

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
Autorização Decreto nº 9237/86. DOU 18/07/96.
Reconhecimento: Portaria 909/95, DOU 01/08-95
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIAS E CIÊNCIAS
SOCIAIS
CAMPUS III – JUAZEIRO



JOSÉ DANIEL CAVALCANTE CARVALHO

**SISTEMAS NATURAIS DE TRATAMENTO PARA REÚSO DE
ÁGUA**

JUAZEIRO BA

2023

JOSÉ DANIEL CAVALCANTE CARVALHO

**SISTEMAS NATURAIS DE TRATAMENTO PARA REÚSO DE
ÁGUA**

Monografia apresentada à Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB/DTCS campus III, Curso de Engenharia Agrônômica, como um dos pré-requisitos para a disciplina de Trabalho de conclusão de curso – TCC.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Oliveira Pinto de Queiroz

JUAZEIRO BA

2023

C331s Carvalho, José Daniel Cavalcante

Sistema naturais de tratamento para reúso de água / José Daniel Cavalcante

Carvalho. Juazeiro-BA, 2023.

43 fls.: il.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Oliveira Pinto Queiroz.

Inclui Referências

TCC (Graduação – Engenharia Agrônômica) – Universidade do Estado da Bahia. Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – DTCS. 2023.

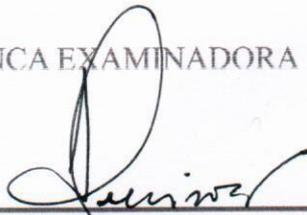
JOSÉ DANIEL CAVALCANTE CARVALHO

**SISTEMAS NATURAIS DE TRATAMENTO PARA REÚSO DE
ÁGUA**

Monografia apresentada à Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, UNEB/DTCS campus III, Curso de Engenharia Agrônômica, como um dos pré-requisitos para a disciplina de Trabalho de conclusão de curso – TCC.

Aprovado em 08/12/23

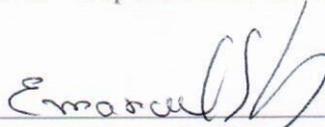
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Sérgio Oliveira Pinto de Queiroz – (Presidente/Orientador)
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – III



Prof. Dra. Ligia Borges Marinho – (Primeira examinadora)
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – III



Prof. Dr. Emanuel Ernesto Fernandes Santos – (Segundo examinador)
Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais – III

JUAZEIRO-BA

2023

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, por toda honra, glória e por nunca ter deixado desistir, mesmo perante as dificuldades, dando-me sempre forças.

A minha família por estarem sempre ao meu lado e todo apoio, incentivo e educação dada ao longo desses anos.

Ao professor Dr. Sérgio Oliveira Pinto de Queiroz, que aceitou ser meu orientador, pelos ensinamentos passados e pela confiança na realização do trabalho de conclusão de curso o qual contribuiu muito.

Aos professores, por todos os conselhos, correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Agradeço por fim, mas não menos importante, as amizades que construir na universidade ao longo desses anos que espero levá-las para o resto da vida. Em especial agradeço a Fernando Leite, Matheus Brito, Francinaldo Hipólito, Nadja Cassimiro, Pedro Henrique, Leticya Abreu e todos os demais que fizeram parte dessa jornada.

CARVALHO, J. D. C. **Sistemas naturais de tratamento para reúso de água**. 2023. 43p. Monografia (Trabalho de conclusão de Curso) – Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, BA, Brasil.

RESUMO

Estima-se em mais de 9 bilhões de habitantes a população do planeta até o ano de 2050 e a produção de alimentos deve alinhar-se a essa crescente evolução populacional, de forma que possa suprir tal demanda. Com isso, a possibilidade de incorporação de novas áreas à produção de alimento e matéria-prima e, especialmente, alternativas tecnológicas que permitam o cultivo em regiões com fortes períodos de estiagem, como o semiárido brasileiro, tornam a utilização de água residuária uma estratégia viável a ser incorporada ao sistema de produção agrícola. O trabalho foi realizado através de pesquisas nos principais bancos de dados científicos como o Google Scholar, Web of Science, SciELO e a Biblioteca digital Brasileira de Teses e dissertação (BDTD) utilizando combinações de palavras-chave. Dessa forma, a pesquisa busca apresentar informações sobre os métodos de tratamento natural de água para utilização na irrigação, tornando-a uma alternativa viável para o semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Semiárido, reúso de água, sistemas naturais de tratamento de água

CARVALHO, J. D. C. **Natural treatment systems for water reuse.** 2023. 43p.
Monograph (Course completion work) – State University of Bahia, Juazeiro, BA, Brazil.

ABSTRACT

The world's population is estimated to exceed 9 billion by the year 2050, and food production must align with this growing population to meet the demand. Therefore, the possibility of incorporating new areas into food and raw material production, especially technological alternatives that allow cultivation in regions with strong dry periods, such as the Brazilian semiarid, makes the use of wastewater a viable strategy to be integrated into the agricultural production system. The research was conducted through searches in major scientific databases such as Google Scholar, Web of Science, SciELO, and the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD), using keyword combinations. Thus, the study aims to provide information on natural water treatment methods for use in irrigation, making it a viable alternative for the Brazilian semiarid.

Keywords: Semiarid, water reuse, natural water treatment systems

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Representação do funcionamento de uma lagoa de estabilização anaeróbia.	20
Figura 02: Representação do funcionamento de uma lagoa de estabilização aeróbia....	21
Figura 03 :Representação do funcionamento de uma lagoa de estabilização facultativa.	22
Figura 04: Esquematização de um sistema típico de lagoas de estabilização de águas residuais.....	23
Figura 05: Representação esquemática do perfil de um Wetlands Horizontal.....	26
Figura 06: Representação esquemática do perfil de um Wetlands Vertical.....	27

LISTA DE TABELA

Tabela 01. Mecanismos predominantes na remoção de poluentes nos wetlands construídos.....	25
Tabela 02: Principais vantagens e desvantagens dos tipos de wetlands artificias abordados.....	28
Tabela 03: Mecanismos e fenômenos envolvidos na filtração.	32

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	11
2. METODOLOGIA	13
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	14
4. IRRIGAÇÃO	15
5. ÁGUA RESIDUÁRIA	17
6. REÚSO	17
7. SISTEMAS NATURAIS DE TRATAMENTO	19
7.1 Lagunagem	19
7.2 Wetlands construídos.....	23
7.3 Filtro biológico	29
7.4 Filtro de areia	30
7.5 Valas de infiltração.....	33
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
9. REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

O estabelecimento do ser humano em diferentes regiões do planeta historicamente tem sido determinada pela disponibilidade dos recursos essenciais à sua sobrevivência. Nesse contexto, a água desempenha um papel vital como fonte de energia para a vida e a manutenção dos ecossistemas. Atualmente, a gestão dos recursos hídricos representa um desafio significativo e consome uma parte considerável dos investimentos e dos esforços administrativos em todos os setores da atividade econômica. A preocupação com a preservação dos recursos hídricos não é mais uma tendência passageira, mas sim uma ferramenta essencial para a administração eficaz das organizações. (BARROS et al. 2015).

Segundo Levien et al. (2021), a irrigação tem a finalidade de fornecer a quantidade total de água necessária às plantas ou suplementar a precipitação natural (chuva) em regiões com prolongados períodos de estiagem, podendo também em determinadas situações enriquecer o solo por meio fertirrigação.

Agindo como recurso hídrico adendo e utensílio para diminuição do consumo de água, o reúso surge como fonte alternativa (RODRIGUES, 2005). Segundo CETESB, (2010), os conceitos reúso de água, uso de águas residuais ou reutilização não são atuais e vêm sendo exercitados mundialmente há vários anos. Porém, devido a exigência de água para diversos fins, torna-se atualizada a temática do reúso planejado de água como ferramenta na gestão dos recursos hídricos.

É possível economizar significativas quantidades de água potável através do reúso de água de qualidade inferior, geralmente proveniente de efluentes já tratados, para suprir finalidades que não necessitam de água potável de acordo com os padrões de qualidade de água (CUNHA, 2011).

A utilização de água residuária tratada vem tornando-se uma alternativa viável como uma forma de reduzir a intensidade da pressão sobre os recursos hídricos e elevar a disponibilidade de água com qualidade superior para a dessedentação animal e o consumo humano. Essa alternativa abre como oportunidade de mudança da fonte hídrica, com o intuito de contribuir com o saneamento ambiental e melhorar a gestão dos recursos hídricos. Conseqüentemente a utilização dessa técnica para a agricultura

permitiria a elevação da reciclagem de nutrientes e controle da poluição ambiental. (MENDES, 2016).

O uso deliberado de águas residuais domésticas na agricultura tem sido considerado como uma estratégia para mitigar os desafios relacionados à escassez de água no Semiárido do Brasil, representando uma alternativa viável para os agricultores (SOUSA et al., 2003). Esses efluentes, após passarem pelo tratamento adequado, geralmente apresentam uma variedade de macro e micronutrientes essenciais para o crescimento das culturas agrícolas e exibem baixa demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de uma carga microbiana reduzida. (FEITOSA et al., 2009).

As necessidades nutricionais das culturas podem ser supridas parcial ou totalmente através dos nutrientes presentes nos efluentes tratados, o que vai impactar diretamente no custo da produção através da redução no uso de fertilizantes minerais (BARBOSA, 2014). Assim, o reúso de água pode agir como um condicionador do solo graças a presença de nutrientes favoráveis as plantas, através da adição de matéria orgânica aumentando a capacidade de reter água (HESPANHOL 2008).

A distribuição irregular da precipitação anual no Nordeste brasileiro, caracteriza a semiaridez da região. O território apresenta fortes variações pluviométricas, onde, as precipitações anuais variam entre 250 e 1200 mm/ano, apesar de que a média histórica está situada em torno de 700 mm anuais. Além disso, fatores naturais presentes na região, como a elevada evapotranspiração da água de corpos hídricos e do solo, evidenciam uma evaporação quase cinco vezes maior do que a precipitação apresentada na região, resultando em déficit hídrico. (CARVALHO, 2020).

Considerando os fatos mencionados, sobre a escassez de recursos essenciais a sobrevivência, as características climáticas do Semiárido brasileiro e a crescente adoção do reúso de água, esse trabalho tem por objetivo apresentar informações técnicas sobre a reutilização dos recursos hídricos para a irrigação, demonstrando os métodos naturais de tratamento e sua viabilidade para auxiliar a produção agrícola em locais onde apresentam baixa precipitação e disponibilidade de água para irrigação.

2. METODOLOGIA

Este estudo é categorizado como uma pesquisa bibliográfica, conduzido com base em materiais já existentes, tais como livros, artigos científicos, dissertações e teses. Esse tipo de pesquisa possibilita a investigação e a abordagem de uma ampla gama de fenômenos, em uma escala muito maior do que se fosse realizado um levantamento direto, como mencionado por Gil (2002).

A seleção das obras científicas utilizadas baseou-se na sua pertinência aos seguintes tópicos de pesquisa: “métodos naturais de reutilização de água”, “utilização de água residuária para irrigação” e “reutilização de água no contexto do semiárido brasileiro”, bem como nas conexões entre esses temas. Essas obras foram identificadas por meio de consultas em bancos de dados científicos, como o Google Scholar, Web of Science, SciELO e a Biblioteca digital de teses e dissertações sendo utilizado combinações de palavras-chave, tais como “tratamento de água”, “água residuária”, “viabilidade” e “Semiárido”. Além disso, outras fontes de literatura foram identificadas através da análise das referências bibliográficas encontradas nas obras obtidas durante a pesquisa nos bancos de dados.

A leitura do material obedeceu aos critérios propostos por Gil (2002): uma leitura exploratória para verificar se a obra interessa a pesquisa, seguido de uma leitura seletiva para seleção do material que interessa à pesquisa, logo após a analítica para a ordenação e sumarização das informações contidas no material e, por fim, uma leitura interpretativa para relacionar a hipótese proposta no trabalho com o problema que a pesquisa procura solucionar.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Estendendo-se por 2/3 dos países do mundo, as regiões climáticas consideradas semiáridas e áridas abrangem aproximadamente 48 milhões Km², onde reside uma população estimada em 630 milhões de pessoas. No contexto brasileiro, segundo dados da INSA (2022), essa área representa 12% da superfície total, posicionando-se como um dos semiáridos mais densamente povoados do mundo, abrigando cerca de 28 milhões de habitantes divididos entre zona urbana (62%) e rural (38%). Nessa região, de acordo com Silva & Costa (2014), existem cerca de 1,7 milhões de estabelecimentos rurais, dos quais 1 milhão são categorizados como minifúndios, com área inferior a cinco hectares.

No contexto brasileiro, com o equivalente a 18,28% do território nacional, a região Nordeste abrange uma extensão geográfica de 1.554.387,725 Km². Dados do IBGE (2010), mostram que aproximadamente 57% desse território está situado no Semiárido, que inclui o Polígono das Secas, englobando uma área de 980.133,079 Km², correspondendo a 11,53% do território do Brasil. Sendo considerada propriamente dita Região semiárida, o Polígono das Secas é a maior área de incidência de secas (CODEVASF, 2011).

Segundo a classificação de Köppen, na região prevalecem três tipos distintos de clima: o BShw – semiárido, com uma estação chuvosa curta no verão e precipitações concentradas nos meses de dezembro e janeiro; o BShw' – semiárido, caracterizado por uma estação chuvosa breve no verão-outono, com precipitações em março e abril; e o BSh'- semiárido, que apresenta estação chuvosa no outono-inverno, com precipitações concentradas nos meses de maio-junho. O Semiárido nordestino se destaca pela diversidade das condições naturais, que incluem solo, clima, vegetação, topografia e características socioeconômicas.

Pereira junior (2006), relata que na área em questão, alguns tipos de solo predominam, incluindo Latossolos, Neossolos litólicos, Argissolos, Luvisolos, Neossolos quartzarênicos e Planossolos Solódicos. Do ponto de vista químico, esses solos podem ser considerados adequados, porém, geralmente, apresentam algumas limitações físicas, como drenagem irregular e um pH ácido, resultando em baixa aptidão para a agricultura. Além disso, a produtividade está diretamente relacionada à fertilidade natural do solo, que, na maioria das vezes, não atende plenamente às demandas da cultura pois,

os solos da região tendem a ter baixos teores de matéria orgânica, o que compromete a produtividade.

Caracterizada por três estratos da vegetação ricos em espécies forrageiras sendo o herbáceo, arbustivo e arbóreo, a vegetação predominante é a caatinga conhecida como “mata branca”. A manipulação da vegetação nativa, apresenta-se como uma abordagem significativa e bastante promissora para incrementar a produção de forragens em determinadas áreas do semiárido. No entanto, além das variações locais, o potencial forrageiro da caatinga também é afetado por flutuações decorrentes das condições climáticas anuais (LEMOS, 2016).

O espaço geográfico da região apresenta restrições à produção agrícola, que são ditadas principalmente pelo clima, caracterizado por baixas precipitações (inferiores a 800 mm por ano), elevadas temperaturas (médias entre 23 e 27 °C, com amplitudes diárias de aproximadamente 10 °C) e uma média de 2800 horas de luminosidade por ano. Além disso, a região apresenta índices elevados de evapotranspiração, atingindo cerca de 2000 mm ano⁻¹, um índice de aridez de até 0,50 e um risco de seca superior a 60%. (CODEVASF, 2011).

Conforme destacado por Lemos (2016), com exceção das áreas que possibilitam a adoção da irrigação, devido à presença de rios e lagos perenes, as práticas agrícolas nesse espaço geográfico dinâmico estão intrinsecamente relacionadas aos cultivos de sequeiro e à criação de bovinos, caprinos e ovinos. Devido à aspereza do clima, que resulta em períodos cíclicos de estiagem, o desenvolvimento desse modelo agrícola frágil é gravemente prejudicado, impondo sérias restrições à sobrevivência e fixação populacional na região, dada a significativa dependência da agropecuária para a atividade econômica do Nordeste. Durante esses períodos prolongados de estiagem, a produção agrícola é comprometida, a pecuária enfraquece e as reservas de água superficial se esgotam.

4. IRRIGAÇÃO

As grandes civilizações floresceram às margens de grandes corpos d'água, a exemplo dos rios Tigre e Eufrates na Mesopotâmia e o rio Nilo no Egito, sendo tais povos referência como grandes produtores de alimentos. Eram sociedades localizadas em regiões predominantemente secas ou áridas, onde a irrigação era fator de destaque para a

produção da agricultura. Os agricultores perceberam que a redução do nível dos rios criava um ambiente propício para o cultivo, já que as sementes encontrariam solo com a umidade necessária para germinar. No entanto, quando os rios voltavam a encher, aqueles agricultores que haviam plantado perdiam suas colheitas e foi nesse cenário que surgiu a ideia de regular as cheias dos rios (FERREIRA, 2011).

Uma característica importante do rio Eufrates, na Mesopotâmia, reside no fato de que transportava quantidades significativas de sedimentos, resultando no acúmulo expressivo de material sólido ao longo de suas margens, o que favorecia a criação de diques naturais ao longo dos cursos d'água, onde, as superfícies das águas desses rios encontravam-se em um nível mais elevado do que as terras das planícies alagáveis. Esse fenômeno favorecia a condução da água por gravidade até o local desejado, substituindo a utilização de bombas tecnologia indisponível na época (PAOLINELLI et. al. 2022).

Segundo Christofidis. (2013), devido a agricultura de sequeiro depender das variações imprevisíveis da precipitação pluviométrica, em escala global, a produtividade alcançada por meio da agricultura irrigada é 2,7 vezes superior. Em razão a essa diferença substancial, a prática da irrigação assume uma importância cada vez maior na produção agrícola e pecuária, pois ela oferece aprimoramento no gerenciamento da produção, na disponibilidade precisa de água em termos de quantidade e qualidade, e contribui para a eficiência na aplicação de insumos nas culturas.

Nas últimas décadas, houve uma abordagem científica mais racional em relação a irrigação, onde, essa prática que pode ser determinada como um método de produção, passou a ser tratada com perspectiva racional para ser utilizada com maior efetividade, reduzindo as sequelas adversas como a salinização dos solos agrícolas, erosão e drenagem ineficiente. Apresenta vários conceitos definidos por diferentes autores, mas, de modo geral pode ser determinada como uma aplicação precisa, monitorada e uniforme de água em um determinado ambiente, seja no solo ou em outro substrato, com o objetivo de restabelecer a quantidade adequada de água consumida pelas culturas no momento apropriado, entre duas aplicações consecutivas, garantindo assim a produtividade e a manutenção das plantas (LEVIEN et al. 2021).

A irrigação continua sendo a abordagem mais eficiente e eficaz para aumentar a produção de alimentos no mundo, representando um papel significativo no progresso econômico e social, porém é o setor responsável historicamente pelo maior consumo de água no planeta, torna-se crucial explorá-la de maneira sustentável para mitigar os impactos ambientais associados a essa atividade (MONTE et al., 2019).

5. ÁGUA RESIDUÁRIA

De acordo com a Resolução Número 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) de novembro de 2005, em seu artigo 2º, as águas residuárias são os esgotos, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústria e agropecuária, tratados ou não. Assim, as águas residuais compreendem todas as águas descartadas devido ao uso diário para diversas finalidades, classificadas com base em sua origem, resultando em categorias como águas residuais industriais, domésticas e pluviais.

As águas residuais industriais podem conter uma ampla variedade de compostos, dependendo do tipo de processamento industrial, já as águas residuais domésticas são identificadas pela presença de quantidades substanciais de matéria orgânica facilmente biodegradável. Por fim, as águas residuais pluviais geralmente apresentam uma carga poluente especialmente em relação à matéria orgânica, menor que às duas categorias anteriores, sendo essa proveniente do deflúvio superficial causado pela precipitação (SANTOS, 2008).

6. REÚSO

Como componentes integrais da gestão de recursos hídricos, o reúso e a conservação tornam-se necessidades evidentes com a escassez de água e o crescente conflito pelo seu uso. Preservação de fontes de alta qualidade, vantagens econômicas e sociais e proteção ambiental, são benefícios associados ao aproveitamento de água recuperada (ASANO et al., 2007)

O aumento da demanda por água tem transformado a prática de utilização das águas residuais em um tema contemporâneo de extrema relevância para a sociedade em geral, apesar de ser utilizada desde tempos antigos, com registros de seu emprego na Grécia antiga para fins de irrigação. Reduzindo as perdas e desperdícios, ao mesmo tempo em que minimiza a geração de resíduos e o consumo de água, o reúso deve ser integrado a uma abordagem global, que promova o uso racional e eficiente da água (BARROS et al., 2015).

Podendo ocorrer de forma planejada ou não, entende-se por reúso de água a utilização desse recurso previamente empregado, seja uma ou várias vezes, a fim de

atender as demandas das necessidades humanas, direta ou indiretamente em diversos setores (BREGA e MANCUSO, 2003). Além de contribuir para a economia de água potável, essa prática usada mundialmente apresenta diversas vantagens como a diminuição da necessidade de fertilizantes químicos, onde, segundo Pereira et al. (2011), em solos que receberam irrigação com água residuária de esgoto doméstico, foram observados incrementos nos níveis de macro e micronutrientes.

Com o intuito de reduzir o processo de salinização dos solos que recebem irrigação, com água bruta ou residual de esgotos, é importante implementar um sistema de drenagem eficiente (HESPANHOL, 2008). De acordo com Miranda et al.; (2001), o reúso pode ser uma solução para enfrentar o aumento da demanda de água na irrigação, por meio de sua aplicação controlada. Entretanto, com objetivo de evitar uma possível salinização e/ou sodificação do solo irrigado, é fundamental considerar as propriedades naturais das águas residuais e do solo uma vez que desempenham um papel importante na subsistência desse método.

Além da agricultura, o reúso de água é amplamente utilizado em outros setores, com o objetivo de mitigar ou até mesmo superar a severidade da situação relacionada à disponibilidade de água. Nas regiões urbanas, vem sendo utilizada para lavagem de veículos, irrigação de parques e jardins, para fins de combate a incêndios, entre outros usos (TOSSETO, 2005).

Entretanto, Hespagnol (2003), afirma que a utilização de água residuária na agricultura demanda uma análise cuidadosa da viabilidade do projeto, com a avaliação antecipada dos benefícios envolvidos. Podendo resultar na redução ou até mesmo na eliminação da necessidade de utilizar fertilizantes comerciais, um dos benefícios é a potencial elevação da produtividade agrícola devido ao aumento de nutrientes presentes nos efluentes, em comparação com o uso de água bruta.

Diante disso, seu uso na agricultura apresenta uma eficiência elevada que é comprovada por vários experimentos em diferentes culturas, Alves et al. (2012) relatam que como uma alternativa viável para produção de mudas de tomates de elevada qualidade e vigorosas, a reutilização de água residuária proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico (ETE). Lima et al. (2011), afirmam que em experimentos realizados em casa de vegetação, sob condições de elevada temperatura, a utilização de água residuária na produção de mudas de abóbora (*Cucurbita pepo L.*) e jiloeiro (*Solanum gilo Raddi*) apresentaram resultados positivos.

De acordo com Brito (2012), a ausência de uma regulamentação específica para o reúso da água dificulta a sua implementação em larga escala e, a adoção intensiva do reúso depara-se com desafios significativos. A inexistência de uma legislação federal e de padrões regulatórios estabelecidos, de modo a respaldar esse crucial instrumento de gestão ambiental contribui para que as práticas ocorram de maneira fragmentada.

Além disso, a carência de consenso quanto à qualidade dos efluentes tratados é um elemento crucial que obsta o progresso sistemático da prática de reúso. Características como os riscos sanitários, considerando um nível de risco aceitável (critério da Organização Mundial da Saúde) ou com a abordagem de risco nulo ou potencial zero (critério da Califórnia), ainda suscitam controvérsias por parte de diversos estudiosos (BRITO 2012).

Visando garantir a sustentabilidade na administração dos recursos hídricos nacionais, torna-se essencial desenvolver uma cultura e política de conservação da água em todos os setores da sociedade. O reúso devidamente planejado e consciente de águas de qualidade inferior, como as provenientes de esgotos domésticos e industriais, águas salobras, drenagem agrícola e águas pluviais é apontado como o utensílio mais moderno e eficiente de gestão (HESPANHOL 2003).

Contudo, de acordo com Rolim et al. (2016) a fim de evitar potenciais impactos ambientais e a propagação de doenças, ao optar pelo reúso agrícola, é essencial possuir um entendimento aprofundado sobre a qualidade da água a ser empregada. A utilização indiscriminada de efluentes não tratados completamente pode acarretar a propagação de infecções originadas por bactérias, vírus, protozoários e nematoides, podendo comprometer a saúde dos consumidores finais de produtos agrícolas além dos produtores.

7. SISTEMAS NATURAIS DE TRATAMENTO

7.1 Lagunagem

Na virada do século XIX, despontaram os sistemas de lagunagem como uma inovação no tratamento de águas residuais. Essa abordagem se fundamenta na utilização de processos biológicos e naturais, como lagoas e pântanos, destacando-se pela eficácia notável e pelos custos reduzidos, tornando-se assim sistemas de alta performance (SOUSA, 2019)

Os sistemas de lagunagem compreendem lagoas que, inicialmente, não demandam a intervenção de meios mecânicos de aeração durante o processo de tratamento (SANTO, 2008). Delimitadas por taludes, o processo de tratamento de águas residuais em lagoas de estabilização ocorre em amplas bacias aquáticas de baixa profundidade. A água que ingressa nesses sistemas passa por tratamento mediante processos naturais que envolvem a ação de algas e microrganismos. Essa ação é significativamente influenciada por variáveis climáticas, luz solar e até mesmo a intensidade do vento. (SOUSA, 2018).

A simplicidade e flexibilidade na operação, são características desse método de tratamento, representando sistemas relativamente fáceis de construir e administrar. Essas estruturas têm a capacidade de lidar com grandes flutuações de fluxo e podem gerar um efluente purificado comparável ao resultado obtido em sistemas convencionais de tratamento de água, a um custo substancialmente mais baixo. Essa característica torna essa tecnologia particularmente uma opção para países em desenvolvimento, onde o custo do terreno geralmente é significativamente reduzido. (SOUSA, 2018).

Quanto a classificação das lagoas de estabilização, segundo Santo (2008), pode ser categorizada como anaeróbias, aeróbias e facultativas, dependendo das condições que favorecem a degradação e estabilização da matéria orgânica e quanto à natureza do efluente, podendo ser designados como primários ou secundários. Além disso, do ponto de vista hidráulico, as lagoas podem ser categorizadas em diferentes classes, possibilitando ser de fluxo contínuo, intermitente ou sem fluxo. Conforme destacado por Sperling (2014), há também as lagoas de maturação, concebidas para eliminar microrganismos patogênicos.

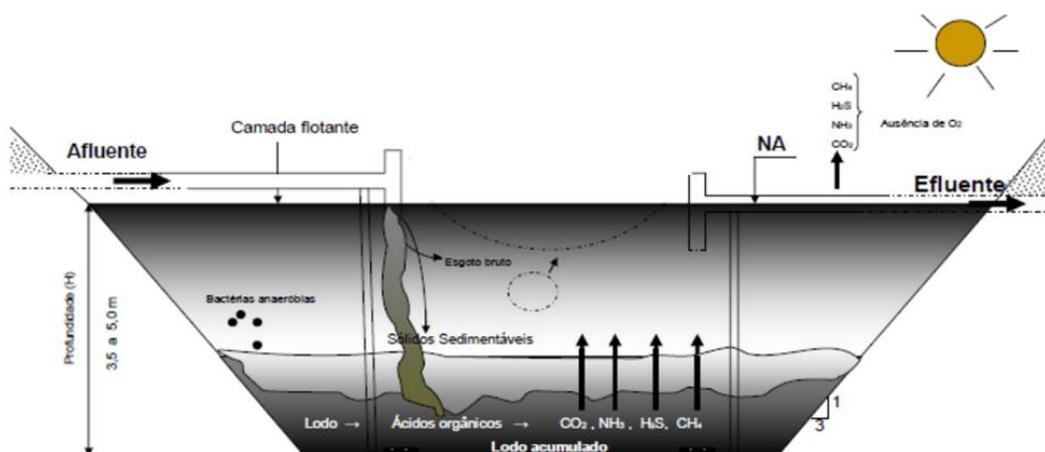


Figura 01: Representação do funcionamento de uma lagoa de estabilização anaeróbia.

Fonte: SILVA F.,(2007).

Conforme a figura 01, Lagoas Anaeróbias referem-se a corpos d'água onde prevalecem condições anaeróbias em sua totalidade, promovendo a degradação e estabilização por meio de processos anaeróbios, portanto, protegidas contra a exposição à atmosfera, essas tecnologias possuem eficácia no tratamento de águas residuais que apresentam variabilidade em termos de sólidos, óleos e gorduras. São particularmente recomendadas para o tratamento de efluentes industriais e a profundidade deste tipo de lagoa varia normalmente entre os 2,0 e os 5,0 m.

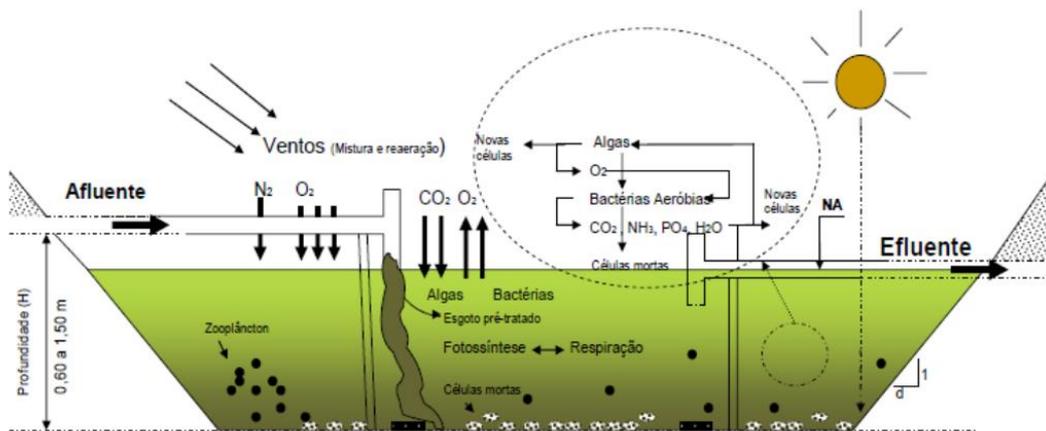


Figura 02: Representação do funcionamento de uma lagoa de estabilização aeróbia.

Fonte: SILVA F., (2007)

De acordo com a figura 02, Lagoas Aeróbias são corpos hídricos que se distinguem pela presença de condições aeróbias, onde a degradação e estabilização da matéria orgânica ocorrem por meio de processos derivados da atividade simbiótica entre algas e bactérias. Nessas lagoas, são admitidas profundidades de até 1,5 m, definidas em função da aplicação dos dispositivos de aeração.

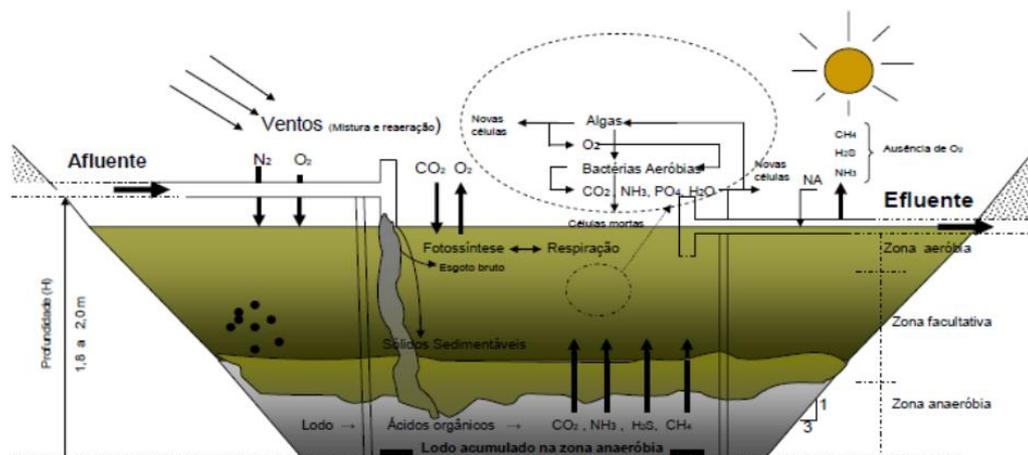


Figura 03 :Representação do funcionamento de uma lagoa de estabilização facultativa.

Fonte: SILVA F., (2007)

Na figura 03, está representada a Lagoa Facultativa, que são corpos d'água caracterizados por apresentarem predominantemente condições aeróbias na zona superficial e condições anaeróbias nas demais áreas. A sua profundidade varia usualmente entre 1,5 e 2,0 m, podendo em determinados casos ser superior. Segundo Machado (2016), essa técnica opta pelo processo de arejamento, que implica interação com a atmosfera, os elementos sólidos têm propensão a se depositar, originando uma camada de substrato orgânico no leito da lagoa. Com o decorrer do tempo, é possível observar uma tendência para o aumento dessa camada, resultando na criação de condições anaeróbias.

De maneira ampla, as lagoas anaeróbias, aeróbias e facultativas são elaboradas visando à eliminação de matéria orgânica, ao passo que nas lagoas de maturação, a ênfase no tratamento recai sobre a remoção de organismos patogênicos. Segundo Oliveira (2018), empregadas em tratamentos terciários ou de afinação, as lagoas de maturação são tipicamente lagoas aeróbias, e ocasionalmente facultativas.

A eficácia desses sistemas está diretamente relacionada ao número e ao tipo de lagoas incorporadas, sendo comum que a grande maioria dos processos de tratamento por lagunagem adotem sistemas de lagoas dispostas em série como descrito na figura 04, variando quanto ao tipo e características específicas de cada lagoa. Assim, nas aplicações práticas desses sistemas, cada série de lagoas geralmente se inicia com uma lagoa anaeróbia, seguida por uma lagoa facultativa e, dependendo da qualidade do efluente desejada, subsequentemente por uma ou mais lagoas de maturação, ou por alternativas como leitos de macrófitas ou filtros rochosos (SOUSA 2018).

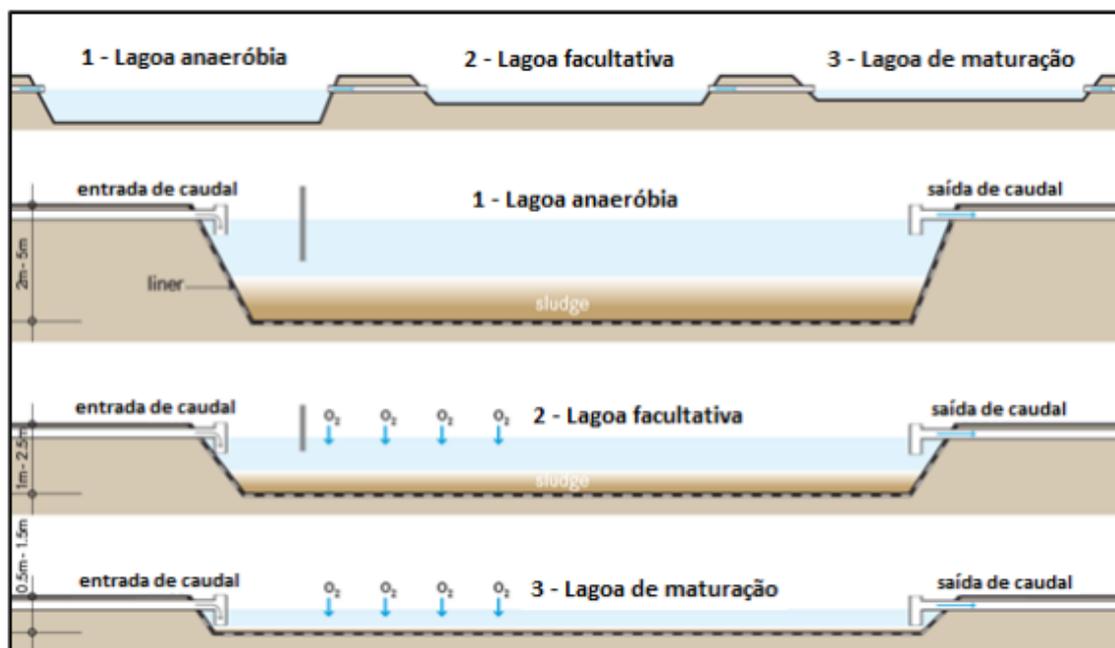


Figura 04: Esquemática de um sistema típico de lagoas de estabilização de águas residuais.

Fonte: SOUSA, (2018).

De acordo com Sousa (2018), decantação, oxidação biológica por meio de bactérias, oxigenação proporcionada por algas e vento, decomposição anaeróbia, evaporação, destruição fotoquímica e absorção de nutrientes por plantas aquáticas, são os processos de tratamento ocorridos nas lagoas de estabilização. A composição da comunidade biológica em uma lagoa de tratamento de águas residuais é influenciada pela carga orgânica aplicada, pelas condições meteorológicas e pelo tempo de retenção hidráulica. Sendo assim, a aplicação do tratamento por lagunagem é eficaz na diminuição das concentrações de sólidos suspensos totais e CBO5 (Carência Bioquímica de Oxigênio), bem como na redução do número de coliformes fecais, de maneira a atender aos requisitos dos parâmetros de qualidade da água.

A implementação da lagunagem demanda uma extensa disponibilidade de área, além de altas temperaturas e exposição solar. No entanto, em relação à manutenção, exige poucos ou nenhum equipamento. (MIGUEL, 2012).

7.2 Wetlands construídos

Ambientes que ficam inundados permanente ou sazonalmente, criando circunstâncias que promovem o desenvolvimento de solos hidromórficos e habitats para plantas aquáticas podem ser classificados como wetlands naturais, a exemplo dos pântanos

e manguezais. Segundo Moreira e Dias (2020), por meio de um design meticuloso, os Wetlands Construídos (WC) configuram-se como uma solução baseada na natureza, sendo sistemas naturais de tratamento de águas residuárias que buscam replicar e aprimorar os processos naturais presentes nos ambientes alagados conforme demandado pela qualidade final desejada. Desempenham funções em nível primário, secundário ou terciário, além de apresentarem aplicabilidade no tratamento de efluentes provenientes de fontes domésticas, industriais e agrícolas.

Flexibilidade no dimensionamento, disposição de efluentes em ecossistemas naturais e seleção do local são limitações encontradas por wetlands naturais, no que são superadas por wetlands construídos que, além disso, demonstram a mesma eficiência e capacidade, todavia, intensificando o processo. Contribuindo significativamente para a prática de reúso e conservação dos recursos hídricos, esses sistemas ecológicos e sustentáveis, representam uma alternativa simplificada para o tratamento de efluentes, possuindo aplicabilidade elevada em zonas rurais por serem sistemas descentralizados (PARASKEVOPOULOS, 2019).

Além de superar as limitações encontradas pelos sistemas naturais de wetlands, segundo Collivignarelli et al. (2020), o impacto ambiental reduzido, a manutenção dos sistemas simplificada, facilidade de operação e a boa relação custo-benefício são fatores de destaques nas vantagens de implantação dos wetlands construídos.

A organização do sistema é formada por módulos impermeabilizados, podendo ser construídos sobre o solo ou escavados, geralmente utilizando areia ou brita como material filtrante para preencher os módulos. Esse material auxilia o desenvolvimento do biofilme microbiano e serve como suporte para o crescimento das macrófitas (SEZERINO et al., 2018). Essas, são as plantas aquáticas visíveis a olho nu, que apresentam funções cruciais no metabolismo e na manutenção dos ambientes aquáticos, além de serem indicadoras da qualidade da água e atuarem na preservação da biodiversidade. Certas espécies, agem como agentes despoluidores por atuarem como filtro removendo o excesso de nutrientes ou substâncias tóxicas da água.

Em tese, três processos são realizados para o tratamento do efluente: o químico, por meio da adsorção dos nutrientes; o físico, que através da areia ou brita utilizada como meio suporte para realizar a filtração dos sólidos suspensos; e o biológico, através da comunidade microbiana e pela fitoextração realizada pelas macrófitas que promovem a purificação da matéria orgânica (SEZERINO et al., 2018).

Uma etapa crucial do processo de purificação nesses sistemas, ocorre durante a interação do efluente com a superfície dos substratos e as raízes das plantas. A relevância das plantas no processo de tratamento de wetlands é evidenciada em estudos realizados por Qomariyah et al. (2017), onde os autores destacam que as macrófitas desempenham a função crucial de transportar oxigênio para a zona de raízes, viabilizando sua sobrevivência em ambientes anaeróbios. A formação da camada de biofilme, responsável por realizar parte do processo de degradação, ocorre na superfície das raízes através da aderência e desenvolvimento de microrganismos. Os mecanismos de ação predominantes nos Wetlands Construídos para remoção dos poluentes estão descritos na tabela 01.

Constituintes do Esgoto	Mecanismos de Remoção
Sólidos Suspensos	Sedimentação Filtração
Material Orgânico Solúvel	Degradação microbiológica: - aeróbica - anaeróbico
Nitrogênio	Amonificação seguido de Nitrificação e danitrificação microbiana Retirada pela planta Adsorção Volatilização da amônia
Fósforo	Adsorção Retirada pela planta
Metais	Complexação Precipitação Retirada pela Planta Oxidação/Redução microbiana
Patogênicos	Sedimentação Filtração Predação

Tabela 01. Mecanismos predominantes na remoção de poluentes nos wetlands construídos.

Fonte: SEZERINO et al. (2015).

Através da hidrodinâmica é feita a categorização dos sistemas de wetlands construídos. Assemelhando-se aos naturais devido ao fluxo superficial de velocidade reduzida tem-se o WC de escoamento superficial, por outro lado, com fluxos que podem ocorrer tanto horizontal quanto verticalmente, os WC de fluxo subsuperficial são classificados como Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal (WCFH) e Wetlands Construídos de Fluxo Vertical (WCFV), além de sistemas híbridos, onde, o tratamento é realizado através de uma combinação dos sistemas de fluxo vertical e horizontal (QOMARIYAH et al., 2017). De acordo com Sezerino et al., (2015), esses sistemas podem também ser aplicados como etapa de pós-tratamento de decanto-digestores do tipo tanque séptico.

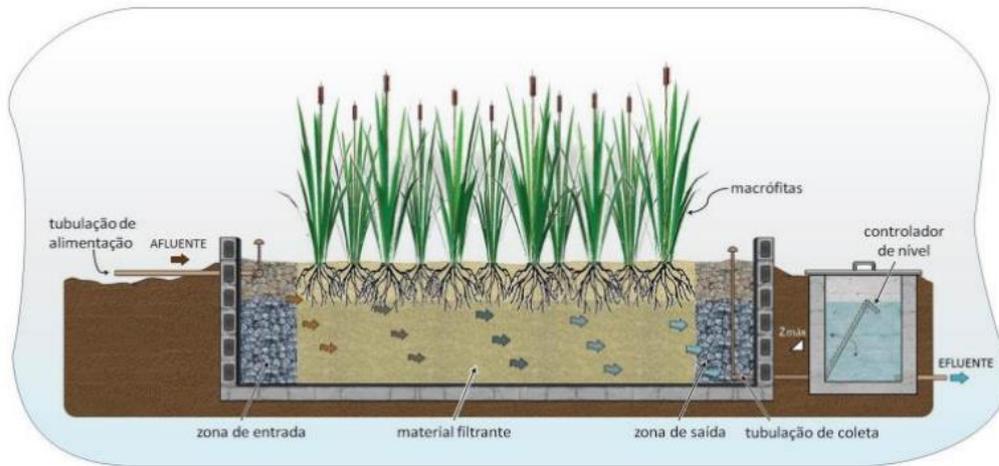


Figura 05: Representação esquemática do perfil de um Wetlands Horizontal.

Fonte: SEZERINO et al. (2018).

Na figura 05, está representado o sistema de Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal onde, possibilitando a ocorrência de diversos mecanismos de tratamento simultaneamente, o leito permanece constantemente alagado, favorecendo um ambiente ecologicamente complexo devido a presença da vegetação.

A rede de alimentação e drenagem do sistema é instalada nas entradas e saídas e a regulação do nível d'água ocorre por uma válvula de retirada. Dependendo do objetivo do projeto os leitos são implantados diretamente no solo com um ou mais tipos de vegetação sendo a operação contínua ou em pulsos.

À medida que o efluente percola pelo meio filtrante passa por diversos tratamentos como atividade microbiana, filtração e sedimentação sendo esses sistemas particularmente eficazes na remoção de DBO, patógenos, nitrato e sólidos suspensos. O tratamento do efluente alcança padrões elevados, conferindo à água um excelente potencial para ser reutilizada.

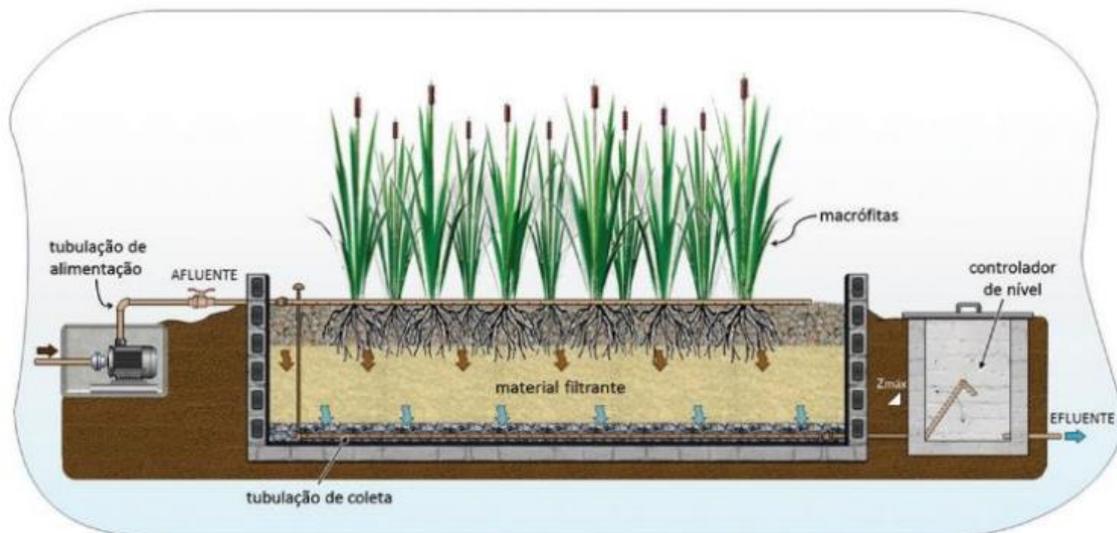


Figura 06: Representação esquemática do perfil de um Wetlands Vertical.

Fonte: SEZERINO et al. (2018).

Na figura 06, está representando o sistema natural de tratamento de água Wetlands Vertical que, através da superfície do leito, é feita a aplicação do efluente em regime de batelada até que toda a área esteja submersa. Verticalmente o efluente é drenado através do leito, onde, conforme ele escoar o ar ocupa os espaços deixados pelo líquido residual, favorecendo um ambiente altamente aerado e consequentemente os grupos microbianos aeróbios.

Nos wetlands verticais, através do ambiente aeróbio estabelecido pelas condições não saturadas do meio suporte e o regime de alimentação, a eficiência de remoção de DBO é superior a 80%. Devido às elevadas concentrações de oxigênio que o sistema vertical alcança, apresenta uma melhor eficácia com efluentes de concentração elevada sendo mais eficiente na remoção de amônia (NH_3^+).

Além disso, conforme descrito na tabela 02, sem dispensar um tratamento prévio, os wetlands construídos de fluxo vertical são o único sistema possível de receber o esgoto bruto. As macrófitas, elevam a eficiência para absorção e filtração de nutrientes além de aumentar a biodiversidade microbiana no leito.

Tipo de wetland	Vantagens	Desvantagens
Fluxo Superficial	Construção Fácil; Custos de operação e manutenção baixos; Produção mínima de lamas e excelente integração paisagística e Eficiências de remoção elevadas;	Necessita de uma grande área, o que implica elevados custos de capital; Dependência sazonal; Proliferação de roedores e odores desagradáveis; Risco de transmissão de doenças devido à exposição humana e de animais
Fluxo Subsuperficial Vertical	Construção fácil, Custos de construção, operação e manutenção moderados; Baixa produção de lamas; Baixa proliferação de mosquitos e menor odor gerado; Boas eficiências de remoção.	Remoção dependente do clima e características da água; Necessário pré-tratamento das águas residuais antes de entrar na wetland;
Fluxo Subsuperficial Horizontal	Construção fácil; Custos de construção, operação e manutenção moderados; Baixa produção de lamas; Baixa proliferação de mosquitos e menor odor gerado; Boas eficiências de remoção.	Necessita de uma área relativamente grande; Remoção dependente do clima e características da água; Necessário pré-tratamento das águas residuais antes de entrar na wetland; Transferência limitada de oxigênio, o que implica uma redução da nitrificação.

Tabela 02: Principais vantagens e desvantagens dos tipos de wetlands artificiais abordados.

Fonte: Adaptado de SANTOS, (2016).

Conforme destacado na tabela 02, os três tipos de wetlands apresentados destacam-se pela elevada eficiência de remoção, porém, o fluxo superficial apresenta riscos de transmissão de doenças. Meio suporte, microrganismos e macrófitas são três elementos que definem os wetlands construídos. Para Lima (2016), é necessário favorecer uma alta permeabilidade, elevada atividade microbológica e alta capacidade de troca catiônica e o meio suporte pode consistir em uma variedade de materiais. Para Sezerino (2018), o meio suporte desempenha uma função química nas reações envolvidas e física no processo de filtragem, além de desempenhar o papel de suporte para as macrófitas. É comum optar pela combinação de brita e areia devido à durabilidade do sistema, resultados positivos em experimentos e facilidade de caracterização, uma vez que a

escolha dos materiais é cuidadosamente realizada para integrar as características desejadas, alinhadas com os objetivos do tratamento e considerações econômicas.

Devido a necessidade de obter fonte de carbono para o metabolismo e reprodução e energia, os microrganismos são responsáveis pela degradação dos poluentes presentes no meio, por essa razão desempenham um papel essencial no tratamento de águas residuais pelos Wetlands Construídos (SEZERINO, 2006).

As macrófitas atuam especialmente na absorção dos produtos resultantes da degradação realizada pelos microrganismos. Olijnyk (2008), destaca propriedades importantes das macrófitas como: a promoção de uma extensa área para aderência de microrganismos, o aumento na taxa de degradação aeróbia da matéria orgânica devido à liberação de oxigênio e a filtração, além da prevenção contra erosão.

De acordo com Sousa et al. (2004) regiões onde a irradiação solar é constante durante grande parte do ano, proporcionando condições favoráveis ao processo fotossintético das macrófitas como o Nordeste do Brasil, a adoção de sistemas wetland pode ser considerada uma tecnologia viável. Além disso, segundo Figueiredo (2013) tal sistema natural de reuso de água destaca-se por atender aos padrões ambientais e sanitários, contribuindo para mitigar os problemas socioambientais associados à disposição inadequada de esgoto não tratado. Além dos aspectos apresentados acima, o sistema ainda apresenta como vantagens o fato de requerer investimentos financeiros baixos, possuir uma operacionalidade simples e permitir o reuso da água em atividades econômicas lucrativas.

7.3 Filtro biológico

Destacando-se pela facilidade operacional e notável eficiência, os filtros biológicos consistem um método de tratamento de água residual onde os microrganismos se fixam, formando o biofilme. Aderidos ao meio suporte, ocorre o crescimento dos microrganismos que realizam o tratamento do afluente. De acordo com Menezes (2019), o tratamento ocorre através do contato entre o afluente que percorre os caminhos delineados pelo meio suporte e o biofilme formado, resultando na remoção do material orgânico.

A forma do reator pode variar de circular, quadrada ou retangular, sendo a primeira a mais comum. Quanto a profundidade do filtro biológico, segundo Figueiredo (1997), pode variar dependendo do enchimento que é utilizado. O preenchimento é realizado com materiais que garantam a resistência biológica, estrutural e química além de apresentar

viabilidade econômica. Para materiais mais pesados como pedra brita nº 4 ou 5, a profundidade normalmente é de 1 a 2,5 metros. Para filtros com preenchimento de materiais mais leves como plástico, a profundidade é superior e varia de 4 a 12 metros.

De acordo com Santos (2018), no tratamento de efluentes com utilização de filtros biológicos, os filtros aerados submersos e os filtros biológicos percoladores são destaque. Com o fluxo seguindo uma trajetória ascendente, os filtros aeróbios submersos (FASB) garantem que os fluxos do afluente e dos compostos, presentes no meio líquido, tenham o mesmo sentido dentro do reator.

Assegurando a aeração do meio e proporcionando o tratamento do efluente mediante processos aeróbios, os tanques dos filtros aerados são equipados com aeradores posicionado na parte inferior das unidades. O meio suporte é preenchido com material poroso, onde os microrganismos se alojam nos biofilmes. Dentre as vantagens na adoção dos FASB, as principais incluem a possibilidade de cobertura dos tanques, elevada concentração de biomassa e a baixa produção de lodo, proporcionando um tratamento eficaz (Silva, 2016).

Entretanto, segundo Buarque (2017), nos filtros biológicos percoladores geralmente o efluente é inserido em jatos e na parte superior do reator, onde segue um fluxo descendente até entrar em contato com a biomassa aeróbia, que se aloja no meio suporte. Conforme Martins (2016), através da convecção e de maneira natural ocorre a aeração no sistema, todavia, a biomassa que compõe o biofilme é controlada através da tensão de cisalhamento gerada através da velocidade de escoamento do efluente, que desprende parte da biomassa e descarta simultaneamente com o efluente.

Nos filtros percoladores, é extensa a variedade de materiais empregados para o enchimento do meio suporte pela influência no desempenho do tratamento, todavia, apesar de diversos tipos material serem utilizados no preenchimento dos meios suporte, a brita, plástico e carvão antracito são os mais usuais (SANTOS, 2018).

Pouca exigência de manutenção, baixo custo de implantação e facilidade operacional se destacam como as principais vantagens na adoção dos filtros biológicos percoladores (MENEZES, 2019)

7.4 Filtro de areia

De acordo com a NBR 13969:1997, dispensando a necessidade de operações e manutenções complexas, os filtros de areia consistem em leitos preenchidos com areia e outros materiais filtrantes. A purificação ocorre por meio de processos físicos, químicos

e pela presença de microrganismos que se desenvolvem no meio granular. Esses filtros podem ser alimentados por fluxo intermitente descendente e o efluente tratado é captado pelo fundo drenante.

Sendo um método crucial para estimular o crescimento bacteriano, responsável pela decomposição e extração de energia dos poluentes, a aplicação intermitente alternando entre dosagem e descanso, tem como objetivo principal manter a condição aeróbia na estrutura do leito. Além disso, favorece o desenvolvimento de bactérias nitrificantes, que desempenham um papel essencial na transformação do nitrogênio orgânico e amoniacal em nitrito e nitrato (MENORET et al, 2002; LEVERENZ et al, 2009).

De acordo com Leverenz et al. (2009), o primeiro filtro de areia projetado para tratamento de esgoto, apresentava filtração lenta, enquanto a filtração rápida era destinada ao tratamento de grandes volumes de água em instalações que ocupavam espaços reduzidos. Inicialmente, altas cargas orgânicas diárias eram aplicadas nos leitos e a aplicação intermitente de esgoto não estava claramente definida, resultando em entupimentos frequentes, demandando maior manutenção e longos períodos de repouso para recuperar a capacidade de filtração.

O tamanho efetivo do material granular e sua uniformidade desempenham um papel significativo em diversos aspectos da infiltração do sistema, fazendo a escolha desses um parâmetro operacional de grande importância. Durabilidade do filtro, taxa de filtração, capacidade de filtragem do esgoto, profundidade de penetração de material particulado e qualidade do efluente final são fatores diretamente influenciados pela escolha dos grãos (ROLLAND et al, 2009).

No mesmo estudo, Rolland et al. (2009), relatam que comprometendo a realização da decomposição biológica desejada e prejudicando a eficiência do tratamento, se os grãos forem muito grandes, a maioria das partículas menores poderão passar diretamente pelo filtro, reduzindo o tempo de detenção hidráulica. Em compensação, resultando na limitação do volume de líquido filtrado e provocando o entupimento precoce, se o grão for muito pequeno, a maior parte da força motriz será utilizada para superar a resistência de atrito do filtro.

De acordo com a NBR 13969:1997, usados isoladamente ou em conjunto, os materiais que podem ser utilizados como meio filtrante são areia e pedregulho ou pedra britada, variando para o primeiro o diâmetro efetivo de 0,25mm a 1,2mm com coeficiente de uniformidade inferior a 4, pois, areias com tamanho efetivo semelhante, mas

coeficiente de uniformidade diferente, têm o potencial de apresentar desempenhos significativamente distintos. Os mecanismos e fenômenos envolvidos no processo de filtração são detalhados na Tabela 03;

Mecanismos/ Fenômenos	Descrição
Fixação	
a. Mecânica	a. Partículas maiores que os poros do material suporte são retidas mecanicamente
b. Por contato	b. Partículas menores do que os poros ficam presas no filtro pelo contato com os grãos
Sedimentação	Deposição de partículas no meio filtrante
Interceptação	Muitas partículas que se deslocam pelas linhas de fluxo são removidas quando entram em contato com a superfície do material filtrante
Adesão	As partículas se ligam à superfície do material filtrante à medida que passam por ele. Devido à força do fluxo da água, alguns materiais são arrastados para o fundo do filtro antes que se prendam firmemente
Floculação	A floculação pode ocorrer dentro dos interstícios do material filtrante
Adsorção Química e Física ¹	Uma vez que a partícula tenha entrado em contato com a superfície do material filtrante ou outras partículas, um desses mecanismos, ou ambos, poderá retê-la no material
Crescimento Biológico	O crescimento biológico no filtro reduz o volume dos poros e pode melhorar a remoção de partículas atuando juntamente aos mecanismos de remoção acima citados

Tabela 03: Mecanismos e fenômenos envolvidos na filtração.

Fonte: METCALF; EDDY, (2003)

Conforme destacado na Tabela 03, por meio de processos de tratamento químico, físico e biológico, os filtros têm a capacidade de eliminar o material particulado suspenso (orgânico e inorgânico, incluindo DBO particulada). Além disso, aprimoram a capacidade do solo para a degradação aeróbica dos componentes orgânicos, quando empregados antes da disposição. Contudo, é importante observar que a remoção completa de microorganismos não é alcançada, uma vez que bactérias e vírus geralmente apresentam resistência ao processo de filtração, tornando a desinfecção frequentemente necessária (LEVERENZ et al, 2009; METCALF; EDDY, 2003).

Existe uma ampla variedade de sistemas aerados disponíveis para o tratamento de efluentes. Fatores ambientais, econômicos e técnicos devem ser associados para que seja realizada a escolha de uma operação específica ou combinações dessas, dentre esses fatores alguns apresentam maior relevância: o espaço disponível; a geometria e o tipo do reator; uso pretendido para o efluente tratado; a compatibilidade entre diferentes

operações e processos; a viabilidade ambiental e econômica dos sistemas alternativos; além da natureza do esgoto (METCALF; EDDY, 2003).

Além disso, filtro anaeróbio combinado com um filtro de areia é um exemplo de associação que apresenta viabilidade e pode ser explorada para atender pequenas comunidades, como notado por Rolland et al. (2009), relatando que pode ser reforçada pela sua extensa utilização em diversos países, a exemplo da França, onde o filtro de areia atende a uma população de 15 milhões de pessoas para o tratamento de esgoto. Reatores aeróbios e anaeróbios apresentam características que, combinadas, poderiam potencializar diversas vantagens, como a implementação de sistemas compactos com baixa acumulação de lodo sendo propriedades de reatores anaeróbios e uma maior remoção de matéria orgânica como fator atributo dos reatores aeróbios, além de minimizar os aspectos negativos (ABREU; ZAIAT, 2008).

O acúmulo de matéria orgânica no meio filtrante e a saturação da condutividade hidráulica são processos químicos e físicos que desencadeiam o acúmulo de material nos espaços entre os grãos, ocorrendo ao longo do tempo mesmo quando os filtros de areia são projetados e operados de maneira adequada, resultando em perda de carga e colmatação. Portanto, é essencial monitorar o desenvolvimento do biofilme simultaneamente à eficácia do tratamento durante a operação do filtro de areia, pois a pesquisa sobre outros fatores contribuintes para a colmatação ainda é limitada. A manutenção, quando necessária, deve ser realizada por meio da limpeza ou substituição da camada colmatada (RUANE et al, 2014; LEVERENZ et al, 2009; METCALF; EDDY, 2003).

Conforme as diretrizes da NBR 13969:1997, é recomendado realizar a raspagem e remoção do material depositado na superfície do filtro de areia, incluindo a vegetação, após a secagem dela. Além disso, é aconselhável remover uma pequena camada de areia (com altura entre 0,02 m e 0,05 m), a camada retirada deve ser substituída imediatamente por areia limpa, que apresente características idênticas à areia anteriormente removida.

7.5 Valas de infiltração

As valas de infiltração, consistem em escavações subterrâneas preenchidas com um material poroso, que sustenta a escavação e facilita o fluxo contínuo dos resíduos, os quais infiltram no solo, promovendo a nitrificação através da ação de bactérias aeróbias.

Representam uma modalidade de sistemas de infiltração subsuperficial, em que o esgoto é distribuído abaixo do nível do solo (SPERLING, 2014).

A estrutura da vala consiste em uma camada de pedra britada revestida com solo retirado do próprio local, um tubo perfurado que percorre todo o comprimento da vala abaixo da superfície realiza a distribuição do efluente. É importante ressaltar que os efluentes devem ser predominantemente líquidos e podem ter origem em sistemas de tratamento de esgoto, como, filtros anaeróbicos, tanques sépticos ou outros tipos de reatores de tratamento que geram baixa quantidade de sólidos suspensos (LIMA 2016).

De acordo com Gabe et al. (2017), existem estudos para utilização de blocos cerâmicos vazados na construção das valas de infiltração, como uma alternativa economicamente mais viável, especialmente em regiões com infraestrutura sanitária precária. Porém, também é possível empregar tubos de PVC rígido, corrugados e perfurados, mas esses apresentam um alto custo.

A norma NBR 13969:1997, estabelece alguns critérios para a construção das valas, incluindo: largura entre 0,50 e 1,0 m; profundidade variando entre 0,60 e 1,0 m; espaçamento mínimo de 1,0 m (medido entre suas laterais); comprimento máximo de cada vala de 30 m; distância mínima de árvores com raízes grandes de 7,0 m; localizar-se a uma distância mínima de 3,0 m acima do lençol freático; o tubo deve ser do tipo perfurado na metade inferior, possuindo DN 100 e inclinação entre 0,20% e 0,33%.

Conforme destacado por Coraucci et al. (2001), desaconselhando-se a implementação em áreas com inclinação acentuada, a eficiência das valas de infiltração está intrinsecamente ligada às particularidades do local. A proximidade em relação ao lençol freático também desempenha um papel crucial, pois quanto maior a distância, menor é o risco de contaminação. Além disso, outros aspectos relevantes a serem observados incluem a permeabilidade, saturação e aeração do solo.

Alguns cuidados são necessários para a implantação das valas conforme indicado pela NBR 13969:1997, fatores como grau de saturação, nível de percolação e composição química do solo devem ser cuidadosamente considerados, pois ao utilizar o solo como meio filtrante do esgoto, é crucial analisar suas características para garantir a eficácia do tratamento.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho procurou expor informações técnicas sobre os métodos de tratamento natural de água para reúso por meio de pesquisa bibliográfica sobre o tema, buscando compreender a forma que esses métodos atuam no manejo do efluente e a importância na gestão dos recursos hídricos da adoção do reúso de água.

Os métodos naturais de tratamento baseiam-se em eventos decorrentes da natureza que, através do controle e aprimoramento é possível obter um bom resultado. A escolha do procedimento depende diretamente de características específicas do local em que será instalado o sistema de tratamento, uma vez que os métodos naturais utilizam microrganismos e plantas para realizarem a purificação do efluente e esses sofrem influência direta do ambiente, fatores como temperatura e luminosidade, podem alterar a velocidade das reações e conseqüentemente a eficiência e qualidade do efluente tratado.

Além disso, a composição química e física do efluente a ser tratado e a qualidade final da água residuária desejada são prioridades na escolha do método a ser utilizado pois, apesar de apresentarem o mesmo objetivo, são indicados em circunstâncias diferentes. Os métodos de tratamentos naturais expostos, apresentam como características positivas o baixo custo para implantação, facilidade de manutenção e baixo impacto ambiental. Esses atributos, evidenciam a possibilidade de incentivo para instalação em locais que apresentem escassez de água como o Semiárido nordestino.

9. REFERÊNCIAS

- ABREU, S. B.; ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Revista de Engenharia Sanitária Ambiental**. vol.13, nº 2, p. 181-188, 2008.
- ALVES, R. C., FERREIRA NETO, M., NASCIMENTO, M. L., OLIVEIRA, M. K. T., LINHARES, P. S. F., CAVALCANTE, J. S. J. & OLIVEIRA, F. A. **Reutilização de água residuária na produção de mudas de tomate**. Agropecuária Científica no Semiárido, Patos – PB, 77-81, 2012.
- ASANO, T., BURTON, F. L., LEVERENZ, H. L., TSUCHIHASHI, R., & TCHOBANOGLIOUS, G. **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications**. (McGraw-Hill, Ed.) (1 st). New York, USA: Metcalf & Eddy, Inc. 2007.
- BARBOSA, E. A. A. **Sustentabilidade ambiental da produção de cana-de-açúcar irrigada com esgoto doméstico tratado via gotejamento subsuperficial**. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, na Área de Água e Solo) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- BARROS, H. M. M., VERIATO, M. K. L., SOUZA, L, P., CHICÓ, L. R., BAROSI, K. X. L., Reúso de água na agricultura **Revista Verde** (Pombal - PB - Brasil), VOL. 10. Nº 5 (ESPECIAL), p. 11 - 16, Dez, 2015.
- BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. **Conceito de reúso de água**. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (ed). Reúso de água. Barueri: Manole,. p. 21-36. 2003.
- BRITO, L. P. Mercado de reúso de água no Brasil: é possível assegurar um crescimento sem a definição de um arcabouço normativo e legal? **Revista DAE**, São Paulo, v. 188, p. 8. 2012.
- BUARQUE, P. M. C. **Avaliação da remoção de micropoluentes emergentes e nitrogênio em sistemas anaeróbios e microaeróbios seguidos de filtros biológicos percoladores sujeitos à aeração natural e forçada**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2017.

CARVALHO, A. T. F. **Caracterização climática da quadra chuvosa em apodi, semiárido brasileiro, nos anos de 2013 a 2017.** Geografia em atos.v. 2, p. 4-23, 2020.

CETESB. **Reúso da água.** São Paulo. SP. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/reuso-de-agua/>. Acesso em: 04/09/2023

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e agropecuária sustentável. **Revista de Política Agrícola**, v.22, n.1, p.115-127, 2013.

CODEVASF. **Ação da Codevasf leva água a três mil moradores do Polígono da Seca no Norte baiano.** Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/noticias/2016/acao-da-codevasf-leva-agua-a-tres-mil-moradores-do-poligono-da-seca-no-norte-baiano> . Acesso em 05 out. 2023.

COLLIVIGNARELLI, M. C., MIINO M. C., GOME F. H., TORRETTA V., RADA E. C., SORLINI S. Horizontal flow constructed wetland for greywater treatment and reuse: An experimental case. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 7, 2020.

CORAUCCI FILHO, B.; ANDRADE NETO, C. O. de.; MELO, H. N. S. de.; SOUSA, J. T. de.; NOUR. E.A.A.; FIGUEIREDO. R.F. de. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbicos por sistemas de aplicação no solo.** In: CHERNICHARO. C.A.L. (coord.). Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. Projeto PROSAB. Belo Horizonte. MG p. 1-50, 2001.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** volume 5: reatores anaeróbios 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2016.

CUNHA, A. H. N., OLIVEIRA, T. H., FERREIRA, F. B., MILHARDES, A. L. M., SILVA, S. M. C., O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, vol.7, N.13; 2011.

FEITOSA, T., GARRUTI D. S., LIMA J. R., MOTA S., BEZERRA F. M. L., AQUINO B. F., SANTOS A. B. Qualidade de frutos de melancia produzidos com reúso de água de

esgoto doméstico tratado. **Revista Tecnologia**, FortalezaCE, v.30, n.1, p.53-60, junho, 2009.

FERREIRA, V. M. **Irrigação e drenagem**. – Floriano, PI: EDUFPI, 126p. (Técnico em Agropecuária), 2011.

FIGUEIREDO, A. M. F. **Viabilidade do uso de águas superficiais poluídas tratadas através de sistemas de wetlands construídos no cultivo do feijão** Campina Grande, PB. UFCG Agosto/2013

FIGUEIREDO R. F. **Tratamento de esgoto e águas residuais**. UNICAMP, Campinas, 1997.

GABE, L.; CHIELE, G; GIACOMELLI, B; EDLER, M. A. R; **Tratamentos alternativos de esgoto para fins de ajardinamento**; IV mostra científica sobre sustentabilidade; 2017.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. **São Paulo**, v. 5, n. 61, p. 16–17, 2002.

GOODWIN, B. K.; MISHRA, A. K. Are “Decoupled” Farm Program Payments Really Decoupled? An Empirical Evaluation. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 88, n. 1, p. 73–89, fev. 2006.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso no Brasil: Agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. Reúso de água. São Paulo. USP, 2003.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, p.131-158, 2008.

Instituto Nacional do Semiárido – INSA - Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiaridobrasileiro#:~:text=O%20Semi%C3%A1rido%20Brasileiro%20se%20esten de,semi%C3%A1ridos%20mais%20povoados%20do%20mundo> Acessado em 05 out. 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. 317p.

IMA, V. I., ALVES, S., FERREIRA NETO, M., & OLIVEIRA, R. **Reutilização de água residuária na produção de mudas de abóbora e jiló**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.13; 2011.

LEMOS, M. **Uso de esgoto doméstico tratado na produção de palma forrageira em assentamento rural do semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado – Manejo de solo e água no semiárido). UFERSA, Mossoró – RN, 2016.

LEVERENZ, H. L.; TCHOBANOGLIOUS, G.; DARBY, J. L. Clogging in intermittently dosed sand filters used for wastewater treatment. **Water Research**, v. 43, pp. 695-705, 2009.

LEVIEN, S. L. A.; FIGUEIRÊDO, V. B.; ARRUDA, L. E. V.; **Panorama da atual área de agricultura irrigada no Brasil**. Pantanal editora, 2021.

LIMA, R. F. de S. **Potencialidades dos Wetlands Construídos empregados no Pós-tratamento de Esgotos: Experiências brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2016.

LIMA, LUCAS PRADO. **Alteração de atributos na água e no nível do lençol freático após disposição de efluente em valas de infiltração**. 32 p. - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MARTINS, V. F. **Influência do meio suporte e da presença de vegetação no desempenho de filtros biológicos percoladores**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2016.

MENDES, P. E. F., BASTOS R. G., SOUZA C. Efluente tratado na agricultura: aspectos agrônômicos e sanitários no cultivo do rabanete. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, nº.1, p. 428-438, 2016.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse**. 4ª edição. McGraw - Hill, International Editions. Nova Iorque, 2003.

MIRANDA, R. J. A., MELO H. N. S, NETO C. O. A., FILHO M. L. **Evolução da salinidade em solo irrigado com esgoto sanitário tratado**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001, João Pessoa-PB. Anais. ABES, p.1-6. 2001.

MIGUEL, A. **Tratamento de Águas Residuais Urbanas com recurso a processos em série de precipitação química e neutralização natural**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior Agrária. Beja. Portugal. 2012.

MONTE, B. R., PEREIRA, J. R. & BARRANCO, J. F. A. A Agricultura Irrigada na Região Do Semiárido Legal Mineiro: Um Estudo Sobre os Avanços e impactos Ambientais. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**, 4(6), 222-248, 2019.

MOREIRA, F. D.; DIAS, E. H. O. Constructed wetlands Applied in rural sanitation: A review. **Environmental Research**, v. 190, 2020.

NBR 13969 - **Tanques sépticos- Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos**. Rio de Janeiro, ABNT. 1997.

OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal - sistemas híbridos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2008.

OLIVEIRA E. S. G. **Contribuição para a Avaliação da Viabilidade da Reutilização de Águas Residuais Tratadas para Produção de Água para Consumo Humano**. Estudo de Caso: Mindelo, São Vicente (Cabo Verde). Universidade Nova de Lisboa. Dez. 2018.

PAOLINELLI A. NETO D. D. E MANTOVANI E. C. **Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia**. - Piracicaba: ESALQ; Viçosa: ABID, 397 p. 2022.

PARASKEVOPOULOS S. **Quantifying the log reduction of pathogenic microorganisms by constructed wetlands as a basis for QMRA of water reuse applications.** Utrecht Universit. 2019.

PEREIRA, B. F. F., HE, Z. L., SILVA, M. S., HERPIN, U., NOGUEIRA, S. F., MONTES, C. R. & MELFI, A. J. Reclaimed wastewater: Impact n soil-plant system under tropical conditions. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, 192(1), 56-61, 2011.

PEREIRA JUNIOR, E. B. **Efeito do pisoteio ovino sobre atributos do solo, em área de coqueiral.** 35f. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal de Campina Grande, Patos – PB. 2006.

PEREIRA W. S.; FREIRE R. S.; **Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes;** Departamento de Química Fundamental, Instituto de Química, Universidade de São Paulo; *Quim. Nova*, Vol. 28, No. 1, 130-136, 2005.

QOMARIYAH, S., et al. Use of macrophyte plants, sand & gravel materials in constructed wetlands for greywater treatment. In: **IOP conference series: materials science and engineering.** IOP Publishing, 2017.

RODRIGUES, R.S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reúso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reúso no Brasil,** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

ROLIM H. O.; CHAVES J. R.; NUNES A. B. A.; FILHO H. A. S.; SANTOS E. V. M.; Qualidade dos efluentes de sistemas de tratamento biológico uasb e uct para reúso agrícola. **Rev. Agro. Amb.**, v.9, n.2, p. 393-414, Maringá (PR), abr./jun. 2016

ROLLAND, L.; MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; BOUTELDJA, F.; GRASMICK, A. **Influence of the physical and mechanical characteristics of sands on the hydraulic and biological behaviors of sand filters.** *Desalination*, v. 248, pp.998– 1007. 2009.

SANTO, L. **Sistemas Simplificados de Saneamento de Águas Residuais.** Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico. Lisboa. Portugal. 2008.

SANTOS, C. H. **Análise espectroscópica da matéria orgânica de solos sob aplicação de águas residuárias.** - Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, SP, 2008.

SANTOS, J. V. T. S. **Avaliação do desempenho de filtro biológico como pós-tratamento de reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo visando ao reuso de esgoto sanitário.** Delmiro Gouveia: Universidade Federal de Alagoas, 2018.

SEZERINO, P. H.; ROUSSO, B. Z.; PELISSARI, C.; SANTOS, M. O.; FREITAS, M. N.; FECHINE, V. Y.; LOPES, A. M. B. **Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção.** Tubarão: Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde, 2018.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

SILVA, T. M. R. **Aplicação de sistema combinado por filtro anaeróbio seguido de biofiltro aerado submerso ao tratamento de esgotos sanitários de unidades residenciais unifamiliares.** Brasília: Universidade de Brasília, 2016.

SILVA, A. G.; COSTA, F. B. **Os estabelecimentos rurais de menor porte econômico do semiárido nordestino, frente as tendências da agropecuária brasileira.** In: BUANAIN, A. M.; ALVEZ, E., SILVEIRA, J. M. et al. (Eds). **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola.** Brasília: Embrapa. p. 950-977, 2014.

SILVA, C.O. F.; PUTTI, F. F.; MANZIONE, R. L.; **Panorama da evolução da agricultura irrigada no sudeste do Brasil entre 2006 e 2017.** Irriga, v. 1, n. 3, p. 446-457, 2021.

SILVA, S. S., SOARES, L. A. A., LIMA, G. S., NOBRE, G. R. & GHEYI, H. R. Alocação de Fitomassa pela Mamoneira sob Estresse Salino e Doses de Nitrogênio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró – Rn, 8(3), 182-187, 2013.

SILVA, J. R. M.; FIA, F. R. L.; CAMPOS, C. M. M.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. **Avaliação hidrodinâmica de dois reatores UASB e um filtro biológico aerado submerso.** Anais do 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2015.

SOUSA, J. T.; et al. **Efluentes tratados utilizados na agricultura.** In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba-PR. Anais. ABRH, 2003 p.1-12. 2003.

SOUSA, J.T.; HAANDEL, A.C.; LIMA, E.P.C.; HENRIQUE, I. N. **Utilização de wetland construído no pos-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 09, n. 4, p. 285-290, 2004.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

TOSSETO, M. S. **Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reuso urbano** Campinas: Unicamp. 2005.