densidade. Tanto a espuma quanto o lodo estarão dispostos a ação das bactérias anaeróbias e logo ocorrerá a formação de gases e outros compostos pela digestão de ambos.

Para efeito deste trabalho será considerado o termo tanque séptico, que segundo a NBR 7229/1993 “é uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão, podendo este ser constituído de câmara única ou de câmaras em série”.

Jordão e Pessôa (2011) consideram ainda o tanque de câmaras sobrepostas (Figura 10) apesar deste modelo não estar presente na última revisão da norma (NBR 7229/1997), fato que segundo estes autores não inviabiliza seu uso, porém, diferente dos modelos de câmara única e câmaras em série é mais indicado para grandes vazões.

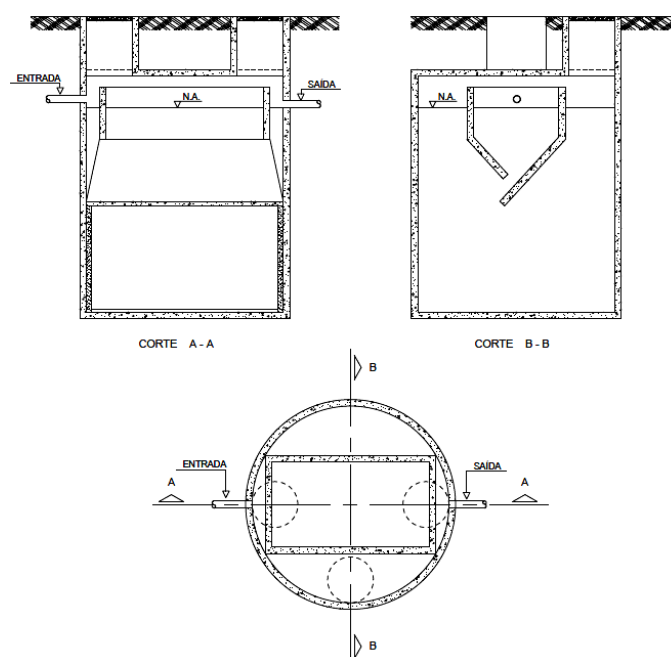


Figura 10 – Tanque séptico de câmaras sobrepostas. Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA, 2011.

Devido sua capacidade em facilitar os processos anaeróbios os tanques sépticos são, em muitas situações, suficientes para resolver os problemas de tratamento dos esgotos (conforme Figura 11), outrora são recomendáveis para anteceder reatores mais eficientes. De forma geral, as alternativas para um possível pós-tratamento de TS são diversas, sendo que o mais utilizado é o filtro anaeróbio (FAN) seguido de disposição no solo.

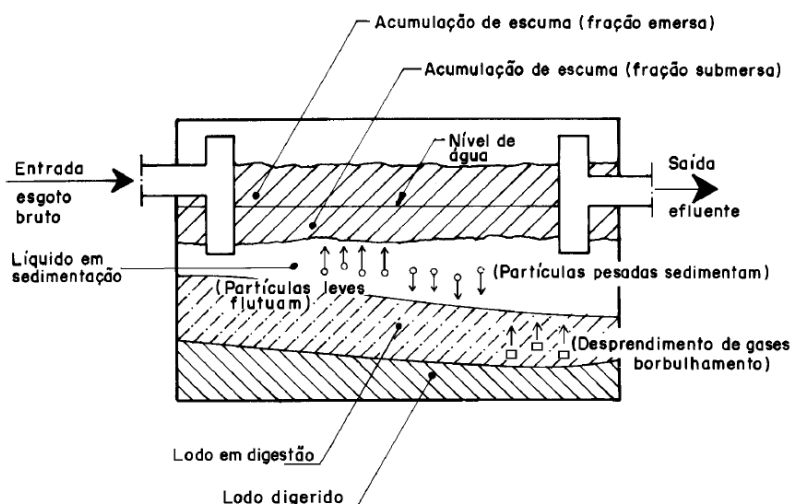


Figura 11 – Funcionamento geral de um tanque séptico. Fonte: ABNT, NBR 7229 (1993).

A utilização do tratamento complementar visa garantir melhor qualidade ao efluente que será disposto em solo. Deste modo, a combinação do tanque séptico e filtro biológico (sistema fossa/filtro) se apresentam como a tecnologia mais indicada para o tratamento sanitário domiciliar. (FUNASA, 2013).

Empresas tem optado por fabricar elementos pré-fabricados (Figura 12), a fim de agilizar a etapa de construção de sistemas individuais de tratamento, desta forma, acabam por reduzir custos com material e mão de obra.



Figura 12 – Tanque séptico pré-moldado. Fonte: <http://saneamento-canalizacao-drenagem-bhmg.blogspot.com.br/>

Segundo Jordão e Pessoa (2011) o funcionamento de TS se desenvolve nas seguintes fases:

- Retenção do esgoto: é retido no TS por um período que varia de 24 a 12 horas, que varia de acordo com suas contribuições afluentes.

- Decantação do esgoto: sedimentação de 60 a 70% dos sólidos em suspensão simultaneamente fase anterior dando origem ao lodo. A parcela de sólidos de baixa densidade como graxas, óleos, gorduras e outros materiais misturados com gases, emerge e fica retida na superfície livre do líquido no interior do TS, são comumente denominados de espuma.

- Digestão anaeróbia do lodo: degradação da parcela sólida, lodo e espuma, por bactérias anaeróbias, ocasionando a destruição total ou parcial do material volátil e organismos patogênicos.

- Redução do volume do lodo: ocorre de acordo com a digestão anaeróbia, ocasionando gases, líquidos e consequentemente a redução de volume dos sólidos retidos e digeridos.

É válido observar que apesar da eficiência do TS, este não purifica os esgotos, apenas reduz a carga orgânica de maneira que esta se aplique a determinadas condições, tanto que após a passagem dos esgotos pelo TS o mesmo ainda apresenta parcelas sólidas e uma coloração escura, e uma alta taxa bacteriana.

O processo de digestão anaeróbia se dá principalmente no lodo, sendo desprezível a sua ação nos sólidos dissolvidos que saem no efluente do TS, devido este fato, quando necessária à limpeza do TS deve-se deixar um volume de aproximadamente 10% de lodo, segundo NBR 7229 (1993), para que este facilite a retomada da digestão anaeróbia.

2.3.2 Características e dimensionamento de um TS

Jordão e Pessoa (2011) comentam que a eficiência de um TS é normalmente expressa em função dos parâmetros comumente adotados nos diversos processos de tratamento. Para os mesmos autores pode-se seguir os seguintes parâmetros:

- Sólidos sedimentáveis: o acréscimo gradativo no teor de sólidos sedimentáveis permite estabelecer o período de limpeza e melhor controle operacional das unidades subsequentes.

- Sólidos em suspensão: operado e dimensionado racionalmente, pode-se observar remoção em torno de 50%; porém, obtêm-se valores abaixo do esperado à medida que a limpeza não é realizada regularmente.

- DBO: para este parâmetro, podem-se alcançar valores de até 30% de eficiência, com decaimento do mesmo à medida que a limpeza não é realizada regularmente.

- Influência de outras substâncias: o funcionamento do TS pode ser prejudicado com a presença de sabões nos esgotos em concentrações acima de 25mg/l, e em nenhuma hipótese deve-se lançar soluções de soda cáustica.

2.3.3 Aspectos construtivos

2.3.3.1 *Tanque séptico convencional*

Para que o TS seja construído sem comprometer obras já existentes, ou sofrer ações que venham prejudicar seu funcionamento, conforme a NBR 7229 (1993) locação do TS deve obedecer as seguintes distâncias mínimas a partir da face mais externa:

- 1,50 m de construções, limites de terreno, sumidouros, valas de infiltração e ramal predial de água;
- 3,0 m de árvores e de qualquer ponto de rede pública de abastecimento de água;
- 15,0 m de poços freáticos e de corpos de água de qualquer natureza.

Durante a locação do elemento em questão deve-se considerar que o mesmo seja disposto o mais próximo possível do banheiro, obedecendo às distâncias mínimas, a fim de evitar curvas na tubulação que conduzirá os dejetos e reduzindo o comprimento da tubulação.

Obedecidas às distâncias mínimas para a construção do TS, deve-se optar por materiais que possuam resistência mecânica e resistência aos ataques químicos provenientes do processo anaeróbico e substâncias presentes nos esgotos, sendo geralmente de alvenaria ou pré-moldadas em concreto armado.

Conforme a Funasa (2013), a alvenaria deve ser executada em blocos cerâmicos de uma vez com juntas de um centímetro (Figura 13), revestida internamente com chapisco, emboço e reboco. Visualmente os blocos cerâmicos não deverão apresentar trincas ou quebras a fim de se obter um elemento estanque.

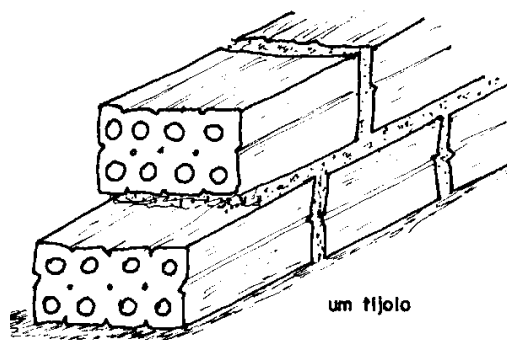


Figura 13 – Execução da alvenaria do tanque séptico. Fonte: FUNASA, 2013.

A execução desse tipo de fossa séptica começa pela escavação do buraco onde a fossa vai ficar enterrada no terreno. O fundo do buraco deve ser compactado, nivelado e coberto com uma camada de cinco centímetros de concreto magro, [...] sobre o concreto magro é feito uma laje de concreto armado de seis centímetros de espessura [...], o aço da armadura deve ser de 4,2 mm espaçados a cada vinte centímetros. (CAESB).

Segundo a NBR 7229 (1993) o tanque séptico convencional deve obedecer às medidas internas apresentadas na Figura 14.

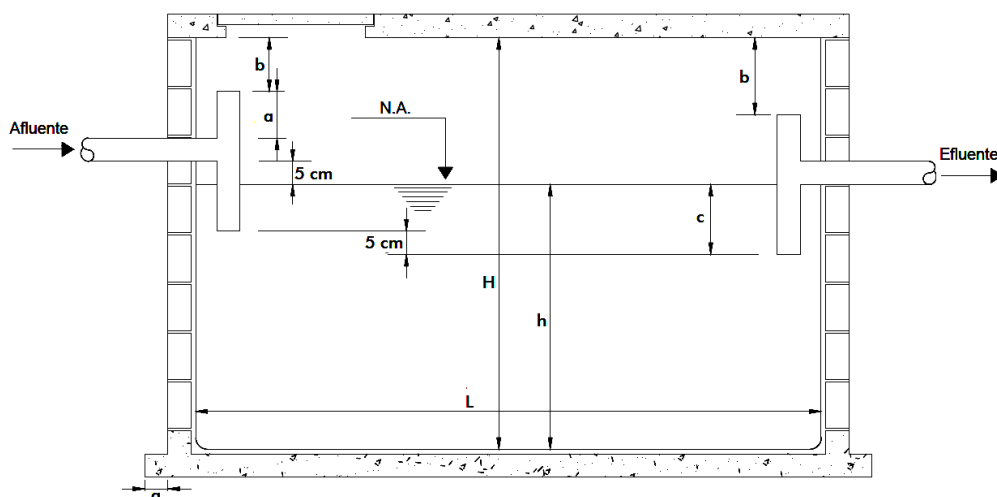


Figura 14 – Tanque séptico prismático de câmara única. Fonte: Adaptado de ABNT, NBR 7229, 1993.

Onde:

$$a \geq 5 \text{ cm}$$

$$b \geq 5 \text{ cm}$$

$$c = 1/3 h$$

h = profundidade útil

H = altura interna total

L = comprimento interno total

O TS deve possuir largura mínima interna igual ou maior à oitenta centímetros, de forma que a relação entre o seu comprimento interno total e a largura interna total deva ficar entre 2:1 e 4:1. Essas medidas variam de acordo com o tipo de tanque séptico e o número de câmaras determinado no dimensionamento.

2.3.3.2 Tanque séptico de pneumáticos inservíveis

Com o desenvolvimento de políticas ambientais e tecnologias para o desenvolvimento de novos materiais e estruturas, surgiu a preocupação em reutilizar materiais que não possuem mais utilidade, sendo os pneumáticos inservíveis um desses materiais.

Segundo Barreto (2006 apud RESENDE, 2004), o pneumático de um veículo automotor serve para suportar carga, assegurar a transmissão da potência automotriz, garantir dirigibilidade e respostas eficientes nas freadas e acelerações e contribuir, junto com as suspensões, para o conforto dos ocupantes.

Todavia, após sua utilização os mesmos são descartados de forma indiscriminada no meio ambiente causando transtornos e passivos ambientais. Devida sua grande disponibilidade, o longo período que o mesmo leva para se degradar e devida sua resistência mecânica, tem-se como alternativa não convencional o seu uso para a construção de sistemas individuais de tratamento de esgoto.

A utilização de pneumáticos na construção de sistemas de tratamento de esgoto doméstico tem como principal objetivo a redução nos custos de construção de sistemas individuais de tratamento de esgoto e a redução do quantitativo de pneus que não possuem uma destinação final adequada.

Desta forma, em 2005 um sistema de TS, FAN e sumidouro de pneumáticos foi elaborado por Chagas, sendo atualmente utilizado na construção de sistemas de tanque séptico (Figura 15) e FAN, e construção de tanques de evapotranspiração, a fim de destinar os pneumáticos sem criar impactos ao meio ambiente e a saúde pública.



Figura 15 – Tanque séptico de pneus inservíveis. Fonte: BARRETO, 2006.

O TS de pneus, idealizado por Chagas (2005), é formado por dez pneus sobrepostos sobre base de concreto, colados com massa asfáltica, fechado com tampa em concreto, possuindo uma entrada superior para dejetos vindos de uma unidade sanitária e uma saída superior para condução do excesso de água contendo partículas sólidas até o filtro.

O TS de pneus idealizado por Chagas (2005) possuía uma estrutura padrão, não atendendo as especificações da NBR 7229/1993. Barreto (2006) estudou os aspectos construtivos de um TS e um FAN a partir de pneus inservíveis, elaborando um modelo com o dimensionamento especificado pela norma em questão, porém, sem ainda a estrutura ideal ilustrado na Figura 16.

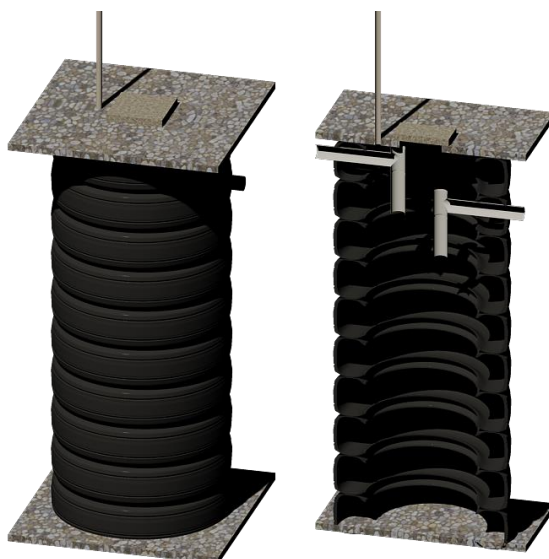


Figura 16 – Tanque séptico de pneus inservíveis. Fonte: Adaptado de SOUZA e ANDRADE, 2007.

Para a construção do TS montado por Barreto (2006) foram selecionados pneumáticos diagonais e radiais do tipo 1000x20, utilizados em caminhões, possuindo

diâmetro interno de um metro e com pequenas peças de concreto nos pneus diagonais (pilaretes). Os pneumáticos são sobrepostos um ao outro utilizando emulsão asfáltica misturada com areia (massa asfáltica) como material de ligação entre os mesmos. Segundo Barreto (2006) algumas vantagens da emulsão asfáltica estão: preço relativamente baixo, resistente aos subprodutos do tratamento de esgoto, não interferir no processo de depuração dos dejetos, além de proporcionar estanqueidade do sistema.

De acordo com a resolução CONAMA nº 416 (2009):

Pneumático é um componente de um sistema de rodagem, constituído de elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais que quando montado em uma roda de veículo e contendo fluido(s) sobre pressão, transmite tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo.

Tendo em vista a necessidade de estruturas resistentes a esforços mecânicos e químicos para a construção de um sistema de tratamento de águas residuárias domésticas pode-se destacar três tipos de pneus segundo sua estrutura:

- Pneus diagonais: são compostos por camadas de material têxtil que são dispostas na carcaça do pneu diagonalmente, de um talão do pneu para o outro, num ângulo de quarenta graus da linha central da banda de rodagem.
- Pneus radiais: um pneu radial usa cordas metálicas com noventa graus de ângulo; isto é, as cordas metálicas correm numa linha radial ou direta de um talão para o outro através da banda de rodagem.
- Pneus sem câmara: ao invés de utilizar uma câmara, um revestimento interno de borracha especial com baixa permeabilidade de ar previne vazamentos do ar do pneu e da roda, permitindo que mesmo se um prego perfurar o pneu durante sua utilização o ar pressurizado não se dissipará rapidamente.

Os pneus possuem como principais matérias-primas:

- Borracha natural: que proporciona boas propriedades de tração sem comprometer a resistência à abrasão
- Borracha sintética: em geral, proporciona boas propriedades de tração sem comprometer a resistência a abrasão.
- Aço: tem como funções resistir às pressões de inflagem e da carga, proporcionar estabilidade, reduzir a resistência ao rolamento aumentando a vida útil pneu e proteger componentes internos do pneu.

Segundo Sindipneus (2012 apud Brazil Tires, 2009), um pneu possui a seguinte estrutura (Figura 17 e Figura 18):



Figura 17 – Estrutura de um pneu de passeio. Fonte: SINDIPNEUS, 2012.

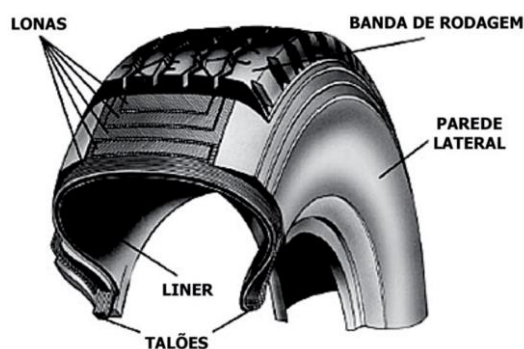


Figura 18 – Estrutura de um pneu de carga. Fonte: SINDIPNEUS, 2012.

- Carcaça: é a parte resistente do pneu construída para receber pressão, carga e impacto. Retém o ar sobre pressão para suportar o peso e a carga do veículo. Pode ser fabricada de poliéster, nylon ou aço. O processo de construção da carcaça é responsável por aspectos importantes de dirigibilidade, como balanceamento, geometria e simetria.
- Talões: são construídos conforme especificações do diâmetro, de modo a garantir a segurança para que o pneu não solte do aro (destalonamento) quando submetido a esforços laterais. Internamente são constituídos de arames de aço de alta resistência.
- Paredes laterais: são as laterais (costado) dos pneus desenvolvidas por compostos de borrachas com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga.

- Cintas (lonas): são feixes de cintas colados sobrepostos, de maneira a suportar as cargas em movimento. Sua principal finalidade é garantir maior área de contato e menor pressão sobre o solo.
- Banda de rodagem: é a banda de rodagem que está em contato com o solo e que transmite a força do motor em tração. Possui blocos (as partes cheias) e sulcos (partes vazias). Deve oferecer tração, estabilidade, aderência e segurança para cada tipo de terreno.
- Ombros: são as extremidades da banda de rodagem e os apoios necessários para a segurança em curvas e manobras.
- Nervura central: é a parte central da banda de rodagem, que tem contato circunferencial do pneu com o solo.

Considerando a estrutura de um pneumático, é possível observar a viabilidade na utilização do mesmo para suportar as pressões exercidas pelas colunas de água contidas no TS e no FAN, sendo que os mesmos são produzidos para suportar grandes esforços abrasivos e altas pressões.

O reaproveitamento é uma ótima forma de destinação dos pneus inservíveis evitando assim que os mesmos sejam dispostos em aterros, lixões, corpos hídricos e logradouros públicos, sendo que os importadores e fabricantes de pneumáticos novos devem coletar e destinar corretamente os mesmos, essa ação deve ser complementada segundo o seguinte parágrafo:

§ 1º Os distribuidores, os revendedores, os destinadores, os consumidores finais de pneus e o Poder Público deverão, em articulação com os fabricantes e importadores, implementar os procedimentos para a coleta dos pneus inservíveis existentes no País, previstos nesta Resolução. (CONAMA, 2009).

I. Emulsão asfáltica

Emulsão asfáltica é o resultado da mistura de dois ou mais líquidos imiscíveis por agitação e mantidos em suspensão devida a ação de estabilizantes, sendo dispersões de cimento asfáltico de petróleo (CAP) em fase aquosa estabilizado com tensoativos (Figura 19).

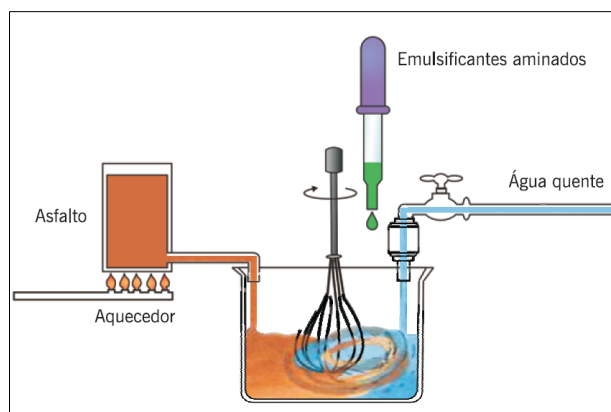


Figura 19 – Processo industrial de fabricação de emulsão asfáltica. Fonte: BERNUCCI et al., 2008.

O CAP é obtido a través da destilação de tipos de petróleo, na qual as frações leves (gasolina, diesel e querosene) são retiradas no refino e destinadas à geração de energia enquanto o CAP é destinado à aplicação em trabalhos de pavimentação, pois, além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade e alta resistência à ação da maioria dos ácidos inorgânicos, sais e álcalis.

Por ser um material betuminoso, composto de grandes cadeias carbônicas, quando submetido ao aumento de temperatura há um aumento na sua viscosidade; porém, quando misturado com água e emulsificantes sua trabalhabilidade aumenta facilitando processos à frio, podendo ser aplicadas com agregados úmidos sem necessidades de aditivos melhoradores de adesividade.

Devido ser constituída por componentes imiscíveis pode ocorrer a separação das fases da emulsão asfáltica devido a evaporação da água, por processos eletroquímicos, ou pela adsorção do CAP pelos agregados formando uma película nas superfícies dos mesmos originando o processo de ruptura, ou quebra, da emulsão.

A cura consiste na evaporação total da água que está presente no pré-misturado à frio [...] e resulta na formação de um filme de CAP contínuo, promovendo assim uma ligação coesa e forte dos materiais pétreos (FATOS E ASFALTOS, 2009).

As emulsões asfálticas usadas para pavimentação no Brasil são classificadas de acordo com a velocidade de ruptura e de acordo com a concentração de CAP presente na emulsão conforme Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 – Classificação da emulsão asfáltica de acordo com a ruptura e o tipo de agente emulsificante.

Sigla	Descrição	Tipos
RR	Emulsão asfáltica de ruptura rápida	RR-1C e RR-2C
RM	Emulsão asfáltica de ruptura média	RM-1C e RM-2C
RL	Emulsão asfáltica de ruptura lenta	RL-1C
RL	Emulsão asfáltica de ruptura lenta	RL-1C
RC	Emulsão asfáltica de ruptura controlada	RC-1C

Fonte: BETUNEL, 2010.

Tabela 5 – Classificação das emulsões asfálticas de acordo com a % de CAP.

Emulsões Asfálticas Catiônicas					
Características	RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C
Viscosidade sSf a 50°C	20 a 90	100 a 400	20 a 200	100 a 400	Máx. 70
Resíduo Mínimo, % peso	62	67	62	65	60

Fonte: BETUNEL, 2010.

Dependendo da quantidade de CAP envolvido na fabricação das emulsões, elas podem ser classificadas em 1C e 2C, onde C, quer dizer catiônica, e os números 1 e 2, estão especificando a viscosidade (concentração) e a quantidade de CAP (BARRETO, 2006 apud CBAA, 2006).

Segundo Barreto (2006 apud CBAA, 2006), as emulsões asfálticas apresentam as seguintes vantagens, viabilizando seu uso na construção de TS e FAN de pneus:

- Apresenta excelente afinidade com todos os tipos de agregados eliminando o uso de aditivos, normalmente utilizados para melhorar a adesividade do CAP, em misturas à quente com agregados;
- Possibilita a utilização de agregados úmidos, evitando a necessidade de combustíveis para a secagem dos mesmos;
- Permite estocagem a temperatura ambiente, em instalações simples e cobertas que não requeiram fonte de aquecimento, combustíveis derivados de petróleo e isolante térmico;
- Elimina riscos de superaquecimento do CAP, que acelera o envelhecimento e diminui a vida útil da massa asfáltica;
- Elimina os riscos de incêndio e explosão, uma vez que não utiliza-se solventes de petróleo em seu emprego.

✓ Massa asfáltica

Devido o custo de alguns produtos para realizar a ligação entre os pneumáticos do sistema de tratamento de esgoto doméstico, assim como o selante de poliuretano, a emulsão asfáltica foi a melhor opção escolhida por Barreto (2006).

Para determinar a ponte de ligação entre os pneumáticos Barreto (2006) realizou os ensaios conforme o Quadro 1.

Ensaio	Tipo de Emulsão	Procedimento
1	Emulsão Asfáltica (RR-2C) + cimento.	A aplicação de emulsão asfáltica tipo (RR-2C), sendo em seguida pulverizado cimento.
2	Emulsão Asfáltica (RR-1C) + tiras de borracha a quente.	A aplicação de emulsão asfáltica tipo (RR-1C), sendo em seguida aplicadas tiras de borracha aquecidas com maçarico.
3	Emulsão asfáltica (RL-1C) + areia.	A aplicação de massa asfáltica, produto da mistura da emulsão asfáltica (RL-1C) com areia.

Quadro 1 – Ensaios realizados com diferentes tipos de emulsão asfáltica. Fonte: BARRETO, 2006.

Observou-se que a massa asfáltica proporcionou maior aderência e estabilidade entre o pneu e a laje inferior, além de preencher as ondulações ocasionadas pelos pilaretes, eliminando completamente os pontos de vazamento (BARRETO, 2006), como pode ser observado na Figura 20.



Figura 20 – Uso da massa asfáltica para aderência dos pneus. Fonte: Adaptado de BARRETO, 2006.

2.4.1 Dimensionamento de Tanques Sépticos

O dimensionamento de tanques sépticos segue os procedimentos estabelecidos na Norma Brasileira 7229 (1993), que destaca inclusive a necessidade de destino final dos seus efluentes e serão abordados mais a frente, para tanto, o dimensionamento será feito para TS cilíndrico, haja vista o sistema composto de pneus inservíveis.

I. Contribuição de despejos e lodo fresco

No cálculo da contribuição de esgotos e lodo deve-se considerar o número de pessoas a serem atendidas e 80% do consumo local de água caso seja conhecido, caso contrário deve-se adotar os valores estabelecidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante em litros.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e de lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1,0
padrão médio	pessoa	130	1,0
padrão baixo	pessoa	100	1,0
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1,0
- alojamento provisório	pessoa	80	1,0
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6,0	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2,0	0,02
- sanitários públicos de acesso aberto	bacia sanitária	480	4,0

Fonte: ABNT, NBR 7229, 1993.

II. Período de detenção dos despejos

Os tanques sépticos devem ser projetados para períodos mínimos de detenção dos despejos advindos das residências conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Fonte: ABNT, NBR 7229, 1993.

III. Taxa de acumulação total de lodo

É obtida em função de:

- Volumes de lodo digerido e em digestão, produzidos por cada usuário, em litros;
- Faixas de temperatura ambiente (média do mês mais frio, em graus Celsius);
- Intervalo entre limpezas, em anos.
- Estes valores estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

Intervalo entre limpeza (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	$t \leq 10$	$10 < t \leq 20$	$t > 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: ABNT, NBR 7229, 1993.

IV. Dimensionamento

O dimensionamento do TS é referente à determinação do volume útil total, que se dá pela equação 1.

$$V = 1000 + N (C.T + K.Lf) \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

V = volume útil, em litros

N = número de pessoas ou unidades de contribuição

C = contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia (ver Tabela 6)

T = período de detenção, em dias (ver Tabela 7)

K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco (ver Tabela 8)

Lf = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia (ver Tabela 6)

Uma vez estabelecido o volume útil do TS, deve-se admitir a necessidade ou não de câmaras em série, que segundo Jordão e Pessoa (2011) “são recomendadas quando se deseja um efluente com melhor qualidade, esperando-se que a maior parte dos sólidos fique retida na primeira câmara”. Todavia, a NBR 7229 (1993) recomenda o uso de câmaras múltiplas em série especialmente para TS servindo até trinta pessoas, de volumes pequenos a médios, não se fazendo obrigatório para volumes grandes.

Considerando a mesma norma, para tanques cilíndricos tem-se a necessidade de três câmaras em série dispostas em uma proporção de 2:1 em volume da entrada para a saída, conforme Figura 21.

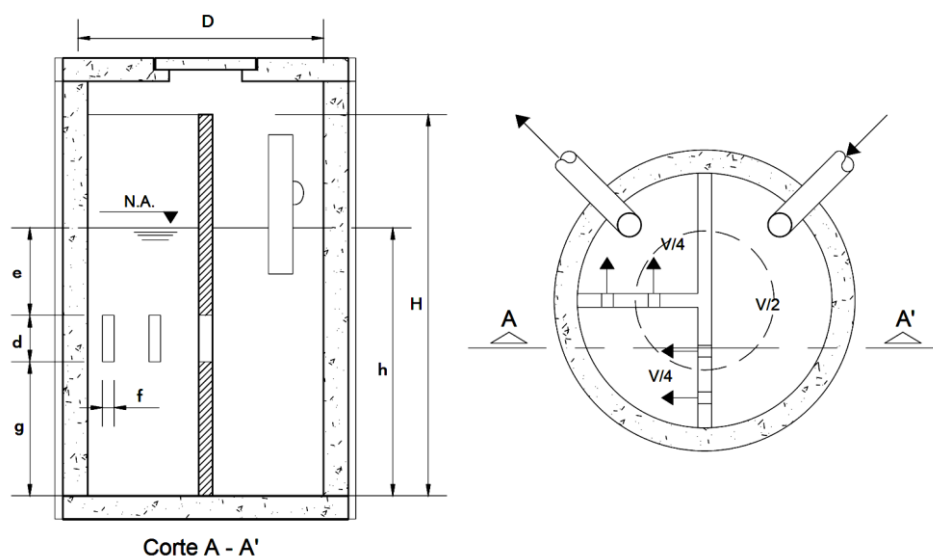


Figura 21 – Tanque séptico cilíndrico de câmara tripla. Fonte: Adaptado de ABNT, NBR 7229, 1993.

Desta forma a área das aberturas que comunicam as câmaras deve ser equivalente a 2,5% da seção vertical útil do tanque no plano de separação entre elas de acordo com a equação 2. Deve ainda obedecer as medidas mínimas preconizadas pela norma para o correto funcionamento do TS.

$$n.d.f = 0,025.h.D \quad \text{Equação (2)}$$

onde:

n = número de aberturas em cada parede

d = altura da abertura (≥ 3 cm)

f = largura da abertura (≥ 3 cm)

e ≥ 30 cm

g = 0,5h para tanques com intervalo de limpeza até quatro anos.

Segundo a NBR 7229 (1993) o diâmetro mínimo para um TS cilíndrico deve ser maior ou igual a um metro e dez centímetros, e sua profundidade útil segue de acordo com a Tabela 9; deve-se atentar ainda para condições de manutenção do mesmo, para tanto, o TS cilíndrico de câmaras triplas de ver provido de uma abertura com diâmetro maior ou igual a sessenta centímetros para inspeção localizada no eixo da seção transversal do mesmo.

Tabela 9 – Profundidade útil mínima e máxima, por faixa de volume útil.

Volume útil (m³)	Profundidade útil mínima (m)	Profundidade útil máxima (m)
Até 6,0	1,2	2,2
De 6,0 a 10,0	1,5	2,5
Mais que 10,0	1,8	2,8

Fonte: ABNT, NBR 7229, 1993.

Para tanques feitos com pneumáticos inservíveis a profundidade varia de acordo com o número de pneus necessários para comportar o volume determinado pela equação 1, haja vista que os pneus 1000x20 utilizados para construir o sistema segundo SOUZA e ANDRADE (2007) possuem volume de 0,16 m³. Sendo assim, o número de pneus necessários para construir um TS é dado pela equação 3.

$$N_p = V_u / 0,16 \quad \text{Equação (3)}$$

onde:

N_p = cada unidade de pneu

V_u = volume útil total do TS, em metros cúbicos.

Todavia, Barreto (2006) utilizou pilaretes para auxiliar na sustentação do sistema, logo, o volume do pilarete deve ser somado ao volume útil do TS para se determinar o número real de pneus pela equação 4.

$$N_p = \sum v + (V_u / 0,16) \quad \text{Equação (4)}$$

onde:

$\sum v$ = somatória dos volumes de pilaretes

2.4.1 Filtro Anaeróbio (FAN)

O filtro anaeróbio é um reator que permite estabilizar a matéria orgânica pela ação de microrganismos retidos e fixados nos interstícios e no material suporte constituinte do leito, por meio do qual os despejos escoam (LEME, 2010).

Experiências nos Estados Unidos nos anos entre 1963 à 1969 levaram a uma maior divulgação do FAN, porém foram com as experiências de V. Raman e N. Chakladar no ano de 1972, na Índia, que o FAN foi apresentado como unidade de melhoria da qualidade dos efluentes líquidos de fossas sépticas.

As unidades de filtro biológico anaeróbio preconizadas para o tratamento de efluentes líquidos de fossas sépticas são tanques cheios de pedras, [...] podendo-se usar também outro material inerte, através do qual o efluente líquido percola [...] (JORDÃO e PESSÔA, 2011). De acordo com a Figura 22 pode-se observar a disposição do FAN subsequente ao TS.



Figura 22 – Tanque séptico seguido de filtro anaeróbio de pré-moldado. Fonte: <http://www.sofossas.com/instalacao.html>.

Deve-se considerar que o processo anaeróbio pode ser afetado de forma considerável pela variação de temperatura do esgoto; sendo assim, sua aplicação deve ser feita de forma criteriosa. O processo é eficiente na redução de cargas orgânicas elevadas, desde que as outras condições sejam satisfatórias.

A atividade biológica que ocorre pelo acúmulo da biomassa nos vazios e no meio suporte permite uma eficiência global de remoção da DBO de 70 a 85% (em relação ao efluente da fossa) (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

O meio filtrante serve como suporte para os microrganismos devido os interstícios formados pelo material de enchimento, desta forma formam-se películas ou biofilmes na sua superfície do material propiciando a alta retenção de biomassa no filtro biológico.

A NBR 13969 (1997) recomenda como material suporte para o meio filtrante o uso de brita nº 4 ou nº 5, peças de plástico (em anéis ou estruturados) ou qualquer material inerte resistente ao meio agressivo. Para as britas, optar por britas de dimensões o mais uniforme possível e sem mistura de agregados de granulometrias distintas a fim de se evitar colmatção do meio filtrante.

Neste processo se caracteriza um certo tempo de tenção hidráulica, correspondente à razão entre o volume do filtro e a vazão afluente, e um certo tempo de detenção celular, correspondente ao tempo de retenção dos sólidos biológicos no interior da unidade. (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Como os processos de tratamento anaeróbio possuem o início de tratamento extenso faz-se necessária a partida dos sistemas por meio de lodos ou outras formas de materiais já em processo fermentativo agilizando o início de tratamento e coleta de amostras para determinação dos valores de substâncias presentes no efluente.

2.4.1 Características e Dimensionamento de um Filtro Anaeróbio

O sentido do fluxo através do leito acarreta grandes diferenças funcionais para as várias configurações de filtros anaeróbios e, por conseguinte, diferentes indicações de aplicação em função das características do afluente (CAMPOS et al., 1999).

Os filtros com fluxo ascendente apresentam a maior retenção de lodo em excesso e os maiores riscos de entupimento dos interstícios mas, devido aos lodos em sustentação hidráulica e ao bom tempo de contato, podem propiciar alta eficiência (geração de grandes quantidades de bactérias) e baixa perda dos sólidos que são arrastados no efluente. (CAMPOS et. al., 1999).

2.3.6.1 FAN convencional

A estrutura de um FAN consiste basicamente na execução de um tanque impermeabilizado, com dispositivos de entrada e saída de esgoto e para retirada do lodo, onde um material granular é disposto como meio filtrante sobre um fundo falso.

Assim como os tanques sépticos, devem ser construídos em materiais que permitam uma estrutura estanque podendo ser de alvenaria, concreto armado pré-moldado ou fibras de vidro de alta resistência, entre outros, de forma que sua estrutura permita a boa distribuição do efluente do TS.

No caso de filtros anaeróbios de leito fixo com fluxo ascendente a NBR 13969 (1997) define como um reator biológico com esgoto em fluxo ascendente, composto de

uma câmara inferior vazia e uma câmara superior preenchida de meio filtrante submerso, onde atuam microrganismos facultativos e anaeróbios, responsáveis pela estabilização da matéria orgânica, cuja sua estrutura é ilustrada na Figura 23.

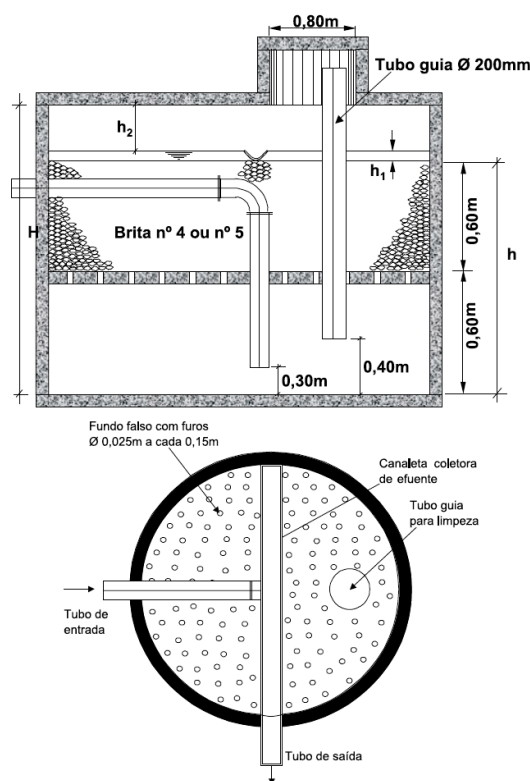


Figura 23 – FAN de leito fixo com fluxo ascendente. Fonte: ABNT, NBR 13969, 1997.

I. Dimensões mínimas

Segundo a NBR 13969 (1997) para o correto funcionamento do filtro anaeróbio o mesmo deve atender às seguintes medidas preconizadas:

- A perda de carga hidráulica a ser prevista entre o nível mínimo no tanque séptico e o nível máximo no filtro anaeróbio é de 0,10 m.
- O leito filtrante deve possuir um volume útil mínimo de 1m³.
- A altura do leito filtrante, já incluindo a altura do fundo falso deve ser limitada a 1,20 m; onde, a altura do fundo falso deve ser limitada a 0,60 m, já incluindo a espessura da laje.

Sendo que, de acordo com a Equação 5:

$$H = h + h_1 + h_2$$

Equação (5)

H = a altura total interna do filtro anaeróbio;

h = a altura total do leito filtrante;

h_1 = a altura da calha coletora;

h_2 = a altura sobressalente (variável).

- No fundo falso, o diâmetro dos furos deve ser de 2,5 cm. O número total de cavas deve ser de tal modo que a somatória da área dos cavas corresponda, no mínimo, a 5% da área do fundo falso
- O tubo guia para limpeza do FAN deve possuir diâmetro de 150 mm em PVC.

II. Dimensionamento de FAN's de leito fixo com fluxo ascendente

Segundo NBR 13969 (1997) o dimensionamento do filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente segue de acordo com a Equação 6.

$$V_u = 1,6.N.C.T \quad \text{Equação (6)}$$

onde:

V_u = Volume útil do filtro (somados os vazios e o material filtrante)

N = número de contribuintes;

C = contribuição de despejos, em litros x habitantes/dia (Tabela 6);

T = tempo de detenção hidráulica, em dias (Tabela 10).

Tabela 10 – Tempo de detenção hidráulica de esgotos (T), por faixa de vazão e temperatura do esgoto (em dias).

Vazão (L/dia)	Temperatura média do mês mais frio (°C)		
	$t < 15$	$15 \leq t \leq 25$	$t > 25$
Até 1500	1,17	1,00	0,92
De 1501 a 3000	1,08	0,92	0,83
De 3001 a 4500	1,00	0,83	0,75
De 4501 a 6000	0,92	0,75	0,67
De 6001 a 7500	0,83	0,67	0,58
De 7501 a 9000	0,75	0,58	0,50
Acima de 9000	0,75	0,50	0,50

Fonte: ABNT, NBR 13969, 1997.

É necessário que a temperatura no mês mais frio seja conhecida, haja vista que a digestão anaeróbia pode ser prejudicada em baixas temperaturas. Sendo assim, segundo o site Climate-Data.Org, o município de Tucuruí apresenta temperatura média mensal de 27,4°C, com baixa na temperatura média no mês de Janeiro com valores de 26,7°C.

2.3.6.2 FAN de pneumáticos inservíveis

Para a construção do filtro de pneus inservíveis adota-se mesma estrutura do TS, todavia deve-se atentar para o fundo falso. Para a elaboração do fundo falso Barreto (2006) utilizou um recipiente com volume de vinte litros perfurado disposto em um meio filtrante de carvão vegetal utilizando seixo como meio suporte como segue na Figura 24.



Figura 24 – FAN de pneus inservíveis. Fonte: SOUZA e ANDRADE, 2007.

I. Eficiência

Segundo SOUZA e ANDRADE (2007) a eficiência do sistema de tratamento feito de pneus inservíveis apresentou os seguintes parâmetros:

- A eficiência na remoção de DQO no efluente do TS foi abaixo dos valores apresentados na literatura. No entanto o FAN apresentou valores comumente encontrados nas experiências brasileiras na avaliação de FAN.
- Quanto aos Sólidos, os resultados dos efluentes do conjunto TS -FAN chegaram até 45% para os ST, 100% para os STF, 73% para os STV, 89% para os SST, 100% para os SSF, e 89% para os SSV.
- Os sólidos suspensos na entrada do TS interferiram nos valores de turbidez. Os sólidos dissolvidos e o desprendimento de partículas de carvão influenciaram nos valores de cor.
- Os resultados do pH estão dentro da faixa considerada ótima para a digestão anaeróbia que é de 6,8 a 7,5.

- A remoção de coliformes fecais ocorreu de modo satisfatório, os valores obtidos na saída do FAN mostraram-se abaixo dos valores encontrado na entrada obtendo eficiência entre 90 e 99%.

2.4.1 Sumidouros

São também conhecidos como poços absorventes, recebendo os efluentes diretamente das fossas sépticas, tendo portanto vida longa, devido à facilidade de infiltração do líquido praticamente isento dos sólidos causadores da colmatção do solo (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Apesar dos sumidouros serem tratados como uma unidade de pós-tratamento para os efluentes de tanques sépticos, é válido lembrar que devida presença de compostos orgânicos e microrganismos nesses afluentes há a necessidade de uma unidade intermediária entre o TS e o sumidouro, essa unidade é o filtro anaeróbio; desta forma, o sumidouro funciona como unidade final de disposição dos efluentes tratados no solo com a maior parte da carga poluidora digerida nas unidades anteriores.

2.3.7.2 Considerações e Dimensionamento

Os sumidouros devem ser construídos com paredes de alvenaria de tijolos, assentes com juntas livres, ou de anéis (ou placas) pré-moldados de concreto, convenientemente furados. Devem ter no fundo, enchimento de cascalho, coque ou brita nº 3 ou 4, com altura igual ou maior que 0,50m. (FUNASA, 2006)

O mesmo deve obedecer as medidas preconizadas pela NBR 13969 (1997):

- A altura útil do sumidouro deve ser determinada de modo a manter distância vertical mínima de 1,50 m entre o fundo do poço e o nível máximo aquífero.
- Caso haja necessidade de mais de um sumidouro, a distância mínima entre suas paredes deve ser de 1,50 m.
- O menor diâmetro interno do sumidouro deve ser de 0,30 m.

I. Dimensionamento

Para o dimensionamento de uma unidade de sumidouro deve-se realizar ensaios de infiltração a fim de determinar a taxa de percolação em min/m de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 – Conversão de valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial.

Taxa de percolação min/m	Taxa máxima de aplicação diária m³/m².d	Taxa de percolação min/m	Taxa máxima de aplicação diária m³/m².d
40 ou menos	0,20	400	0,065
80	0,14	600	0,053
120	0,12	1200	0,037
160	0,10	1400	0,032
200	0,09	2400	0,024

Fonte: ABNT, NBR 13969, 1997.

Conhecida a taxa de aplicação diária, pode-se estabelecer a área de infiltração necessária aplicando a equação 7 segundo Jordão e Pessoa (2011).

$$A_f = Q/C_i \quad \text{Equação (7)}$$

onde:

A_f = área total de infiltração em m²

Q = vazão de contribuição em m³

C_i = coeficiente de infiltração em m³/m².dia

A Figura 25 ilustra um sumidouro em alvenaria de blocos cerâmicos maciços; caso os blocos utilizados possuam furos não há necessidade dos espaçamentos entre os mesmos, uma vez que os blocos cerâmicos podem ser dispostos de forma que os furos permitam a permeabilidade do sumidouro.

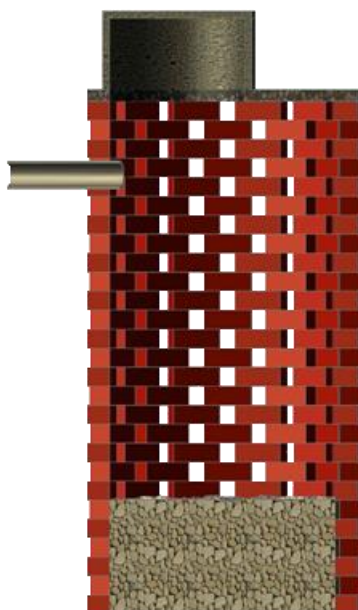


Figura 25 – Sumidouro de blocos cerâmicos. Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA, 2011.

2.4 LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUMÁTICOS

Conforme o decreto de lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010, do ministério do meio ambiente, logística reversa é:

Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

É classificado como resíduo de logística reversa todos os resíduos cuja destinação final requer cuidados diferenciados, devendo então ser retornados após o seu uso pelo consumidor, de forma independente dos serviços de limpeza pública; para tanto, são responsáveis pela logística reversa de pneumáticos importadores, fabricantes, distribuidores e comerciantes.

Logo, para se fazer valer o estabelecido na legislação (Lei nº 12.305, 2010), os compradores devem encaminhar para os comerciantes os pneumáticos ao término do seu ciclo de vida; no entanto, destaca-se que ao substituir um pneumático em borracharias, se torna responsabilidade desses estabelecimentos a devida destinação dos mesmos, como mostra a Figura 26.



Figura 26 – Acúmulo de pneumáticos em borracharia em Tucuruí/PA.

Uma vez que os pneumáticos inservíveis não são encaminhados para um destino final de acordo com a logística reversa, estes criam transtornos para as borracharias e oficinas, em função do grande espaço ocupado por cada unidade, bem como a carência em tecnologias de reaproveitamento dos mesmos em municípios de menor porte. Este fato acarreta no depósito irregular dos pneumáticos em áreas não preparadas caracterizando um passivo ambiental, podendo resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública segundo Resolução CONAMA 416 (2009).

A Resolução CONAMA 416 (2009) considera ainda a necessidade de assegurar que esse passivo seja destinado o mais próximo possível de seu local de geração, de forma ambientalmente adequada e segura, de forma que, os pneumáticos usados sejam preferencialmente reutilizados, reformados e reciclados antes de sua destinação final adequada.

No município de Tucuruí, os pneumáticos que não são devolvidos para as distribuidoras permanecem nas borracharias e são coletados pela secretaria de serviços urbanos, todavia, sem programação pré-estabelecida. Apesar de trabalhos de reaproveitamento de pneumáticos, como fabricação de lixeiras e puffs de pneumáticos, a quantidade reaproveitada nesses trabalhos é pequena. Logo, esses pneumáticos são dispostos no lixão municipal para sofrer queima, como mostra a Figura 27.



Figura 27 – Local de queima de pneumáticos no lixão de Tucuruí/PA.

2.4.1 Ciclo de Vida do Produto

A logística reversa pode ser tratada como uma ferramenta da logística tradicional de bens de consumo, haja vista que esta tem como principal objetivo a devolução desses bens para as indústrias após seu uso, de forma a reutilizá-los em suas cadeias produtivas ou em outros processos. Este processo de venda e devolução tende a formar um ciclo de vida dos produtos. Segundo Will & Born (2014), esse ciclo pode ser dividido em quatro estágios:

- Lançamento: refere-se à introdução do produto no mercado, com demanda mínima e ainda é necessário ajustes.
- Crescimento: o produto começa a ser conhecido no mercado e, consequentemente, competitivo.

- Maturação: nesta fase o produto já é aceito pelos consumidores e a concorrência já se encontra igualada.
- Declínio: onde ocorre a obsolescência do produto.

Desta forma, para que o produto seja destinado para fins de reciclagem ou descarte do produto, deve-se encontrar na fase de declínio. Então, para a correta destinação do pneumático, deve-se verificar em qual área de atuação da logística reversa o mesmo se encontra.

Segundo Will & Born (2014), a logística reversa trabalha com duas áreas: a logística reversa de pós-consumo e a de pós-venda. Haja vista que os pneumáticos inservíveis não possuem mais utilidade, seus componentes possuem potencial para serem reaproveitados, encontram-se em seu fim de vida útil, e que ainda apresentam potencial risco ao meio ambiente se não descartados de maneira correta, logo, os mesmos se encontram na área de logística reversa de pós-consumo.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Esta pesquisa consistiu na implantação de um sistema individual de tratamento de efluentes domésticos composto por tanque séptico e filtro anaeróbio (TS-FAN), onde utilizou-se pneumáticos inservíveis em sua construção, substituindo a estrutura convencional, em alvenaria, estimulando, assim, o processo de logística reversa a partir do reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos.

A residência escolhida para implantação do sistema está localizada na Tv. Paraíba, nº 187, Bairro Getat, município de Tucuruí, Estado do Pará (Figura 28 e Figura 29). Esta é habitada por quatro pessoas e, devido o poder aquisitivo dos moradores, é classificada como padrão de vida médio.



Figura 28 – Posição do local de implantação do sistema. Fonte: Google Earth.



Figura 29 – Residência onde o sistema foi implantado.

Atualmente, o esgoto sanitário gerado na habitação é lançado em fossa seca (Figura 30) que recebe os dejetos de dois banheiros. Este bairro é o mais populoso do município, somando 9.244 habitantes (IBGE, 2010), inexistindo sistemas individuais ambientalmente adequados nas residências observadas.



Figura 30 – Fossa encontrada na residência.

As condições apresentadas na área de estudo são apenas reflexos do que ocorre nas demais áreas do aglomerado municipal, com exceção da vila residencial da Eletrobrás Eletronorte, que possui investimento próprio nos serviços de saneamento.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Para o melhor desenvolvimento do trabalho, este foi dividido em 4 Etapas:

✓ Etapa 1 – Coleta de Pneumáticos

A coleta dos pneumáticos ocorreu em uma distribuidora e em borracharias do município, ocorrendo no período de Junho à Novembro de 2014, somando total de vinte e cinco pneumáticos de caminhões sem rasgos em suas bandas de rodagem. Estes foram transportados por uma caminhonete disponibilizada pela Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, e armazenados no Laboratório de Engenharia civil e Engenharia Sanitária e Ambiental.

✓ Etapa 2 – Seleção do local para implantação do sistema

A residência selecionada para a implantação do sistema está localizada no bairro mais populoso do município de Tucuruí e apresenta as mesmas características da sede municipal, ou seja, ausência de sistema de esgotamento sanitário individual

ambientalmente adequado onde foi observado e/ou coletivo. Além disso foi considerada a colaboração do proprietário da habitação, em função do apoio financeiro e logístico na implantação do sistema.

✓ Etapa 3 – Implantação do sistema

Para a implantação do sistema elaborou-se projeto seguindo as recomendações técnicas das seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

- NBR 7229/1993: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.
- NBR 13969/1997: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.
- NBR 6118/2003: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.

Devido à utilização de pneumáticos para a construção do sistema houve a necessidade de adaptações nas unidades componentes. E, apesar da confecção utilizar pneumáticos e massa asfáltica para preencher os espaços entre os mesmos, a estrutura suporte (radier) consiste de uma peça de concreto armado seguindo o disposto na NBR 6118 (2003). De forma que, elaborou-se duas peças de concreto, uma para a fundação e outra para a cobertura de cada unidade, resultando na seguinte estrutura do sistema:

a) TS de Pneumáticos Inservíveis de Unidades em Série

O dimensionamento do TS de pneumáticos inservíveis foi realizado conforme o disposto na NBR 7229 (1993), porém, durante o dimensionamento do sistema proposto deparou-se com a necessidade da implantação de câmaras múltiplas em série, devido a vazão afluente igual à 520L/dia, classificada como pequena à média, haja vista um número inferior a trinta habitantes na residência conforme NBR 7229 (1993), resultando em um tanque séptico de pequenas dimensões e favorecendo a agitação no interior do mesmo durante a entrada de novos afluentes.

Todavia, em virtude das características geométricas dos pneumáticos, torna-se inviável a construção de divisórias no interior do TS. Assim, optou-se por construir duas unidades distintas para conter o volume total, cada unidade possuindo duas peças de

concreto, sendo um radier (base para fixação dos pneumáticos) e uma laje (cobertura para fechamento da unidade) onde um tanque recebe os efluentes da residência e transfere para a segunda unidade através de um tubo de PVC com diâmetro igual à 100mm (Figura 31), simulando um TS convencional de câmaras em série, a fim de reduzir o percentual de sólidos grosseiros no FAN.

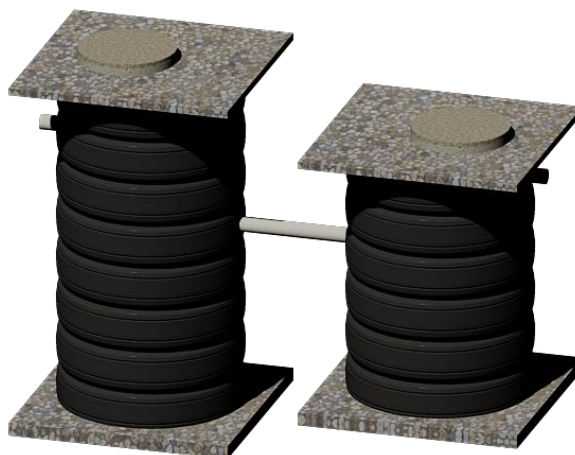


Figura 31 – Tanque séptico de unidades em série.

Para a implantação do sistema foram utilizados pneumáticos, asfalto líquido impermeabilizante (à base de emulsão asfáltica), Cimento Portland resistente à sulfatos de 32MPa, seixo misto, areia de cava (branca), aço CA50 e CA60, e acessórios de PVC. As quantidades de materiais serão detalhadas mais adiante no orçamento da obra.

Após o período de um ano os tanques devem passar pelo processo de limpeza, haja vista que a concentração de lodo e espuma tende a influenciar na qualidade de seus efluentes, interferindo, portanto, no funcionamento da unidade seguinte, o filtro anaeróbio. Esta limpeza deve ser executada por empresas particulares ou públicas, especializadas em serviços de limpeza.

É importante observar que os tanques não devem ser totalmente limpos, pois, para que a partida do processo seja iniciada, uma parcela de 10% do lodo e da espuma deve estar presente, segundo a NBR 7229/1993.

b) FAN de Pneumáticos Inservíveis

Para melhor distribuição do efluente do TS no fundo falso do filtro anaeróbio, optou-se por construir uma laje de concreto armado furada com quinze furos de 25mm sobre dois pneumáticos, como ilustrado na Figura 32. A laje do fundo falso também é dotada de dois tubos de PVC com diâmetros iguais à 100mm e 150mm, para a

disposição dos efluentes do TS no FAN e para limpeza respectivamente. Os furos devem estar dispostos de acordo com os espaços na armadura, de forma que o aço não fique com cobertura menor que 45mm e não apresente potencial redução na resistência da mesma.

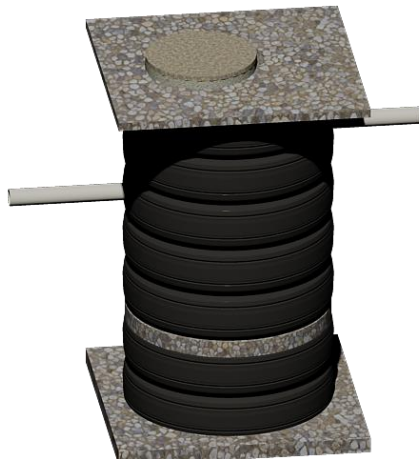


Figura 32 – FAN de pneumáticos inservíveis.

c) Construção do Sistema

I. Movimentação de Terra

Para a construção do sistema foi necessário escavar o solo em forma de “L”, a fim de aproveitar o espaço disponível (Figura 33 e Figura 34).



Figura 33 – Cava preparada para implantação do sistema.



Figura 34 – Espaço utilizado do quintal.

A escavação foi realizada em cotas distintas, para que as unidades componentes do sistema obedecessem aos desníveis necessários para a movimentação dos efluentes domésticos sem ação de forças externas, sendo possível notar essas declividades na Figura 35 e Figura 36.



Figura 35 – Preparo de radier em diferentes cotas.



Figura 36 – Escavação das cotas para as unidades do sistema.

II. Fundações

Durante o lançamento do concreto, fixou-se um pneumático, a fim de reduzir infiltrações ou vazamento na base das unidades, como mostra a Figura 37 e a Figura 38.

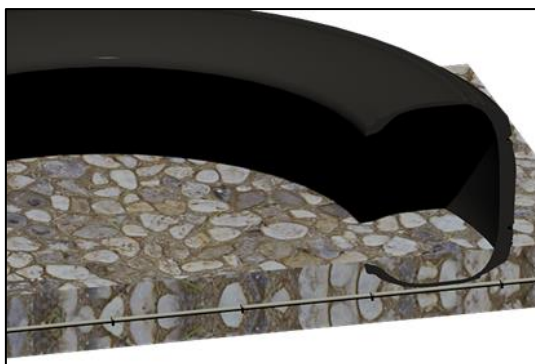


Figura 37 – “Espera” de pneumático.



Figura 38 – Fixação do pneumático no radier sobre a armadura.

III. TS de Unidades em Série

Após a cura do concreto, realizou-se a mistura da areia com asfalto líquido impermeabilizante (impermeabilizante à base de emulsão asfáltica) durante o preparo da massa asfáltica e posterior fixação dos pneumáticos, para a construção dos tanques e do filtro (Figura 39 e Figura 40).



Figura 39 – Preparo da massa asfáltica.



Figura 40 – Massa asfáltica.

Após a fixação dos pneumáticos, o interior das unidades foi preenchido com água para a saturação destas, de forma que após 24h foi realizado o teste de estanqueidade. Todavia, ao entrar em contato com a água, a massa asfáltica sofreu desagregação em diversos pontos (Figura 41 e Figura 41).



Figura 41 – Disposição de água no tanque.



Figura 42 – Desagregação nas juntas entre os pneumáticos.

Porém, após o vazamento, observou-se que a massa asfáltica resistiu à ação hidráulica nos pontos onde havia rompido em virtude do processo de insolação. Desta forma, verificou-se a necessidade de expor ao sol essa massa, para acelerar seu processo de ruptura. E assim foi realizado (Figura 43) para, em seguida, se executar os devidos reparos (Figura 44).



Figura 43 – Ruptura da massa asfáltica.

IV. FAN

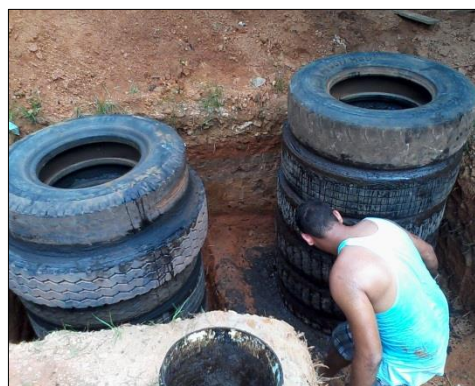


Figura 44 – Reparos nas juntas dos tanques.

Para a montagem do fundo falso do FAN foi necessário preparar uma laje de concreto armado sobre dois pneumáticos, conforme a sequência de Figuras 45-49.



Figura 45 – Base para o concreto com furos.



Figura 46 – Colocação da armadura.



Figura 47 – Lançamento do concreto.



Figura 48 – Concreto não hidratado.

Após três dias de cura da laje fixaram-se os demais pneumáticos, conforme a Figura 56.



Figura 49 – Disposição dos pneumáticos sobre o fundo falso.

Então, após sete dias de cura da laje do fundo falso, preencheu-se 0,6m de altura do filtro com brita nº 4 (Figura 50 e Figura 58).

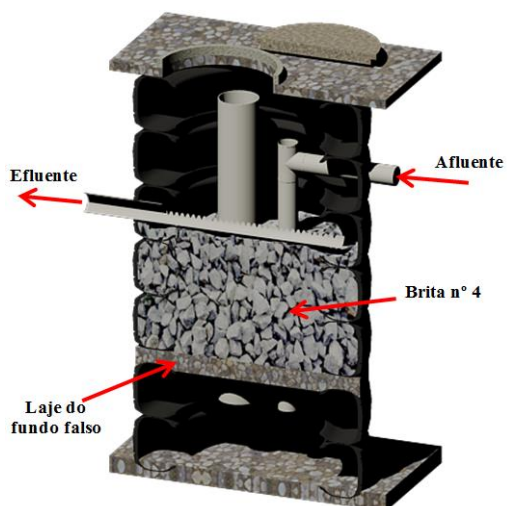


Figura 50 – FAN de pneumáticos inservíveis (corte).



Figura 51 – Leito filtrante do FAN

V. Tubulações

Após a montagem da última unidade do sistema, filtro anaeróbio, foram necessárias 72hs para que houvesse a cura da massa asfáltica. Dessa forma, foi possível embutir os tubos de 100mm de PVC, responsáveis pelo escoamento dos efluentes domésticos para o tratamento, sem prejudicar a estrutura, de acordo com a sequência de Figuras 52-56.

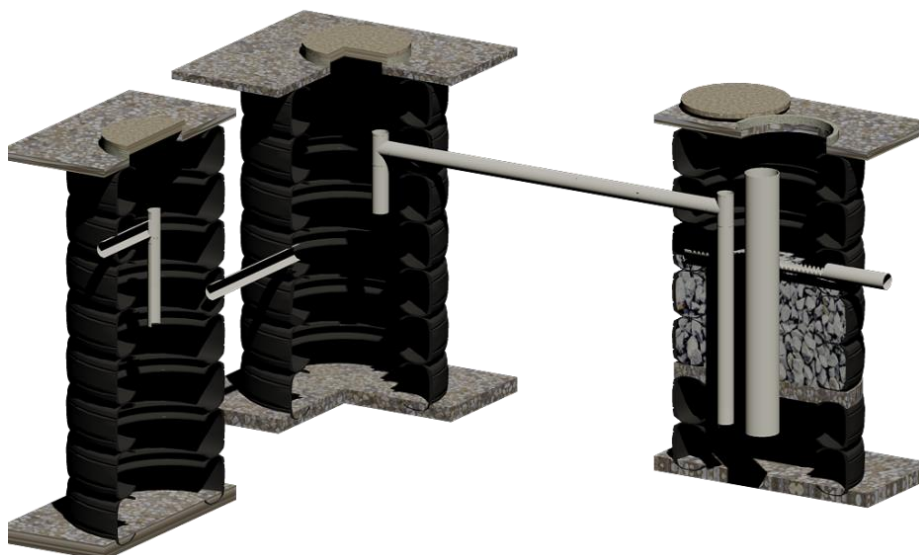


Figura 52 – Disposição das tubulações nas unidades.



Figura 53 – Tanque intermediário.



Figura 54 – Tanque de entrada de efluentes.



Figura 55 – Disposição das unidades com as tubulações



Figura 56 – Unidades aterradas.

- ✓ Etapa 4 – Viabilidade econômica de implantação do sistema e vantagens da aplicação do processo de logística reversa

Para determinar a viabilidade econômica de implantação do sistema estudado, foi realizada comparação entre os orçamentos do sistema alternativo (com pneumáticos) e do sistema convencional (em alvenaria), considerando insumos consumíveis utilizados na construção de cada sistema, sendo que, para o custo de implantação do sistema em alvenaria considerou-se a mesma demanda de efluentes domésticos do sistema de pneumáticos.

a) Viabilidade econômica do sistema

Para o sistema alternativo, por se tratar de uma tecnologia pouco usual, estimar o consumo de alguns materiais se torna inviável, em vista da forma que os pneumáticos conferem ao sistema, pois a quantidade de massa asfáltica necessária para fixa-los não poderia ser mensurada sem aplicação em campo. Porém, as lajes de cobertura consideradas para o projeto são feitas em concreto armado com 1,2 x 1,2 metros de lado

e 7 centímetros de altura, uma vez que a laje terá apenas uma das faces em contato com ambiente agressivo.

Do contrário, um sistema construído em alvenaria pode ser orçado de maneira antecipada, uma vez que o consumo de materiais pode ser determinado. Desta forma, o orçamento foi obtido através do levantamento de materiais consumidos em campo, ou seja, paralelamente a construção do sistema.

b) Vantagens da logística reversa

Para isso foi calculado o total de pneumáticos inservíveis retirados do meio ambiente, utilizando a Equação 8, onde foi considerado que toda a população do bairro Getat (9.244 habitantes) aderisse ao sistema implantado e, que, cada residência seja habitada por 3,3 moradores (IBGE, 2010). Assim, conhecido o quantitativo de pneumáticos inservíveis necessário para a construção de um sistema, estimou-se quantos pneumáticos inservíveis seriam retirados da natureza, considerando, somente, o bairro Getat.

$$NT = \sum n.(hab/i) \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

hab = total de habitantes do bairro Getat;

i = Taxa de habitantes por residência (IBGE, 2010);

$\sum n$ = somatório de pneumáticos por sistema;

NT = total de pneumáticos inservíveis retirados do meio ambiente.

4 RESULTADOS

4.1 ETAPA 1: COLETA DE PNEUMÁTICOS

O número de pneumáticos coletados se deu em uma distribuidora (Figura 57) e em duas borracharias, borracharia Itapemirim e borracharia Fort-Ar, de acordo com a Figura 58 e Figura 59, respectivamente, sendo que a primeira possui uma unidade sede municipal e outra na zona rural.



Figura 57 – Distribuidora HC Pneus.



Figura 58 – Borracharia Itapemirim.



Figura 59 – Borracharia Fort-Ar.

Para o transporte dos pneumáticos foi utilizada uma caminhonete, cedida pela Universidade Federal do Pará (Figura 60). Após a coleta, os pneumáticos foram acondicionados no Laboratório de Engenharia Civil e Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal do Pará (Figura 61).



Figura 60 – Transporte de pneumáticos.

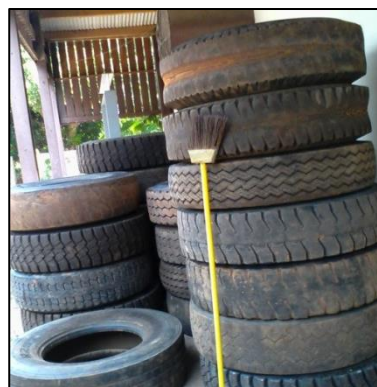


Figura 61 – Armazenamento dos pneumáticos.

Apesar do local de armazenamento dos pneumáticos não possuir paredes para isolamento do meio externo, a cobertura do local foi suficiente para evitar o acúmulo de água nos mesmos, sanando assim problemas com insetos e roedores.

Durante a coleta constatou-se que na distribuidora a logística reversa é aplicada para pneumáticos que apresentem problemas de fabricação. Porém, nas borracharias os pneumáticos substituídos ficam à disposição da coleta pela Secretaria de Serviços Urbanos de Tucuruí ou de pessoas interessadas. Constatou-se, ainda, que os pneumáticos coletados nas borracharias do município são dispostos no lixão municipal para queima (Figura 62 e Figura 63), contribuindo para a poluição do meio ambiente por meio da produção de gases, lançamento de materiais particulados na atmosfera e também a degradação do solo.



Figura 62 – Local de queima dos pneumáticos no lixão municipal.



Figura 63 – Resíduos de queima de pneumáticos.

4.2 ETAPA 2: SELEÇÃO DO LOCAL PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Uma vez que os dejetos dos moradores tinham contato direto com o solo, sua contaminação é evidente, por não apresentar isolamento do meio externo, desta forma o

lodo presente na fossa contribui com a proliferação de vetores, emissão de odores desagradáveis e potencial risco de contaminação de poços de abastecimento de água.

Assim, a residência foi escolhida devida disposição dos proprietários em colaborar com o necessário para a implantação do sistema e pela ausência de um sistema tecnicamente aceitável de tratamento de esgoto doméstico.

4.3 ETAPA 3: IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA

Uma vez que houve a necessidade de dividir o TS em câmaras, optou-se por dividir o volume útil em duas unidades, uma unidade composta por seis e outra por cinco pneumáticos, para o volume útil.

Desta forma, como foi observado, o sistema foi dimensionado para uma residência classe média, com quatro habitantes permanentes, sendo que foi estimado um intervalo de limpeza de um ano para o TS. Desta forma o volume útil foi determinado pela Equação 1:

$$V = 100 + N (C.T + K.Lf)$$

$$V = 1000 + 4.(130.1 + 57.1)$$

$$V = 1,748\text{m}^3$$

Pôde-se, então, determinar o número de pneumáticos (N_p) para o TS por meio da Equação 3:

$$N_p = V_u/0,16$$

$$N_p = 1,748/0,16$$

$$N_p = 10,9 \sim 11\text{un.}$$

Para a determinação do volume útil do leito filtrante do FAN aplicou-se da Equação 6.

$$V_u = 1,6.N.C.T$$

$$V_u = 1,6.4.130.0,92$$

$$V_u = 0,765,4\text{m}^3$$

Determinado o volume útil da unidade, aplicou-se a Equação 9 para se determinar o número de pneumáticos necessários.

$$N_p = 1,2/h_p$$

Equação (9)

Onde:

N_p = número de pneumáticos;

h_p = altura do pneumático.

Logo:

$$N_p = 1,2 \cdot 0,26$$

$$N_p = 4,6 \sim 5 \text{un.}$$

Logo, para o FAN de pneumáticos, como cada pneumático possui, em média, 0,26m de altura e que a altura do leito filtrante é fixada em 1,2m, tem-se o número de pneumáticos igual à, aproximadamente, cinco unidades.

Foi construído um radier para cada unidade componente do sistema em concreto armado, tendo as dimensões 1,2 x 1,2 x 0,1 metros, com um traço de cimento e seixo de 1:4. Para esse processo foi considerado as recomendações da NBR 6118/2003, uma vez que o radier está em contato com o solo e com esgoto, portanto, deve-se adotar o recobrimento mínimo da armadura igual à 45mm, com fator a/c (água/cimento) $\leq 0,45$.

4.4 ETAPA 4: VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA E VANTAGENS DA APLICAÇÃO DO PROCESSO DE LOGÍSTICA REVERSA

4.4.1 Orçamento Comparativo

I. Sistema alternativo com pneumáticos inservíveis

O proprietário da residência solicitou que o sistema não fosse fechado com as lajes, tendo em vista que pretende realizar aterros no espaço onde o sistema foi construído. Logo, para que o orçamento fosse elaborado, projetaram-se as lajes e estimou-se o consumo de material necessário para a construção das mesmas.

Observa-se que o consumo de materiais para a construção das lajes aumenta devido a disposição de mais de um tanque para a construção do TS, causando elevação no preço final do sistema, já que em unidades de alvenaria a complexidade para a construção das câmaras do TS é menor por acomodar as três câmaras sob uma só laje.

Uma vez que as lajes não estarão em contato com efluentes, adotou-se que estas possuem 1,2 x 1,2 x 0,07 metros, elaboradas com o mesmo traço das fundações. Observou-se ainda durante o processo de construção do sistema que foram necessários 20,1L de emulsão asfáltica para preparar a massa asfáltica para fixação dos pneumáticos. A partir desses dados obteve-se o seguinte orçamento (Tabela 12) com preços de materiais coletados no município de Tucuruí.

Tabela 12 – Relação de materiais para a implantação do sistema com pneumáticos inservíveis.

Insumo	Unid.	Consumo	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Pneumáticos	Un.	20	0	0,00
Emulsão Asfáltica	L	20,1	6,11	122,81
Areia Branca	m³	0,042	45	1,89
Seixo Misto	m³	1,11	50	55,50
Aço CA-50 (8mm)	kg	20,6	1,66	34,20
Aço CA-60 (4,2mm)	kg	18,5	0,575	10,64
Aço CA-60 (6,3mm)	kg	4,9	1,11	5,44
CP IV - 32 RS	kg	389	0,62	241,18
Tubo PVC 2,5mm	m	1,5	1,42	2,13
Tubo PVC 100mm	m	7,82	4,92	38,47
Tubo PVC 150mm	m	2,9	14,83	43,01
Arame Recozido	Un.	1	6,7	6,70
Tê 100mm	Un.	3	6	18,00
			Total (R\$)	579,96

II. Sistema em alvenaria

✓ TS

Tanque de câmara tripla com 1,1m de diâmetro e 1,9m de altura, construído em alvenaria de blocos cerâmicos sobre um radier com laterais de 1,41m e 10cm de espessura, e sob uma laje com laterais de 1,41m e 7cm de espessura. As armaduras são feitas em aço CA-50 e CA-60, com diâmetros de 8mm e 4,2mm respectivamente, com 1,2m de comprimento.

✓ FAN

Tanque com 1m de diâmetro e 2m de altura, construído em alvenaria de blocos cerâmicos, com laje de 10cm de espessura para o fundo falso, entre lajes de 1,31m de lado e 10cm e 7cm de espessura. A laje do fundo falso possui 1m diâmetro e 10cm de espessura. As armaduras são feitas em aço CA-50 e CA-60, com diâmetros de 8mm e 4,2mm respectivamente, com 1m de comprimento para a laje do fundo falso e 1,2m para as demais lajes.

Os blocos são espaçados entre si por argamassa de cimento e areia com 10mm de espessura em um traço de 1:3. No reboco foi considerado apenas na face interna das unidades, com 15mm de espessura em traço de 1:3. Já o traço considerado para o concreto foi o de 1:4, de cimento e brita.

Uma vez que as divisórias do TS estarão imersas em efluentes, desconsiderou-se o reboco. Desta forma, para o cálculo dos insumos utilizou-se as seguintes Equações:

$$\text{Áreas circulares} = 2\pi r \cdot h \quad \text{Equação (10)}$$

$$\text{Áreas retangulares} = b \cdot h \quad \text{Equação (11)}$$

$$\text{Volume das lajes retangulares} = l^2 \cdot e \quad \text{Equação (12)}$$

$$\text{Volume da laje circular} = \pi r^2 \cdot e \quad \text{Equação (13)}$$

Onde:

b = base

l = lado da laje

e = espessura da laje

r = raio

Para a determinação do volume de argamassa e do número de blocos cerâmicos por metro quadrado, foram aplicadas as seguintes equações:

$$\text{Número de blocos } (n) = 1/[(b_1 + e_h) \cdot (b_2 + e_v)] \quad \text{Equação (14)}$$

$$\text{Volume de argamassa} = [1 - n(b_1 \cdot b_2)] \cdot b_3 \quad \text{Equação (15)}$$

Onde os dados estão de acordo com a Figura 64.

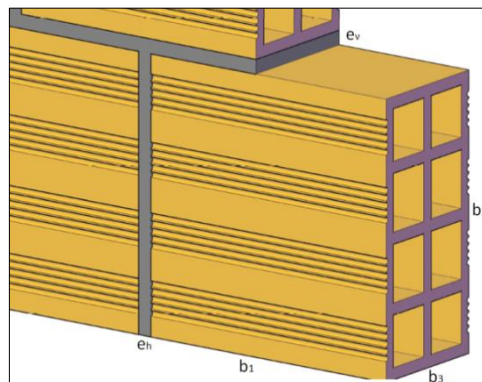


Figura 64 – Medidas de blocos cerâmicos e argamassa.

Desta forma, os quantitativos de materiais podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 – Relação de materiais para a implantação de um sistema em alvenaria.

Insumo	Unid.	Consumo	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Bloco cerâmico	Un.	417,00	0,48	200,16
Areia Branca	m³	0,35	45,00	15,75
CP IV - 32 RS	kg	408,33	0,62	253,16
Seixo Misto	m³	0,71	50,00	35,40
Arame Recozido	Un.	4,00	1,68	6,70
Tubo PVC 100mm	m	7,74	4,92	38,06
Tubo PVC 150mm	m	1,40	14,83	20,77
Tubo PVC 2,5mm	m	8,00	1,42	11,36
Tê 100mm	Un.	3,00	6,00	18,00
Aço CA-50 (8mm)	kg	20,00	1,66	33,17
Aço CA-60 (4,2mm)	kg	20,00	0,58	11,50
			Total (R\$)	644,02

A partir da comparação entre os orçamentos, notou-se que o sistema construído a partir de pneumáticos inservíveis é R\$ 64,06 mais barato (9,9%), como pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 – Comparação orçamentária entre os sistemas.

TS-FAN de pneumáticos		TS-FAN de alvenaria	
Insumo	Preço Total (R\$)	Insumo	Preço Total (R\$)
Pneumáticos	0,00	Bloco cerâmico	200,16
Emulsao Asfáltica	122,81	Areia Branca	15,75
Areia Branca	1,89	CP IV - 32 RS	253,16
Seixo Misto	55,50	Seixo Misto	35,40
Aço CA-50 (8mm)	34,20	Arame Recozido	6,70
Aço CA-60 (4,2mm)	10,64	Tubo PVC 100mm	38,06
Aço CA-60 (6,3mm)	5,44	Tubo PVC 150mm	20,77
CP IV - 32 RS	241,18	Tubo PVC 2,5mm	11,36
Tubo PVC 2,5mm	2,13	Tê 100mm	18,00
Tubo PVC 100mm	38,47	Aço CA-50 (8mm)	33,17
Tubo PVC 150mm	43,01	Aço CA-60 (4,2mm)	11,50
Arame Recozido	6,70		
Tê 100mm	18,00		
Total (R\$)	579,96		644,02

Ao final, para a construção do sistema foi necessário à utilização de 20 (vinte) pneumáticos inservíveis. Considerando os valores de população do Bairro Getat (9.224 habitantes) e a estimativa do IBGE (2010) de 3,3 habitantes em cada residência, foi calculado o número de 55.903 pneumáticos inservíveis que seriam retirados do meio ambiente, conforme a Equação 8:

$$NT = \sum n.(hab/i)$$

$$NT = 20.(9224/3,3)$$

$$NT = 55903 \text{ un.}$$

Após a obtenção dos orçamentos dos dois sistemas, e analisando o sistema implantado por Barreto (2006) na cidade de Belém, comprova-se a viabilidade econômica de um sistema individual de tratamento de esgotos domésticos a partir do uso de pneumáticos inservíveis em substituição da alvenaria de blocos cerâmicos para sistemas com até dois tanques em série, devido o pneumático se tratar de um insumo de baixo custo.

Dessa maneira, tendo em vista o quantitativo de pneumáticos necessários para construção de um sistema, percebe-se as vantagens da utilização desta tecnologia quanto ao tratamento de efluentes e quanto ao processo de retirada dos pneumáticos do meio ambiente, como foi observado neste projeto, pondo em prática os princípios de reaproveitamento dispostos na PNRS, estimulando os processos de logística reversa .

5 CONCLUSÕES

Em fim, o reaproveitamento de pneumáticos inservíveis construção de um sistema individual de tratamento de esgoto doméstico mostrou-se economicamente viável e eficaz quanto contribuição para o processo de logística reversa em Tucuruí/PA.

Um fator importante na construção civil é o tempo gasto nos serviços; logo, destaca-se a rapidez com que as paredes das unidades componentes do sistema são construídas, haja vista que os pneumáticos são encaixados uns sobre os outros e, por se tratarem de insumos impermeáveis, não necessitam de cobrimento com outro material, reduzindo o tempo de obra.

Observa-se ainda que, ao reduzir o consumo de materiais de construção convencionais pode-se reduzir os impactos causados ao meio ambiente por meio da exploração de jazidas de recursos naturais extraídos para fabricação de blocos cerâmicos e cimento.

Com a implantação do sistema objeto de estudo foi amenizado lançamento de efluentes domésticos *in natura* no solo, uma vez que a fossa utilizada pelos moradores do local não possuía qualquer condição de segurança para o meio ambiente; porém, ressalta-se a inviabilidade de implantação do sistema de pneumáticos com TS de unidades em série na zona rural, haja vista que, devido custos adicionais com transporte de materiais pode ocorrer um aumento considerável no valor final da obra. Desta forma, deve-se optar pela implantação do sistema estudado por Barreto (2006), com TS de uma unidade, porém, empregando outro material como leito filtrante, a fim de se obter um efluente de melhor qualidade.

Apesar do custo de implantação do sistema individual de tratamento de esgoto doméstico a partir de pneumáticos inservíveis com TS de unidades em série ser 9,9% mais barato, o fato do sistema necessitar de um elevado número de pneumáticos torna atrativa e reforçou a perspectiva da construção civil de forma sustentável, pela aplicação da logística reversa, uma vez que, se a tecnologia apresentada neste trabalho for devidamente aceita, o quantitativo de pneumáticos lançados no meio ambiente pode ser reduzido abruptamente, fato que induz o reaproveitamento de pneumáticos na construção civil e não apenas os resíduos de construção e demolição (RCD).

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Deve-se avaliar a proposta do uso de mais de dois tanques para a construção do TS, haja vista que por se tratar de uma unidade composta por elementos em série, sua construção pode se tornar inviável economicamente por elevar o consumo de materiais.

➤ Análise de efluentes

Explanada a finalidade deste trabalho, sugere-se a realização de análises dos efluentes, para confirmar a eficiência desse tipo de sistema alternativo, ou seja, a necessidade de um TS de unidades em série e de um FAN com fundo falso com volume útil superior ao adotado por Barreto (2006) e uso de britan^o4 na composição do leito filtrante, tendo em vista que o material utilizado para a construção do FAN instalado em Belém interferiu na qualidade do efluente.

➤ Uso de pneumáticos de dimensões reduzidas

Visando a recomendação da Norma Brasileira 7229/1993 para o uso de tanques sépticos de três câmaras para sistemas de tratamento cuja demanda é inferior à trinta habitantes, aconselha-se o uso de pneumáticos de dimensões menores aos utilizados neste trabalho, de maneira que a razão entre os volumes dos tanques seja proporcional aos volumes das câmaras de um TS convencional circular.

➤ Proposição de novos materiais vedantes

Apesar de a massa asfáltica atender bem quanto material de vedação entre os pneumáticos, seu custo no município de Tucuruí é elevado, e como seu emprego requer tempo após seu preparo, variando de acordo com o as condições de vento e sol, para que ocorra a ruptura da emulsão asfáltica. Logo, deve-se estudar um material de mais fácil acesso e preparo para que possa ser utilizado como vedante entre os pneumáticos.

➤ Adequação da norma

Propor a inserção de pneumáticos inservíveis como materiais de construção de sistemas individuais de tratamento de esgoto doméstico nas Norma Brasileira 7229 e NBR 13969, ampliando, assim, a gama de materiais para construção e de modelos de sistemas, caso seja confirmada a viabilidade técnica dos sistemas em questão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, J. B. **Notas de Aula da disciplina de Saneamento Básico**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006. Disponível em: <<http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/13484/material/APOSTILA%20DE%20ESGOTO%20.pdf>>. Acesso em: 25 Abr. 204.
- ANDRADE NETO, C. O. **Uso de Esgotos Tratados em Irrigação**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABV0wAA/uso-esgotos-tratados-irrigacao>>. Acesso em: 29 Jun. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques Sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- BARRETO, I. C. **Utilização de Pneus Inservíveis na Construção de Tanque Séptico e Filtro Anaeróbio para Tratamento de Esgoto Doméstico em Comunidade de Baixa Renda**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.
- BERNUCCI, L. L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008. v. 1. 520 p. <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/downloads/disciplina-pavimentacao/livro-pavimentacao-asfaltica/>>. Acesso em: 28 Ago. 2014.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 301**: Altera dispositivos da Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre Pneumáticos. – in: Resoluções, 2002. Brasília, DF, 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_301.pdf>. Acesso em: 24 Jan. 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 430**: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes [...] – in: Resoluções, 2011. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/propresol_lanceflue_30e31mar11.pdf>. Acesso em: 17 Ago. 2014
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 416**: Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus

inservíveis [...] – in: Resoluções, 2009. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>>. Acesso em: 28 Ago. 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Lei nº12.305: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos [...] – in: Leis, 2010. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 30 Nov. 2014

BRASIL. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. **Especificações Técnicas para a Construção de Melhorias Sanitárias Domiciliares**: Conjunto Séptico. Manual. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/melhorias-sanitarias-domiciliares/>>. Acesso em: 25 Mai. 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. **Manual de Saneamento**: Orientações Técnicas. Manual. 3. ed. rev. Brasília: Densp, 2006. 408 p.

CAMPOS, J. R. et al. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.

COMPANIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL – CAESB. **Instruções para Instalação de Fossa Séptica e Sumidouro em Sua Casa**. Manual. Disponível em: <http://www3.caesb.df.gov.br/_conteudo/FolhetosManuais/FolhetosManuais.asp>. Acesso em: 25 Set. 2014.

ERCOLE, Luiz Augusto dos Santos. **Sistema Modular de Gestão de Águas Residuárias Domiciliares**: Uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FATOS E ASFALTOS. Araucária: Grupo Corgraf, 2009. Trimestral. Emulsões Asfálticas, 2009. Disponível em: < http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_17.pdf >. Acesso em: 12 Dez. 2014.

GALBIATI, A. F. **Tratamento Domiciliar de Águas Negras Através de Tanque de Evapotranspiração**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009. Disponível em: <<https://sistemas.ufms.br/sigpos/portal/trabalhos/download/319/corsoId:33>>. Acesso em: 11/02/2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Atlas de saneamento**. Rio de Janeiro, 2011. 268 p. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm>. Acesso em: 17 Ago. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. Censo 2010 – Cidades. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=150810>>. Acesso em: 27 Ago. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. Censo 2010 – Famílias e domicílios. Disponível em: <<http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-povo/familias-e-domicilios>>. Acesso em: 26 Dez. 2014.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Doméstico**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. V. 1. 1050 p

JUNIOR, A. P. M.; NETO, H. F. R. **Sistema individual de tratamento de esgoto, Fossa séptica, filtro anaeróbio e sumidouro**: uma alternativa para o tratamento sanitário em comunidades de baixa renda do município de Belém. Trabalho de conclusão de curso, Universidade da Amazônia. Belém/PA, 2011. Disponível em: <<http://www.unama.br/novoportal/ensino/graduacao/cursos/engenhariacivil/attachments/articloe/129/SISTEMA%20INDIVIDUAL%20DE%20TRATAMENTO%20DE%20ESGOTO.pdf>>. Acesso em: 07 Fev. 2014.

JÚNIOR, E. M. **Curso de Tratamento de Esgoto**: Introdução ao Tratamento de Esgoto. EEA, Empresa de Engenharia Ambiental. Rio Claro, 2005. Disponível em: <<http://www.eea.eng.br/novosite/downloads/Apostila%20de%20Tratamento%20de%20Esgoto.pdf>>. Acesso em: 16 Ago. 2014.

LEME, E. J. A. **Manual Prático de Tratamento de Águas Residuárias**. Ed. EdUFSCar. São Carlos, 2010. 595 p.

MARANGONI – Ringtread System. **Manual de Reforma**: pneu radial de carga básico. Disponível em: <<http://www.steffenpneus.com.br/manualmarangoni/manualmarangoni01.pdf>>. Acesso em: 28 Ago. 2014.

NUVOLARI, Ariovaldo et al. **Esgoto Sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola, 2. ed. rev. atualizada e ampl. São Paulo: Blucher, 2011. 565 p.

PATENTESONLINE. Antônio Pereira das Chagas. **Tanque séptico com pneus inservíveis**. BR/PA n. MU8503125-9, 18 Ago. 2007. Dep. no INPI, 01 Dez. 2005. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/tanque-s-ptico-com-pneus-inserv-veis-53300.html#adsense1>>. Acesso em: 27 Abr. 2014.

Projeto Fossa Ecológica. Cartilha. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/52415993/Fossa-de-pneu#download>>. Acesso em: 11 Fev. 2014.

SINDICATO DAS EMPRESAS DE REVENDA E PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE REFORMA DE PNEUS E SIMILARES DO ESTADO DE MINAS GERAIS – Sindipneus. **Manual TWI**: Informações técnicas sobre pneus. Edição 2012. Disponível em: <<http://www.vias-seguras.com/veiculos/pneumaticos>>. Acesso em: 28 Ago. 2014.

SOUZA, Núbia Cilene Almeida; ANDRADE, E. C. L. **Utilização de Pneus Inservíveis na Construção de Tanque Séptico e Filtro Anaeróbio**: avaliação da eficiência no tratamento de esgoto doméstico. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso – Faculdade de Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

TUCURUÍ. Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SEMMA. **Plano Municipal de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário**. Tucuruí, PA, 2014. Disponível em: <[http://www.semmatuc.pa.gov.br/files/PMAE_Tucurui_PRELIMINAR_\(1\).pdf](http://www.semmatuc.pa.gov.br/files/PMAE_Tucurui_PRELIMINAR_(1).pdf)>. Acesso em: 18 Set. 2014.

TUCURUÍ. Secretaria Municipal de Meio Ambiente – SEMMA. **Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Tucuruí, PA, 2014. Disponível em: <http://www.semmatuc.pa.gov.br/files/PGRSU_TUCURU-NOVO-REDUZIDO.pdf>. Acesso em: 18 Set. 2014.

VON SPERLING, M. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: DESA-UFMG: ProJeto DESA/GTZ: CNPq: ABES,1996. 211 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 2).

WILLE, M.M.; BORN, J.C. **LOGÍSTICA REVERSA**: Conceitos, Legislação e Sistema de Custeio Aplicável. 2014. –in: Administração & Ciências Contábeis. Semestral. p. 1 – 14. ISSN 2175-5884. Disponível em: <<http://www.opet.com.br/faculdade/revista-cc-adm/pdf/n8/LOGISTICA-REVERSA.pdf>>. Acesso em: 27 Jan. 2015.

Links

<http://cidadedetucurui.com/inicio/a_cidade/BAIRROS/BAIRROS.htm>. Acesso em: 05 Nov. 2014.

<<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 09 Jun, 2014.

<<http://pt.climate-data.org/location/880055/>>. Acesso em: 27 Ago. 2014.

<<http://saneamento-canalizacao-drenagem-bhmg.blogspot.com.br/>>. Acesso em: 28 Ago. 2014.

<<http://www.abeda.org.br/produtos.swf>>. Acesso em: 29 Ago. 2014.

<http://www.betunel.com.br/emulsoes_convencionais.html>. Acesso em: 29 Ago. 2014.

<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/asfalticos/emulsaoasfaltica!/ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwP3YE9nAyNTD5egIEcnQ3dXc6B8JG55RwMKdBs4GZOk29_f0xUobDq6mFsDIROSLefR35uqn5BbmhoRLmjIgAzkgHv/dl3/d3/L0lDU0lKSWdra0EhIS9JTlJBQUlpQ2dBek15cUEhL1lCSlAxTkMxTktfMjd3lSEvN185TzFPTktHMTAwTUFGMDJMTFRSUFE0MzBHMA!!/?PC_7_9O1ONKG100MAF02LLTRPQ430G0000000_WCM_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Portal+de+Conteudo/Produtos/Asfalticos/CAP/>. Acesso em: 29 Ago. 2014.

<<http://www.disbral.com.br/site/index.php?p=24>>. Acesso em: 29 Ago. 2014.

<http://www.hankooktire.com.br/Technology/0403_TireTech.Guide_TypesofTires.aspx?mlev=4&slev=3>. Acesso em: 28 Ago. 2014.

<<http://www.sofossas.com/instalacao.html>>. Acesso em: 07 Set. 2014.