



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PAULINO CAVALCANTE PINHEIRO SOBRINHO

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA WETLAND COMO TRATAMENTO
TERCIÁRIO DE EFLUENTE ANAERÓBIO DE COMUNIDADE UNIVERSITÁRIA
DO SEMI-ÁRIDO**

CARAÚBAS

2019

PAULINO CAVALCANTE PINHEIRO SOBRINHO

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA WTLAND COMO TRATAMENTO
TERCIÁRIO DE EFLUENTE ANAERÓBIO DE COMUNIDADE UNIVERSITÁRIA
DO SEMI-ÁRIDO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA como
requisito para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Ms. Leonete
Cristina de Araujo Ferreira Medeiros Silva

CARAÚBAS

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

P654
677a

Pinheiro Sobrinho, Paulino Cavalcante.
PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA WETLAND COMO
TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE ANAERÓBIO DE
COMUNIDADE UNIVERSITÁRIA DO SEMI-ÁRIDO /
Paulino
Cavalcante Pinheiro Sobrinho. - 2019.
45 f. : il.

Orientadora: Ms. Leonete Cristina de Araújo
Ferreira Medeiros Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2019.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PAULINO CAVALCANTE PINHEIRO SOBRINHO

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UMA WETLAND COMO TRATAMENTO
TERCIÁRIO DE EFLUENTE ANAERÓBICO DE COMUNIDADE UNIVERSITÁRIO
DO SEMI-ÁRIDO**

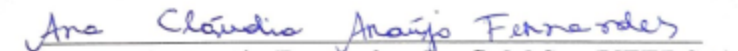
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 20/03/2019.

BANCA EXAMINADORA



Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva, Prof^ª. M.Sc. (UFERSA)
Presidente


Ana Cláudia Araújo Fernandes, Prof^ª. M.Sc. (UFERSA)
Membro Examinador


Gustavo Marques Calazans, Prof^º. M.Sc. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Sem dúvidas um dos trabalhos mais árduos que já realizei nesta caminhada universitária, não pela dificuldade do tema, ou por falta de tempo, e sim por motivos emocionais que me abalaram no fim desta longa caminhada.

Quero agradecer principalmente a Professora Orientadora Leonete Cristina que acreditou na concretização deste trabalho, pelas dicas e paciência.

Agradeço a minha família que sempre acreditou nas minhas idealizações e que sempre tem me dado apoio em tudo que me proponho fazer e faço por vocês.

Não poderia deixar de agradecer aos amigos que vivenciaram comigo meus sucessos e minhas derrotas e por tornarem esta caminhada menos difícil. Ainda falta muito, mas tenho certeza que iremos conseguir.

Aos demais colegas, agradeço as contribuições de forma direta e indiretamente para o alcance desta etapa.

Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, quem sobrevive é o mais disposto a mudança.

Charles Darwin

RESUMO

O uso de Wetlands (W) é uma oportunidade de atenuar os impactos ambientais negativos e produzir água de reuso em condições favoráveis a atividades que exijam mais qualidade. O presente trabalho de conclusão traz como objetivo geral a implementação de um sistema W aplicado ao pós-tratamento de efluente de uma Estação de Tratamento de Esgoto de comunidade universitária, distinguir as diversas modalidades de sistemas de alagados, estudar a viabilidade de implementação e realizar o dimensionamento da configuração escolhida. Para a realização deste trabalho foi desenvolvida pesquisa bibliográfica a partir de publicações nacionais. A partir disto, pôde-se projetar uma W seguindo os onze passos que o manual da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) indica acompanhar. Verificou-se que a configuração escolhida é viável para implementação, partindo de critérios existentes pretendidos e da necessidade de melhoria no esgoto tratado. O dimensionamento oportuniza propostas de pesquisas futuras que irão demonstrar os reais impactos positivos, econômicos e sócios-ambientais que um sistema de alagados pode proporcionar à população e ao meio ambiente.

Palavras-chave: Tratamento de esgoto. Tipos de sistemas. Dimensionamento.

ABSTRACT

The use of Wetlands (W) is an opportunity to mitigate negative environmental impacts and to produce reuse water under conditions conducive to activities that require higher quality. The present work of conclusion has as general objective the implementation of a system W applied to the post-treatment of effluent of a Sewage Treatment Station of a university community, distinguishing the different modalities of flooding systems, studying the feasibility of implementation and performing the the chosen configuration. For the accomplishment of this work a bibliographical research was developed from national publications. From this, it was possible to project a W following the eleven steps that the manual of the National Health Foundation (FUNASA) indicates accompany. It was verified that the configuration chosen is feasible for implementation, based on existing criteria and the need to improve treated sewage. The design allows for proposals for future research that will demonstrate the real positive, economic and socio-environmental impacts that a wetland system can provide to the population and the environment.

Keywords: Sewage treatment. Types of systems. Sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Esquema de um sistema convencional de tratamento de esgoto.....	19
Figura 2	–	Processos na ação de remoção de poluentes.....	23
Figura 3	–	Esquema de Reator UASB seguido Filtro Anaeróbio.....	23
Figura 4	–	Sistema Wetland Natural.....	26
Figura 5	–	Esquema de uma WCFS.....	28
Figura 6	–	Esquema de uma WCFSS.....	29
Figura 7	–	Esquema de uma WCFH.....	29
Figura 8	–	Esquema de uma WCFV.....	30
Figura 9	–	Esquema de um sistema de WC Híbrido.....	31
Figura 10	–	Representação dos tipos de macrófitas.....	33
Figura 11	–	Exemplos de macrófitas mais utilizadas em WC no Brasil. (a) Taboa. (b) junco. (c) Aguapé.....	35
Figura 12	–	Sistema ETE UFERSA Caraúbas.....	36
Figura 13	–	Localização ETE (a) e de zona de despejo de efluente tratado (b).....	37
Figura 14	–	Esquema de WCFS proposta.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Processos na ação de remoção de poluentes.....	19
Quadro 2	–	Vantagens e desvantagens no uso de WC.....	25
Quadro 3	–	Papel que as macrófitas desempenham em WC.....	33
Quadro 4	–	Determinação dos parâmetros para elaboração do perfil da WC.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Granulometria do substrato.....	32
Tabela 2	– Eficiências médias obtidas de acordo com o tipo de fluxo d'água adotado.....	28
Tabela 3	– Valores das constantes de decaimento e coeficiente de temperatura.....	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Tratamento de Efluentes.....	18
2.1.1 Sistema anaeróbio.....	21
2.1.2 Reatores UASB	22
2.1.3 UASB com Filtro Anaeróbio	23
2.2 WETLANDS	24
2.2.1 Wetlands Naturais.....	24
2.2.2 Wetlands Construídas.....	25
2.2.3 Vantagens e Desvantagens	26
2.2.4 Wetlands Construída de Fluxo Superficial (WCFS)	28
2.2.5 Wetlands Construída de Fluxo Subsuperficial (WCFSS).....	28
2.2.6 Wetland Construída de Fluxo Horizontal (WCFH).....	29
2.2.7 Wetland Construída de Fluxo Subsuperficial Vertical (WCFV).....	30
2.2.8 Wetlands Híbridas	31
2.2.9 Elementos Constituintes de uma WC	31
2.2.10 Substrato	31
2.2.11 Macrófitas.....	32
3 METODOLOGIA.....	35
3.1 Caracterização da ETE	36
3.2 Dimensionamento da Wetland	37
3.3 Resultados	42

4 CONCLUSÃO.....	44
5 REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

É muito evidente o déficit no setor sanitário no Brasil no que diz respeito principalmente à área da coleta, transporte e tratamento de efluentes. Tendo em vista um problema que a cada dia vem se tornando mais expressivo para a população brasileira, em especial para a região semiárida, na qual a disponibilidade em quantidade e qualidade de recursos hídricos vem se tornando uma questão cada vez mais crítica (PEREIRA, 2011).

A disponibilidade de água associada às condições climáticas e geográficas é um fator que impõe limites no nível de investimento em tecnologias que possibilitem o seu uso (PEREIRA, 2011). O principal motivo de escassez é que uma pequena parte da água que está disponível para o consumo humano, em reservatórios e aquíferos subterrâneos, em rios ou córregos, lagos, não é distribuída uniformemente em todo planeta, além do problema de escassez está a poluição dos mananciais de a falta de tratamento dos efluentes (BECERRA-CASTRO et al., 2015)

Acompanhado aos problemas de disponibilidade de água associado ao déficit sanitário brasileiro e outros fatores, sejam eles econômicos, culturais ou sociais, as alternativas de uso de sistemas de saneamento básico simplificado para um progresso da saúde da população e proteção ambiental vem ganhando cada vez mais espaço (BARLOW, 2009). Portanto, alternativas que possuem grandes vantagens em aplicabilidade em comparação a outros métodos convencionais por conciliar baixos custos de implantação e operação, com índices mínimos de mecanização e maior sustentabilidade do sistema tem adquirido grande usabilidade (OLIVEIRA, 2014). Desta forma, existindo a possibilidade de aproveitar as águas com grande potencial de reúso, em particular para a irrigação, surge um olhar que precisa ser estudado.

A comunidade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Caraúbas, conta com um sistema de tratamento preliminar, primário e secundário, sendo inteiramente mecanizado. O sistema finaliza sua operação no tratamento secundário presente, o qual é efetuado por um reator anaeróbio conhecido como UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), portanto necessitando ainda da implementação de um polimento no esgoto tratado. O tratamento terciário tem a função de garantir que a água tratada possua qualidades suficientes para a sua reutilização ou disposição no solo, removendo assim os nutrientes e patógenos presentes no efluente. Assim sendo, considerando parâmetros de reúso requerido do corpo de água, será possível sua aplicação na comunidade?

A implantação de uma Wetland está entre as tecnologias eficientes e tecnológicas recentemente comprovadas no tratamento final de efluentes. Sendo um sistema simples, de baixo custo e de fácil operação e manutenção, os alagados construídos são aplicados em muitos países, seja no tratamento de efluentes urbanos, industriais ou recuperação de corpos de águas (IAQUELI, 2016). As Wetlands são uma alternativa para o tratamento terciário de efluente de uma comunidade universitária que possibilitará o reuso do efluente e que também irá atuar no equilíbrio dos nutrientes como nitrogênio e fósforo presentes em águas residuais.

Portanto, o efluente final da comunidade universitária o qual é disposto em uma vala para infiltração no solo, sem nenhum aproveitamento ou polimento, deve-se ser realizado um tratamento que venha garantir a sua reutilização ou disposição final adequada bem como evitar a concentração dos contaminantes químicos e biológicos no solo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a implementação de um sistema W como tratamento terciário da Estação de Tratamento de Efluentes - ETE da UFERSA campus Caraúbas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estudo de implementação de wetlands;
- Dimensionamento e especificações técnicas de sistema proposto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tratamento de Efluentes

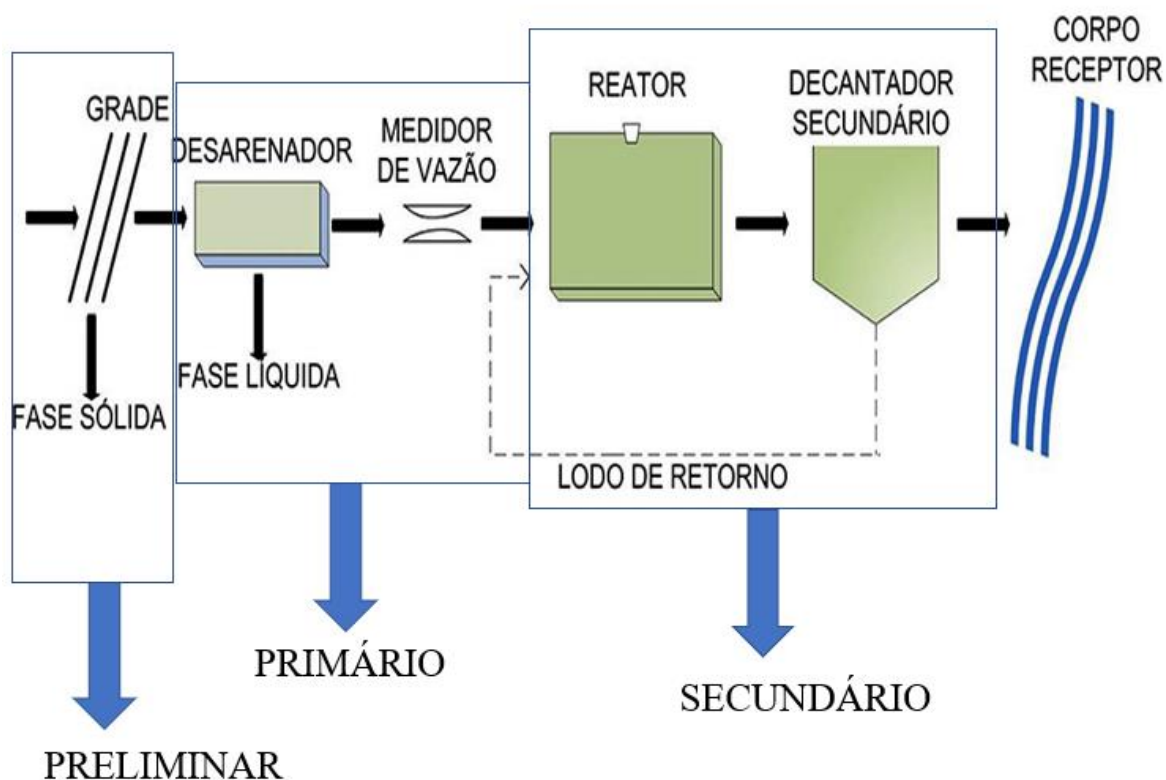
Atualmente, existem inúmeros processos para o tratamento de esgoto, individuais ou coletivos. A decisão pelo processo a ser empregado, deve-se levar em consideração, principalmente, as condições do curso d'água receptor, realizando o estudo de autodepuração e os limites definidos pela legislação ambiental, e da característica do esgoto bruto gerado. É necessário certificar-se da eficiência de cada processo unitário e de seu custo, além da disponibilidade de área (IMHOFF, 1996).

Von Sperling (2010) cita que os pontos importantes na seleção de sistemas de tratamento de esgotos estão na eficiência, confiabilidade, disposição do lodo, requisitos de área, impactos ambientais, custos de operação, custos de implantação, sustentabilidade e simplicidade. Cada sistema deve ser analisado individualmente, adotando-se a melhor alternativa técnica e econômica.

O tratamento de esgoto é usualmente classificado através dos seguintes níveis, segundo Von Sperling (2010), também demonstrado na Figura 1 abaixo:

- **Tratamento preliminar:** remoção apenas dos sólidos grosseiros;
- **Tratamento primário:** remoção de solos sedimentares e parcela de matéria orgânica, predominando os mecanismos físicos;
- **Tratamento secundário:** mecanismos biológicos, com o objetivo principal de remover matéria orgânica;
- **Tratamento terciário:** tem o objetivo de remover poluentes específicos, geralmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis, e remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário.

Figura 1 - Esquema de um sistema de tratamento de esgoto com Reator de Manta de Lodo.



Fonte: (Unicamp, 2019).

Na Figura 1 ilustrada é possível identificar as divisões (tratamento preliminar, primário e secundário), alguns autores divergem de dois aspectos. Macintyre (1996) afirma que os tratamentos preliminares devem fazer parte do sistema primário. Entretanto Von Sperling (2010) apesar de classificar o gradeamento como uma etapa preliminar, ele sugere que este tipo de tratamento deve estar englobado no sistema primário. Para Netto et al. (1977) o sistema de tratamento terciário deveria ser desmembrado em tratamento terciário e desinfecção, sendo que esta última etapa é tratada pelos demais autores como parte integrante de um tratamento terciário.

Os processos de tratamento de esgoto também podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos. Os processos onde há predominância de atividades de decantação, filtração, incineração, diluição ou homogeneização podem ser classificados como processos físicos. Na adição de elementos químicos caracteriza uma etapa química. Quando há necessidade da ação de microrganismos para que os processos possam ocorrer, chamam-se estes de biológicos (VON SPERLING, 1996). O Quadro 1 apresenta um resumo dos vários tipos de mecanismos e sua ação na remoção.

Quadro 1 – Processos na ação de remoção de poluentes.

Tipo de partículas	Dimensões	Mecanismo	Ação
Sólidos	> 1cm > 0,001 mm < 0,001 mm	Gradeamento Sedimentação Adsorção	Retenção de sólidos maiores que o espaço entre as barras da grade. Separação de partículas com densidade maior que a do esgoto. Retenção de aglomerados de biomassa na superfície.
Tipo de partículas	Dimensões	Mecanismo	Ação
Matéria orgânica	>0,001 mm	Sedimentação Adsorção Estabilização	Separação de partículas com densidade maior que a do esgoto. Retenção de aglomerados de biomassa na superfície. Alimentação de bactérias, conversão à gás, água e outros compostos.
Agentes patogênicos	-	Radiação ultravioleta Ambiente adverso Desinfecção	Radiação solar ou artificial. Temperatura, pH, escassez de alimento, competição. Adição de agente desinfetante.

Fonte: Leme, 2008.

No tratamento de efluentes se faz necessário a escolha de um sistema adequado dependendo de dois fatores: o grau de remoção de poluentes requeridos e disponibilidade de área (MORAIS E JUNIOR,1999). Para se conseguir uma boa eficiência, as técnicas de tratamento são divididas em graus ou níveis, iniciando-se pelo tratamento preliminar e passando pelos processos de tratamento primário, secundário e terciário.

O tratamento preliminar pode ser classificado como processo físico que tem como objetivo a redução de sólidos grosseiros em suspensão, não tendo praticamente remoção de DBO, pois é um processo que consiste na preparação do efluente para o tratamento posterior.

Nessa etapa, podem ser empregadas o gradeamento, o peneiramento, a neutralização e a equalização (CAMMAROTA, 2011).

O tratamento primário é empregado para a remoção dos sólidos suspensos e material flutuante e também para a preparação do efluente para o posterior tratamento secundário ou para a descarga. Nesta etapa, pode-se remover cerca de 40 a 70% dos sólidos em suspensão e aproximadamente 35% de DBO. Nesta etapa podem ser empregadas as técnicas de sedimentação, coagulação, floculação, flotação e precipitação química (CAMMAROTA, 2011). São considerados processos químicos aqueles que se utilizam de produtos tais quais como: agentes coagulantes, floculantes, neutralizadores de pH, oxidantes, de redução e desinfecção em diferentes etapas dos sistemas de tratamento através de reações químicas que promovem a remoção de poluentes ou possam condicionar a mistura de efluentes a ser tratada em processos posteriores (GIORDANO, 2004).

O tratamento secundário engloba processos biológicos de tratamento de efluente, tanto de natureza aeróbia quanto os anaeróbios tendo como objetivo remover a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, através da transformação desta em sólidos sedimentáveis ou gases. Os produtos desse tratamento devem ser mais estáveis, aspecto mais claro e com uma significativa redução de microrganismos e uma menor concentração de matéria orgânica (GIORDANO, 2004).

O tratamento terciário consiste em uma série de processos destinados a melhorar a qualidade de efluentes provenientes dos tratamentos primários ou secundários, sendo geralmente empregados na redução de sólidos suspensos, carga orgânica biodegradável e não biodegradável, micro poluentes, cor, sais minerais e nutrientes, através de processos como, lagoas de maturação, filtração, adsorção com carvão ativado, ultrafiltração, Wetlands e entre outros (CAMMAROTA, 2011).

2.1.1 Sistema anaeróbio

Segundo Leme (2008), os sistemas anaeróbios ou simplificados não aerados, são constituídos por lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, sistemas de disposição ou tratamento via solo. O sistema de lagoa de estabilização é formado por um conjunto de duas ou três unidades: lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, que ainda pode ser organizada por uma terceira unidade, a lagoa de maturação. As lagoas podem ser organizadas em série ou paralelo, dependendo da necessidade e dos aspectos do projeto.

Existem sistemas simplificados anaeróbio bastante utilizados no tratamento de efluentes, são estes, filtro anaeróbio, reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente, reator anaeróbio com chicanas e o reator anaeróbio de leito fluidificado. Estes sistemas requerem pouca área e pequena mão de obra operacional.

Para os sistemas de tratamento via solo, são do tipo, irrigação, infiltração rápida e escoamento superficial. Em todos esses sistemas, o solo é considerado como um reator aberto, sendo a remoção dos poluentes promovida por mecanismos físicos, o solo atuando como filtro.

2.1.2 Reatores UASB

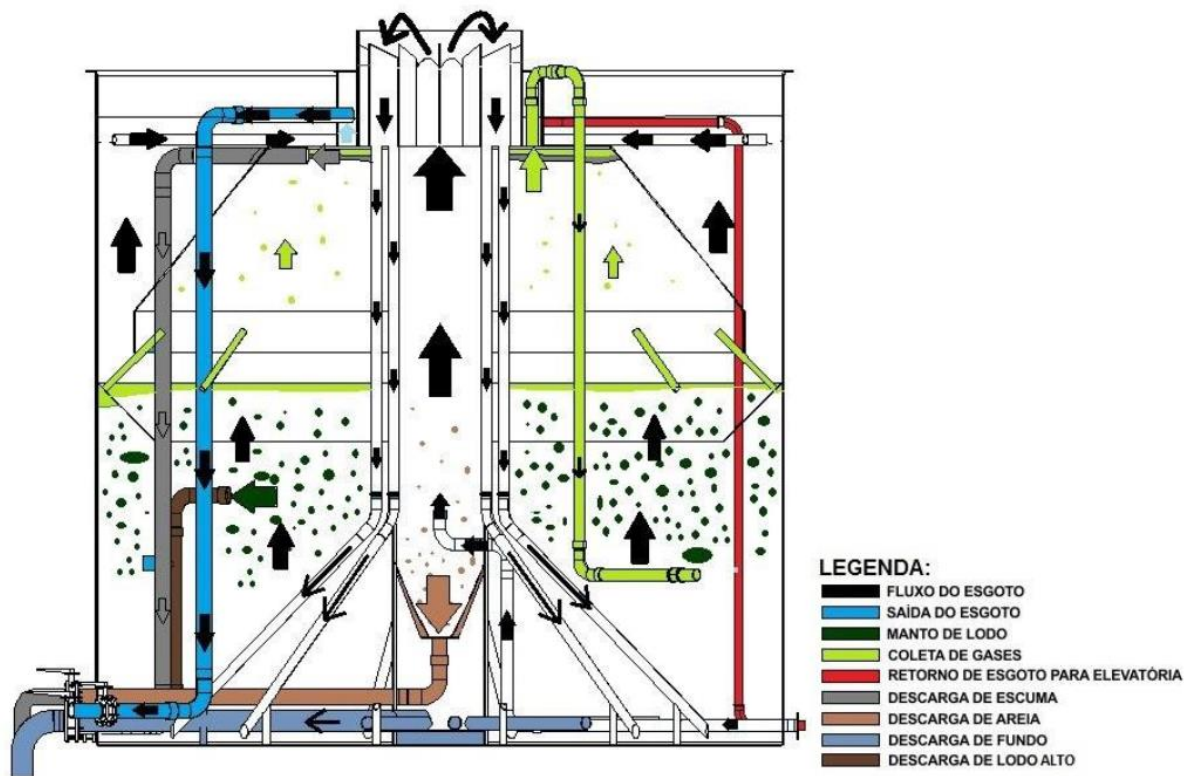
O reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) é um reator anaeróbio de fluxo ascendente de alta eficiência, muito utilizado em processos primários para estabilização da matéria orgânica. São utilizados em Estação de Tratamento de Esgoto podendo também ser empregado em Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (CHERNICHARO, 1997).

É notável a evolução no desenvolvimento em tratamento anaeróbio de águas residuárias, destacando-se a grande evolução do conhecimento dos processos microbiológicos, interagindo com os avanços obtidos pelas várias configurações de reatores já estudados (SANTANA, 2005)

O bom desempenho dos reatores anaeróbios atuais, denominados avançados ou não convencionais, é devido a uma melhor estruturação dos microrganismos anaeróbios e sua retenção no reator. Os microrganismos fisicamente organizados no lodo em aglomerantes bacterianos, em grânulos biológicos, ou em biofilme ficam retidos dentro do sistema (VAZOLLER, 2002).

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) apresentam características hidrodinâmicas favoráveis à formação de grânulos, possibilitando elevado tempo de retenção celular e acomodando, portanto, altas cargas orgânicas volumétricas, com um tempo de detenção hidráulica curto, da ordem de grandeza de horas, dependendo das condições operacionais e das características dos afluentes, sendo possível desvincular o tempo de retenção celular do tempo de detenção hidráulica (FORESTI, 1994).

Figura 2 – Ilustração de funcionamento de UASB utilizada na UFERSA.

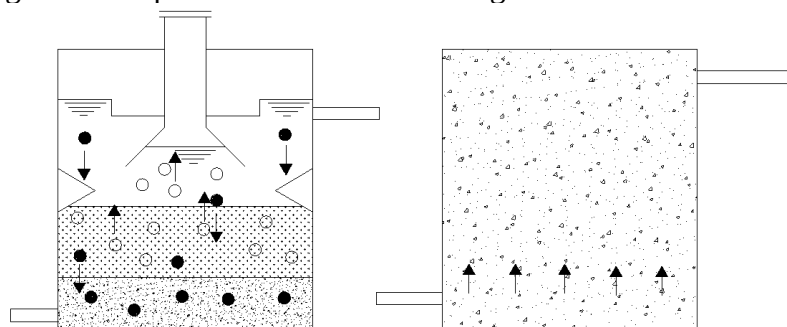


Fonte: Manual de Operação A&E, ETE UFERSA.

2.1.3 UASB com Filtro Anaeróbio

Segundo Von Sperling (1996), a utilização de filtro anaeróbio para o pós-tratamento do efluente do reator UASB, vem sendo praticada em vários locais do Brasil. Nesta concepção, o filtro anaeróbio atua na remoção complementar da matéria orgânica pela retenção física, decantação e pela atuação de biofilme, funcionando como um sistema.

Figura 3 - Esquema de Reator UASB seguido de Filtro Anaeróbio.



Fonte: Autor.

2.2 WETLANDS

Segundo a *Environmental Protection Agency* (EPA), as Wetlands são delimitações de áreas onde serão saturadas com corpos d'água que possuem altas cargas de poluentes, com vegetação típica adaptada para solo saturado. Portanto a designação Wetlands é empregada para definir áreas alagadas ou inundadas. Estes ambientes apresentam uma enorme diversidade biológica nos quais se desenvolvem vegetações adaptadas a saturação. Nas Wetlands a água, os vegetais e o solo se interagem reciclando os nutrientes obtidos através de processos químicos, físicos e biológicos.

Sistemas alternativos ou não usuais de tratamento de esgoto vêm ganhando cada vez mais espaço, principalmente por priorizarem a facilidade na sua construção, manutenção, qualidade ambiental, qualidade de vida, e por necessitarem de pouco investimento quando comparado aos sistemas convencionais.

Portanto, as tecnologias alternativas também possibilitam o tratamento em sistemas isolados (descentralizados), o que vai de encontro com a Política Nacional de Saneamento, pois atendem ao princípio da sustentabilidade e possibilitam uma maior universalização do atendimento em saneamento, considerando a “garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares” (Lei Federal n. 11.445/2007, Artigo 48, inciso VII).

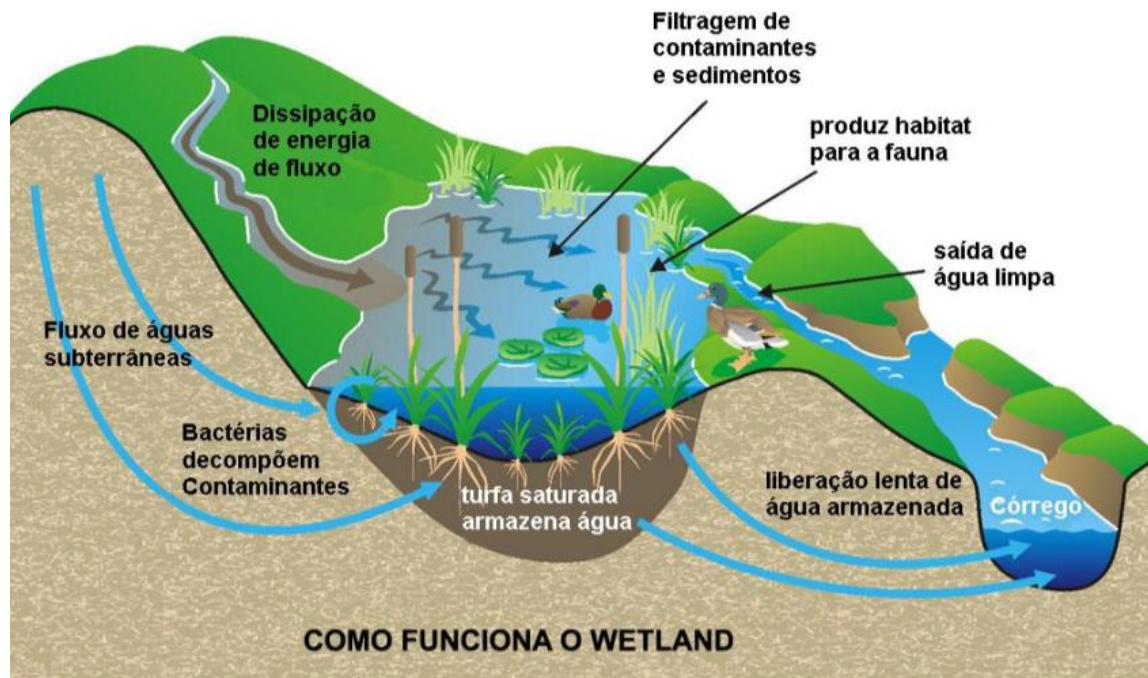
2.2.1 Wetlands Naturais

Kadlec e Knight (1996) destacam que os ambientes W possuem propriedades que as tornam únicas, por sua vegetação adaptada à saturação que aproveitam a fonte abundante de nutrientes e de água e ao mesmo tempo sua escassez periódica. O autor explana que as W possuem uma atividade biológica muito elevada o que favorece a transformação de poluentes comuns em subprodutos ou nutrientes base para o desenvolvimento da vida. Sezerino (2006) destaca que os nutrientes gerados servem de suporte para organismos fotossintetizantes que convertem compostos inorgânicos em compostos orgânicos os quais serviram de alimento animais e microrganismos.

Diversas pesquisas têm mostrado que as Wetlands Naturais são sistemas muito eficientes ao trabalharem em condições naturais, sem a interferência de fatores externos que

comprometam seu trabalho. Nos Estados Unidos, Canadá e França estes sistemas já vêm sendo estudados há décadas, observando, portanto, sua capacidade de processar o tratamento de águas residuais.

Figura 4 – Ilustração de um Sistema Wetland Natural.



Fonte: Geoscape, 2019.

2.2.2 Wetlands Construídas

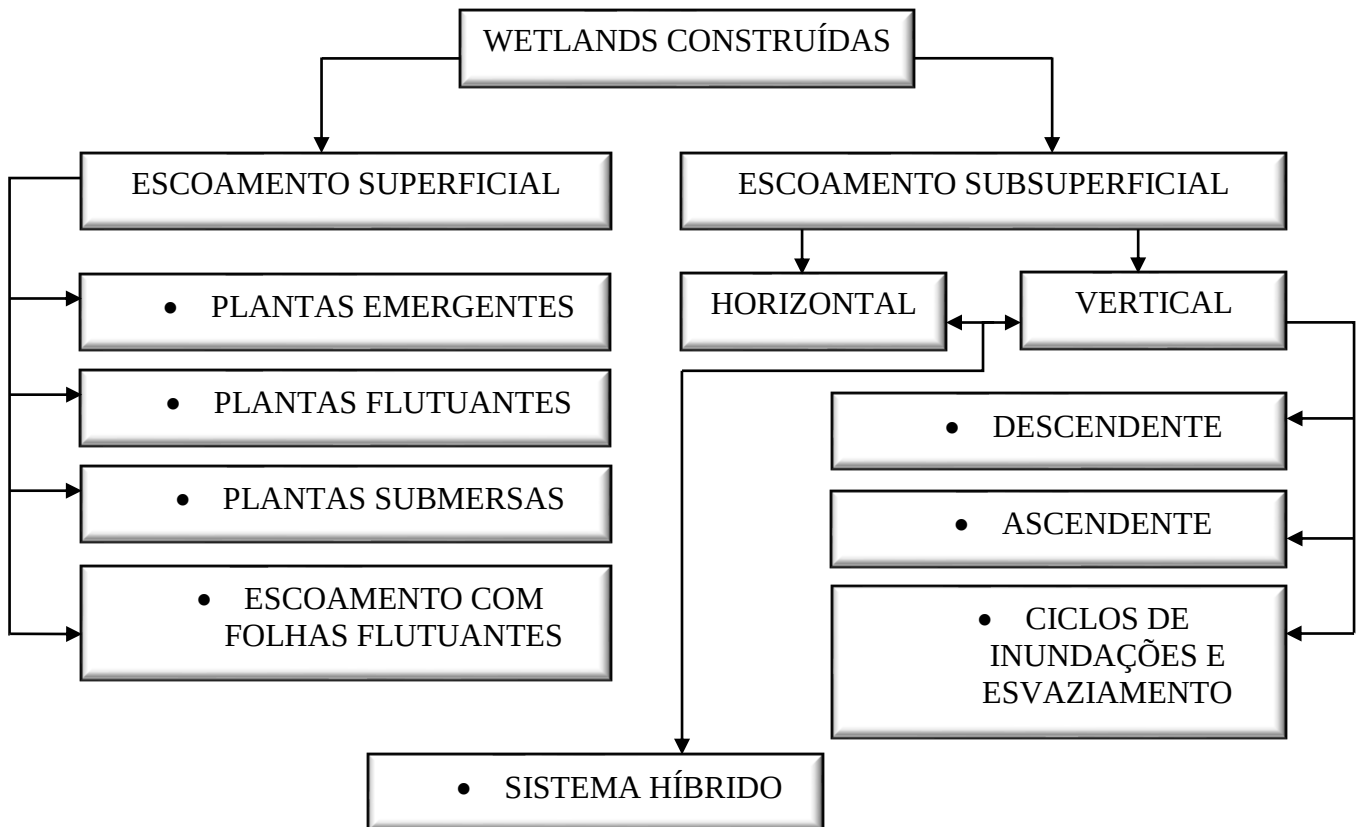
De forma simples e direta o manual da FUNASA Sabesp define como Wetlands Construídas (WC), ou sistema alagado construído, sendo um sistema alagado desenvolvido para o tratamento ou polimento de águas residuárias, principalmente águas oriundas do esgoto sanitário. As WC podem ter duas finalidades básicas, uma está na melhoria da qualidade de corpos pluviais, a outra, a qual será destaque neste trabalho, está no polimento ou tratamento de esgoto sanitário

Tomaz (2009) define que as WC para tratamento de esgoto podem ser de três tipos básicos:

- WC para polimento de esgoto do tipo com superfície livre (FWS – *free water surface*);

- WC para tratamento de fluxo horizontal (HSSF – *horizontal subsurface flow*);
- WC para tratamento de fluxo vertical (VF – *vertical flow*).

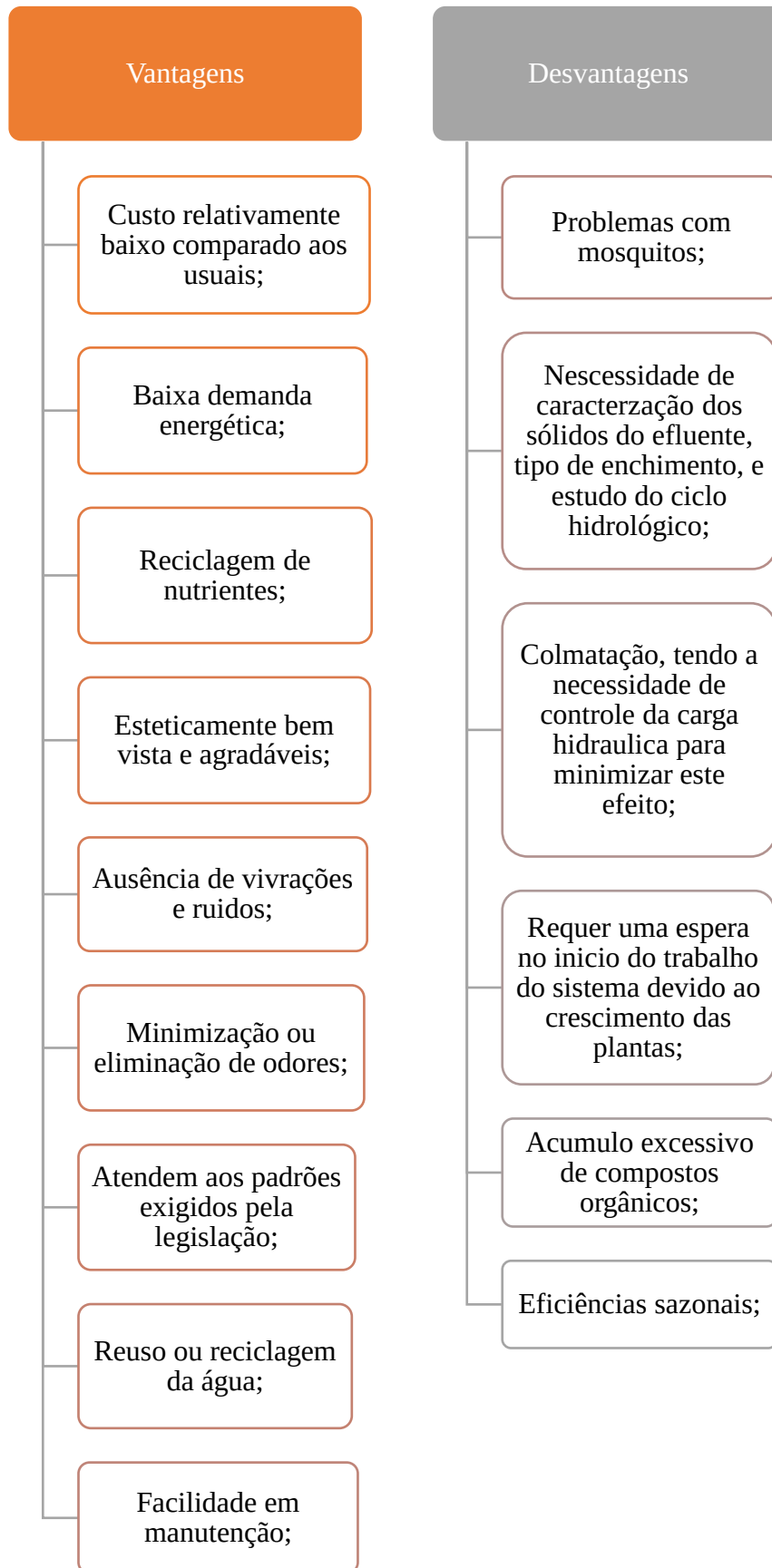
Contudo o manual da FUNASA classifica as WC de acordo com o nível de coluna de água e dependendo da direção do fluxo do resíduo. O fluxograma a seguir explana melhor como a FUNASA classifica este sistema.



2.2.3 Vantagens e Desvantagens

Dentre as principais vantagens e desvantagens na aplicação de um sistema de Wetlands Construídas listam-se principalmente a baixa manutenção em comparação a outros sistemas de tratamento, além de serem esteticamente integrado a paisagem com baixo custo de implantação e o não uso de produtos químicos (SILVA, 2009). Algumas das vantagens e desvantagens podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens no uso de WC.

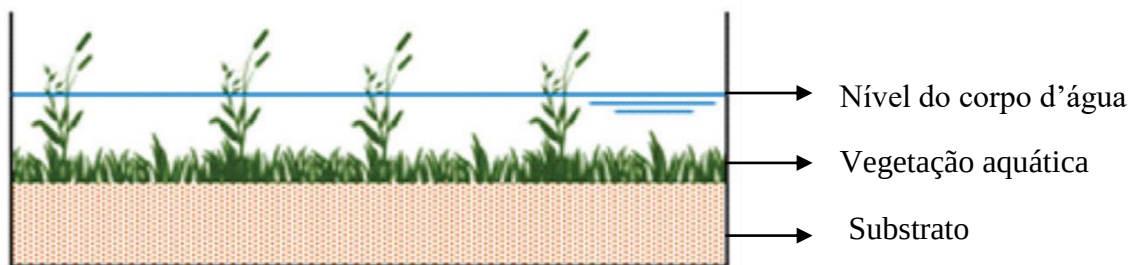


Fonte: (Subtil, 2018).

2.2.4 Wetlands Construída de Fluxo Superficial (WCFS)

De acordo com Mannarino (2003), nestas Wetlands de Fluxo Superficial, a água passa pela superfície do meio filtrante fluindo por entre os caules e as folhas da vegetação (Figura 5). Estes sistemas possuem como propriedades a variação do consumo de oxigênio em função da massa líquida, semelhantes às lagoas facultativas, sendo que na superfície prevalecem a presença de algas planctônicas ou filamentosas, ou macrófitas aquáticas. As zonas mais profundas tendem a ser dominadas por processos anaeróbios na ausência de luz (IWA, 2000).

Figura 5 - Esquema de uma WCFS.



Fonte: (Sanchez, 2017)

A FUNASA indica esse tipo de sistema principalmente para tratamento terciário de efluente com foco na remoção de nutrientes, em especial o fósforo. Logo para a utilização de uma WCFS é preciso etapas preliminares de tratamentos de efluentes. É importante destacar que este tipo de sistema pode ou não possuir substrato, sendo necessário no caso do não uso a aplicação exclusiva de macrófitas flutuantes (exemplo a Aguapé).

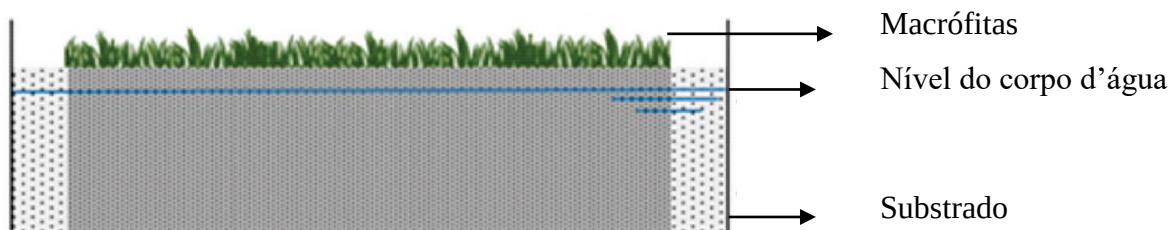
Uma pesquisa realizada por Kadlec e Knight (1996) o sistema WCFS pode alcançar até 90% de remoção de DBO em águas oriundas de esgotos domésticos, em um período de detenção de 7 dias. Para quaisquer outros corpos d'água é preciso um tempo de detenção de 14 dias para se obter sua máxima eficiência.

2.2.5 Wetlands Construída de Fluxo Subsuperficial (WCFSS)

No segundo grupo, segundo FUNASA, as WCFSS o líquido é drenado por gravidade, horizontalmente ou verticalmente, através de um substrato, penetrando nos poros do material filtrante e entrando em contato com organismos que vivem em associação ao substrato e as raízes das plantas. O princípio básico deste sistema é a formação de um biofilme aderido nas

raízes e substrato onde organismos aeróbios e anaeróbios irão limpar o corpo d'água. O sistema WCFSS ainda pode ser subdividido em sistema híbrido de tratamento, neste caso faz-se uso da mesclagem do sistema WCFH com o WCFV (Figura 6).

Figura 6 - Esquema de uma WCFSS.

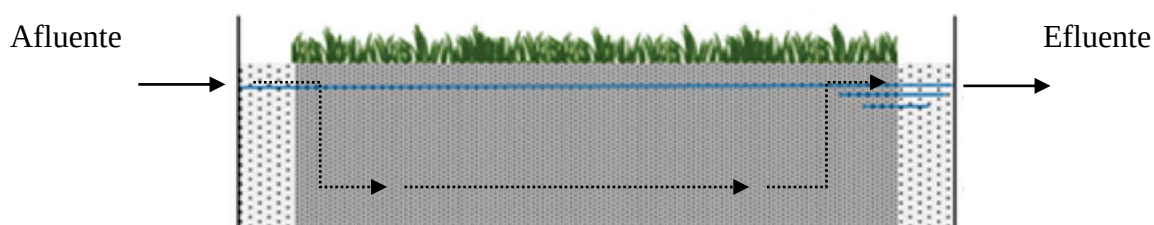


Fonte: (Sanchez, 2017)

2.2.6 Wetland Construída de Fluxo Horizontal (WCFH)

Nas WCFH o efluente percola em uma trajetória horizontal pelos vazios do substrato até atingir a saída do sistema, onde é coletada por dispositivo de controle de nível (Figura 7). O uso deste sistema é recomendado para o tratamento secundário de esgoto sanitário com foco na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. O manual da FUNASA explica que para este tipo de sistema empregado no Brasil faz-se o uso específico de macrófitas. As espécies são *Typha sp.* (Taboa) e a *Eleocharis sp.* (Junco), pois se adaptam muito bem a zonas ricas em matéria orgânica pois possuem a capacidade de acumulo desta matéria.

Figura 7 - Esquema de uma WCFH.



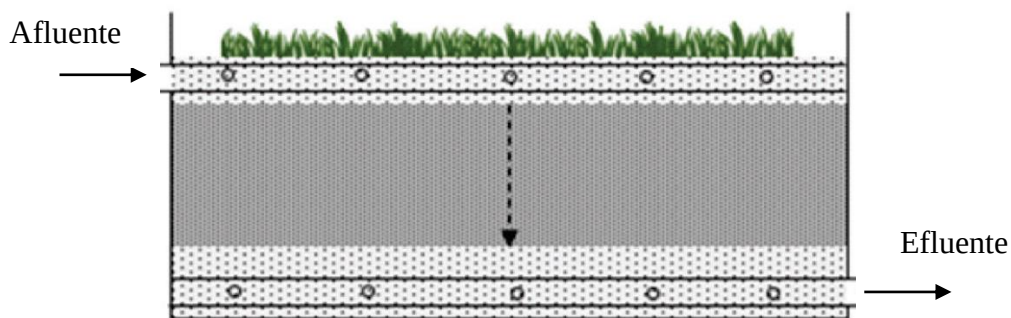
Fonte: (Sanchez, 2017)

As WCFH também possuem uma vantagem de poderem ser operadas em regime de fluxo contínuo ou até mesmo em grandes quantidades.

2.2.7 Wetland Construída de Fluxo Subsuperficial Vertical (WCFV)

Neste sistema a WCFV funciona como um filtro vertical, seu escoamento ocorre pelo substrato de forma homogênea entre os vazios do material até atingir a camada mais inferior, onde o fluido será coletado por tubulações.

Figura 8 - Esquema de uma WCFV.



Fonte: (Sanchez, 2017)

Este sistema em semelhança ao WCFH, as macrófitas devem ser plantadas diretamente no material suporte, o efluente inunda toda a superfície do módulo percolando verticalmente. Para esta configuração várias espécies de macrófitas podem ser empregadas além de alguns tipos de algas. Das espécies mais empregadas estão a *Phragmites australis* (Caniço-de-água), *Typha spp.* (Taboa), *Juncus spp.* (Junco) e a *Cyperus papyrus spp.* (Papiro Brasileiro).

A maior vantagem de uma WCFV está na distribuição do esgoto em uma área de entrada maior e o uso de volume de filtro mais eficiente, resultando em uma necessidade de área menor (SEZERINO, 2006). O manual da FUNASA recomenda o uso deste sistema para tratamentos de polimento de esgoto tratado com o foco na remoção de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, sendo o nitrogênio removido com maior eficiência neste sistema.

A principal desvantagem desta configuração é a alimentação que deve ocorrer com interrupções de carga do efluente em períodos curtos, seguido de intervalos longos de descanso do substrato. Este procedimento intermitente evita a obstrução do sistema, além de auxiliar no transporte de oxigênio para o interior do meio filtrante, contribuindo, portanto, para uma maior eficiência na remoção dos poluentes.

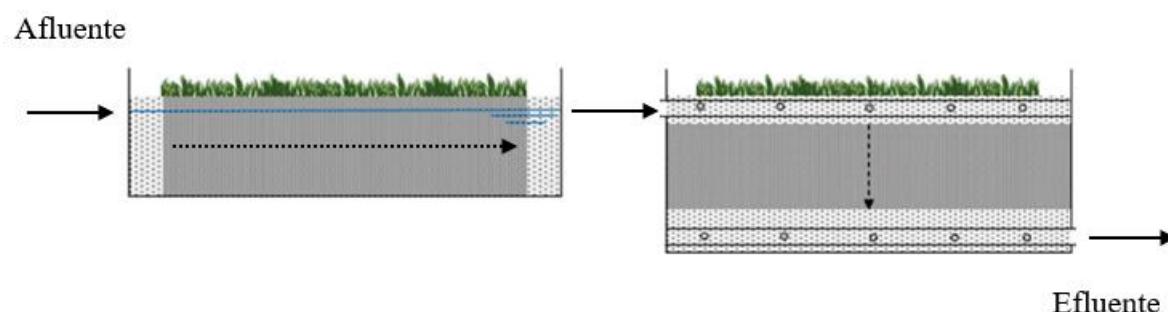
Em comparação com WCFH, a principal vantagem de uma WCFV está em uma maior taxa de transferência de oxigênio da atmosfera para o sistema, em decorrência as interrupções

do carregamento do sistema. Portanto, as condições aeróbias favorecem a ocorrência de nitrificação.

2.2.8 Wetlands Híbridas

Os sistemas híbridos de WC são combinações de WCFH com WCFV, unindo, portanto nesta configuração as vantagens de ambos os fluxos e potencializando a eficiência no tratamento do esgoto.

Figura 9 - Esquema de um sistema de WC Híbrido.



Fonte: (Sanchez, 2017)

2.3.9 Elementos Constituintes de uma WC

2.2.10 Substrato

Os substratos na composição de uma WC podem ser diversos, desde que atendam as características desejadas, como alta permeabilidade, alta capacidade de troca catiônica e alta atividade microbológica. Pode-se utilizar materiais alternativos para enchimento, tais como fibra de casca de coco (ALMEIDA et. al, 2007); sobra de cerâmica (MONTEIRO, 2009); bagaço de bambu (ZANELLA, 2008), e entre outros diversos tantos materiais de fácil acesso.

O material suporte funcionará como meio suporte para as macrófitas presentes como também meio filtrante para a retenção de sólidos suspensos presentes no esgoto e principalmente como meio aderente para os microrganismos (SUBTIL, 2018). O manual da FUNASA orienta que a escolha do tipo de material deve estar associada com a finalidade do tratamento. Logo, está condicionado a capacidade do fluxo ao longo tempo, além de

proporcionar adsorção de compostos inorgânicos, tais como o nitrogênio amoniacal e ortofosfato.

A fim de manter elevada a condutividade hidráulica e elevar a vida útil dos sistemas, os substratos mais amplamente utilizados e recomendados para Wetlands construídas são: areia, brita e cascalho. A Tabela 1 traz a faixa de granulometria dos materiais suporte mais comuns.

Tabela 1 - Granulometria do substrato.

Substrato	Granulometria (mm)
Areia	0,06 a 2
Brita tipo 1	9,5 a 25
Brita tipo 2	19 a 25
Cascalho 2 a 60	2 a 60

Fonte: (Subtil, 2018).

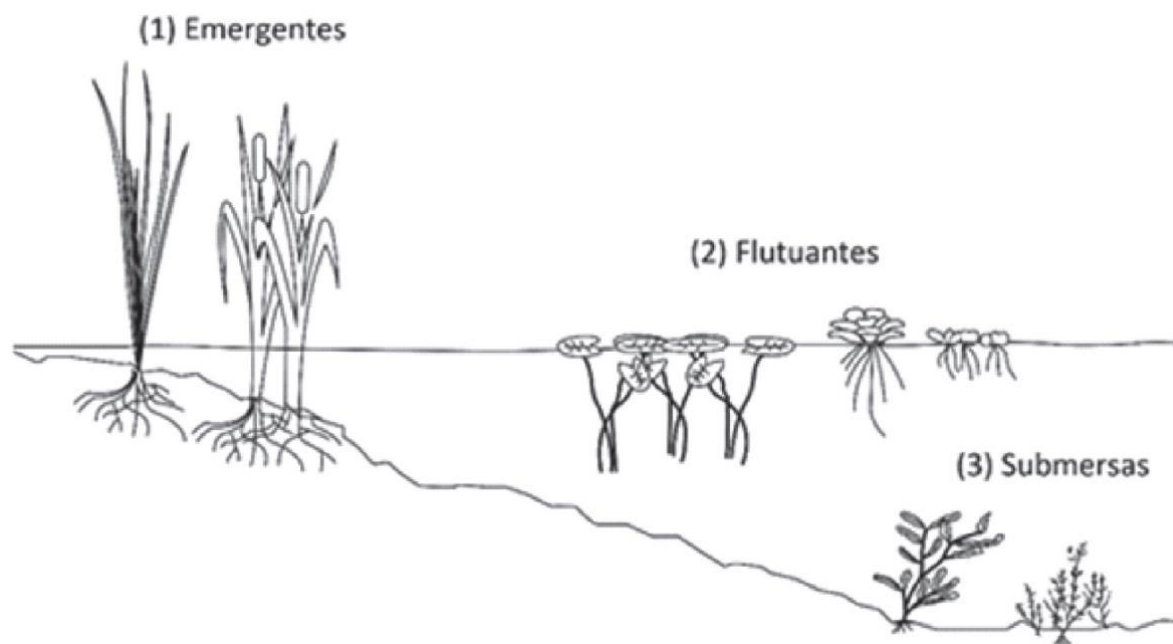
É importante destacar que para as zonas de saída e entrada do esgoto, como também próximo as tubulações, recomenda-se o uso de matérias suporte com granulometria maiores, afim de minimizar a ocorrência de entupimentos.

2.2.11 Macrófitas

As macrófitas aquáticas é uma denominação para caracterizar vegetais que habitam desde brejos até ambientes verdadeiramente aquáticos, sendo esta definição baseada no contexto ecológico (OLIJNYK, 2008). Em áreas alagadas naturais são encontradas diversas variedades de macrófitas que poderão ser potencialmente utilizadas nos sistemas de Wetlands Construídas.

As espécies de plantas macrófitas podem ser divididas em três classes principais de grupos, emergentes, livres flutuantes e submersas, a Figura 10 exemplifica estes grupos.

Figura 10 - Representação dos tipos de macrófitas.



Fonte: Sanchez (2017).

A escolha das macrófitas deve-se dar preferência às espécies nativas locais (ZANELLA, 2008) e que suportem o estresse hídrico. Estas plantas deverão desempenhar um papel muito importante como deter alta taxa fotossintética; alta capacidade de transporte de oxigênio; capacidade de assimilação de poluentes; serem resistentes a pragas e doenças e com sistema radicular bem desenvolvido (SILVA, 2009).

O tratamento de esgoto por meio das plantas está associado ao seu relacionamento com os microrganismos das raízes, os quais devem degradar moléculas orgânicas, enquanto as plantas absorvem os produtos da decomposição (ORMONDE, 2012). O Quadro 3 apresenta resumidamente o papel das macrófitas em sistemas WC.

Quadro 3 - Papel que as macrófitas desempenham em uma WC.

Propriedade das macrófitas	Ação no tratamento de esgotos
Parte aérea (tecidos)	Atenuação da luminosidade = redução do crescimento de fitoplâncton
	Redução da velocidade do vento = redução da resuspensão de material sólido

Quadro 3 - Papel que as macrófitas desempenham em uma WC. (Continuação)

Propriedade das macrófitas	Ação no tratamento de esgotos
Parte aérea (tecidos)	Potencial estético – embelezamento paisagístico
	Armazenamento de nutrientes
Tecidos da planta em contato com o esgoto	Promoção da filtração
	Redução da velocidade do vento = aumento da taxa de sedimentação e evita a resuspensão de sólidos
	Dispõem grande área para aderência de microrganismos
	Liberação de oxigênio devido a fotossíntese = aumento na taxa de degradação aeróbica da matéria orgânica
	Retirada de nutriente
Raízes e rizomas em contato com o solo	Prevenção contra erosão
	Prevenção contra a colmatção em unidades de fluxo vertical
	Liberação de oxigênio = auxílio na degradação aeróbia da matéria orgânica e na nitrificação
	Retiradas de nutriente

Fonte: (Olinjnk, 2008).

As espécies de macrófitas mais frequentemente utilizadas no Brasil segundo Silva (2009) são: *Typha* spp. (Taboa); *Eleocharis* spp. e *Juncus* spp. (Junco); *Cyperus papyrus* spp. (Papiro-Brasileiro); *Phragmites australis* (Caniço-de-água); *Eichhornia crassipes* (Jacinto-d'água, Aguapé, Baronesa, Rainha-dos-lagos); *Pistia stratiotes* (Alface-d'água) e *Salvinia* (Samambaia-aquática, Erva-de-sapo, Marrequinha, Murerê). Alguns exemplos estão discriminados na Figura 11.

Figura 11 - Exemplos de macrófitas mais utilizadas em WC no Brasil. (a) Taboa. (b) junco. (c) Aguapé.



Fonte: Subtil et. al, 2018

O manual da FUNASA ressalta que a escolha da espécie adequada deve levar em consideração os fatores:

- Tipo de WC para a escolha da espécie que melhor se adeque;
- Características físico-químicas da água a ser tratada;
- Disponibilidade a espécie no local onde será aplicado a WC;
- Principais poluentes que se deseja remover do efluente.

Logo, a escolha das plantas que irão compor a WC dependerá do se almeja, se para fins de tratamento com máxima eficiência, paisagístico com produção de biomassa, ou ambos os conjuntos.

3 METODOLOGIA

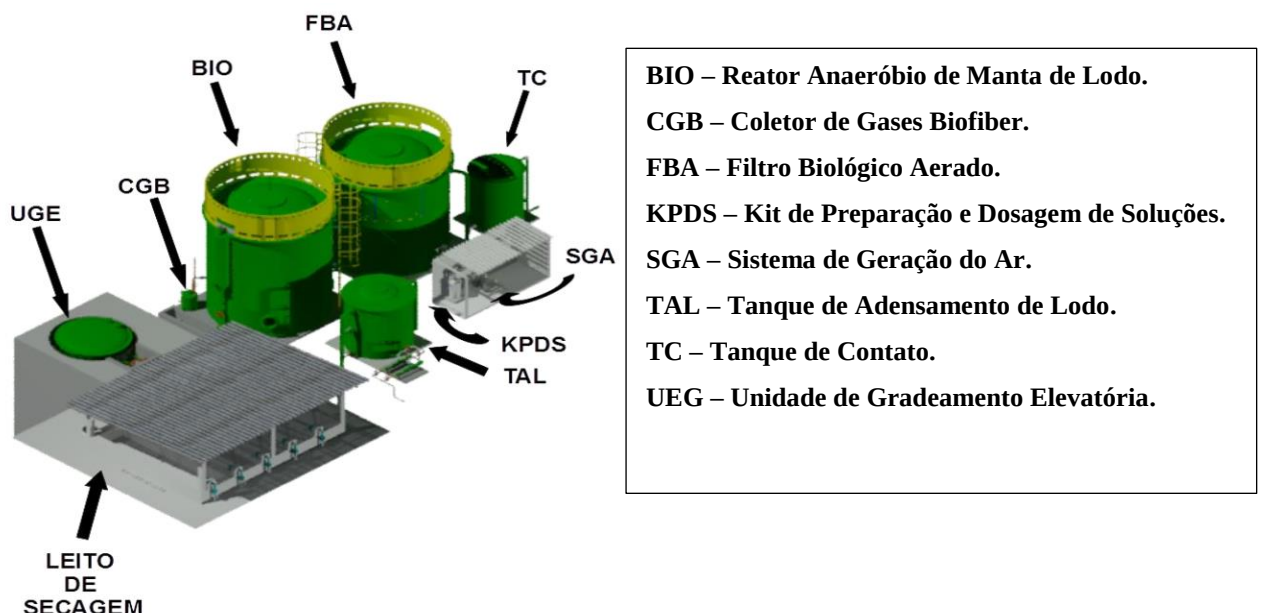
Este trabalho teve como principal base a busca em literaturas científicas acerca do tema Wetlands Construídas. Devido à ausência de normas e legislações vigentes que retratem a temática estudada foi utilizado o manual: “Manual de Sistema de Wetlands Construídas para Tratamento de Esgoto Sanitários” de Subtil et al. para realização do dimensionamento do sistema proposto. Para isto o estudo foi estruturado em duas partes.

3.1 Caracterização da ETE

A UFERSA campus Caraúbas conta atualmente com um sistema de tratamento de esgoto o qual é composto por uma Unidade de Gradeamento e Elevatória (UGE), seguida de um Sistema de Recalque de Esgoto bruto (SER), passando por um Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (BIO), unido por um Filtro Biológico aerado submerso com Decantador Secundário acoplado (FBA) com Sistema de geração do ar (SGA), Sistema de Desinfecção por Cloro e por último adensamento de lodo e leito de secagem. A ETE em questão, trabalhando com sua total eficiência, objetiva reduzir a concentração de sólidos em suspensão, material orgânico biodegradável e organismos patogênicos, para “a remoção de nutrientes (em especial nitrato e fosforo) não será contemplada no tratamento” (MANUAL DE OPERAÇÃO ETE UFERSA – UNIDADE CARAÚBAS, 2013).

Segundo o manual de operações, o sistema possui uma estimativa de vazão média para sua maior capacidade de 7,56 m³/h, com eficiência no tratamento em torno de 85-95% de matéria carbonácea e sólidos em suspensão, além de eliminação de organismos patogênicos. As a seguir ilustram a composição e localização da ETE presente na UFERSA.

Figura 12 - Sistema ETE UFERSA Caraúbas.



Fonte: (Manual de Operações A&E, 2013).

Figura 13 - Localização ETE (a) e de zona de despejo de efluente tratado (b).



Fonte: Google Earth, 2019.

A unidade ainda não atingiu sua capacidade máxima, atualmente o sistema trata cerca de 0,56 m³/h, portanto atingindo somente cerca de 8% da sua capacidade total (VALDEVINO & FERNANDES, 2019).

3.2 Dimensionamento da Wetland

Diante do exposto anteriormente, o dimensionamento da W a ser implantada partiu em função das características da ETE, topografia e da área disponível, avaliando as características do tipo de sistema que melhor se aplica ao esgoto tratado da unidade. O método de dimensionamento empregado baseia-se na metodologia proposta por Sbutil et. Al (2018), esquematizada no fluxograma a seguir e elaborada para fins de melhor compreensão.

Com relação a remoção dos poluentes, o sistema WC escolhido partiu da análise comparativa entre os demais sistemas, resultados que já são devidamente comprovados no Brasil e no mundo. No Brasil, estudos comparativos foram realizados na eficiência de remoção de nitrogênio, fósforo, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de

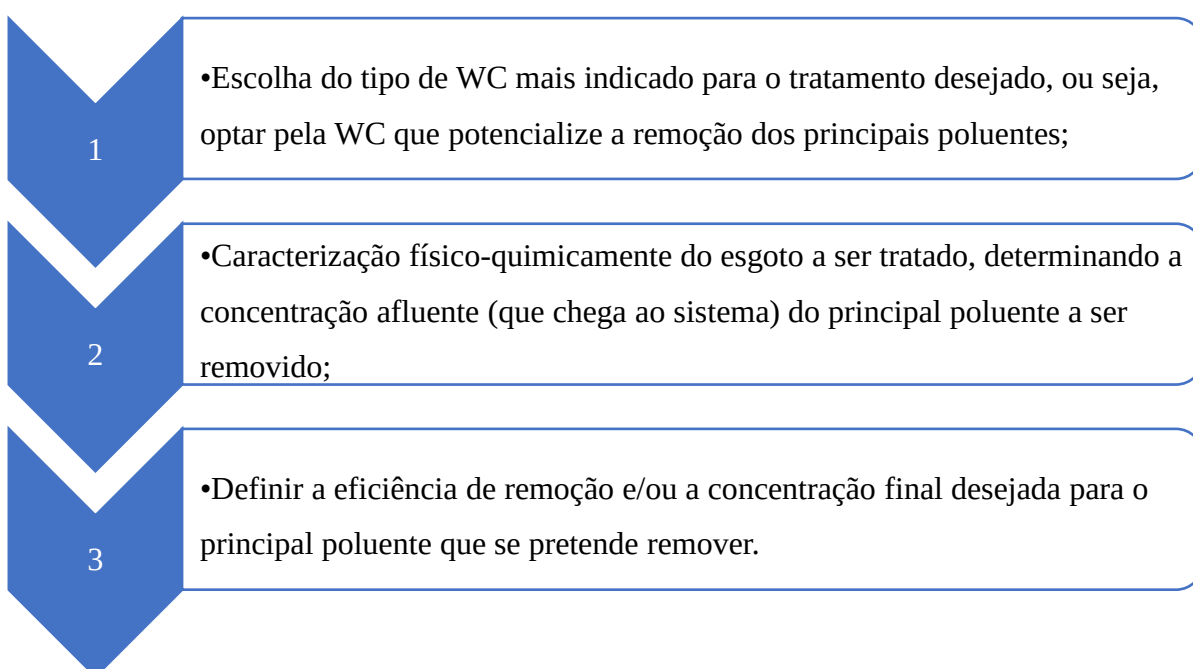
Oxigênio (DQO), sendo realizado os comparativos para as diversas configurações de WC, Tabela 2.

Tabela 2 - Eficiências médias obtidas de acordo com o tipo de fluxo d'água adotado.

Tipo de WC	Poluente	Remoção Média (%)
WCFS	P	85,0
	N	<10,0
	DBO	31,0
	DQO	<20,0
WCFH	P	51,5
	N	30,0
	DBO	81,5
	DQO	76,5
WCFV	P	60,0
	N	45,0
	DBO	59,0
	DQO	63,5

Fonte: Machado, 2017.

Logo, o dimensionamento segue os seguintes passos no fluxograma:



4

- Determinar a vazão média a ser tratada, em função da contribuição per capita e da população atendida.

5

- Cálculo da porosidade do leito com base na porosidade do material suporte. A Equação 1 determina este tipo de parâmetro.

$$P = \frac{V_t - V_s}{V_t} \quad (1)$$

Onde:

P: Porosidade do leito (%);

V_t : Volume útil total do leito (m^3);

V_s : Volume de sólidos presentes no leito (m^3).

Os volumes são determinados experimentalmente. Deve-se ter atenção nas WCFS cultivadas com macrófitas flutuantes, estas não utilizam substrato, portanto, a porosidade a ser considerada é igual a 1. As granulometrias de alguns materiais suportes utilizados estão listados na Tabela 2, apresentada no item 3.3.1.

6

- Determinação do coeficiente de decaimento do poluente (K_T).

Este coeficiente representa o comportamento da remoção do poluente em função da temperatura com o passar do tempo. Logo, a constante K_T pode ser expressa pela Equação 2.

$$K_T = K_{20}(\theta)^{(T-20)} \quad (2)$$

Onde:

K_{20} : Constante de decaimento a 20°C (d^{-1});

θ : Coeficiente de temperatura;

T: Temperatura da WC ($^\circ\text{C}$).

Os valores para a constante K_{20} e do coeficiente de temperatura dependem do poluente a ser removido. O manual da FUNASA expõe os principais valores destas constantes para WC de fluxo superficial e subsuperficial, Tabela 3.

Tabela 3 - Valores das constantes de decaimento e coeficiente de temperatura.

Tipo de WC	Poluente	T (°C)	K_{20} (d ⁻¹)	θ
WCFS	DBO _{5,20}	20	0,678	1,06
	Nitrogênio		0,2187	1,048
	Amoniacal (NH ₄)			
	Nitrato (NO ₃)			
WCFSS	DBO _{5,20}		1,000	1,15
	Nitrogênio		1,104	1,06
	Amoniacal (NH ₄)		0,2187	1,048
	Nitrato (NO ₃)		1,000	1,15

Fonte: Kadlec, Wallece (2008); Wang et al. (2010); Crites et al. (2014).

7

- Definir a altura da coluna d'água. A United States Environmental Protection (USEPA) recomenda que o sistema de operação possua 0,5 m.

8

- Cálculo da área superficial (A_s), Equação 3.

$$A_s = \frac{Q_{\text{méd}} \cdot \ln\left(\frac{C_a}{C_e}\right)}{K_T \cdot h \cdot P} \quad (3)$$

Onde:

A_s : Área superficial do leito (m²);

$Q_{\text{méd}}$: Vazão média através do leito (m³/d);

C_a : Concentração de entrada do poluente no efluente (mg/L);

C_e : Concentração de saída do poluente no efluente (mg/L);

h: Altura do nível de esgoto (m);

K_T : Coeficiente de decaimento do poluente (d^{-1});

P: Porosidade do leito (%).

9

- Apartir do 8º passo, deve-se determinar as dimensões do leito da WC, recomendando que o comprimento seja consideravelmente superior a largura, a fim de garantir um modelo de fluxo em pistão.

10

- Após a realização dos passos anteriores é possível determinar o tempo de detenção hidráulica (TDH) pela Equação 4.

$$TDH = \frac{l \cdot c \cdot h \cdot P}{Q_{méd}} \quad (4)$$

Onde:

TDH: Tempo de detenção hidráulica (d);

l: Largura do leito (m);

c: Comprimento de leito (m);

h: Altura do nível de esgoto (m).

O tempo de TDH é um parâmetro que influencia diretamente na eficiência do sistema WC. **A USEP (2000)** recomenda que os valores de TDH para WCFS devem variar entre 5 e 30 dias, e para as WCFSS entre 2 a 5 dias. Contudo para remoção efetiva de nutrientes é necessário operar o sistema com valores altos de TDH.

11

- Ultimo passo, escolha da especie macrófita mais adequada para o sistema levando-se em consideração os aspectos físico-químicos do efluente a ser tratado.

3.3 Resultados

A escolha do sistema Wetland Construída partiu dos seguintes critérios a seguir, o Quadro 4 mostra o perfil da WC escolhido e os parâmetros determinados:

1. O sistema ETE da UFERSA não remove nutrientes presentes no esgoto;
2. O despejo do efluente é realizado em uma vala presente próximo a estação;
3. A geração de esgoto é considerável, possuindo vazão suficiente para implementação de uma WC para um sistema terciário de tratamento; e,
4. Possui área e clima adequados para implantação do sistema;

Tendo em vista dados de estudos realizados sobre os tipos de esgotos, onde a concentração média de nitrato é cerca de 10 mg/L (BARROS, 1997), e que a eficiência de remoção de uma WCFS, sabendo que a ETE não realiza a remoção de nutrientes, pode chegar a 90% (KADLEC E KNIGHT, 1996). Então é possível realizar os cálculos para determinação da geometria da WC.

Quadro 4 - Determinação dos parâmetros para elaboração do perfil da WC.

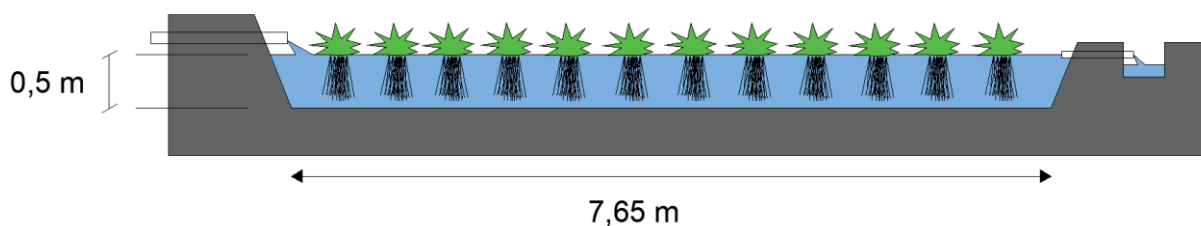
Tipo de WC	Temperatura do sistema (°C)	Vazão do sistema ETE (m³/dia)	Coeficiente de decaimento (d ⁻¹)		Concentração de nutrientes (mg/L)	
WCFS	30	13,44	K ₂₀	θ	Entrada	Saída
			1,0	1,15	10	1
	Altura do fluido (m)	Porosidade	4,0455			
	0,5	1				
Calculo da Área (m²)	Dimensões adotadas (m)		TDH (d)			
15,30	c	l	1,14			
	7,65	2,00				
Escolha da macrófita:			Aguapé			

Fonte: Autor.

Portanto, a WC de fluxo superficial cultivada com macrófita aquática Aguapé, com dimensões de 7,65 m x 2,00 e com tempo de detenção hidráulica de 1,14 dias tem a potencialidade de tratar o esgoto doméstico gerado pela comunidade da UFERSA Caraúbas, com eficiência de aproximadamente 90% de remoção de nutrientes.

Baseado nos dados calculados propõe-se o seguinte esquema executivo.

Figura 14 - Esquema de WCFS proposta.



Fonte: Autor.

O terreno a jusante da ETE encontra-se com uma declividade bastante considerável para implantação deste sistema, porém é possível o aproveitamento da área onde foi executada uma vala para despejo do efluente, para a construção da WCFS faria necessário somente a impermeabilização do solo sem a necessidade de uma terraplanagem da área.

A comunidade se beneficiaria de um sistema simples e de grande impacto ambiental, ocupando uma área pequena e contribuindo para a produção de uma vida sustentável. Além de remover os poluentes presentes, o sistema W também contribuem na redução de toxicidade das águas residuárias (BARSZCZ, 2017).

4 CONCLUSÃO

Como estudado, as WC podem ser aplicadas no tratamento dos diversos tipos de efluentes e com diversas configurações. Dependendo do tipo de remoção pretendido, deve-se seguir as configurações mínimas recomendadas, visando sempre alcançar a maior potencialidade do sistema.

No estudo realizado pôde-se perceber que é possível a implementação deste tipo de sistema na comunidade. Observando as características pretendidas no tratamento foi possível dimensionar e escolher um sistema que mais se adequa-se a obtenção de um melhor efluente tratado. O dimensionamento implicou na ocupação de uma área pequena se comparado a outros métodos de tratamento de esgoto.

Como propostas para pesquisas futuras: propõe-se o desenvolvimento de projeto técnico executivo, memoriais de orçamento, impactos sócios-ambientas na implantação do sistema, melhorias no desempenho e aplicação no sistema da rede de esgoto do próprio município.

5 REFERÊNCIAS

_____. Lei nº. 11.445 de 5 de Janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.** Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em 12 jan 2016.

_____. **MANUAL DE OPERAÇÃO ETE UFERSA – UNIDADE CARAÚBAS.** A&E Equipamentos e Serviços. 2013. 60 p.

ABNT. NBR 5626 – **Instalação predial de água fria.** Rio de Janeiro. 1998. 41p.

ALMEIDA, R.A.; Oliveira, L.F.C.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2007.

BARLOW, Maude. **Água, Pacto azul. A Crise Global da Água e a Batalha pelo controle da Água Potável no Mundo.** São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2009

BECERRA-CASTRO, Cristina et al. **Reutilização de águas residuárias na irrigação: uma perspectiva microbiológica sobre as implicações na fertilidade do solo e na saúde humana e ambiental.** *Environment international* , v. 75, p. 117-135, 2015.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS).** Brasília: MC, 2017.

CAMMAROTA, Carlos Ferreira de Abreu, SCARIOT, Aldicir. **A Água e os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio.** In: Douwbor, Ladislav (Organizador). *Administrando a água como se fosse importante. Gestão Ambiental e Sustentabilidade.* - São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2011.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos et al. **Reactores anaeróbios.** In: **Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias.** UFMG, 1997.

DOTRO, Gabriela et al. **Treatment wetlands.** London, UK: IWA publishing, 2017.

FORESTI, E. **Fundamentos do processo de digestão anaeróbia.** In: *Tallery Seminario Lato no Americano Tratamiento Anaerobio DE Aguas Residuales*, 3., 1994, Montevideu, Uruguai. *Anais...* p.97-110.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento.** Ministério da Saúde. Brasília, 2004

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. 2004. 81 p. Apostila (Efluentes Industriais). Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ. Disponível em: . Acesso em: 20 ago. 2013.

HABERL, R.; GREGO, S.; LANGERGRABER, G.; KADLEC, R. H.; CICALINI, A. R.; DIAS, S. M.; NOVAIS, J. M., GERTH, A.; THOMAS, H. HEBNER, A. **Constructed Wetlands for the Treatment of Organic Pollutants**- J Soils & Sediments 3 (2) 109 – 124, 2003

IAQUELI, ANDRÉ LUIZ. **Wetlands Construídas: Aplicações, Benefícios e Vantagens do Sistema**. São Paulo, 2016. 14p.

IBGE – INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/home/estatistica/opulaca/atlas_saneamento/pdfs/mappag53.pdf> Acesso em: 24 de fev. 2019.

IMHOFF, KARL e KLAUS. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias**. Trad. de M.L. Hess. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1996.

IWA – *International Water Association*. **Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation**. Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing, 2000. 156 p
JORDÃO, Eduardo P. e PESSÔA, Constantino A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 2005.

KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. **Treatment wetlands**. CRC. Boca Raton, FL, 1996.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. **Treatment wetlands**. Boca Raton/ FL/EUA: CRC Press, 2008. 196p

LEME, Edson José de Arruda. **Manual prático de tratamento de águas residuárias**. São Carlos: EdUFSCAR, 2008.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 3. ed. 1996.

MANNARINO, C. F. **Uso de wetland sub-superficial no tratamento de efluente de estação de tratamento de chorume por lodos ativados**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2003.

MONTEIRO, R. C. M. **Viabilidade técnica do emprego de sistemas tipo wetlands para tratamento de água cinza visando o reuso não potável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP. 96p. 2009.

MONTEIRO, V.R.C.; SEZERINO, P. H.; SUNTTI, C.; SCARATTI, D.; PHILLIPI, L. S. **Sistema híbrido de wetlands construídos para tratamento de efluente de tanque séptico**. In: 27 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia.

NETO, C. O. de A. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira**. Rio de Janeiro: ABES, p. 35-74. 1997.

NETTO, J. M. A. et al. **Sistemas de esgotos sanitários**. São Paulo: CETESB, 2. ed. 1977.

OLIJNYK, Débora Parcias. **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, S. M. A.; VON SPERLING, M. **Avaliação comparativa de seis tecnologias de tratamento de esgoto, em termos de atendimento a padrões de lançamento**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2014, Campo Grande. *Anais eletrônico...* Rio de Janeiro: ABES, 2014. p. 1-7.

ORMONDE, Vanusa Soares da Silva. **Avaliação de 'Wetlands' Construídos no Pós-Tratamento de Efluente de Lagoa de Maturação**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2012.

PEREIRA, C. M. **Avaliação do uso de peixes planctófagos como auxiliares do tratamento de efluentes**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Aqüicultura, Universidade Federal de Santa Catarina.

PEREIRA, Ednaldo de Paiva. **O uso da unidade Wetland no sistema de póstratamento de esgoto: Um estudo de caso no Semiárido Nordeste**. Ednaldo de Paiva Pereira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

SANCHEZ, A. A. **Desempenho de sistema piloto de alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal no tratamento secundário de efluente sanitário**. 2017. 148f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do ABC, 2017

SANTANA, Adriana M. de; OLIVEIRA, Roberto A. de. **Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura**. Engenharia Agrícola, p. 817-830, 2005.

SILVA, S. A. **On the treatment of domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds Northeast Brazil**. PhD Thesis. University Of Dundee. U. K., 2009. 249 p

SPERLING, Tiago Lages von. **Estudo da utilização de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário**. Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

TOMAZ, Plínio. **Economia de Água para Empresas e Residências: Um estudo atualizado sobre o Uso Racional da Água**. 2ª ed - São Paulo: Navegar Editora, 2001.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters**. Office of Research and Development. Cincinnati (OH), 2000.

VAZOLLER, R.F. *Microbiologia e saneamento ambiental*. Disponível em: <<http://www.bat.fat.org.br>>. Acesso em: 4 fev. 2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e o tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

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

ZANELLA, Luciano. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. 2008. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.