



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA

ANDREIA CATARINA RONDON

**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO EM ÁREAS ÚMIDAS
UTILIZANDO TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO**

Cuiabá/MT
Maio, 2023

ANDREIA CATARINA RONDON

**TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO EM ÁREAS ÚMIDAS
UTILIZANDO TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Aldecy de Almeida Santos

Cuiabá/MT
Maio, 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R771t Rondon, Andreia Catarina.

Tratamento de esgoto sanitário em áreas úmidas utilizando tanque de evapotranspiração [recurso eletrônico] / Andreia Catarina Rondon. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 69 f., il. color., pdf). -- 2023.

Orientador: Aldecy de Almeida Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Cuiabá, 2023.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

1. Saneamento rural;. 2. Tanque de evapotranspiração;. 3. Sustentabilidade;. 4. Legislação ambiental. I. Santos, Aldecy de Almeida, *orientador*. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO EM ÁREAS ÚMIDAS UTILIZANDO TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO"

AUTORA: MESTRANDA ANDREIA CATARINA RONDON

Dissertação defendida e aprovada em **29 de MAIO de 2023**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor Aldecy de Almeida Santos (Presidente Banca / Orientador)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso
2. Doutor Welitom Ttatom Pereira da Silva (Examinador Interno)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso
3. Doutor Douglas Marcelo Pinheiro da Silva (Examinador Externo)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal do Amazonas
4. Doutora Eleonora Almeida de Andrade (Examinador Suplente)
INSTITUIÇÃO: Secretaria de Estado de Educação de Mato Grosso
5. Doutor Rafael Pedrollo de Paes (Examinador Suplente)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

CUIABÁ, 29/05/2023.



Documento assinado eletronicamente por **ALDECY DE ALMEIDA SANTOS, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 09/06/2023, às 16:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **WELITOM TTATOM PEREIRA DA SILVA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 16/06/2023, às 17:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **DOUGLAS registrado(a) civilmente como DOUGLAS MARCELO PINHEIRO DA SILVA, Usuário Externo**, em 26/06/2023, às 16:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5832653** e o código CRC **368EA97B**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me sustenta todos os dias, me fortalece, me ampara quando estou fraquejando e penso em desistir, dizendo “FILHA LEVANTA, VOCE VAI VENCER”. Obrigada senhor!

Agradeço ao meu esposo Agliberto Barros da Silva, por só me faz bem. Muito obrigada por me incentivar a ser melhor e a me encontrar. Você é incrível. Te amo!

Agradeço à minha filha, Alice Rondon e Silva, que, mesmo longe, incentiva-me.

Agradeço aos meus pais, por tudo, especialmente à minha mãe Benedita Catarina Brandão, que sempre estão ao meu lado. Agradeço-lhes.

Meu muito obrigado a todos os meus familiares, para que eu saiba de onde vim e sempre me incentivar a evoluir.

Agradeço ao meu orientador, Aldecy de Almeida Santos, e à sua esposa a Professora Eleonora, pela ajuda e paciência.

Agradeço aos meus amigos, que são eternos e sempre se orgulham de cada passo que dou para o meu crescimento.

Agradeço aos amigos da Pós-graduação de Recursos Hídricos - PPGRH, Maria Fatima dos Santos, Eldirene Alves de Lima, Noelma Cristina Santos Freitas, pela amizade e pelo ambiente mais leve e divertido do mestrado.

Agradeço aos técnicos do laboratório da DESA, mestre Luanna Mênithen Souza Silva Santos e ao mestrando Daniel Santos Filho, por sempre me receberem com carinho.

Agradeço à vida, por me desafiar a ser melhor e por me guiar e a comemorar em silêncio as minhas conquistas.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.*

(Madre Teresa de Calcutá)

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

%	Porcentagem
°C	Grau Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Amazonas
BET	Bacia de evapotranspiração
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COOMAP	Cooperativa Nacional de Transporte Corporativo
CO ₂	Dióxido de carbono
CH ₄	Metano
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EC	Condutividade elétrica
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
FAET	Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
H ₂ O	Água
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
IBC	<i>Intermediate Bulk Container</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de desenvolvimento Humano
L	Litro
M	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico

Mg	Miligrama
mL	Mililitro
MA	Maranhão
MS	Ministério da Saúde
MG	Minas Gerais
MT	Mato Grosso
N	Nitrogênio
NBR	Normas Brasileiras
NH ₃	Amônia
nº	Número
ONU	Organização das Nações Unidas
P	Fosforo
PIB	Produto Interno Bruto
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNAD	Plano Nacional de Desenvolvimento
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Plano Nacional Saúde Bucal
PNSR	Plano Nacional Saneamento Rural
PPGRH	Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos
S	Sólidos
T	Temperatura
SESC	Serviço Social do Comercio
TEvap	Tanque de Evapotranspiração
TO	Tocantins
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esgotamento sanitário em zonas rurais por região.....	21
Figura 2: Funcionamento geral de tanque séptico.....	22
Figura 3: Fossa séptica de alvenaria e tijolos	23
Figura 4: Fossa séptica de manilha.....	23
Figura 5: fossa seca	24
Figura 6: Fossa rudimentar.....	25
Figura 7: Tanque de evapotranspiração	27
Figura 8: <i>Wetlands</i> construído.....	29
Figura 9: Jardim filtrante.....	31
Figura 10: Fluxograma da metodologia aplicada no estudo.....	41
Figura 11: Localização da comunidade de ribeirão de Porto Cercado no Município de Poconé/MT	42
Figura 12: Localização da fossa rudimentar no período de seca e chuva	44
Figura 13: Corte esquemático do tanque de evapotranspiração.....	44
Figura 14: Dimensões do tanque de IBC.....	45
Figura 15: Instalação da câmara anaeróbia	46
Figura 16: Acomodação de resíduos de construção	46
Figura 17: Instalação da manta bidim.....	47
Figura 18: Preenchimento da camada de areia da localidade	48
Figura 19: Análise granulométrica da areia.....	48
Figura 20: Plantio das mudas de bananeiras	49
Figura 21: Altura da bananeira nanica anã	53
Figura 22: Circunferência do pseudocaule	54
Figura 23: Números de folhas na bananeira	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tratamento de esgoto por meio de bacia de Evapotranspiração.....	26
Tabela 2: Legislação e normas pertinentes ao tema	34
Tabela 3: Parâmetros, métodos e procedimentos utilizados nas análises do efluente líquido brutos.....	43
Tabela 4: Resultados da análise de efluente de entrada do tanque	50
Tabela 5: Orçamento de construção do TEvap.....	55
Tabela 6: Orçamento de construção de fossa convencional.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Volume de tratamento do TEvap medido pela capacidade da área por usuário, segundo as referências encontradas.	28
Quadro 2: Padrões de lançamento conforme CONAMA 430/2011.....	32
Quadro 3: Valores de concentração e eficiência de remoção segundo CONAMA 430/2011.	37
Quadro 4: Valores de concentração e eficiência de remoção segundo CONAMA 430/2011.	35
Quadro 5: Processos de degradação de matéria orgânica.....	32

RONDON, ANDREIA CATARINA. 2023. *Tratamento de esgoto sanitário em áreas úmidas utilizando tanque de evapotranspiração*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2023.

RESUMO

Em áreas rurais, o tratamento de esgoto é uma preocupação crescente devido aos riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Isso é particularmente preocupante, em regiões úmidas, como o Pantanal. Este cenário se complica por se tratar de uma planície alagável o que dificulta a instalação de sistemas convencionais para tratamento de efluentes. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar uma alternativa sustentável para o tratamento de esgotamento sanitário em áreas úmidas. A metodologia incluiu as seguintes etapas: i) revisão bibliográfica; ii) caracterizar os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do efluente bruto; iii) desenvolver o projeto, instalar e monitorar o Tanque de evapotranspiração (TEvap); e iv) a avaliação da Custo de implantação do sistema. De acordo com Galbiati (2009), com os dados obtidos das características físicas e químicas o esgoto da residência foi classificado como médio, assim apresentando resultados de DBO 211,25 mg/L e DQO de 479,25, necessitando de tratamento. Além disso, o TEvap mostrou ser uma alternativa sustentável, economicamente viável, pois em relação ao valor de outros sistemas, o custo aproximado estimado do TEvap em tanque de IBC para uma de 1 pessoas foi comparado com o custo para coleta de esgoto em alvenaria, apresentado pelo orçamento na tabela 5 e 6. A partir da comparação, verificou-se que o custo apresentado pelo plano é suficiente para a construção de 5 unidades familiar de 1 pessoas utilizando o tanque de IBC, sendo eficaz para o tratamento de esgotos, melhorando significativamente a qualidade de vida da população e contribuindo com a preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: Saneamento rural; Tanque de evapotranspiração; Sustentabilidade; Legislação ambiental.

ABSTRACT

In rural areas, sewage treatment is a growing concern due to public health and environmental risks. This is particularly worrying in humid regions such as the Pantanal. This scenario is complicated by the fact that it is a floodplain, which makes it difficult to install conventional systems for treating effluents. In this context, the present work aims to evaluate a sustainable alternative for the treatment of sewage in wetlands. The methodology included the following steps: i) bibliography review; ii) characterize the physical, chemical and microbiological parameters of the raw effluent; iii) develop the project, install and monitor the evapotranspiration tank (TEvap); and iv) the evaluation of the Cost of implementing the system. According to Galbiati (2009), with the data obtained from the physical and chemical characteristics, the residence's sewage was classified as medium, thus presenting results of BOD 211.25 mg/L and COD of 479.25, requiring treatment. In addition, TEvap proved to be a sustainable, economically viable alternative, because in relation to the value of other systems, the approximate estimated cost of TEvap in an IBC tank for one of 1 people was compared with the cost of sewage collection in masonry, presented by the budget in table 5 and 6. From the comparison, it was verified that the cost presented by the plan is sufficient for the construction of 6 family units of 1 person using the IBC tank, being effective for the treatment of sewage, improving significantly improve the quality of life of the population and contribute to the preservation of the environment.

Keywords: Rural basic sanitation; Evapotranspiration tank; Sustainability; Environ- mental legislation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	15
	Objetivos geral	15
	Objetivos específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
	Áreas úmidas	16
	Áreas úmidas no Brasil.....	17
	Pantanal Mato-Grossense.....	18
	Saneamento básico rural	19
	Esgotamento rural.....	21
	Tratamento de esgoto em áreas rurais	21
	Fossa séptica	22
	Fossa seca.....	24
	Fossa rudimentar	25
	Alternativas sustentáveis para tratamento de esgoto	25
	Tanque de evapotranspiração	25
	<i>Wetlands</i>	29
	Jardim filtrante	30
	Parâmetros de qualidade dos efluentes	31
	Tratamento de efluentes	32
	Histórico do tratamento de esgotos no Brasil.....	33
	Aspectos legais e legislação ambiental	34
	Impactos nos recursos hídricos	35
	Etapas de tratamento de águas residuais	36
	Tratamento preliminar	36
	Tratamento primário	37
	Tratamento secundário.....	37
	Tratamento secundário anaeróbio	37
	Tratamento secundário aeróbio	38
	Tratamento terciário.....	39
4	MATERIAL E MÉTODOS	41
	Área de estudo	41
	4.2. Caracterizar qualidade e quantidade dos efluentes.....	42
	Procedimento de instalação, operação e monitoramento	43
	Instalação do TEvap	44
	Orçamento para a construção do TEvap.....	49

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
	Caracterização do esgoto bruto.....	50
	Parâmetros físicos	50
	Cor	50
	Turbidez.....	51
	Sólidos totais e sólidos voláteis totais	51
	Parâmetros químicos	51
5.3.1	pH	51
	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)	52
	Nitrogênio e Fósforo	52
	Nitrito.....	52
	Exames bacteriológicos.....	53
	<i>Escherichia coli</i> e coliformes totais.....	53
	Análises estatísticas das bananeiras.....	53
	Resultados do orçamento para construção do TEvap	55
6.0	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 15% da população vive em regiões rurais, sendo que somente 5% encontravam-se ligados à rede de esgoto sanitário, 10% tem banheiro e 43% possuíam fossa rudimentar sem nenhum tratamento, segundo dados do Instituto Brasileiro de estatística (IBGE, 2015).

Em áreas rurais, há preocupação com o lançamento de esgoto *in natura*, que, embora em pouca quantidade possui compostos poluidores. O volume acumulado torna esse efluente uma fonte com elevado potencial de contaminação para o solo e os recursos hídricos e subterrânea), causando sérios impactos ao meio ambiente e à saúde pública (ROUT *et al.*, 2016; SOTO-CÓRDOBA *et al.*, 2019).

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), regulamentada pela Lei Federal n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), que institui as diretrizes para melhorias da situação sanitária do país de forma integrada entre áreas como recursos hídricos, saúde e meio ambiente. O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) tem a finalidade da universalização desse serviço com a participação engajada de todos os atores da comunidade e que sejam protagonistas desde a concepção, implementação das ações e atuem na gestão (BRASIL, 2019).

É imprescindível selecionar alternativas tecnológicas economicamente viável para o tratamento do esgoto sanitário rural com a participação da comunidade desde da concepção do projeto, instalação, operação, monitoramento e gestão (FUNASA, 2014). Em qualquer projeto de descontaminação de efluente é crucial o estudo da classificação, da quantidade e qualidade do esgoto a ser processado e da natureza do efluente que se pretende lançar no corpo receptor (JORDÃO e PESSOA, 2014).

Segundo RESENDE *et al.* (2018), o meio rural o tanque de evapotranspiração melhora a gestão dos recursos hídricos e busca a conservação da água doce, elimina problemas sanitários relacionados a doenças de veiculação hídrica, estimula a economia gerando emprego e promove desenvolvimento social, e melhora da qualidade de vida.

O tratamento de esgoto sanitário em comunidade rural utilizando o tanque de evapotranspiração, são economicamente viáveis e sustentáveis com a melhora da qualidade de vida dos moradores (BAIÃO, 2020). Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar uma alternativa sustentável para o tratamento de esgoto sanitário na comunidade rural de pescadores de Porto Cercado no município de Poconé/MT.

2 OBJETIVOS

Objetivos geral

O objetivo deste estudo foi avaliar uma alternativa sustentável utilizando tanque de evapotranspiração para o tratamento de esgoto sanitário em áreas úmidas.

Objetivos específicos

- Caracterizar os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do efluente bruto;
- Desenvolver o projeto, instalar o sistema de tratamento de efluente;
- Acompanhar o desenvolvimento das bananeiras (*Musa ssp*) no interior do sistema; e
- Analisar o custo de implantação do sistema de esgotamento sanitário.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Áreas úmidas

Ambientes naturais como lagoas, manguezais, campos ou florestas, trilhas, várzeas, reservatórios, turfeiras e pantanais, podem ser definidos como: “As zonas úmidas são ecossistemas formados pela junção de ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanente ou periodicamente inundados, ou inundados com solo. A água pode ser doce, salgada, salobra, e as comunidades vegetais e animais estão adaptadas às suas respectivas dinâmicas hídrica” (JUNK, 2011).

Segundo Stahnke (2013), as zonas úmidas são complexos ecossistemas, que vão desde áreas marinhas e costeiras até áreas úmidas continentais e construídas.

Para JUNK (2011), alguns exemplos de áreas úmidas são: lagos, manguezais, pântanos e áreas de irrigação agrícola, reservatórios hidrelétricos, etc. No total, de acordo com a definição de áreas úmidas apresentada na Convenção Ramsar, são classificados 42 tipos diferentes.

O Tratado Intergovernamental assinado no Irã em 1971 sinalizou o início da ação nacional e internacional para a conservação e uso sustentável das áreas úmidas e seus recursos naturais. Atualmente, 150 países, inclusive o Brasil são signatários do tratado (STAHNKE, 2013).

A convenção também identifica as áreas úmidas de grande relevância mundial, as chamadas áreas úmidas Ramsar. Há 1.556 áreas úmidas Ramsar mundialmente reconhecidas por seu caráter, biodiversidade e importância estratégica para as populações locais (BENJAMIM, 2001).

De acordo com o WWF (2022), as zonas úmidas são encontradas em todos os tipos de ecossistemas e são essenciais para a manutenção da biodiversidade. As zonas úmidas são ecossistemas complexos que não sofrem apenas com atividades humanas diretas, mas também impactados nos ecossistemas terrestres, marinhos e de água doce adjacentes.

As áreas úmidas abrigam uma variedade de espécies endêmicas, mas também têm espécies terrestres periódicas e de águas profundas, contribuindo assim de forma expressiva a biodiversidade ambiental. Além disso, desempenham importante papel importante no ciclo hidrológico, aumentando a capacidade de retenção de água de sua região e facilitando os diversos usos da água pelo homem (RAMSAR, 2022).

O Brasil possui sete áreas classificadas como Sítios Ramsar: sendo a Estação Ecológica Mamirauá (AM), Ilha do Bananal (TO), Reentrâncias Maranhenses (MA), Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense (MT), Área de Proteção Ambiental da Baixada Maranhense (MA), Parque Estadual Marinho do Parcel de Manoel Luz (MA), Lagoa do Peixe (RS) e a Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal (MT) (WWF, 2022).

Áreas úmidas no Brasil

As Unidades de Conservação (UAs) ocupam cerca de 20% do território nacional e são consideradas os ecossistemas mais relevantes em termos ambientais do mundo, além de apresentar uma grande variedade de espécies de flora e fauna que desempenham um papel na recarga dos aquíferos e na melhoria da qualidade da água, retém o carbono orgânico, regulam os ciclos biogeoquímicos, controlam Inundações e regulam o clima (JUNK et al., 2015).

No mundo, diversos países possuem legislações e instrumentos oficiais que identificam e classificam de AUs. No contexto brasileiro, o INAU elaborou primeiras propostas de classificação das UAs, com base em grandes drones, nos parâmetros hidrológicos e vegetativos das regiões costeira, amazônica e pantaneira. Institutos de pesquisa em alguns países desenvolveram classificações ecológicas de determinados tipos de AUs, como manguezais, veredas, brejos austrais e Várzea Amazônica (MALTCHIK, 2004).

O regime hidrológico (ou ciclo hidrológico) da UA por sua vez, divide-se em cinco categorias: saturação/imersão permanente; Saturação Sazonal/Alagamento; Inundação Permanente; Inundação Sazonal; e Inundação Intermitente, devendo ser escolhida aquela que apresenta condições temporais predominantes. Deve-se notar que breves inundações são ignoradas, pois raramente sustentam a vida aquática macroscópico (FINLAYSON E VAN DER VALK, 1995).

Os autores identificam três aspectos importantes relacionados ao ciclo hidráulico: uma superfície inundada não significa que seu substrato esteja necessariamente saturado/encharcado; graus A saturação da matriz depende de sua porosidade e permeabilidade, pressão capilar e tipo hidrológico; a saturação permanente geralmente ocorre quando o lençol freático muda raramente, a taxa de descarga é contínua (KOTZE, 1999).

Segundo Junk *et al.* (2015) no Brasil ainda temos poucas legislações para protegermos as áreas úmidas, pois às Aus, ainda são áreas de pouco interesse em estudos, sendo que estas áreas são de extrema importância para a conservação de espécies endêmicas e periódicas e a sua enorme biodiversidade de vegetação.

Pantanal Mato-Grossense

O Complexo do Pantanal, ou simplesmente Pantanal, é um bioma constituído principalmente por uma savana estépica, alagada em sua maior parte, com 250 mil quilômetros quadrados de extensão e uma altitude média de 100 metros. Devido às dificuldades de mensurar o tamanho do Pantanal, é possível encontrar referências de sua área em 210 mil km². (THIELEN, 2020).

O Pantanal é considerado a maior planície alagada contínua do mundo, com 140.000 km² em território brasileiro. Conforme o Instituto SOS Pantanal, do total de 195.000 km² considerados do Pantanal, 151.000 km² se encontram no Brasil e os restantes 44.000 km² estão divididos entre Bolívia e Paraguai. O Pantanal Boliviano possui 31.898 km² (WWF,2022).

A área alagada do pantanal se deve a lentidão de drenagem das águas que fluem lentamente, pela região do médio Paraguai, num local chamado de Fecho dos Morros do Sul.

Atraído pelos metais preciosos, Aleixo Garcia foi o primeiro a visitar o território em 1524, chegando a região de Corumbá pelo rio Miranda. Nos anos de 1537 e 1538, Juan Ayolas e Domingos Martinez de Irala seguiram pelo rio Paraguai e denominaram Puerto de Los Reyes à lagoa Gayva (PASCHOAL, 2019).

Segundo Joly *et al* (1999) o Pantanal é uma das maiores extensões alagadas contínuas, no centro da América do Sul, na bacia hidrográfica do Alto Paraguai. É do ponto de vista, da fisiografia e geomorfologia, definido como uma grande e relativamente complexa planície de coalescência detrítico-aluvial.

Como esta planície tem pouco inclinação nos sentidos norte-sul e Leste-Oeste, as águas que desaguam na cabeceira do rio Paraguai levam quatro meses ou mais para atravessar o Pantanal. Os ecossistemas são compostos por cerrados e cerradões sem inundação, campos alagáveis, além de ambientes aquáticos, como lagoas de água doce ou salobra, rios, vazantes e corixos (BORJA 2014).

O clima é quente e úmido no verão, embora o inverno seja relativamente frio, a umidade do ar continua sendo alta devido à evapotranspiração associada à água acumulada no solo no horizonte das raízes durante o período de cheia (THIELEN, 2020).

A Planície do Pantanal tem aproximadamente 230 mil km², mas estudiosos dizem que é difícil ter um cálculo exato porque ele é muito extenso e as regiões ao redor dele mudam com as estações. Considerada uma das maiores planícies de sedimentação do planeta, o Pantanal estende-se pela Bolívia e Paraguai, países em que recebe outras denominações, sendo Chaco a mais conhecida. Na Bolívia é conhecido também como Pantanal Boliviano ou ainda Gran Pantanal. O fluxo da água escoar pelas depressões do terreno, formando os corixos. (JOLY *et al*, 1999).

De acordo com Pott (2015), o grande aumento periódico da rede hídrica no Pantanal, a baixa declividade da planície e a dificuldade de escoamento das águas pelo alagamento do solo, são responsáveis pelas inundações nas áreas mais baixas, formando baías de centenas de quilômetros quadrados, o que confere à região um aspecto de imenso mar interior.

Com a subida das águas, grande quantidade de matéria orgânica é carregada pela correnteza e transportada a distâncias consideráveis.

Saneamento básico rural

O saneamento é um conjunto de medidas destinadas a proteger ou modificar as condições ambientais para prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida, a produtividade pessoal da população e promover a atividade econômica (TRATA BRASIL, 2018).

No Brasil, o saneamento básico é um direito garantido pela Constituição e pela Lei nº 11.445/2007. Constitui em um conjunto de serviços de infraestrutura e meios operacionais para abastecimento de água, esgotamento sanitário doméstico, limpeza urbana, drenagem urbana, gestão de resíduos sólidos e pluviais (BRASIL, 2007).

Sendo assim, pode-se definir saneamento rural como o conjunto de ações de saneamento básico desenvolvidas para atender as comunidades rurais e populações tradicionais como: comunidades quilombolas, povos indígenas, assentamentos etc., mediante o emprego de sistemas economicamente viáveis e com a participação social, compatível com as características sociais e culturais e a realidade de vida de cada comunidade ou território (FUNASA, 2019).

O Plano Nacional de Saneamento Rural (PNSR) promove o desenvolvimento de ações básicas de saúde no meio rural para a universalização ao acesso por meio de estratégias que garantam a equidade, integridade, intersetorialidade, sustentabilidade e participação social dos serviços implementados (BRASIL, 2019).

Segundo Borja (2014), no Brasil, antes de 2007, havia um vácuo institucional na área da saúde, o que criava responsabilidades na definição de políticas públicas para os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos e drenagem pluvial.

Esta responsabilidade conduz à subprestação destes serviços, sobretudo “nas zonas periurbanas e rurais onde vivem os mais pobres”, a situação de desigualdade social ainda é grande.

No Brasil, como mencionado anteriormente, há um grande déficit no setor de saneamento básico, especialmente nos serviços de esgotamento sanitário e tratamento de esgoto, cujas necessidades são mais acentuadas nas áreas próximas aos centros urbanos e nas áreas rurais densamente povoadas (GALVÃO JUNIOR, 2009).

A utilização do saneamento como ferramenta de promoção da saúde está pautada na superação das barreiras técnicas, políticas e administrativas que impedem a expansão dos benefícios aos moradores das áreas rurais, urbanas e de pequeno porte. A maioria dos problemas de saúde que afetam a população mundial está intrinsecamente relacionada ao meio ambiente (FIGUEIREDO, 2019).

A Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2013) considera a área rural em sua apresentação, embora não defina Diretrizes do Programa Nacional de Saúde Rural (PNSR), discutidas e estabelecidas de forma descentralizada e participativa, com foco na saúde rural e considerando as diferentes realidades das organizações rurais brasileiras.

Deve-se observar que a lógica de prestação de serviços de saneamento no meio rural e nas cidades é diferente, tanto em termos de tecnologia aplicável quanto de formas de gestão.

Apesar da Fundação Nacional de Saúde – FUNASA desempenhar esforços para implantar várias ações no interior do Brasil, ainda a falta de uma política pública que estabelecesse diretrizes para os planos e projetos na área atrapalhou o progresso do setor, e só com a criação da nova Política Nacional de Saneamento Básico – PNSB foi possível realizar o debate sobre o Saneamento Rural de maneira realmente institucionalizada (Teixeira, 2014).

Esgotamento rural

Tratamento de esgoto em áreas rurais

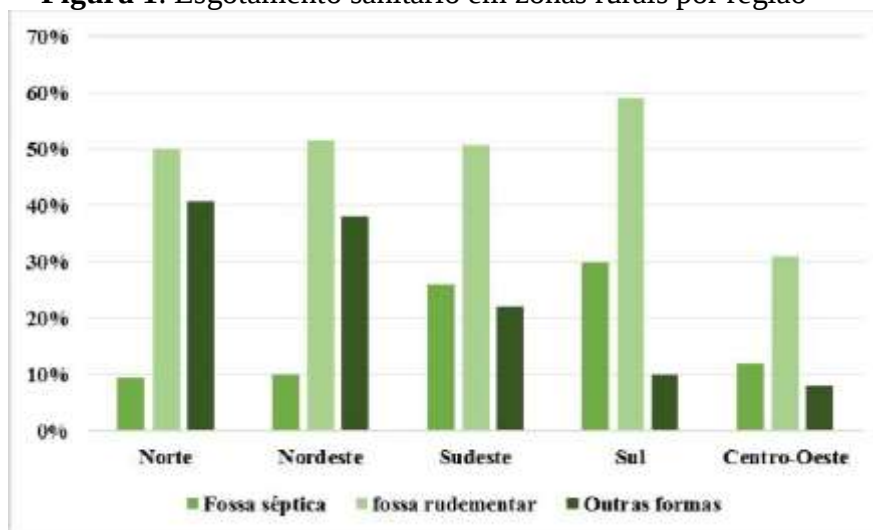
Segundo Tonetti (2018), nas áreas rurais o sistema mais comum de tratamento de efluentes domésticos baseiam-se em sistemas individuais, pois cada residência possui sua tecnologia de tratamento.

Considera-se o meio rural carente no que diz respeito a tecnologias para o tratamento de efluentes domésticos, as alternativas simples e econômicas são as mais encontradas. Ademais, os métodos de tratamento e/ou disposição final dos efluentes domésticos mais utilizados nas áreas rurais são as de fossa seca, fossa séptica, fossa negra ou fossa rudimentar (TRATA BRASIL, 2018).

Dados obtidos do IBGE (2010), mostra como o esgotamento sanitário rural no Brasil é organizado por região. Mostrando que no Centro-Oeste menos de 20% dos domicílios rurais possuem rede geral ou fossa séptica e no Nordeste mais de 50% estão ligados à fossa rudimentar ou outras formas.

Dados como esses apresentam a realidade precária do tratamento de esgoto rural no Brasil. Segundo os dados da Figura 1, o esgotamento no Brasil é muito precário, mesmo em região como sul e sudeste, e ainda, o sistema de rede em geral encontram-se inferior a 30%.

Figura 1: Esgotamento sanitário em zonas rurais por região



Fonte: IBGE (2010)

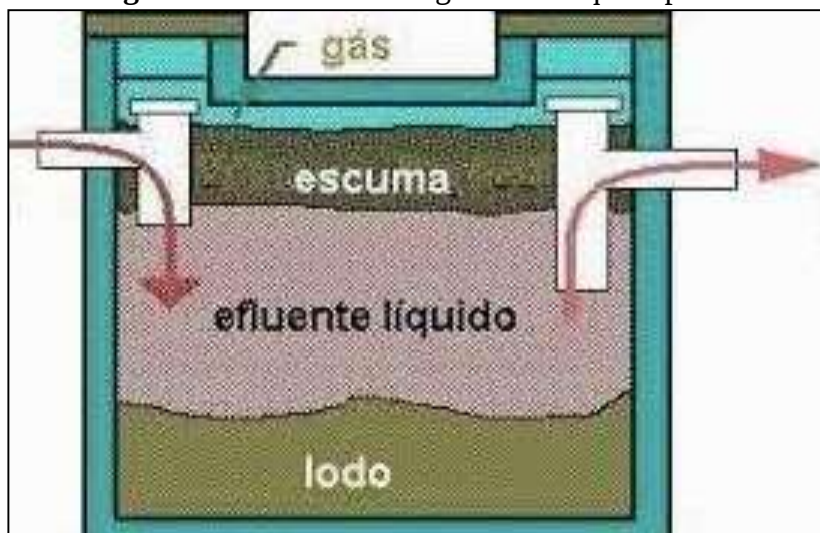
Fossa séptica

Também chamado de decanto-digestor ou fossa séptica, a fossa séptica é um método separado de tratamento de esgoto, que consiste em comunidades que usam relativamente pouca água e utilizada em áreas rurais que carecem de rede de esgoto (TONETTI, 2018).

Para Netto (2015), uma fossa séptica é um tanque impermeável em que o esgoto bruto (não tratado) fica por várias horas antes de ser lançado no solo ou em uma rede de coleta. Nele, os microrganismos naturalmente presentes no esgoto mineralizam parte da matéria orgânica, produzindo lodo (que deve ser removido pelo menos uma vez por ano).

Segundo a nomenclatura adotada pela NBR-7229 (ABNT, 1993) o volume total da fossa ou do tanque séptico é a somatória dos volumes de sedimentação, da digestão e do armazenamento de lodo Figura 2.

Figura 2: Funcionamento geral de tanque séptico



FONTE: CAESB (2008)

A eficiência do tratamento de esgoto por fossa séptica quanto a qualidade do efluente é regular, pois há necessidade de pós-tratamento para complementar o processo. Nesse caso, o efluente fica retido na fossa por um período estabelecido (tempo de detenção), que pode variar de 12 a 24 horas. O esgoto é tratado na ausência de oxigênio (anaeróbio), com formação de lodo e formação de biogás, o qual é composto basicamente por metano e gás carbônico (ÁVILA, 2005).

Para Tonetti (2018), a disposição do efluente líquido dos tanques sépticos, deve entrar na câmara inferior e, à medida que o nível do líquido neste compartimento aumenta, o líquido irá permear o meio filtrante, onde os microrganismos anaeróbicos irão se instalar, estabilizando os orgânicos e retraindo os sólidos.

Segundo Embrapa (2010), as fossas sépticas podem ser construídas com os seguintes materiais e seguir o dimensionamento conforme normas da NBR 7229/1993.

Fossas sépticas de concreto e de tijolos, são o tipo mais popular no mercado devido à sua resistência, peso e durabilidade. Geralmente consiste em duas ou mais câmaras devidamente construído e mantido regularmente, eles retêm sólidos em águas residuais e impedem que eles entrem no ralo podendo durar mais de 40 anos. É menos provável que rache ou perfure. Esse tipo de instalação costuma ser mais trabalhosa e demorada, podendo apresentar problemas durante a instalação devido a falhas na execução, intemperes, dimensionamento e tem um custo alto, Figura 3 (EMBRAPA, 2020).

Figura 3: Fossa séptica de alvenaria e tijolos



FONTE: CAESB (2008)

A Fossa Séptica de Manilha é amplamente utilizada em residências e vias públicas pelos órgãos responsáveis pelos sistemas de esgotamento sanitário e possui diferentes diâmetros. Esse tipo de fossa é um tanque de anéis de concreto enterrado que recebe esgoto, mas com baixa eficiência, conforme Figura 4.

Figura 4: Fossa séptica de manilha



FONTE: CAESB (2008)

Segundo NBR 7229/1993, o dimensionamento da fosse séptica é dada pela formula $V = 1000 + N (CT + Kf)$

V = Volume útil em litros N = número de pessoa ou unidades de contribuição

C = Contribuição de despejos, em L/dia.

T = Período de retenção, em dias.

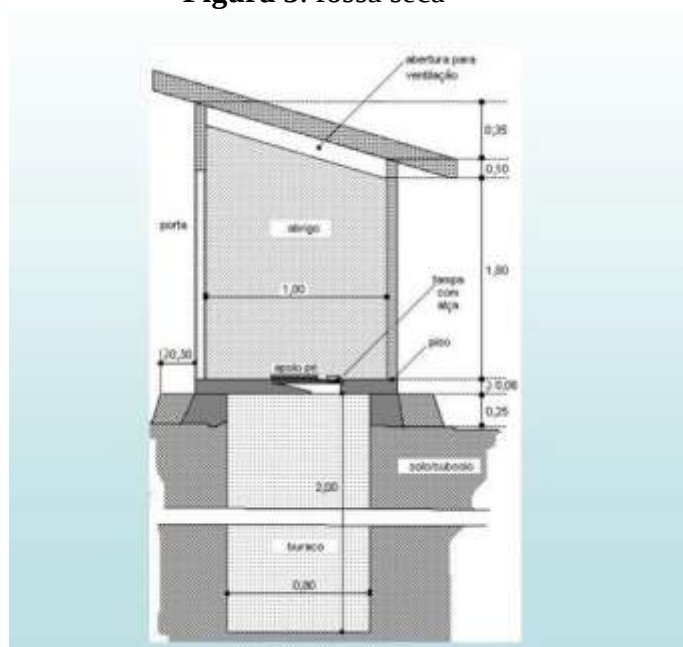
K = taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco

F = contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa.

Fossa seca

Quando não há água corrente na residência, o que é comum na zona rural, as fezes são jogadas diretamente em buracos cavados no solo. O fundo de uma fossa seca ou a chamada “casa minúscula” deve estar a pelo menos 1,5 m acima do lençol freático, para impedir que a água o atinja, e se transforme em fossa preta, por esse motivo deve-se evitar ao máximo sua instalação. Entretanto, ao ser instalado, o piso (ou tampa do furo) deve ser de concreto armado com um furo que possa acomodar o assento temporário de madeira (VON SPERLING, 2007).

Figura 5: fossa seca



Fonte: FILHO E FEITOSA (2002)

Fossa rudimentar

É um modelo básico com baixa segurança para o meio ambiente e usuários. É cavado diretamente no solo sem nenhum tipo de revestimento. Nesse tipo de fossa, os resíduos caem diretamente no solo. Parte dela infiltra no solo e a outra parte se decompõe no fundo do compartimento sem fluxo (LEONEL *et al.*, 2013).

Além disso, aumenta a possibilidade de prejuízo ao ambiente e conseqüentemente, à saúde da comunidade. Outrossim, os poços pretos devem ser limpos e esvaziados periodicamente, o que provoca outro impasse quanto ao lançamento desse resíduo. Esse tipo de fossa é uma alternativa relativamente barata e comumente disponível em várias partes do país. Porém, é proibido em várias cidades e estados como solução temporária até a conclusão da fossa adequada (SERAFIM, 2013).

Os principais impactos ambientais relevantes para este tipo de sistema envolvem a contaminação do solo, das águas subterrâneas com patógenos e nitratos. Além do que, críticas são dirigidas às fossas sépticas, especialmente, para aquelas instaladas em locais inapropriados. A degradação da matéria orgânica nos sistemas, mostra a pouca eficiência destes, tanto relacionado ao solo, quanto a saúde humana (Figura 6).

Figura 6: Fossa rudimentar



Fonte: FIGUEIREDO (2019)

Alternativas sustentáveis para tratamento de esgoto

Tanque de evapotranspiração

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é um sistema de tratamento simplificado que pode ser usado para tratar a água de vasos sanitários domésticos.

O TEvap é um sistema que pode tratar águas negras em áreas urbanas e rurais, sendo uma alternativa secundária aos sistemas convencionais de tratamento de esgoto, que consiste em um tanque impermeável preenchido com diferentes camadas de substrato, cobertas por vegetais de crescimento rápido, como banana, mamão ou plantas de folhas largas (LEONEL, 2013).

A ideia original partiu do permacultorista americano Tom Watson e foi adaptada em projetos implantados por permacultores brasileiros, principalmente no estado de Santa Catarina e região do Distrito Federal (VIEIRA, 2010).

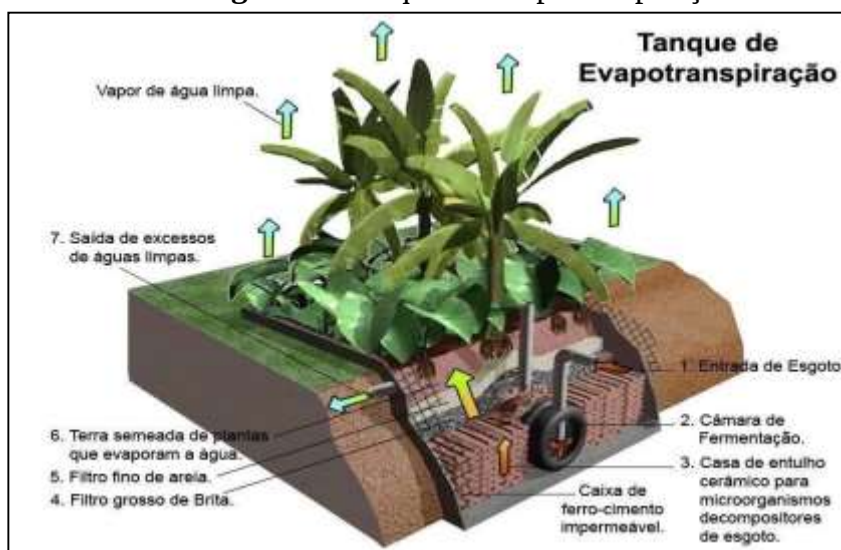
Segundo Galbiati (2009), o sistema de tanque de evapotranspiração vem sendo implantado há quase 20 anos no Brasil e está ganhando cada vez mais notoriedade e visibilidade, mas existem poucos trabalhos científicos sobre a BET (Tabela 1), sendo em todos os resultados a comprovação da redução físico-químico e microbiológica.

Tabela 1: Tratamento de esgoto por meio de bacia de Evapotranspiração

TIPOS DE TRATAMENTO POR BACIA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO	PRINCIPAIS RESULTADOS	FONTE
Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração.	Remoção: 40% para a DQO; 80% para a DBO; 90% para SST e 81% para a turbidez. Pouco efeito no pH, CE cloreto e <i>E. Coli</i> .	Galbiati (2009)
Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no assentamento rural Olga Benário-MG.	Alta remoção de turbidez (79 a 86%); SST (97 a 99%) e DQO (95 a 97%). CE aumenta ao longo do perfil vertical. Baixas concentrações de OD. Remoção de <i>E. Coli</i> .	Pires (2012)
Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário	O solo de dentro da BET teve pH aumentado, aumento da saturação de bases e consequente aumento da disponibilidade de alguns nutrientes. Houve aumento da CE também.	Benjamin (2013)

Fonte: ADAPTADA DE FIGUEIREDO *et al.* (2019)

Segundo a Figura 7, o TEvap atua como digestor anaeróbio em sua parte inferior, sendo que a parte superior atua como um pântano feito de escoamento subterrâneo. Tal sistema não gera esgoto, reduz a necessidade de pós-tratamento do esgoto devido ao seu grande volume e permite que o esgoto seja totalmente absorvido pelas usinas em condições normais de operação, evitando assim a poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas.

Figura 7: Tanque de evapotranspiração

Fonte: COOMAP (2019)

Diversos tanques de evapotranspiração foram implantados e monitorados cientificamente no Brasil e nos Estados Unidos, ideia original creditada a Tow Watson e adaptada por permacultores brasileiros (NETTO, 2018).

Segundo Vieira (2010), a função da bacia hidrográfica é descrita como estágio:

a) **Fermentação:** A água é decomposta por um processo de fermentação (digestão anaeróbia) realizado por bactérias na câmara bioquímica do pneu e no espaço criado entre as pedras e tijolos colocados ao lado da câmara.

b) **Segurança:** Os patógenos estão bloqueados no sistema porque não há como garantir sua remoção completa. Isso porque a bacia é fechada e não tem saída. A bacia precisa ter espaço suficiente para acomodar a quantidade total de água e dejetos humanos que recebe em um dia e devem ser construídas com técnicas que evitem infiltrações e vazamentos.

c) **Infiltração:** Como a água fica retida na bacia, ela percola de baixo para cima, então, depois de separada dos dejetos humanos, passa por camadas de cascalho, areia e terra, e chega às raízes das plantas, 99% limpa.

d) **Evapotranspiração:** A evapotranspiração é o princípio fundamental da Bacia, pois permite o tratamento final do efluente que sai do sistema apenas na forma de vapor, sem quaisquer poluentes. A evapotranspiração é realizada pelas plantas, principalmente aquelas de folhas largas como banana, taioba, etc. Além disso, eles consomem nutrientes à medida que crescem para que a bacia nunca encha.

Segundo Galbiati (2009), para determinar o dimensionamento do tanque de evapotranspiração, observou-se a profundidade dos tanques, pois ela varia de acordo com o número de pessoas, as características do local, como o tipo de solo e a umidade relativa do ar,

o que faz diferença na construção do sistema, conforme referências de valores apresentadas pelos autores no Quadro 1.

Quadro 1: Volume de tratamento do TEvap medido pela capacidade da área por usuário, segundo as referências encontradas.

Autores	m²/pessoas
Galbiati (2009)	2,4 a 4
Benjamin (2013)	1,2
Bernardes (2014)	2
Bernandes <i>et al.</i> (2015)	2
Netto <i>et al.</i> (2015)	0,8
Machado <i>et al.</i> (2017)	1
Silva & santos (2017)	3,5
Coelho (2018)	1,2
Almeida <i>et al.</i> (2019)	2
Guimaraes (2019)	1
Rezende (2019)	2,5
Santos (2019)	2

Fonte: ADAPTADO DE GALBIATI (2009)

Antes mesmo de selecionar um canteiro de obras, é preciso prever as dimensões da estrutura, e para isso é fundamental saber a quantidade de pessoas que utilizarão o sistema (GALBIATI,2009).

Segundo Vieira (2010), a construção da bacia consiste nas seguintes etapas:

- a) **Vala:** cavada com 1m de profundidade, 2m² por pessoa, impermeável;
- b) **Camada receptora** (série de pneus alinhados): organize as fileiras de pneus, coloque alguns tijolos ou telhas quebradas entre eles para permitir maior circulação de água e canos;
- c) **camadas finas de resíduos de construção:** onde ocorre a digestão anaeróbica das águas residuais que escoam pelos espaços entre os pneus;
- d) **camadas de cascalho grosso e fino:** nessas camadas começa a formação de filtros que permitem o desenvolvimento das raízes das plantas;
- e) **camada de areia:** onde será plantado as plantas;

Wetlands

Os *Wetlands*, no que lhe concerne sua estrutura foram inspirados em ecossistemas naturais como pântanos e brejos, muito utilizado no tratamento de águas cinzas ou como tratamento de efluentes secundários no tratamento de esgoto.

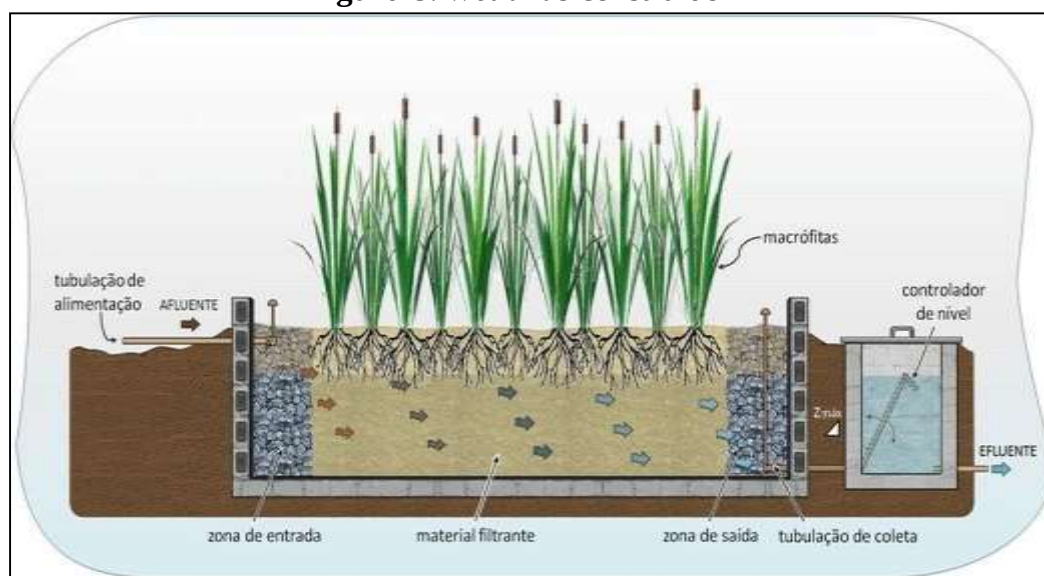
Segundo SEZERINO *et al.* (2015), o sistema de tratamento de águas residuais, versada como sistemas *wetlands* construídos, foi primeiramente criada na Alemanha pelo pesquisador Käthe Seidel do Instituto Max Planck em 1950, para a retirada de fenol e na diminuição da carga orgânica de efluente de laticínio.

De acordo com o contexto brasileiro, as primeiras experiências com o uso de *wetlands* para a melhorar a qualidade da água e também para o controlar a poluição foram conduzidos no início de 1980 pelos pesquisadores Salati e Rodrigues. Apesar disso, os experimentos brasileiros se intensificaram a partir de 2000, com a utilização de sistemas *wetlands* construídos para o tratar de diversas águas residuais, difundidas ao longo de todo o território brasileiro, em diversas formas e arranjos, e com vários materiais filtrantes e macrófitas empregadas (MATTOSO, 2014)

Esse processo pode ser dividido em sistemas de fluxo horizontal ou de sistemas de fluxo vertical.

Em sistema de fluxo horizontal, o esgoto bruto (afluente) por meio da tubulação de entrada flui horizontalmente através do leito contendo as macrófitas (plantas) até a saída (efluente) conforme Figura 8 (GESAD, 2020).

Figura 8: Wetlands construído



Fonte: GESAD (2020)

Quanto ao sistema de fluxo vertical o esgoto atravessa intermitentemente a superfície, com água fluindo na vertical através do leito também com a presença das macrófitas, e que sai do sistema por meio de drenos. Ao contrário do TEvap, que pode ser classificado como zona úmida subsuperficial horizontal e por não possuir lâmina d'água acima do leito, não possui efluente final em condições normais de operação (LEONEL, 2013).

Jardim filtrante

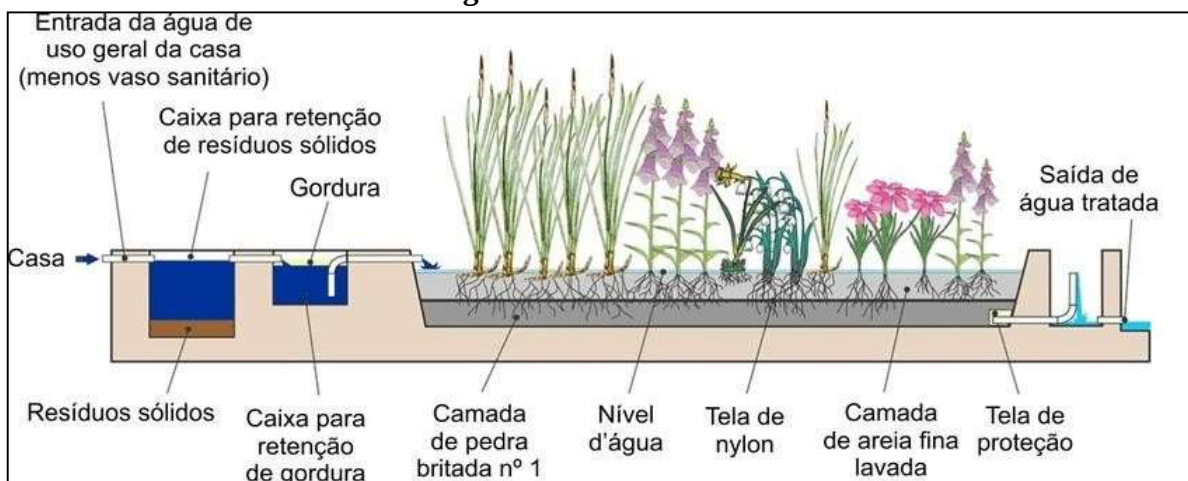
Jardins filtrantes, também conhecidos como sistemas de zonas úmidas construídas, gradualmente reconhecido mundialmente. Assim pode-se incluir os sistemas, que têm sido cada vez mais bem-sucedidos no projeto, na construção e na operação com mais benefícios. Além disso, cada vez mais áreas profissionais estão envolvidas com o tema. Arquitetos, biólogos, paisagistas, ecologistas, engenheiros, etc. podem, todos, participar facilmente do projeto de construção de um jardim filtrante (Tanner, 1996)

Jardins filtrantes (ou restauração de plantas) são uma técnica francesa que envolve o uso de Plantas nativas no tratam efluentes domésticos e industriais. Esta metodologia de tratamento começou em meados dos anos 70 na Alemanha, mas fez grandes progressos na França, onde hoje mais de 3.500 pessoas jardim foram instalados (ELLIOT *et al.* 1984; TANNER, 1996; KAPPERLMeyer *et al.* 2002).

A EMBRAPA adaptou esta tecnologia para complementar o uso da fossa séptica com biodigestor. É composto de pequeno lago com pedras, areia e plantas aquáticas, onde o esgoto é tratado.

Esse processo contribui com a sustentabilidade do meio ambiente e ainda traz harmonia paisagística, além do que, sua manutenção ser muito simples. Por conseguinte, uma solução para localidades do meio rural. Esse sistema de tratamento de esgoto trata esgoto misto, tanto águas cinza quanto água negra por Zona de Raízes (LEONEL, 2013).

Conforme a Figura 9, o jardim filtrante é uma tecnologia sustentável, que pode ser usada para atender pequenas comunidades, escolas e residências unifamiliares. Ocupa pouco espaço, e pode ser integrado de forma não agressiva ao ambiente. No entanto, tem as desvantagens ser trabalhosa, pois pode sofrer obstrução (EMBRAPA, 2006).

Figura 9: Jardim filtrante

Fonte: EMBRAPA (2013)

Basicamente, o efluente é conduzido a um filtro vegetal vertical, onde ocorre a degradação de matéria orgânica e nitrogênio. A manutenção é realizada a cada 10 anos e consiste na remoção de matéria acumulada mineralizada no jardim vertical. Mas a sustentabilidade continua, e essa matéria pode ser utilizada, como adubo para agriculturas (ELLIOTT, 1984).

As técnicas com base vegetal mista, usando plantas individuais ou conjuntos de plantas tem várias combinações para alterar a forma físico-química dos poluentes, transformando-os em elementos que as plantas absorvem e retêm. Os elementos resultantes são necessários para a vida das plantas e além disso limpam nos corpos d'água para o beneficiamento humano (PHYTORESTORE, 2018).

Parâmetros de qualidade dos efluentes

Os parâmetros de qualidade das águas residuais dependem da finalidade a que se destinam essas águas residuais, devendo ainda ser tidos em conta os resíduos sólidos gerados durante o seu tratamento. Se o destino final do esgoto líquido for córregos ou rios naturais, deve-se seguir a legislação ambiental estadual ou nacional. Os padrões de concentração de esgoto lançado em córregos e rios, em função da vazão da água, são regulamentados pela Resolução CONAMA nº 30 de 2011 e pelas Resoluções CONSEMA nº 128 e 129 de 2006.

Nessas decisões, os valores fundamentais são se as concentrações dos parâmetros de poluição diminuem e são mais baixos em fluxos mais altos para evitar a diluição das águas residuais para que não sejam limpas.

A norma para lançamento de esgoto em corpos d'água é uma ferramenta que tem por finalidade, juntamente com o padrão de qualidade dos corpos d'água receptores, assegurar a qualidade dos mananciais.

O objetivo do tipo de modelo de emissão e definições de concentração é facilitar o controle de poluentes e a detecção e repressão dos responsáveis pela degradação de um órgão entrante (VON SPERLING, 1998).

Além das normas de lançamento de esgoto e classificação dos destinos permitidos em nível federal pela Resolução CONAMA nº. 430/2011 (BRASIL, 2011). Conforme Quadro 2, os órgãos ambientais locais elaboraram e apresentaram padrões de qualidade para as águas residuais tratadas que não podem ser reutilizadas, o que torna outro mecanismo relevante na gestão dos recursos hídricos.

Quadro 2: Padrões de lançamento conforme Resolução CONAMA 430/2011

PARÂMETROS	LANÇAMENTO INDIRETO
pH	5-9
Temperatura (°C)	Inferior a 40
DBO5 (mg/l)	120 ou efic. > 60%
Sólidos sedimentáveis (ml/l)	1,0
Óleos minerais (mg/l)	Até 20
Óleos vegetais e gorduras animais (mg/l)	Até 50
Nitrogênio amoniacal (mg/l)	Até 20
Materiais flutuantes (SNF)	Ausente

Fonte: RESOLUÇÃO CONAMA 430/2011

Tratamento de efluentes

O tratamento de efluentes onde em sua maioria contém poluentes orgânicos que irão necessitar de algum tipo de tratamento, seja químico, biológico ou mesmo natural. O tratamento é extremamente necessário, pois está diretamente relacionado à poluição ambiental dos mananciais que são utilizados para captação de água para consumo humano e animal, além transmitir muitas doenças causadas pela ingestão ou contato com água contaminada como cólera, leptospirose, diarreia, hepatite A, entre outras (IBGE, 2011).

3.6.1 Histórico do tratamento de esgotos no Brasil

A história do tratamento de esgoto no Brasil pode ser dividida em duas partes, antes da criação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANASA) em 1969 e depois de sua criação. Antes do PLANASA, o tratamento de efluentes era feito a partir de projetos isolados criados a partir do esforço da comunidade interessada (MMA, 2006; MONTEIRO, 1993).

Esse esforço isolado tem causado vários problemas a serem mencionados, como a inviabilidade econômica por parte das comunidades mais pobres devido aos altos custos de implementação e baixo retorno do projeto; falta de material humano qualificado acarretando má qualidade do tratamento e aumento dos custos operacionais; aporte de material financeiro e humano em nível muito inferior ao necessário para um tratamento perfeito (MONTEIRO, 1993).

Adicione a isso o fato de que a população do Brasil no final dos anos 1960 era de aproximadamente 93 milhões de pessoas, e grande parte dessa população estava em locais com grande disponibilidade de água para limpar poluentes orgânicos, e a necessidade de limpeza não era aparente (UNESCO, 2015).

O "milagre econômico" do período militar, trouxe avanços que levaram a população do campo para as cidades, onde há necessidade de tratar o esgoto gerado. O meio ambiente, que antes conseguia pressionar pelo tratamento desses poluentes, agora não consegue mais, sobretudo nas grandes cidades que tiveram um rápido crescimento populacional e ao mesmo ritmo, aumento da poluição (MMA, 2006).

Por meio do Decreto nº 82.587 de 1978, o PLANASA teve como objetivo permanente a correção dos problemas de saneamento que o país apresentava. Os objetivos específicos foram planejamento, programação e controle sistematizado do equilíbrio entre demanda e oferta dos sistemas públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos centros urbanos, adequação dos níveis tarifários às possibilidades dos usuários, possibilitando maior escala de limpeza e desenvolvimento institucional do município (BRASIL, 1978).

A escala do plano segundo Monteiro (1993) para saneamento foi de 6,07% da população atendida anualmente no período 1970/1986 e aumento da expectativa de vida de uma fração da população em 7 anos, além do desenvolvimento e fortalecimento das empresas estaduais de saneamento em todo o Brasil.

Aspectos legais e legislação ambiental

Na Tabelas 2, estão elencados algumas das principais legislações e normas técnicas existentes no Brasil relacionados lançamento de efluentes.

Tabela 2: Legislação e normas pertinentes ao tema

LEGISLAÇÃO	ASSUNTO
Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997)	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010)	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
<u>Portaria nº 3.174/MS</u>	O Programa Saneamento Brasil Rural, previsto no Plano Nacional de Saneamento Básico - PNSB aprovado nos termos do Decreto nº 8.141, de 20 de novembro de 2013, tem a finalidade de articular e incrementar as ações que visem à universalização do acesso ao saneamento básico em áreas rurais e comunidades tradicionais.
Resolução nº 357 (BRASIL, 2005)	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
Resolução nº 430 (BRASIL, 2011)	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
NBR nº 9.898 (ABNT, 1987)	Dispõe sobre a preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.
Lei nº 11.445/2007	Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.
NBR nº 7.229/1993	Projeto, Construção E Execução De Sistemas De Tanques Sépticos
NBR nº 13.969/1992	Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.
NBR nº 8.160/1997	Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução
NBR nº 9.898/1986	Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2021)

As leis ambientais que regem o lançamento de efluentes na natureza são a Resolução nº 357 de 2005 (CONAMA, 2005), alterada pela Resolução nº 430 de 2011 (CONAMA, 2011), em nível nacional, e a Resolução nº 128, de 2006 (CONSEMA, 2006a), e Resolução nº 129, de 2006 (CONSEMA, 2006b) na esfera estadual.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) pela Resolução nº 357 alterada pela Resolução nº 430 estabelece padrões para o lançamento de poluentes no meio ambiente e proíbe lançamentos em níveis prejudiciais ou perigosos para humanos e outras formas de vida.

Os valores de lançamento e concentração dos efluentes segundo o CONAMA 430/2011 são apresentados nos Quadro 3 e 4.

Quadro 3: Valores de concentração e eficiência de remoção segundo CONAMA 430/2011

Faixa de vazão (m³/d)	DBO5 (mg/L O2)	DQO (mg/L O2)	SS (mg/L)	Coliformes concentração (NMP/100 mL)	Eficiência de remoção (%)
$Q < 20$	180	400	180	NI	NI
$20 \leq Q < 100$	150	360	160	NI	NI
$100 \leq Q < 200$	120	330	140	NI	NI
$200 \leq Q < 500$	100	300	100	1,00E+06	90
$500 \leq Q < 1000$	80	260	80	1,00E+05	95
$1000 \leq Q < 2000$	70	200	70	1,00E+05	95
$2000 \leq Q < 10000$	60	180	60	1,00E+04	95
$10000 \leq Q$	40	150	50	1,00E+03	99

Fonte: adaptado de CONSEMA (2006a).

Quadro 4: Valores de concentração e eficiência de remoção segundo CONAMA 430/2011

Parâmetro/ Eficiência	Unidades	Valores
Faixa de pH	-	6 - 9
Concentração DBO	mg/L O2	120
Eficiência de remoção de DBO	%	60
Nitrogênio total Kjeldahl	mg/L N	20

Fonte: adaptado de CONAMA (2011).

Impactos nos recursos hídricos

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) em ANA (2013), os recursos hídricos no Brasil são favoráveis, comparando o valor de disponibilidade per capita com outros países da Organização das Nações Unidas (ONU), uma vez que o Brasil tem cerca de 12% das reservas de água doce do planeta (MMA, 2006).

A disponibilidade de recursos hídricos no Brasil é heterogênea: 81% dessa disponibilidade está concentrada na região da Amazônia, que representa apenas 5% da população brasileira, ao passo que as regiões das bacias próximas ao Atlântico abrigam 45,5% da população e apenas 2,7% da disponibilidade hídrica (ANA, 2015)

O número crescente de rios e lagos está sob grande ameaça de contaminação, principalmente devido ao lançamento de águas residuais não tratadas o que gera sérios riscos de proliferação de inúmeras doenças de veiculação hídrica (WU; DAI, WU, 2017).

Os esgotos de numerosas propriedades rurais brasileira seguem os mesmos métodos de tratamento, ou seja, de maneira rudimentar, e que são responsáveis pela contaminação das águas subterrânea e superficial como também, pela proliferação de várias doenças (FUNASA, 2014).

Como resultado, a qualidade da água doce natural em todas as partes habitadas da terra é perturbada. O problema vem se agravando rapidamente nos países tropicais, e com isso, aumenta os custos do tratamento da água, a qual também é consumida em outras atividades, o que sugere medidas mitigadoras para sanar esses problemas (DANIELLE, 2002).

De acordo com Varnier e Hirata (2000), o nitrato é o poluente com maior ocorrência nas águas subterrâneas, tem como principal fonte de contaminação uso de fertilizantes agrícolas, criação de animais e fossas rudimentares próximo as fontes.

A contaminação das águas subterrâneas por compostos nitrogenados (proteínas de fezes, ureia de urina), dentre eles o nitrito, que quando presente na água de consumo humano em uma alta concentração, pode ocasionar metemoglobinemia em bebês recém-nascidos (POHLING, 2009).

Conforme Trata Brasil (2021), em janeiro de 2021, os equivalentes a 5.368 piscinas olímpicas de esgoto sem tratamento foram despejados no meio ambiente por dia, e somente 46% do esgoto gerado recebeu algum tipo de tratamento no Brasil.

Em 2019, houve mais de 270 internações devido a doenças causadas pela falta de saneamento e 16% da população não possuem acesso a água potável.

Etapas de tratamento de águas residuais

Águas residuais domésticas, por conter uma maior quantidade de matéria orgânica e microrganismos patogênicos que a água bruta, requer um maior número de operações e processos unitários que dependem das características das águas residuais a tratar. O tratamento é dividido em 4 etapas: preliminar, primária, secundária e terciária (RICHER, 2011).

Tratamento preliminar

Tratamento preliminar já descrito no tópico de tratamento de água. Em suma, esta etapa tem como objetivo retirar sólidos mais grossos como: pedaços de madeira e pedras grandes, e também remover de sólidos mais densos que a água, como a areia. Exemplos de pré-processamento são *fencing* e *sandboxing* (FERREIRA, 2016).

Tratamento primário

O tratamento primário, também descrito no tópico tratamento de água, baseia-se na remoção dos sólidos presentes por meio de operações unitárias que envolvem o conhecimento físico e físico-químico das águas residuais. Os exemplos de tratamento primário são a decantação, a coagulação a floculação e a filtração (CAMMAROTA, 2011).

Tratamento secundário

Segundo Ferreira (2016), o tratamento secundário de efluentes é a etapa mais importante para qualquer sistema de tratamento de efluentes, tanto domésticos quanto industriais, sendo assim, será descrito com maiores detalhes nesta parte do texto.

O tratamento secundário consiste na oxidação de substâncias orgânicas complexas como carboidratos, óleos, gorduras, lipídios e proteínas em compostos mais simples e menos poluentes como CO_2 , NH_3 , H_2O , H_2S , CH_4 , etc., pelos microrganismos presentes no lodo (bactérias, vírus, fungos, algas, etc.) que os usam como fonte de energia para crescer e manter suas necessidades energéticas. Essa oxidação pode ser realizada com presença de oxigênio (processo aeróbio) ou sem ele (processo aeróbico) (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Tratamento secundário anaeróbio

A degradação da matéria orgânica complexa por microrganismos ocorre em ambiente anóxico, ou seja, sem a presença de oxigênio, de forma muito mais complexa do que se o tratamento fosse aeróbico.

Um resumo do processo de tratamento anaeróbio pode ser dividido em 4 partes conforme a Quadro 5.

Quadro 5: Processos de degradação de matéria orgânica

HIDRÓLISE	ACIDOGÊNESE	ACETOGÊNESE	METANOGENÊSE
Durante a fermentação, as bactérias transformam a matéria orgânica complexa em compostos mais simples e solúveis. Proteínas são transformadas em aminoácidos,	Bactérias que precisam de um ambiente livre de oxigênio absorvem compostos elementares produzidos por hidrólise e são removidos como substâncias ainda mais simples. Ácidos graxos	Nesta fase, os produtos que são o substrato para a formação do metano na fase da metanogênese são alterados. Esses produtos incluem ácido acético,	As bactérias acetotróficas reduzem o ácido acético ou as bactérias hidrogenotróficas reduzem o dióxido de carbono, cujo produto final é o metano.

carboidratos em açúcares solúveis, principalmente mono e dissacarídeos, lipídios em ácidos graxos de cadeia longa, 15-17 carbonos. Esta etapa é, em muitos casos, a etapa limitante de todo o tratamento anaeróbico.	longos são convertidos em ácidos graxos curtos, açúcares em álcoois e ácidos lácticos e compostos minerais simples.	hidrogênio e dióxido de carbono.	
--	---	----------------------------------	--

Fonte: ADAPTADO DE CAMPOS (1999).

O tratamento anaeróbio é o mais vantajoso que o tratamento aeróbico, pois produz um volume de lodo 30% menor, diminuindo assim, os custos de tratamento, transporte e disposição do lodo (CAMPOS, 1999).

No entanto, é mais propenso aos efeitos adversos do clima e gera produtos com odores desagradáveis, o que impede sua instalação em áreas urbanas centrais (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Durante o tratamento anaeróbico, a matéria orgânica também pode ser oxidada por outros oxidantes alternativos, como NO_3^- e sulfato (SO_4^{2-}). Essa forma de tratamento produz produtos como o nitrogênio molecular em um processo denominado desnitrificação (SANT'ANNA JUNIOR, 2010) e o sulfeto de hidrogênio, ou sulfeto de hidrogênio, um composto de odor desagradável, corrosivo e venenoso para bactérias que produzem metano na fase de metanogênese (CAMPOS, 1999).

Tanques anaeróbicos são exemplos de tratamento anaeróbico clássico. Para o tratamento anaeróbio, inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas para desenvolver diferentes tecnologias, entre as quais podemos citar os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, denominados UASB, (LI *et al.*, 2014) e os biorreatores acoplados a membrana, denominados BRM (RAMOS *et al.* 2014).

Tratamento secundário aeróbio

Na purificação aeróbia da água, a comunidade microbiana usa a matéria orgânica como doadora de elétrons e o gás oxigênio como aceptor de elétrons, oxidando o complexo original e poluindo a matéria orgânica em substâncias químicas mais simples e menos poluentes como CO_2 , H_2O e NH_3 . CO_2 (METCALF e EDDY, 2004).

Este processo é muito mais simples que o processo anaeróbico, mais rápido e o consumo de energia da comunidade microbiana é muito maior. No entanto, a desvantagem desse aumento de utilização é a maior produção de biomassa no sistema, o que requer etapas adicionais para processar essa biomassa gerada (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

Em um processo aeróbico, o sistema enfatiza bactérias transformadoras de poluição com baixa disponibilidade de nutrientes, mudanças bruscas de pH e temperatura local, proporcionando a essas bactérias um ambiente competitivo e predatório com a comunidade microbiana. Graças a essas dificuldades, as bactérias produzem camadas ou cápsulas poliméricas que facilitam a fixação dos flocos formadores da biomassa (VAN HANDEEL, MARAIS, 1999).

Esses flocos possuem alinhamento diferenciado e o sistema pode ser fixo ou suspenso. Em um sistema com biomassa sólida, existe um leito de expansão (VILLEMUR *et al.*, 2015) e um air lift (GUO *et al.*, 2014). Já em sistema com biomassa flutuante, são utilizadas lagoas mistas aeradas, profundas, poços e um tanque misto para a reciclagem de biomassa, o chamado lodo ativado, que é o método de tratamento mais comum (OLIVEIRA, 2014).

A oxidação de substâncias complexas e poluentes em compostos mais simples depende da transferência de oxigênio da fase gasosa para a fase líquida. O oxigênio dissolvido é necessário para a oxidação de substâncias nocivas e também para a respiração endógena dos microrganismos, o que representa o consumo de oxigênio necessário para a oxidação das reservas energéticas dos microrganismos quando a concentração de nutrientes no ambiente diminui (SANT 'ANNA JUNIOR, 2010; OLIVEIRA, 2014).

Tratamento terciário

O tratamento terciário é utilizado para remover determinados componentes que não são removidos por tratamentos primários e secundários, como patógenos e compostos orgânicos que não são removidos por métodos físico-químicos convencionais aplicados na terapia Primária (TEIXEIRA, 2002).

Segundo FUKUSHIMA et al.2014, no tratamento terciário mais comum é a desinfecção com cloro, gás de cloro, dióxido de cloro ou hipoclorito. A desinfecção visa destruir parcial ou totalmente os microrganismos patogênicos.

Esse processo é usado porque é mais barato, prontamente disponível e pode efetivamente matar a maioria dos patógenos, mas tem a desvantagem que pode formar compostos tóxicos, como os organoclorados.

O processo de oxidação convencional (POC) é um método utilizado para mineralizar poluentes orgânicos por meio de processos físicos, químicos e biológicos. Os métodos usuais são a incineração e o biotratamento.

A incineração é o método mais antigo conhecido e mais antigo de ETE e, portanto, é o mais comumente usados (RODRIGUES-SILVA et al., 2014).

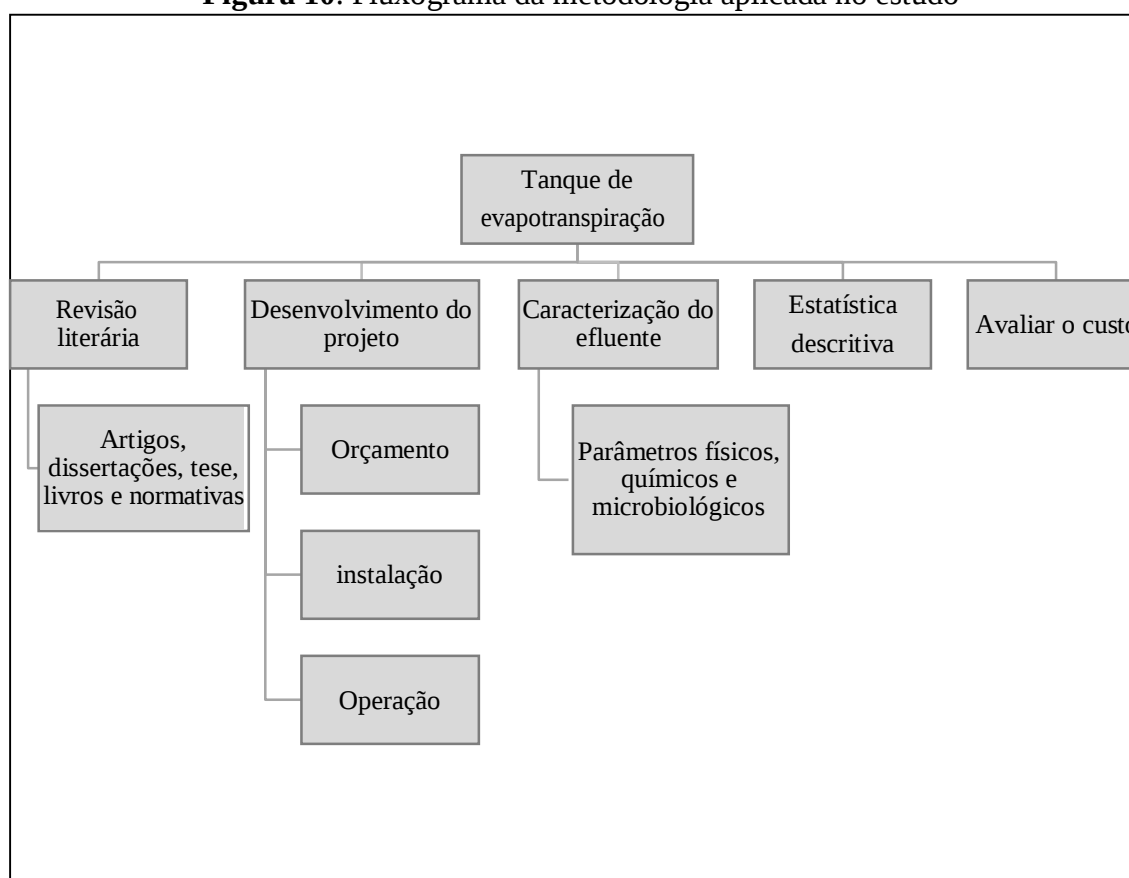
Mas há uma desvantagem de que sob certas condições de processamento formam-se compostos altamente tóxicos e intensivos em energia.

Os processos que utilizam tratamento biológico são muito eficazes na remoção de vários compostos orgânicos poluentes, mas apresentam as desvantagens de gerar grandes quantidades de biomassa, serem muito sensíveis às condições ambientais e exigir um longo tempo de tratamento (TEIXEIRA, JARDIM, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia constituiu nas seguintes etapas: i) revisão bibliografia em artigos nacionais, internacionais, livros técnicos, normas, legislações, dissertações e tese; ii) desenvolver o projeto, instalar e monitorar o tanque de evapotranspiração; iii) caracterizar os efluentes; iv) aplicar nos resultados estatísticos descritivos e v) avaliar o custo sistema implantado na comunidade, conforme Figura 10.

Figura 10: Fluxograma da metodologia aplicada no estudo



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2023)

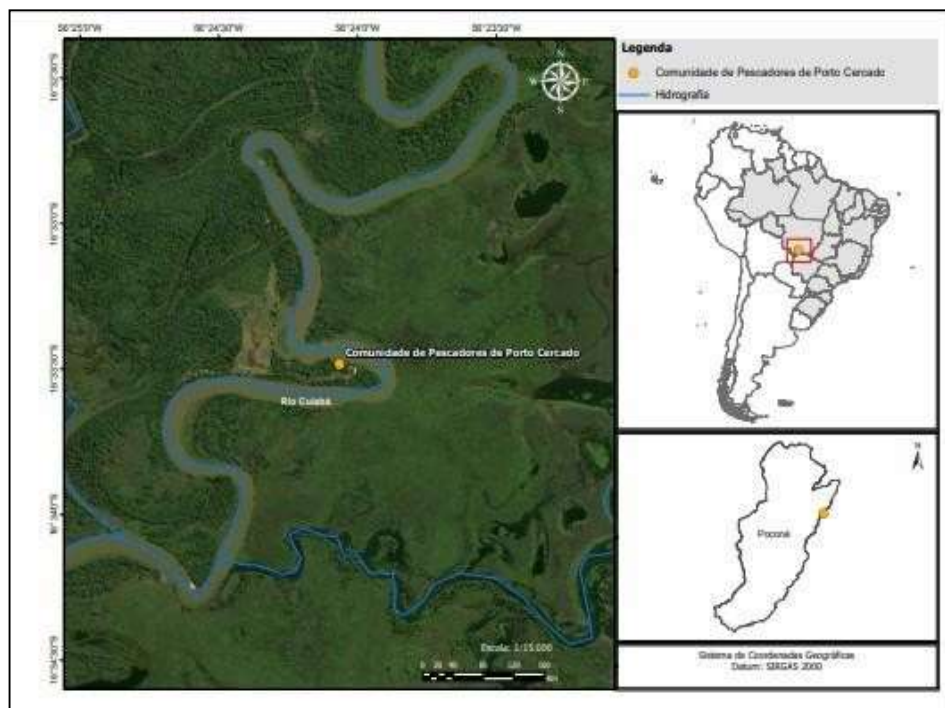
Área de estudo

O projeto foi desenvolvido na comunidade rural de pescadores de Porto cercado, localizado no município de Poconé/MT, no pantanal mato-grossense, distante 140 km da cidade de Cuiabá, capital do estado de Mato Grosso.

A cidade de Poconé-MT, possui uma população total de 33.386 habitantes (IBGE, 2021). Localiza-se na latitude 16°15'26"S e a longitude 56°37'29"W, a uma altitude de 153 metros, no Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense.

Na Figura 11, localiza-se a comunidade e a residência onde foram instalados o sistema de TEvap.

Figura 11: Localização da comunidade de ribeirão de Porto Cercado no Município de Poconé/MT



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

O clima do município é tropical e sub-úmido. Aprecipitação anual de 1.500 mm, com intensidade máxima em dezembro, janeiro e fevereiro. A temperatura média anual 24 °C. A economia do município de Poconé é sustentada pelo turismo, pesca, agricultura e pecuária (BRASIL, 2022).

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do município foi de 0,65 em 2010, e o Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* da economia do município foi 17.614,59 (IBGE, 2019).

O solo é composto por sedimentos arenosos, siltico-arenosos, argilo-arenosos e arenoso conglomeráticos semiconsolidados a consolidados a Formação Pantanal (EMBRAPA, 2006). Os principais corpos hídricos são os rios Cuiabá e Paraguai.

4.2. Caracterizar qualidade e quantidade dos efluentes

Para caracterizar os efluentes, foram realizadas análises físicas, químicas e microbiológicas no Laboratório de Físico Química de Água e Resíduos (LAFQAR) do

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.

As coletas das amostras foram realizadas fundamentadas nas orientações do “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos” (CETESB, 2011).

Os experimentos e ensaios analíticos das amostras serão desenvolvidos em consonância com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA/AWWA/WEF, 2012), Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros, métodos e procedimentos utilizados nas análises do efluente líquido brutos.

PARÂMETROS	MÉTODOS	NORMA E /OU PROCEDIMENTO
Temperatura	Método Eletrométrico	SMWW, 22ª Ed. Método 2550 B
pH	Método Eletrométrico	SMWW, 22ª Ed.
Cor aparente	Método Espectrofotométrico (Platino-Cobalto). Colorimétrico.	SMWW, 22ª Ed. Método 2120 E SMWW, 22ª Ed. Método 2120 B
Turbidez	Método Nefelométrico.	SMWW, 22ª Ed. Método 2130 B
Odor	Método de Análise Sensorial	NBR 14341:1999.
DBO	Método Respirométrico	SMWW, 22ª Ed. Método 5210 D
DQO	Método do Refluxo Fechado	SMWW, 22ª Ed. Método 5220 D
Coliformes Totais	Método Substrato Cromogênico/Enzimático	SMWW, 22ª Ed. Método 9223 B
Coliformes <i>E. coli</i>	Método Substrato Cromogênico//Enzimático	SMWW, 22ª Ed. Método 9223 B
NTK	Semi Micro-Kjeldahl	SMWW, 22ª Ed. Método 4500 B

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Procedimento de instalação, operação e monitoramento

O sistema de tratamento foi instalação em uma residência da comunidade dos pescadores de Porto Cercado, município de Poconé – MT (Figura 8).

A localidade possui cerca de 15 famílias. Na residência possui um morador, onde foi utilizado somente o esgoto sanitário conhecida como águas negras.

A comunidade de Ribeirinho de Porto Cercado começou a ser povoada nos anos 90, onde pescadores amadores na época compraram esta área e dividiram em pequenas propriedades e assim surgiu a comunidade pescadores.

A fonte de renda da comunidade basicamente é a pesca, criação de gado e pequenas plantações. Na Figuras 12, apresenta as instalações da fossa rudimentar de uma das residências nos períodos de chuva e de seca.

Figura 12: Localização da fossa rudimentar no período de seca e chuva.



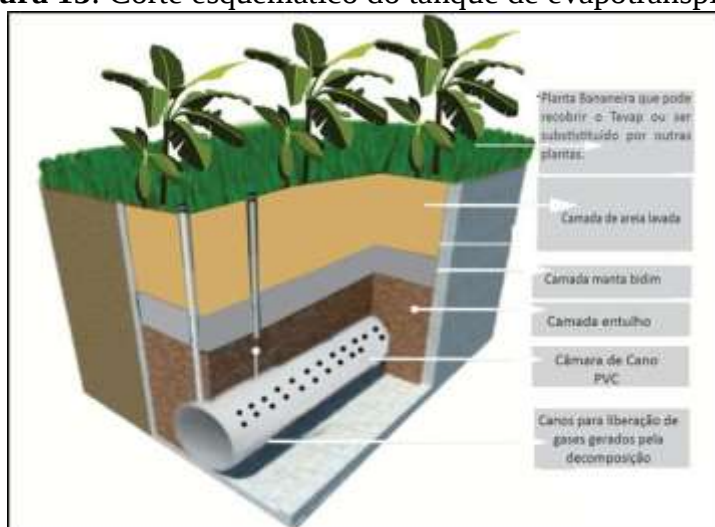
Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Instalação do TEvap

O sistema foi projetado em escala real para atender um banheiro na comunidade de Pescadores de Porto Cercado/MT.

- Para este trabalho foi considerado 1 pessoas por residência;
- Foi estimado a utilização diária do banheiro, que o vaso sanitário é usado 4 vezes ao dia, sendo 2 no período da manhã e 2 no período da noite;
- Considerou-se utilização, de 48 litros de água por dia, sendo 6 litros por descarga;
- O TEvap utilizado na pesquisa foi projetado de acordo com a Figura 13.

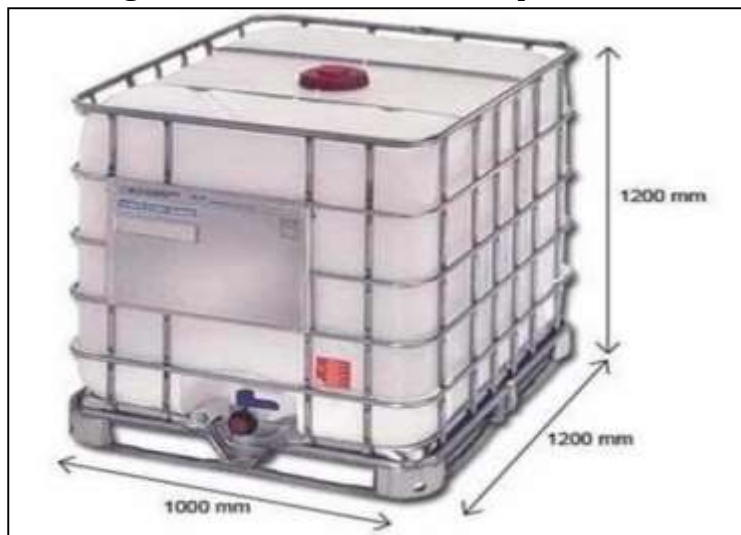
Figura 13: Corte esquemático do tanque de evapotranspiração



Fonte: ADAPTADO DE CIAC (2019)

Na montagem do TEvap utilizou-se tanque de IBC, as dimensões de 1 metro de largura, 1,20 de comprimento e 1,20 de profundidade, totalizando $1,2\text{m}^2$ de área superficial e $1,2\text{m}^3$ de volume total, conforme Figura 14.

Figura 14: Dimensões do tanque de IBC



Fonte: CETESB (2022)

Primeira etapa

A primeira etapa para montagem do sistema foi cortar a tampa do tanque, pois o tanque de IBC vem fechado e o sistema tem que ser aberto.

Em seguida foi realizada a montagem e instalação da câmara anaeróbia, com tubo de PVC de 100mm para a entrada do efluente e interligado a tubulação de 250 mm perfurado no fundo, Figura 15 com broca de 20mm.

Dessa forma que a efluente saia da câmara, porém alguns sistemas utilizam pneus como câmara, conforme Galbiati (2009), mas como é uma região alagadas e de difícil acesso, essa alternativa facilitou o deslocamento.

Figura 15: Instalação da câmara anaeróbia



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Segunda etapa

Na segunda etapa foram utilizados resíduos de construção civil, como: tijolos, pedra, cerâmica, com aproximadamente 0,70 cm de espessura, até o preenchido do fundo do tanque, conforme Figura 16.

Figura 16: Acomodação de resíduos de construção



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Terceira etapa

Na terceira etapa, par melhorar o escoamento, foi colocado acima dos resíduos o geotêxtil GT07 (Bidim), permeável e com 1,2m possibilitando a retenção das partículas e evidentemente a obstrução dos orifícios da segunda etapa Figura 17.

Figura 17: Instalação da manta bidim



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Quarta etapa

Para última etapa, foi colocada uma camada de areia lavada de 0,50 cm de espessura. Essa camada servirá de base para o plantio de mudas de bananeira, o que contribuirá com a evapotranspiração do ambiente.

Além disso, outras culturas como taioba, mamoeiro, também poderão ser utilizadas.

Para caracterização da areia foram coletadas amostras da areia no interior do sistema.

As amostras de areia foram coletadas conforme coordenadas 16.55809198S e 56.4013296W e levadas ao Laboratório da Faculdade de Engenharia Sanitária e ambiental da UFMT (DESA), onde foram preparadas de acordo com a norma técnica brasileira NBR 6457:1986, (Amostras de Solo – Preparação de Ensaio para Compactação e Ensaio de Caracterização) e submetidas a ensaios de granulometria em concordância a NBR 7181:1984 (Solo – Análise Granulométrica) a fim de caracterizá-las, determinando, também, o coeficiente de uniformidade (Cu). Conforme mostra as Figuras 18 e 19.

Figura 18: Preenchimento da camada de areia da localidade



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

A areia empregada foi a popularmente denominada de média, classificada de acordo com procedimento apresentado pela NBR 6502 (ABNT, 1995), sendo o material analisado é composto de 45% de areia grossa, 33% de areia média, 21% de pedregulho e 1% de silte.

Figura 19: Análise granulométrica da areia



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

As mudas de bananeira anã (*Musa ssp*) foram plantadas no sistema com objetivo de realizar a evapotranspiração, mas podendo utilizar outros tipos de culturas que necessite de muita água, Figura 20.

Figura 20: Plantio das mudas de bananeiras



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Orçamento para a construção do TEvap

Para determinar o valor de valores de construção do sistema do TEvap, realizou-se um levantamento quantitativo das conexões, tubos de PVC e tanque de IBC necessários para sua instalação. Os valores dos orçamentos foram digitados em planilhas de Excel. Esses valores apresentam variações entre as lojas de materiais de construção.

Vale ressaltar que, alguns materiais usados para a construção do sistema foram adquiridos sem custos, como a areia lavada retirada da região, os canos de PVC e os resíduos de construção civil retirados das proximidades das residências, além das mudas das bananeiras. A construção das instalações do sistema foi realizada pela pesquisadora, o que permitiu que qualquer pessoa montasse o seu próprio sistema.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do esgoto bruto

A Tabela 4 apresenta os resultados da estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos referente ao esgoto bruto. Segundo a NBR 13969:1997 da ABNT, o efluente apresentou características de esgoto médio.

Tabela 4: Resultados da análise de efluente de entrada do tanque

PARAMETROS ANALISADOS	MAXIMO	MINIMO	MEDIA	D.P
Cor (mg Pt/L)	96	92	94	2,82
Turbidez (NTU)	80	78,4	92.133	22,41
Sólidos totais (mg/L)	1011	854	932,5	111
Sólidos Voláteis totais (mg/L)	272	186	229	60.8
pH	7,28	6,59	6,9625	0,32
DBO (mg/L)	360	110	211,25	114,66
DQO (mg/L)	757	304	479,25	209,7
Nitrogênio Total (mg/L)	21	22	21,5	2,12
Fósforo (mg/L)	6,27	3,8	5,19	1,03
Nitrito (mg/L)	<0,03	<0,03	n.a	n.a
<i>E.coli</i> (NMP/100 mL)	7,00E+04	6,20E+00	n.a	4,90E+00
Coliformes totais (NMP/100 mL)	3,00E+04	2,80E+00	2,90E+40	2,12E+04

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2023)

Parâmetros físicos

Cor

O resultado da cor do efluente na entrada do sistema apresentou valores superiores a 75 mg Pt/L estabelecidos pelo Resolução CONAMA 430/2011, para águas residuais de média intensidade.

De acordo com Mota (2003), as cores acinzentadas indicam esgoto fresco. Essa coloração ocorre devido a presença de urina e fezes geradas no banheiro (água negra) e também por microrganismos patogênicos que devem ser eliminados, pois podem afetar a saúde e ao meio ambiente.

Turbidez

A turbidez média foi de 80 NTU, apresentada nos resultados indica que o esgoto bruto é fresco (VON SPERLING, 2014), devido à presença de partículas em suspensão e/ou coloidais na água negra, que são provenientes, principalmente, das fezes. A turbidez no TEvap pode ser removida pela sedimentação na câmara de digestão e pelo processo biogeoquímico das camadas filtrantes do sistema de tratamento.

Sólidos totais e sólidos voláteis totais

Observa-se que os valores de sólidos totais se apresentam com características de águas negras na faixa de 1.137,58 a 205,04 mg/L (GALBIATI, 2009). Os sólidos presentes correspondem a toda matéria orgânica e inorgânica presentes nos resíduos.

O TEvap funciona como uma câmara de digestão anaeróbia, em sua parte inferior retendo parte dos sólidos presente no esgoto, além das camadas intermediária e superior.

Os sólidos ainda assumem grande importância no monitoramento do processo anaeróbio por meio das concentrações de Sólidos Voláteis Totais (SSV), neste sentido os lodos da câmara de digestão anaeróbia serão analisados para se estimar a concentração de microrganismos decompositores da matéria orgânica.

Parâmetros químicos

Os resultados da análise físico-química do efluente do TEvap encontram-se na Tabela 4.

pH

De acordo com os resultados obtidos os valores de pH oscilaram entre 6,59 e 7,28, próximo a neutralidade semelhantes à faixa 6,5 a 7,5 definidas por Von Sperling (2014). O controle do pH no tratamento do esgoto é um fator de suma importância a ser mantido para se obter boa eficiência do processo biológicos (METCALF & EDDY, 2003). No TEvap, o pH manteve-se na faixa ideal para bactérias anaeróbias e as reações do ciclo do nitrogênio, o qual é, posteriormente, aproveitado na nutrição e crescimento das plantas.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A concentração média da DBO₅ foi 245 mg/L, dentro da faixa para águas negras (1.009 - 813mg/L), segundo Figueiredo *et al.* (2019). Segundo Metcalf e Eddy (2003), classifica o esgoto com concentração média, o qual apresenta valor de DBO em torno de 200 mg/L.

A concentração média da DQO foi 452mg/L, dentro da faixa para águas negras (723 - 363mg/L), segundo Galbiati, (2009). A DQO expressa o quantitativo de matéria orgânica passível de bioestabilização, dessa forma, o descarte indiscriminado em fossa rudimentar pode afetar a qualidade da água subterrânea e do corpo receptor que os recebem.

A relação DBO/DQO para o esgoto bruto apresenta concentração média, que variam entre 0,33 e 0,49, segundo Crispim *et al.* (1995), os resultados deste estudo mostraram valores médios de DBO /DQO entre 0,38 a 0,45.

Nitrogênio e Fósforo

Pelos resultados apresentados verificam-se as presenças de nutrientes como fósforo com a média de 5,19 e nitrogênio de com a máxima de 21 no esgoto bruto e provavelmente no efluente tratado, pois esses nutrientes são assimilados pelas plantas do TEvap, no qual cria ambiente esteticamente agradável (GALBIATI, 2009).

Para Salati, Salati Filho e Salati (2009), a vegetação age como depuradora devido aos seguintes fatores: Adsorção de partículas pelo sistema radicular das plantas; Absorção de nutrientes e metais pelas plantas; Ação de microrganismos associados à rizosfera; e Transporte de oxigênio para a rizosfera.

Nitrito

Os valores de nitrito foram inferiores a 0,03mg/L, o que indica pouca presença de íon nitrito, e por meio do processo de nitrificação oxida a amônia em nitrito e, na sequência em nitrato com valores que variam de 0,08mg/L a 12,6mg/L. Esse processo é realizado por bactérias quimiossíntheses que consome a energia liberada na nitrificação para sintetizar as substâncias orgânicas.

Tanto o nitrito presente no esgoto bruto quando destinado em fossa rudimentar podem ocasionar contaminação do solo e da água subterrânea. O nitrogênio na forma de nitrato pode ser absorvido pelas raízes das plantas presente no TEvap.

Exames bacteriológicos

5.4.1 *Escherichia coli* e coliformes totais

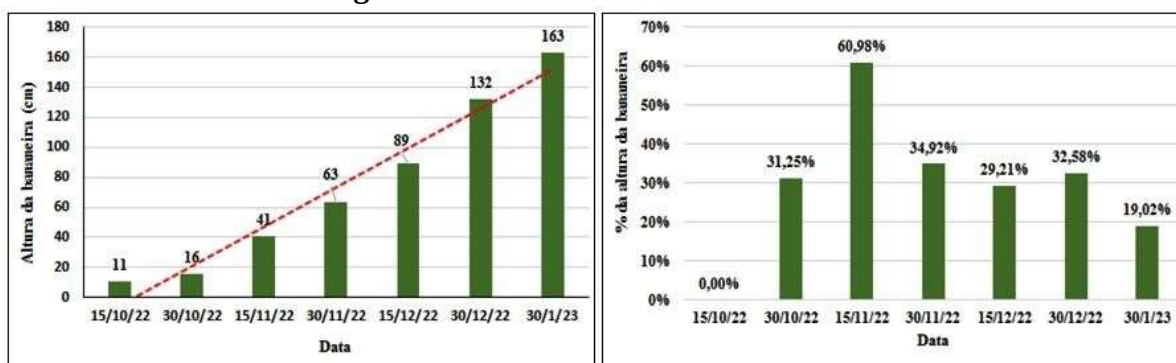
Foi detectada a presença elevada de coliformes totais de $2,90E+40$ e *E. coli* de $6,20E+00$ no esgoto bruto, sendo assim, deve-se ter o cuidado sanitário adicional na operação e manutenção do TEvap, principalmente em relação a câmara de digestão, ao realizar o manejo das plantas que tenham contato com o solo do interior do TEvap, por conter alto índice de coliformes.

Os frutos e folhas produzidos no TEvap podem ser consumidos por humanos, após adequada higienização (GALBIATI, 2009).

Análises estatísticas das bananeiras

A Figura 21 apresenta os resultados do experimento com a bananeira, demonstrando que, em 15/10/2022, a planta possuía 11 cm de altura, e ao final do período experimental, em 30/01/2023, atingiu 163 cm. Observa-se que nos primeiros 30 dias houve um crescimento mais acelerado, atingindo 60%, enquanto nos 90 dias totais o crescimento foi de 19,02%, totalizando um valor significativo de 93,25%. O modelo polinomial de (FERREIRA, 2000) evidencia que o crescimento da bananeira teve uma evolução do crescimento durante o período experimental. Esses resultados demonstram que o manejo utilizado foi eficaz para o crescimento da bananeira.

Figura 21: Altura da bananeira nanica anã

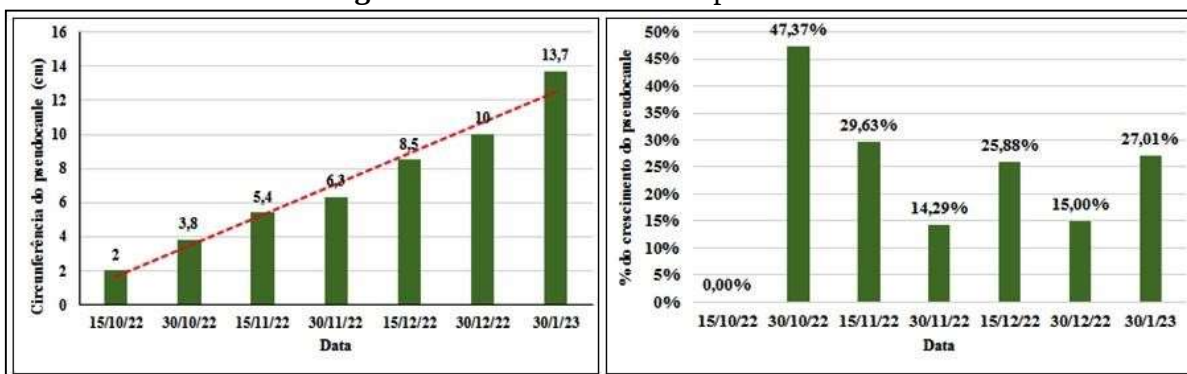


Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Os resultados indicam que a altura da bananeira apresentou um aumento considerável, e o diâmetro do pseudocaule variou de 2 cm a 13,7 cm em apenas 90 dias, atingindo um percentual que variou de 47,37% a 27,01 de espessura, totalizando 85,4% conforme Figura 22. Essa tendência também foi observada em outras pesquisas, como as realizadas por Oliveira et al. (2010) e Cavalcante et al. (2010), que constatarem diâmetros máximos do pseudocaule

da bananeira nanica anã em torno de 19,0 cm em 6 meses. Esses aumentos na altura, diâmetro do pseudocaule e área foliar da bananeira nanica anã provavelmente foram decorrentes da melhora das características nutricionais do solo ao longo do tempo, o que demonstra a importância de um manejo adequado e balanceado para o cultivo de bananeiras.

Figura 22: Circunferência do pseudocaule

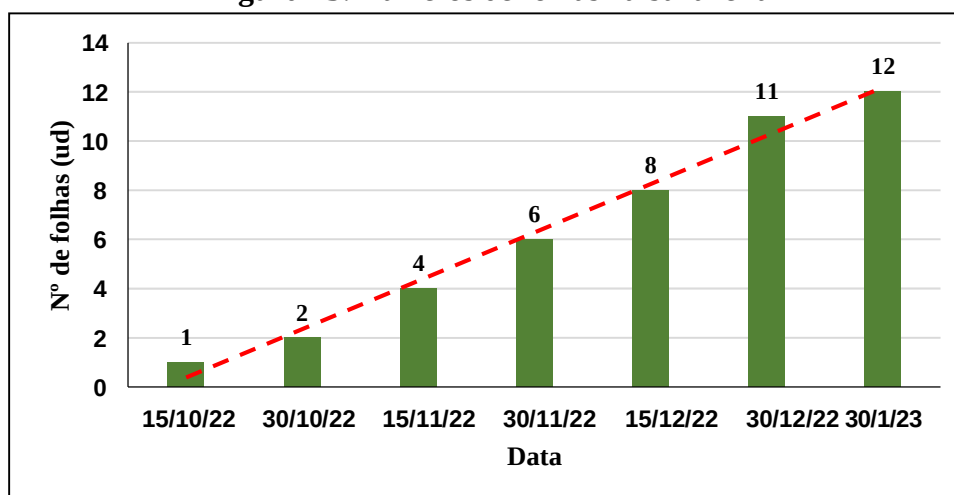


Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Esses resultados podem ser explicados pelo fato de que um solo mais equilibrado nutricional mente ao longo do período de alimentação. Foi um fator chave para o desenvolvimento saudável e resistentes das plantas (DAMATTO JUNIOR *et al.*, 2009, SANTOS, 1992)

Além disso, observou-se aumento considerável na área foliar da bananeira, chegando a uma área foliar unitária máxima de 2.488 cm² atingindo 11 folhas. Esse resultado sugere que houve um suprimento adequado de nutrientes, proporcionando um desenvolvimento saudável da planta. Figura 23.

Figura 23: Números de folhas na bananeira



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Esse fato também pode ser atribuído à matéria orgânica presente no solo, que é uma fonte de energia e nutrientes para os microrganismos, como destacado por Kiehl (1985). A Figura 23 ilustra essa relação entre matéria orgânica do solo e o desenvolvimento das bananeiras.

Dosani *et al.* (1999), argumentam que os nutrientes proporcionam maior crescimento da planta devido à variedade de substâncias nutritivas para o desenvolvimento da planta, que se multiplicam no solo aumentando a fertilidade.

Resultados do orçamento para construção do TEvap

Em relação a viabilidade com os custos para implantação do sistema, ou seja, os materiais que foram necessários para a construção do tanque de evapotranspiração foram relacionados na Tabela 5 e na Tabela 6, sendo o valor do custo de uma fossa tradicional, a qual mostra viabilidade econômica condizente com a realidade da comunidade.

Tabela 5: Orçamento de construção do TEvap

MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR SUB-TOTAL (R\$)
Mão de obra	-	-	-
Containers IBC	01	Und	450,00
Areia	0,35	m ³	35,00
Manta bidin	1	m	15,00
Tubo PVC 100mm	2	m	50,00
Tubo PVC 250mm	1	m	80,00
Joelho 90° 100mm	1	Und	24,00
T de 100mm	2	Und	15,00
Tampão 100mm	1	Und	14,00
Total			683,00

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

Tabela 6: Orçamento de construção de fossa convencional

MATERIAL	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR SUB-TOTAL (R\$)
Mão de obra	-	-	2.500,00
Areia	1	m ³	250,00
Brita nº2	1	M ³	350,00
Tijolos	500	unid	500,00
Tela de ferro	1	rolo	400,00
Arame recozido	1	rolo	45,00
Impermeabilizante	1	litro	70,00
Cimento CP 32	80	kilo	100,00
Tubo PVC 100mm	2	m	50,00
Tubo PVC 250mm	1	m	80,00
Joelho 90° 100mm	4	Und	96,00
T de 100mm	2	Und	30,00
Tampão 100mm	2	Und	30,00
Total			4.500,00

Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA (2022)

O TEvap geralmente é construído por futurosusuários, seja em colaboração com o apoio da comunidade ou como parte de cursos de ecossaneamento. Dessa forma, em geral, não há custo de mão de obra para construir, apenas custo de material.

O custo dos materiais para a construção do BET varia de acordo com a técnica utilizada, fibrocimento ou alvenaria, e pelo tamanho, essa estimativa pode variar em função da qualidade e quantidade dos materiais, a duração da obra e as dimensões. Segundo uma estimativa aproximada do custo de construção de um TEvap de tijolos, para atender uma família de 1 pessoas, medindo 2 m de largura, 1 m de profundidade e 2 m de comprimento, o custo estimado é de R\$ 4.500, conforme Tabela 6.

Sendo que o custo de material apresentada para a construção do TEvap em tanque de IBC, para 1 usuários tem um custo bem menor: R\$ 683,00, que é um método construtivo alternativo mais viável economicamente. No entanto, nenhum outro estudo sobre estimativa s aproximadas dos custos de construção de um TEvap utilizando tanque de IBC foi encontrado.

Com base nestes cálculos, verifica-se que o custo de construção de um TEvap em alvenaria é muito elevado face ao custo estimado de construção de um TEvap em IBC para

tratamento de águas residuais doméstica. Observe que esses custos são estimativas aproximadas e os preços dos materiais podem variar de acordo com o local.

Atendendo aos pressupostos assumidos neste estudo, o custo aproximado da construção de um TEvap para 1 pessoas parece ser uma alternativa economicamente mais viável à construção de uma rede de esgoto para tratamento centralizado de águas residuais na comunidade.

Mais estudos sobre o número médio de pessoas por casa, a viabilidade de um terreno para construir TEvap, o desejo das pessoas de que TEvap trate seus esgotos e o interesse do poder público em financiar a construção, serão necessários para dar uma estimativa mais realista e a probabilidade de este projeto se tornar uma realidade.

6.0 CONCLUSÃO

As análises dos resultados da pesquisa conforme os objetivos permitem as seguintes conclusões:

Os resultados de análise físico-químicas do efluente indicam que o esgoto analisado de entrada no sistema foi classificado como esgoto médio e este tem potencial para utilização como biofertilizante do solo.

É fundamental que os usuários não utilizem produtos químicos, por ser um sistema vivo, sendo assim, eles afetam desde o processo anaeróbico até a evapotranspiração das plantas.

Outro cuidado importante é a utilização de luva no manuseio das plantas, por ser um sistema de tratamento de esgoto.

O TEvap mostrou ser de fácil construção em comparação com outros tipos de tratamento de esgoto, pois utiliza materiais de baixo custo e muitas vezes disponíveis e o tanque de IBC e demonstrou atender a esse requisito.

A implantação do tanque de evapotranspiração apresenta-se como alternativa econômica e viável, de fácil construção, com um valor acessível em relação a outros sistemas e de total importância para o tratamento de esgoto rural, evitando assim, a contaminação do meio ambiente.

Diante do exposto foi possível concluir que, o tanque de evapotranspiração é uma alternativa para a falta de saneamento em zona rural, e assim contribuir com a preservação do meio ambiente e da saúde da população. Embora sendo um tratamento primário, mas minimiza a contaminação do solo, e ainda favorece a população de áreas de difícil acesso.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014**. Brasília: ANA, 2015.

ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. **Sistemas simples para tratamentos de esgotos sanitários: experiência brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

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

BAIÃO, I.; Machado, L.; Souza, T.; Silva, J.; Cotta, J. **Avaliação de um sistema de tratamento de efluente sanitário por evapotranspiração**. Research, Society and Development, 2020.

BENJAMIM, A. H.; MILARÉ, E. O regime brasileiro de unidades de conservação. *In* Revista de Direito Ambiental, p 36, ano 6 n°. 21, janeiro - março de 2001.

BORGES, A. L.; Silva, T.O. **Absorção, exportação e restituição ao solo 48 de nutrientes pela bananeira “Terra”**. Paraíba. 2000.

BORJA, P. C. **Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira**. Saúde Soc. (Online), jun. 2014.

BRASIL. Resolução CONAMA n. ° 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Publicada no DOU n° 053, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA N° 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA**. Publicação no DOU N°92, 2005.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010. Ministério do Meio Ambiente. 2010.

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

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Diário Oficial da União, Brasília, 2007.

BRASIL. Decreto nº 82.587, de 6 de novembro de 1978. Decreto no 82.587, de 6 de novembro de 1978. Brasília, 07 nov. 1978.

CAVALCANTE, S.N.; LIMA, A.S.; SILVA, M.F.D.; ARANHA, J.C.; PEREIRA, R.F.; GOMES, A.T.; MELO, W.B.; DINIZ, P.F.; SANTOS, J.G.R.; ANDRADE, R. **Crescimento da planta neta de bananeira Nanicao em altura e diâmetro em função de tipos e dosagens de biofertilizantes.** In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, Natal, 2010.

CAMMAROTA, M. C.; EQB-485 **Engenharia do Meio Ambiente. Notas de aula Tratamento de efluentes líquidos.** Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011.

CAMPOS, F. **Uso da respirometria na obtenção de parâmetros cinéticos e monitoramento de ETE's.** 2012.

CAMPOS, J. R. **Rede Cooperativa de Pesquisas: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CETESB – **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas** / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão . . . [et al.]. – São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 16 mai. 2011.

CONSEMA. Resolução nº 128, de 24 de novembro de 2006. **Dispõe sobre A Fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos Para Fontes de Emissão Que Lancem Seus**

Efluentes em águas Superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 07 dez. 2006.

DAMATTO JUNIOR, E.R.; VILAS BÔAS, R.L.; LEONEL, S.; NOMURA, E.S.; FUZITANI, E. **Crescimento e produção da bananeira Prata-anã adubada com composto orgânico durante cinco safras.** Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, Volume Especial, p.713-721, 2011.

DOSANI, A.A.K.; TALASHILKAR, S.C.; MEHTA, V.B. **Effect of organic mamure applied in combination with fertilizers on the yield, quality and nutrient of groundnut.** J. Indian Soc. Soil Sci., v.47, p.166-169, 1999.

ELLIOTT L.F, 1984. GILMOUR CM, LYNCH JM, TITTEMORE D. **Bacterial colonization of plant roots.** In: Todd RL, Giddens JE, editors. Microbial– plant interactions. Madison: Soil Science Society of America; 1984.

EMBRAPA. **Fossa Séptica Biodigestora.** São Carlos/SP: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Junho, 2006.

EMBRAPA - Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos. Junho, 2006.

FERREIRA, P.V. **Estatística aplicada a agronomia.** 2. ed. Maceió-AL: EDUFAL, 2000.

FINLAYSON, C. M; VAN DER VALK, A. G. **Classification and Inventory of the World's Wetlands.** Advances in Vegetation Science v. 16, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995.

FIGUEIREDO, I. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas.** Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP. Campinas, São Paulo, 2019.

FUKUSHIMA, T. et al. **Toxicity assessment of chlorinated wastewater effluents by using transcriptome-based bioassays and Fourier transform mass spectrometry (FT-MS) analysis.** Water Research, Oxford, v. 52, n. 4, p.73-82, 1 abr. 2014.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de saneamento.** Brasília: Ministério da saúde, 2014.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Fossas sépticas econômicas e quintais agroecológicos**. Banco de Tecnologias Sociais, Brasília, 2014.

GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Dissertação (Mestrado). Universidade de Mato Grosso do Sul. Campo Grande- MS. Brasil., 2009.

GALVÃO JUNIOR, Alceu Castro. **Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil**. Revista Panamerica de Salud Publica, 2009.

IBGE. **Sinopse do censo demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em: 01 jul. 2022

IBGE **censo demográfico 2019**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/pesquisa/30/84366>. Acesso em; 01 de julho de 2021.

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas de saneamento 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018. Disponível em: http://www.tratabrasil.org.br/projetos_sociais/saneamento-rural. Acesso em: 01 de julho de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

JOLY, C.A., AIDAR, M.P.M., KLINK, C.A., MCGRATH, D.G., MOREIRA, A.G., MOUTINHO, P., NEPSTAD, D.C., OLIVEIRA, A.A.; POTT, A.; RODAL, M.J.N. & SAMPAIO, E.V.S.B. **Evolution of the Brazilian phytogeography classification systems: implications for biodiversity conservation**. *Ciência e Cultura*, 1999.

JORDÃO, Eduardo P. e PESSOA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 2014.

JUNK W.J., Silva C.J., Nunes da Cunha C. & Wantzen K.M. (eds) (2011b) **The Pantanal: Ecology, Biodiversity and Sustainable Management of a large Neotropical Seasonal Wetland**. Pensoft Publishers.

KOTZE, D.C. **A system for supporting wetland management decisions**. PhD thesis. University of Natal, Pietermaritzburg. 1999.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

LEONEL, L.F.; MARTELLI, L.F.A.; DA SILVA, W.T.L. **Avaliação do efluente de fossa séptica biodigestora e jardim filtrante**. In: Symposium on agricultural and agro-industrial waste management, 3, Anais... São Pedro/SP, SBERA, 2013.

LI, W. C. et al. **Anaerobic treatment of p-acetamidobenzene sulfonyl chloride (p-ASC)containing wastewater in the presence or absence of ethanol in a UASB reactor**. *International Biodeterioration & Biodegradation*, Oxford, v. 85, n. 1, p.81-88, mar. 2015.

MALTCHIK.L; ROLON, A.S.; GUADAGNIN, D.L; STENERT, C. **Wetlands of Rio Grande do Sul, Brazil: a classification with emphasis on plant communities**. *Acta Limnol. Bras.*, v.16, n.2, p.137-151, 2004.

METCALF & EDDY. Inc. (2003). *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*. 4. ed. New York: McGraw - Hill Book. 1815p.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Caderno setorial de recursos hídricos: saneamento**. Brasília: MMA, 2006.

MONTEIRO, J. R. R. Plano Nacional de Saneamento: **Análise de desempenho**. n.i: 1993.

MORAES, Danielle Serra de Lima e Berenice Quinzani Jordão: **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana**, Corumbá, 2002.

MATTOSO, F. D. A. B. **Estudo de eficiência de Wetland no córrego Pirajussara**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MOTA, S. **Introdução a engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NETTO, A. P.; GUERRA, M. R. L.; SILVA, P. R. M.; SILVA, F. R. **Biorremediação vegetal do esgoto domiciliar: o caso da fossa verde em comunidades rurais do alto sertão alagoano**. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 2018.

OLIVEIRA, F.S.; PEREIRA, R.F.; MELO, W.B.; LIMA, S.V.; SANTOS, F.I.; DUTRA, K.O.G.; MEDEIROS, R.; SANTOS, J.G.R.; MESQUITA, E.F.; SANTOS, E.C.X.R.; FARIAS, A.A. **Crescimento de planta mãe de bananeira Nanicação em altura e diâmetro em função de tipos e dosagens de biofertilizantes**. In: XXI CONGRESSO

BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, Natal, 2010. Anais...Natal-RN: EMPARN/UFERSA/Embrapa, 2010.

OLIVEIRA, L. B. et al. **Estado nutricional e teores de metais pesados em plantas de alface adubadas com compostos orgânicos**. Bioscience Journal, Uberlandia, v. 30, n.3, mai. 2014.

PASCHOAL, FÁBIO. «**Pantanal: a maior área úmida do mundo**». *SOS Pantanal*. 2019. Consultado em 11 de dezembro de 2022.

POHLING, Rolf. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: Gráfica Editora Arte Visual. 2009.

POTT, A., & DA SILVA, J. S. V. Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the Pantanal wetland. In: I. Bergier & M. L. Assine (eds.). *Dynamics of the Pantanal Wetland in South America*, pp. 111-131. Springer International Publishing 2015.

PRADO, G. S. (2006). **Concepção e estudo de uma unidade compacta para o tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial**. 240p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RAMOS, C. et al. **Chemical cleaning of membranes from an anaerobic membrane bioreactor treating food industry wastewater**. Journal of Membrane Science, Amsterdam, v. 458, n.1, p.179- 188, mai. 2014.

PHYTORESTORE, 2018. **Jardins Filtrantes**. Disponível em: Acessado em: 10 de dezembro de 2022.

RAMSAR. **Convenção de Ramsar sobre Zonas úmidas. Cuidar das zonas úmidas: uma resposta para as alterações climáticas**. Brasil, 2010.

RESENDE, R. G.; FERREIRA, S.; FERNANDES, L. F. R. **O saneamento rural no contexto brasileiro**. Revista Agrogeoambiental, v. 10, n. 1, p.131–149, 2018.

RICHTER, C.A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. São Paulo. Blucher. 2011.

RIZZINI, C.T. **Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica do Brasil**. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro: IBGE, 1963.

RODRIGUES-SILVA, C. et al. **OCCURRENCE AND DEGRADATION OF QUINOLONES BY ADVANCED OXIDATION PROCESSES**. Química Nova, Campinas, v. 37, n. 5, p.868-885, 20 fev. 2014.

SALATI, E; SALATI FILHO, E; SALATI, E. **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas**. Piracicaba, São Paulo. 2009.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes: Fundamentos e aplicações**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

SANTOS, A.C.V. **Biofertilizante líquido: o defensivo agrícola da natureza**. Niterói: EMATER-RIO, 1992.

SANTOS, A.C.V.; AKIBA, F. **Biofertilizante líquido: uso correto na agricultura alternativa. Seropédica**: UFRJ, Imprensa Universitária, 1996.

SERAFIM, M. P.; DIAS, R. B. **Tecnologia social e tratamento de esgoto na área rural**. In: COSTA, A. B. (Org.). Tecnologia social e políticas públicas. São Paulo: Instituto Pólis; Brasília: Fundação Banco do Brasil, 2013.

SEZERINO, P. H. et al. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 151-158, mar. 2015.

SPERLING, M. VON. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 2005.

STAHNKE, L. F. **As áreas úmidas (Banhados) são ecossistemas fundamentais à dinâmica hídrica dos rios**. Revista Educação Ambiental em Ação, vol. 46, 2013.

SILVA, M.P. et al. **Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo**. *Brazilian Journal of Botany*, 2000.

SNSA – SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab**. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2013.

TANNER, C. C., 1996. **Plants for constructed wetland treatment systems - A comparison of the growth and nutrient uptake of eight emergent species** National Institute of Water and Atmospheric Research. P.O. Box 11-115. Hamilton, New Zealand Received 3 August 1995; accepted 12 December 1995 Ecological Engineering 7 (1996) 59-83. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, Brasília, 2013.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. **Processos oxidativos avançados: Conceitos teóricos**. Campinas: Unicamp, 2004.

TEIXEIRA, C. P. A. B. (2002). **Estudo comparativo de tipos diferentes de processos oxidativos avançados**. 191p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

Thielen, Dirk; Schuchmann, Karl-Ludwig; Ramoni-Perazzi, Paolo; Marquez, Marco; Rojas, Wilmer; Quintero, Jose Isrrael; Marques, Marinêz Isaac (7 de janeiro de 2020). «**Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature**». *PLoS ONE* (1): e0227437. ISSN 19326203. PMC 6946591. PMID 31910441. doi:10.1371/journal.pone.0227437. Consultado em 10 de dezembro de 2022.

TONETTI, A. L. *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas**: referencial para escolha de soluções. Campinas, SP. 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do Saneamento 2021**. Disponível em: <<https://www.tratabrasil.org.br/pt/estudos/estudos-itb/itb/novo-ranking-do-saneamento-2021>>. Acessado em 10 de dezembro 2022.

UNESCO, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: ÁGUA PARA UM MUNDO SUSTENTÁVEL SUMÁRIO EXECUTIVO**. WWAP: UNESCO, 2015.

VAN HAANDEL, A; MARAIS, G. **O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações**. Campina Grande: Epgraf, 142 p. 1999.

VARNIER, C.; HIRATA, R. **Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê** - São Paulo, Brasil. 2000.

VILLEMUR, R. et al. **Development of four-stage moving bed biofilm reactor train with a pre-denitrification configuration for the removal of thiocyanate and cyanate.** *Bioresource Technology*, v. 181, n.1, p.254-262, abr. 2015.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade da água e ao tratamento de esgoto.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG., 2007.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados.** UFMG, 2012.

VON SPERLING, M., FRÓES, C. M. V. **Dimensionamento e controle de decantadores secundários com base em uma abordagem integrada e simplificada da teoria do fluxo de sólidos.** Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 1998.

Wu, Y.; Dai, H.; Wu, J. **Estudo comparativo sobre as influências dos revestimentos ecológicos das encostas na purificação da qualidade da água, pré-tratando águas pouco poluídas.** Água, 2017.

WWF, Brasil. **Conferencia de Ramsar.** Disponível em <http://www.wwf.org.br>. 2022.