

## **DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS: Uma análise de diferentes métodos para aplicabilidade na região sul do Ceará**

**Jonatas José Lobo Oliveira,  
Universidade Federal do Cariri - UFCA,  
jonatasjosepet@gmail.com**

**Thamara Martins Ismael de Sousa,  
Universidade Federal do Cariri - UFCA,  
thamara.sousa@ufca.edu.br**

**Ana Flávia Menezes Teles Brandão  
Universidade Federal do Cariri - UFCA,  
anaflaviamteles@gmail.com**

### **RESUMO**

A universalização dos serviços de saneamento no Brasil é um desafio, não somente devido a sua extensão territorial, mas também por conta das realidades distintas vivenciadas. As comunidades rurais, por sua vez, apresentam diferenças culturais, de acesso a infraestrutura e problemas sociais que necessitam de políticas públicas planejadas e executadas de maneira específica para o atendimento de suas necessidades. A utilização de tecnologias sociais descentralizadas, como os Wetlands Construídos (WC's), se mostra uma alternativa relevante para a solução de problemas de saneamento, especificamente no tratamento de águas residuárias. Os WC's, no entanto, necessitam de dimensionamento e critérios de projeto adequados às condições climáticas do local e da água residuária a ser tratada. Nesse sentido, o presente estudo busca analisar métodos de dimensionamento que foram utilizados em outras localidades e avalia a viabilidade de replicação para comunidades rurais da região sul do estado do Ceará. Os métodos encontrados são empregados no dimensionamento utilizando o caso de duas comunidades rurais atendidas pelo projeto Bio+ na replicação de WC, com o intuito de analisar a viabilidade econômica e de espaço necessário para a construção. Com isso, é possível observar a necessidade de estudos mais aprofundados e específicos nessa região para determinar ou adequar um método de dimensionamento que possa ser replicado. Não obstante, reforça-se a relevância e a viabilidade da tecnologia para solução de problemas de saneamento na região sul do estado do Ceará.

**Palavras-chave:** Wetlands Construídos; Dimensionamento; Saneamento Rural; Tecnologias Sociais.

## 1 INTRODUÇÃO

O plano nacional de Saneamento Básico (Plansab) é um marco regulatório importante para a universalização de serviços de saneamento básico. Em 2013, com a divulgação do Plansab, estabeleceram-se princípios básicos como a universalização, a equidade e a participação e controle social, dentre outros que demonstram o desafio de prestar serviços de saneamento em diversas situações (BRASIL, 2013). De acordo com o relatório produzido pela Associação e pelo Sindicato das Concessionárias Privadas de Saneamento Básico (2019), o Brasil possui indicadores de saneamento piores que mais cem países, incluindo Bolívia, Chile e África do Sul. Caso o país mantenha a expansão do acesso ao saneamento no ritmo atual, não conseguiria alcançar as metas previstas no Plansab para 2033 (CASTRO, 2019). A Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD), afirmou que ainda existem aproximadamente 1,7 milhões de residências que não possuem banheiro e em regiões como Norte e Nordeste, o percentual de cobertura da rede esgotamento sanitário não ultrapassa 45%, nos últimos três anos, considerando tanto a zona rural quanto a urbana (BRASIL, 2019).

A precarização dos serviços de saneamento básico é uma realidade nacional, acentuada, sobretudo no meio rural, visto os baixos índices de prestação desses serviços, se comparado com o meio urbano. No estudo de Aleixo et al. (2016) pode ser observado um comparativo do acesso ao saneamento básico, principalmente no que se refere ao abastecimento de água, entre o cenário nacional e uma comunidade no interior do Ceará e, os resultados obtidos se devem tanto pelo afastamento dos grandes centros, como pela inviabilidade econômica para investimentos estruturais. Esses fatores dificultam a implantação de serviços de saneamento rural, como afirmado no estudo de Resende, Ferreira e Fernandes (2018), que reconheceram a importância que o Plansab e as suas metas possuem, apesar dos governos municipais não conseguirem se adequar aos prazos e oferecer serviços compatíveis com as necessidades da população.

O Plansab (2013) estabelece como meta para 2023, uma cobertura nacional de 46% de algum tipo de coleta ou tratamento de esgotamento sanitário para as localidades rurais, seria necessário um investimento gradual para alcançar a meta nos próximos anos. Porém, devido às características de baixa densidade populacional e distanciamento dos grandes centros, os métodos centralizados com investimentos por empresas públicas ou privadas para prestação

dos serviços se tornam inviáveis, nesse cenário, as chamadas tecnologias descentralizadas ganham espaço e maior viabilidade.

Alam (2019) coloca os Wetlands Construídos (WC's) como alternativa indicada para o tratamento de esgoto doméstico no meio rural, por conta da facilidade de encontrar espaços disponíveis e a simplicidade de construção, de operação e de manutenção. De acordo com Sezerino *et al.* (2018), os WC's são sistemas concebidos para replicar e otimizar processos naturais de transformação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, que ocorrem em ambientes alagados, como pântanos e mangues. Os WC's são, geralmente, classificados em relação ao sentido do escoamento do líquido na unidade de tratamento, podendo apresentar escoamento superficial (as águas residuárias a serem tratadas são dispostas na superfície do meio filtrante) e o subsuperficial (as águas residuárias a serem tratadas são escoadas abaixo do topo da superfície), e o escoamento pode seguir o fluxo vertical ou horizontal (SEZERINO *et al.*, 2018).

No WC de escoamento vertical, o líquido a ser tratado é disposto uniformemente sobre toda a área superficial do módulo de tratamento, de forma intermitente, percolando em trajetória descendente por entre o sistema radicular das macrófitas e dos poros do material filtrante, o qual é usualmente composto por areia, até ser coletado no fundo por um sistema de drenagem. O meio permanece não saturado, isto é, os espaços vazios entre os grãos do meio suporte não estão preenchidos com líquido, mas com ar. Em decorrência, predominam condições aeróbias no leito filtrante (SEZERINO *et al.*, 2018).

Os WC's de fluxo vertical permitem uma estrutura mais compacta no que se refere à área superficial e se comparada com os WC's de fluxo horizontal. Não obstante, os estudos pertinentes aos WC's verticais são mais complexos e as etapas pertinentes ao dimensionamento são mais empíricas (KLADEC *et al.*, 2006).

O desempenho adequado dos WC's depende de uma série de fatores, como o clima, o tipo e espessura do meio filtrante, a espécie vegetal escolhida e as dimensões. De acordo com Kadlec *et al.* (2006) as fontes do suprimento de oxigênio dependem da convecção do ar nos espaços vazios e no esgotamento de oxigênio pela água intersticial que são aumentados pelo fluxo da aeração da planta, no entanto, dependem das escolhas realizadas no projeto.

Não obstante, parâmetros e critérios de projetos de WC's não são previstos nas normas técnicas brasileiras, portanto não existe uma uniformização da forma de dimensionamento, apesar de existirem diversas experiências internacionais (BEGOSSO, 2009). De acordo com

Hoffman *et al.* (2011), o critério mais simples para dimensionamento é área requerida por pessoa, apesar de apenas isso não ser suficiente. Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre métodos de dimensionamento existentes e comparar com uma experiência realizada na região sul do Ceará, com o intuito de propor um método mais adequado ou considerações gerais para o dimensionamento dos WC's.

## **2PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

### **2.1 MÉTODO DE ESTUDO**

O estudo foi desenvolvido de forma exploratória com aplicação dos principais métodos desenvolvidos dispostos na literatura a partir da observação da metodologia mais adequada para dimensionamento de unidades de WC's de fluxo vertical na região sul do Ceará. A pesquisa é dividida em quatro etapas: levantamento bibliográfico dos métodos de dimensionamento para Wetlands Construídos (WC's) existentes, aplicação dos métodos para um modelo compatível com o objeto de estudo, comparação com o WC instalado em comunidade rural na região sul do Ceará e proposição de modelo final adequado.

### **2.2. OBJETO DE ESTUDO**

O estudo analisa o modelo de WC instalado nos sítios Boa Esperança e Espinhaço, localizados no distrito do Arajara, em Barbalha, região sul do Ceará, indicados na Figura 1. A cidade de Barbalha se localiza próxima às cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha e compõe a região Metropolitana do Cariri (RMC). Localizada na região da Chapada do Araripe com clima caracterizado como Tropical Quente Semiárido Brando. Apresenta mais de 17 mil pessoas (31,27%) que residem na zona rural e quase 12 mil domicílios que não dispõem de esgotamento sanitário adequado (CEARÁ, 2017).

#### **Figura 1 – Localização das comunidades analisadas**



Fonte: Adaptado de IPECE (2017)

O sítio Boa Esperança, distante cerca de quatorze quilômetros do centro urbano de Barbalha, apresenta uma população que tem a agricultura familiar e o extrativismo do coco babaçu como as principais fontes de renda. A população utiliza a água de fontes naturais para consumo e as de poços amazonas para irrigação e dessedentação animal. A comunidade não possui sistema de esgotamento sanitário, nem mesmo redes coletoras e nem coleta de resíduos sólidos, para contornar tais limitações, a comunidade utiliza métodos inadequados como fossas negras, disposição no solo e queima de resíduos.

O sítio Espinhaço, distante cerca de cinco quilômetros do sítio Boa Esperança, tem a agricultura familiar com a criação de animais como as principais fontes de renda. Também utilizam das mesmas formas de abastecimento do sítio Boa Esperança, e as mesmas condições de esgotamento sanitário e gestão de resíduos.

### 2.2.1. Modelo de Wetlands Construído analisado

O sítio Boa Esperança e o sítio Espinhaço são assessorados por um programa de extensão chamado Enactus da Universidade Federal do Cariri (UFCA). A Enactus através do projeto Bio+ promoveu a implantação de WC's com o objetivo de solucionar problemas de saneamento nas comunidades. O reuso do esgoto oriundo de pias, chuveiros e tanques é direcionado para a fertirrigação na horticultura, fruticultura e forragicultura promovendo uma redução do nível de estresse hídrico. O projeto observou que a reutilização permite as famílias a manutenção da produção mesmo em períodos de estiagens.

O Bio+ estabeleceu um modelo padrão de WC utilizando como referência o material disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que intitula a tecnologia como “Jardim Filtrante”. Na Figura 2 tem-se a ilustração do WC implantado nas comunidades, com um corte lateral para ilustrar as camadas constituintes e as espessuras.

**Figura 2 – Wetland Construído de fluxo vertical do Sítio Boa Esperança.**



Fonte: Elaboração Própria

No presente estudo foram analisados dois dos modelos instalados, com fluxo subsuperficial e vertical. Em ambos os casos, apenas as águas cinzas são reunidas em uma caixa de passagem e depois direcionada para uma caixa de gordura, que tem a finalidade de reter a gordura, o óleo e sólidos mais grosseiros, logo após, as águas cinzas são direcionadas para o WC, ambos apresentam uma borda livre de 5cm.

O material utilizado para a montagem dos WC foi comprado em uma loja de material de construção e não foram realizados ensaios prévios de granulometria e nem a lavagem da areia e da brita para utilização. A área superficial apresenta 6 m<sup>2</sup>, sendo 2m de largura e 3m comprimento e utilizando um tubo de PVC de 75mm perfurado, com furos de 5mm com 15cm de distância entre cada furo, a 2cm abaixo na camada de areia média para distribuição do afluente de forma distribuída. Os taludes das paredes laterais apresentam declividade de 50%.

O WC apresenta duas camadas: o meio filtrante e a camada drenante. O meio filtrante é composto de areia média com espessura de 60cm e nela são fixadas as plantas responsáveis pela fitorremediação do afluente. A camada drenante é composta de brita nº 01 com espessura de 15cm e recebe um tubo de PVC de 75mm perfurado, com furos de 5mm com 15cm de distância entre cada furo, que é responsável pela captação do efluente e direcionamento para a caixa de armazenagem.

A caixa de armazenagem, por sua vez, tem a finalidade de armazenar o efluente

tratado e também apresenta um tubo de PVC 75mm com a ponta na vertical com altura equivalente a 5cm abaixo do nível do meio filtrante. Esse tubo é intitulado de nível monge e sua função é manter o nível da água sempre abaixo da camada de areia.

### 3DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

#### 3.1 DADOS E MONITORAMENTO DOS WETLAND'S INSTALADOS

As adequações do WC utilizado no projeto Bio+ levaram em consideração o custo para instalação e o espaço disponível na comunidade rural. Com os resultados positivos na implantação, o modelo deve ser replicado para outras localidades. O projeto Bio+ implantou 5 WC's em 2 comunidades rurais entre os anos de 2018 e 2020. Porém, para o presente estudo, serão utilizados como parâmetros apenas os dois WC's no qual foi realizado monitoramento da eficiência de tratamento.

No Quadro 1 são apresentados os critérios de projeto adaptados e adotados pelo Bio+ nas comunidades sítio Boa Esperança e sítio Espinhaço. No Quadro 2 têm-se os valores médios dados de entrada e saída dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados, verificando a eficiência dos modelos implantados. As análises foram realizadas em parceria com o laboratório de Saneamento do curso de Engenharia Civil da UFCA, com duas coletas em cada WC, realizadas entre outubro de 2019 e fevereiro de 2020.

**Quadro 1 – Descrição dos beneficiados dos Jardins Filtrantes.**

Modelo de Wetlands	Sítio Boa Esperança	Sítio Espinhaço
	Beneficiado 01	Beneficiado 02
Quantidade de Pessoas	3	5
Área Superficial (m <sup>2</sup> )	6	6
Largura (m)	2	2
Comprimento (m)	3	3
Profundidade (m)	0,8	0,8
Vazão de afluente (m <sup>3</sup> /d)	0,15	0,25
Espécie vegetal	<i>Eragrostis plana</i> Nees (Capim anoni)	<i>Typha dominguesis</i> (Taboa)

Fonte: Elaboração própria

**Quadro 02 – Valores médios do monitoramento dos modelos analisados.**

Parâmetro	Metodologia adotada	Beneficiado 01		Beneficiado 02	
		Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
pH	Leitura direta na coleta com a utilização de pHmetro.	6,5	7,37	5,97	6,36

	(FUNASA, 2013)				
<b>Temperatura (°C)</b>	Leitura direta na coleta com a utilização de pHmetro. (FUNASA, 2013)	27,1	26,4	26,6	27,7
<b>Turbidez (NTU)</b>	Leitura direta com a utilização do turbidímetro (FUNASA, 2013)	289	87,9	252	124
<b>SST (g/L)</b>	(APHA, 2012)	242	186,7	548	244
<b>DQO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	Método da refluxação fechada modificada (APHA, 2012)	389,8	92,3	756,46	372,75
<b>DBO (mg O<sub>2</sub>/L)</b>	Método padrão com e sem sementeira (APHA, 2012)	33,82	3,7	27,2	8,3
<b>Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH<sub>4</sub>/L)</b>	Método fotométrico da Nesslerização direta (APHA, 2012)	17,3	10,0	11,9	14,9
<b>Nitrito (mg N-NO<sub>2</sub>/L)</b>	Método Colorimétrico da Diazotização (APHA, 2012)	0,11	0,06	0,09	0,04
<b>Nitrato (mg N-NO<sub>3</sub>/L)</b>	(APHA, 2012)	0,02	0,01	0,03	0,03
<b>Fosforo (mg P/L)</b>	Método da hidrólise de fosfato condensado em amostra bruta e filtrada (APHA, 2012)	0,3	0,08	0,48	0,4
<b>CTT (NMP/100mL)</b>	Técnica dos tubos múltiplos (CETESB, 2018)	7x10 <sup>6</sup>	4.900	5x10 <sup>6</sup>	3.650

Fonte: Elaboração própria

Nos dois modelos analisados, as taxas de remoção de Sólidos suspensos totais (SST) é de 59,2% e 55,47%, respectivamente. As taxas de diminuição do teor da Demanda Química de Oxigênio (DQO) são de 76,3% e 50,7%, nessa ordem. As taxas de remoção do teor de DBO são de 89,05% e 68,48%, respectivamente. Além das taxas de remoção de patógenos, medidas através do teor de Coliformes Termotolerantes (CTT), oscilando entre 96% e 99%, e das taxas de remoção nitrogênio que o beneficiado 01 encontra-se em 42,23% e, no caso do beneficiado 02, houve um aumento na quantidade em 24,5%.

Os valores percentuais de SST, DQO, DBO e CTT são semelhantes ao observado por Sezerino *et al.* (2018), apesar dos demais não serem compatíveis. Esses resultados, assim como os das séries nitrogenadas podem ser devido a escolha da espécie vegetal ou pelas condições do material filtrante (LI; GUO, 2017; GE *et al.*, 2016), no entanto, o monitoramento deve ser realizado por um período mais extenso para captar as variações e compreender por completo as causas, podendo ser devido a uma manutenção inadequada, as ou condições climáticas locais distintas entre os resultados analisados (WELLER *et al.*, 2016). Não obstante, os valores finais não são compatíveis com a resolução nº 02/2017 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) do Ceará, que trata sobre o reuso de água residuária na agricultura, que prevê o teor de Coliformes Termotolerantes abaixo de 1000 NMP/100mL, além de carecer de outras análises como a razão de adsorção de sódio e o teor de ovos de helmintos para ser validada.

### 3.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO UTILIZADOS E SUAS APLICAÇÕES

A partir do levantamento bibliográfico foram identificados 4 materiais que descrevem métodos para dimensionamento de WC: Kladec *et al.* (2006), Hoffman *et al.* (2011), Dotro *et al.* (2017) e Von Sperling e Sezerino (2018). Foram considerados apenas as recomendações e cálculos que se aplicam aos WC com fluxo subsuperficial e vertical. E, nos quatro métodos identificados, são previstos dimensionamentos para tratamentos coletivos e centralizados, diferente do sistema utilizado no projeto Bio+, que consiste em unidades unifamiliares.

#### 3.2.1 Método descrito por Kladec *et al.* (2006)

Kladec *et al.* (2006) traz estudos e descrição para o dimensionamento de WC de fluxo superficial e subsuperficial para utilização como tratamento primário, secundário ou terciários de águas residuárias domésticas, industriais e agrícolas. O método depende da disposição de dados de análises prévias de parâmetros da água residuária a ser tratada no WC, como o teor de sólidos suspensos totais, a demanda bioquímica de oxigênio e o teor de patógenos. Além disso, descreve como parâmetros hidráulicos para dimensionamento de WC: a taxa de distribuição hidráulica, a profundidade, o tempo de detenção e o balanço hídrico.

Ataxa de distribuição hidráulica (HLR em m/d) é determinada por uma razão entre a

taxa de fluxo de entrada ( $Q_i$  em  $m^3/d$ ) e a área superficial ( $A$  em  $m^2$ ) (Equação 1).

$$HLR = \frac{Q_i}{A} \quad (1)$$

A profundidade ( $h$ ) é analisada através da profundidade de água livre ( $h_f$ ) que, por sua vez, é determinada com o valor da porosidade ( $\varepsilon$ ) do meio. No entanto, de acordo com Kladec *et al.* (2006), a porosidade é um parâmetro variável e de difícil determinação por conta da heterogeneidade das camadas, da alocação do material e por varia com o funcionamento pode oscilar entre 0,7 e 0,9. No entanto, é indicado que  $h_f$  oscile entre 0,3 e 0,4 e é dado pela Equação 02:

$$h_f = h\varepsilon \quad (2)$$

O mais relevante para garantir um funcionamento do WC adequado é a velocidade do fluxo que é diretamente relacionada ao tempo de detenção ( $\tau$ ) e a profundidade. O  $\tau$  varia com a profundidade e a porosidade e é determinada através da Equação 3:

$$\tau = \frac{\varepsilon h}{HLR} = \frac{\varepsilon LWh}{Q} \quad (3)$$

Sendo que  $L$  é o comprimento e  $W$  a largura da parte superficial do WC.

O balanço hídrico consiste em uma análise hidrológica do funcionamento do WC levando em consideração não somente a vazão de entrada como também a evapotranspiração, a infiltração, a precipitação, ocorrência de neve e o escoamento superficial de água da chuva. Kladec *et al.* (2006) traz esse balanço como relevante pois as áreas superficiais dos WC para tratamentos das águas residuárias chegam a hectares e trazem efeitos consideráveis à performance do WC, como a diluição do afluente e aumento do fluxo de entrada.

Ademais, o WC dimensionado deve apresentar alguns critérios de performance para garantir o tratamento. Em sistemas de fluxo vertical, ter uma eficiência entre 80-90% de remoção de sólidos suspensos totais é relevante para evitar entupimentos e manter a taxa de fluxo normalizada. Para uma remoção adequada de patógenos é necessário que o tempo de detenção esteja entre 2 a 3 dias.

Não obstante, o parâmetro mais importante para manter a performance é a eficiência na remoção das séries nitrogenadas que se relacionam com a fonte de suprimento de oxigênio no WC. De acordo com os estudos de Kladec *et al.* (2006), o oxigênio, atua para diminuir a

DBO/DQO e concorre para o processo de nitrificação, isso ocorre devido a convecção do ar por espaços vazios e a difusão de oxigênio na própria água que podem aumentar devido à presença das espécies vegetais. No entanto, existe um método empírico para o dimensionamento WC com base na demanda de OD, descrita na Equação 04 e 05:

$$OD = Q[(4.3 \Delta NH_4) + \Delta DBO] \text{ em } \frac{gO_2}{d} \quad (4)$$

$$A = \frac{OD}{OTR} \text{ em } m^2 \quad (5)$$

Sendo que OD é a demanda de oxigênio considerando a vazão de entrada (Q) e as taxas de nitrogênio amoniacal e da demanda bioquímica de oxigênio. A OTR é a taxa de transferência de oxigênio que envolve os processos para a presença de oxigênio e esse valor oscila entre 50-90 gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d. E, em caso de WC de dimensões menores utiliza-se a ΔNH<sub>4</sub> equivalente a 20 mg/L, a ΔDBO equivalente a 40 mg/L e a OTR de 50 gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d com a condição de 0,5 m<sup>2</sup> de área superficial por pessoa.

Além disso, Kladec *et al.* (2006) traz a necessidade da manutenção do nível de água dentro do WC através da caixa de saída, que pode funcionar também como caixa de armazenamento. Pode-se colocar um nível em formato de monge para manter o nível da água sempre abaixo da camada superficial.

Na Tabela 1 apresentam-se as dimensões e considerações do modelo de WC utilizando os dados das duas comunidades onde B. 01 e B.02 se referem ao Beneficiado 01 e ao Beneficiado 02, respectivamente, e um WC que atua em regime subsuperficial e com fluxo vertical. Houve a necessidade adotar valores padrões para OTR, taxas de amônia e DBO por conta da recomendação do método e porosidade e profundidade de água livre por conta da ausência dessas informações. Houve a necessidade da adequação da área superficial por conta da condicionante para uso do valor padrão de OTR.

**Tabela 1 – Modelo de WC pelo método de Kladec *et al.* (2006).**

Resultados e considerações do dimensionamento					
Parâmetro	B. 01	B. 02	Parâmetro	B. 01	B. 02
OTR (gO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> d)	50	50	A (m <sup>2</sup> ) ajustado	1,5	2,5
ΔNH <sub>4</sub> (mg/L)	20	20	HLR (m/d)	0,1	0,1
ΔDBO (mg/L)	40	40	E	0,7	0,7
Q (m <sup>3</sup> /d)	0,15	0,25	h <sub>f</sub>	0,3	0,3
OD (gO <sub>2</sub> /d)	18,9	31,5	h (m) calculado	0,43	0,43
A (m <sup>2</sup> ) calculado	0,378	0,63	τ (dias)	3	3

Fonte: Adaptado de Kladec *et al.*(2006)

### 3.2.2 Método descrito por Hoffman *et al.* (2011)

Hoffman *et al.* (2011) traz recomendações objetivas no que tange o dimensionamento e considerações mais diretas sobre a operação. De acordo com o estudo de Hoffman *et al.* (2011), o WC deve funcionar a uma baixa carga orgânica para degradar contaminantes orgânicos através de bactérias e algas especializadas que crescem no meio filtrante. Ademais, toda a matéria orgânica presente é degradada sendo convertida em gás carbônico, água, amônia e nitrogênio. Assim como em Kladec *et al.* (2006), reforça o suprimento de oxigênio como um parâmetro determinante para o funcionamento e degradação das séries nitrogenadas, tendo o comum uma taxa de 90% de oxidação da amônia em WC de fluxo vertical.

Hoffman *et al.* (2011) traz as espécies vegetais como determinantes para manter a condutividade hidráulica do meio, manutenção do crescimento da microbiota e o suprimento de oxigênio. Apresenta também considerações acerca da escolha da espécie como: a opção por espécies nativas adaptadas ao clima, espécies com um sistema extenso de rizomas e raízes, que suporte períodos sem água e que lidem com inundações temporárias.

No que se refere ao dimensionamento, Hoffman *et al.* (2011) não se atém as fórmulas advindas de métodos empíricos ou determinações matemáticas, mas sim uma lista de condicionantes para um funcionamento adequado, como as descritas no Quadro 3.

#### Quadro 3 – Condicionamentos para dimensionamento de Wetlands de Fluxo Vertical.

Condições para a performance adequada de um Wetland Construído de Fluxo Vertical
<ul style="list-style-type: none"><li>• Superfície do filtro nivelada e com a presença de cascalhos para evitar acúmulo de água;</li><li>• Os tubos de distribuição devem garantir que o afluente seja disposto igualmente por todo o WC com os furos garantindo o fluxo igual em toda a camada filtrante;</li><li>• Presença de pelo menos três camadas: a superior com cascalhos para evitar acúmulo de água na superfície (pelo menos 10cm), uma intermediária com areia média de granulometria distribuída para filtração (pelo menos 50cm) e um leito drenante com cascalho ou brita para alocação dos tubos de saída (pelo menos 15cm);</li><li>• Existência de uma borda livre de pelo menos 15cm;</li><li>• Área superficial de pelo menos 1,2 m<sup>2</sup> por pessoa. Apesar de existir casos exitosos com 0,9m<sup>2</sup>/p.e. nas Filipinas e 0,4m<sup>2</sup>/p.e. na Síria;</li><li>• Carga orgânica de entrada de com o máximo de 20gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d na DQO e 30gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d na DBO<sub>5</sub>;</li><li>• O fluxo deve ocorrer preferencialmente em regime intermitente, caso seja em batelada ocorrer de 4-12 vezes por dia.</li></ul>

Fonte: Adaptado de Hoffman *et al.*(2011)

Hoffman *et al.* (2011) cita como eficiência de tratamento a diminuição da DBO (90-99%), o teor de sólidos suspensos totais (90-99%) e nitrogênio total (30%). Na Tabela 2, tem-se os resultados do dimensionamento pelo método de Hoffman *et al.* (2011) para os modelos das duas comunidades, onde B. 01 e B.02 se referem ao Beneficiado 01 e ao Beneficiado 02, respectivamente, e um WC que atua em regime subsuperficial e com fluxo vertical. No entanto, devido a carga orgânica de DQO está elevada, foi necessária a adequação da área superficial seguindo, assim, as orientações do método de dimensionamento.

**Tabela 02 – Modelo de WC pelo método de Hoffman *et al.* (2011).**

Resultados e considerações do dimensionamento					
Parâmetro	B.01	B. 02	Parâmetro	B.01	B.02
Borda Livre (cm)	15	15	Área superficial (m <sup>2</sup> )	3,6	6
Camada superior (cm)	10	10	Carga de DQO (gO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> d)	16,25	52,53
Camada Filtrante (cm)	50	50	Carga de DBO (gO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> d)	14,10	18,88
Camada drenante (cm)	15	15	Área Superficial (m <sup>2</sup> ) ajustado	3,6	6,5
Profundidade (m)	0,75	0,75	Carga de DQO (gO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> d) ajustado	16,25	29,10

Fonte: Adaptado de Hoffman *et al.*(2011)

### 3.2.3 Método descrito por Dotro *et al.* (2017)

Dotro *et al.* (2017) elenca considerações sobre a performance e o funcionamento dos WC, de modo semelhante ao descrito por Kladec *et al.* (2006) e Hoffman *et al.* (2011). Não obstante, apresenta como problemas de performance envolvendo o dimensionamento:

- Ausência de proteção da área superficial a precipitação e a água advinda de escoamento superficial. A correção se faz com a adição da borda livre;
- Escolha do material para o meio filtrante e drenante com granulometria diferente das ideias como, por exemplo, uma areia muito fina que facilita entupimentos e reduz a condutividade hidráulica do WC;
- Inclinação irregular que possa gerar poças na área superficial;
- Distribuição desigual do fluxo de entrada em todo filtro;
- Ausência de tratamento primário em casos com a presença de sólidos e óleos elevados.

Além disso, Dotro *et al.* (2017) coloca o monitoramento do processo de nitrificação, a troca de tubos ou peças desgastadas e o cuidado com as plantas com poda ou desbaste como determinantes para o funcionamento adequado do WC.

Dotro *et al.* (2017) dispõe como necessário para dimensionamento a vazão de entrada,

a taxa de carga orgânica por pessoa (DQO e DBO) e taxa de nitrogênio total. Além disso, determina uma configuração padrão para o tratamento por WC: uma borda livre de pelo menos 20cm, uma camada filtrante com areia média de pelo menos 50cm, uma camada de transição de brita nº 0 de pelo menos 10cm e uma camada drenante de brita nº01 de pelo menos 20cm. Além disso, Dotro *et al.* (2017) dispõe uma taxa máxima 20gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d de DQO e o mínimo de 4m<sup>2</sup> de área superficial por pessoa. Na tabela 3 apresenta os resultados do dimensionamento pelo método de Dotro *et al.* (2017) para os modelos das duas comunidades, onde B. 01 e B.02 se referem ao Beneficiado 01 e ao Beneficiado 02, respectivamente, e um WC que atua em regime subsuperficial e com fluxo vertical.

**Tabela 03 – Modelo de WC pelo método de Dotro *et al.* (2017).**

Resultados e considerações do dimensionamento					
Parâmetro	B. 01	B.02	Parâmetro	B. 01	B. 02
Borda Livre (cm)	20	20	Profundidade (m)	0,80	0,80
Camada Filtrante (cm)	50	50	Área superficial (m <sup>2</sup> )	12	20
Camada de transição (m)	10	10	Carga de DQO (gO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> d)	4	9,46
Camada drenante (cm)	20	20			

Fonte: Adaptado de Dotro *et al.*(2017)

### 3.2.4 Método descrito por Von Sperling e Sezerino (2018)

O estudo descrito por Von Sperling e Sezerino (2018) é um compilado de métodos e de estudos aplicados no mundo e no Brasil, de consenso entre pesquisadores brasileiros do grupo Wetlands Brasil.

No caso dos WC de fluxo vertical, Von Sperling e Sezerino (2018) trazem as confirmações dos métodos anteriores quanto à necessidade do suprimento de oxigênio para o funcionamento adequado. Estabelece camadas padrões como:

- borda livre, variando entre 0,20 a 0,35m;
- camada superior utilizando brita nº 0 (opcional) variando entre 0,05 a 0,10m;
- camada intermediária utilizando areia média (filtrante) variando entre 0,40 a 0,60m;
- camada de transição utilizando brita nº 0 medindo 0,10m ;
- camada drenante utilizando brita nº1 variando entre 0,10 a 0,30m.

As declividades dos taludes das paredes laterais do WC podem variar numa relação 0:1 com os taludes retos, sem inclinação indicada para WC pequenos, até 2:1. A inclinação do fundo (IF) não deve ultrapassar 1%, caso seja um WC pequeno deve-se optar por não utilizar.

Os WC não devem ultrapassar o valor de 400m<sup>2</sup> e, em caso de tratamentos municipais, dividir em vários módulos para alterná-los entre operação e descanso para manter o funcionamento adequado (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

Dessa forma, o método de Von Sperling e Sezerino (2018) prevê dois critérios para determinar a área superficial: a taxa orgânica superficial máxima (TOSM) de 10 a 20gO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>d de DBO, com os maiores valores para climas mais quentes, e a taxa de aplicação hidráulica superficial máxima (TAHSM) de 0,05 a 0,12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d. Deve-se priorizar a maior área encontrada entre as duas taxas utilizadas.

Na tabela 4 são apresentados os resultados encontrados para o dimensionamento dos modelos de acordo com o previsto em Von Sperling e Sezerino (2018) que atua em regime subsuperficial e com fluxo vertical para os modelos das duas comunidades, onde B. 01 e B.02 se referem ao Beneficiado 01 e ao Beneficiado 02, respectivamente.

**Tabela 4 – Modelo de WC pelo método de Von Sperling e Sezerino (2018).**

<b>Resultados e considerações do dimensionamento</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>B. 01</b>	<b>B. 02</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>B.01</b>	<b>B. 02</b>
Borda Livre (cm)	20	20	IF (%)	0	0
Camada Filtrante (cm)	40	40	TOSM (gO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> d de DBO)	20	20
Camada de transição (m)	10	10	Área sup.(TOSM) (m <sup>2</sup> )	0,25	0,34
Camada drenante (cm)	10	10	TAHSM (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	0,05	0,05
Profundidade (m)	0,60	0,60	Área sup.(TAHSM) (m <sup>2</sup> )	3	5
Taludes	0:1	0:1	Área sup. (m <sup>2</sup> )	3	5

Fonte: Adaptado de Von Sperling e Sezerino.(2018)

### 3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROPOSIÇÃO DO MODELO ADEQUADO

No estudo buscou-se analisar um método de dimensionamento adequado para ser utilizado em situações práticas, como no projeto Bio+, voltados para tratamento de águas cinzas de residência unifamiliar na zona rural, visando o reuso na agricultura. No entanto, é perceptível casos que os WC não se tornem eficazes no tratamento, apresentando performance abaixo do esperado e um dos motivos pode ser o dimensionamento realizado, além de situações que envolvem a operação. O estudo Goklap e Karaman (2017) alerta para necessidade de utilizar critérios adequados para o dimensionamento obtendo todas as informações necessárias previamente e que a comunidade deve estar preparada para operar e manusear o WC, do contrário pode haver perdas de recursos e de investimento sem atingir o objetivo adequado. Kladec *et al.* (2006) coloca o entupimento dos poros pela deposição e filtração de partículas recebidas como um dos principais fatores de alterarem a performance. Siergist (2016) aponta a importante utilização de práticas para o controle de insetos, do

crescimento da vegetação e a presença de animais como fatores relevantes, podendo prejudicar o funcionamento o WC.

De modo geral, o determinante para o funcionamento do WC de fluxo vertical é o tempo de detenção, a distribuição hidráulica superficial uniforme, a escolha de uma espécie adaptada ao clima e as condições de funcionamento e a área superficial (KLADEC *et al.*, 2006) (KLADEC; WALLACE, 2009) (HOFFMAN *et al.*, 2011) (DOTRO *et al.*, 2017) (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

Kladec e Wallace (2009) relatam a complexidade de dimensionamento para WC, seja de fluxo vertical e ou horizontal, ao se considerar a porosidade, por exemplo, devido a sua variabilidade e incerteza dependendo de fatores como a alocação do material na montagem do WC ou crescimento das raízes e do rizoma, que varia a partir das espécies vegetais implantadas. Dessa forma, a ausência de informações como a caracterização prévia granulométrica dos materiais filtrantes e do aflente podem se tornar um problema para o projeto Bio+ e o modelo replicado visto que, o cálculo pode estar adequado, mas pode-se não alcançar a eficiência planejada, pois, na prática, existem dificuldades para a caracterização dos materiais filtrantes e realização de análises físicas, químicas e microbiológicas da água residuária a ser tratada em comunidades rurais, até certo ponto essa necessidade constitui uma dificuldade para replicação dos WC's como tecnologia social, mas reconhece-se aqui a relevância dessas etapas.

Além disso, os métodos de dimensionamento analisados no presente estudo são voltados para unidades de tratamentos coletivas e centralizadas e não segregam águas residuárias domésticas antes do tratamento, ou seja, não separam águas cinzas e águas negras. Esse fato pode ocasionar um sub-dimensionamento ou um super-dimensionamento, que fica evidente ao observar as diferenças obtidas para o tratamento do beneficiado 01, com apenas 3 pessoas, no método de Kladec *et al.* (2006) obteve uma área superficial de 1,5m<sup>2</sup> e no método de Dotro *et al.* (2017) uma área superficial de 12m<sup>2</sup>. Nos mesmos métodos, o beneficiado 02 obteve área superficial de 2,5m<sup>2</sup> e 20m<sup>2</sup>, respectivamente.

Por conseguinte, alguma consideração tem origem de métodos empíricos e, por esse motivo, podem trazer complicações devido às mudanças climáticas de região para região e das características da espécie vegetal adotada (KLADEC; WALLACE, 2009). Por esse motivo, a experimentação prática e monitoramento contínuo ajudam a acompanhar, adaptar e a corrigir os critérios conforme necessário (KLADEC *et al.*, 2006). Não obstante, as

considerações como a taxa orgânica superficial máxima e a taxa de distribuição hidráulica máxima podem ser aplicáveis e se repetem em diversos métodos para contribuir com um modelo inicial, necessitando apenas coletar informações iniciais como a quantidade de pessoas e uma caracterização do esgoto doméstico (KLADEC *et al.*, 2006; HOFFMAN *et al.*, 2011; DOTRO *et al.*, 2017; VON SPERLING e SEZERINO, 2018).

Por fim, além do funcionamento, é importante o dimensionamento adequado ao evitar grandes dimensões, vislumbrando o custo para implantação que pode dificultar a replicação em comunidades rurais. Sezerino *et al.* (2018) coloca o custo como um dos principais pontos positivos para a utilização de WC e que, em média, para implantação cada metro quadrado equivale a mil reais para implantação. No caso dos métodos de dimensionamento de WC analisados nesse estudo, os valores chegam a oscilar entre R\$ 1.500,00 à R\$ 12.000,00, valores que podem ser considerados elevados para a maior parte das famílias que residem na zona rural. O WC implantado pelo projeto Bio+ apresenta um custo entre R\$400,00 e R\$ 600,00, devido a utilização de materiais reciclados, ausência de mecanização e a construção ser de responsabilidade do próprio beneficiado pela tecnologia. Essa diferença, pode ser devido a compra de bombas e de unidades de armazenagem no modelo analisado por Sezerino *et al.* (2018), o que não ocorre na aplicação do Bio+ por aproveitar a própria topografia do terreno evitando bombeamento. No entanto, apesar das taxas de remoções de patógenos e DBO estarem elevadas, o efluente ainda não atende aos parâmetros exigidos na resolução nº 02 do Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA, 2017) e, nesse sentido, adicionar um pré-tratamento ou ampliar as dimensões do modelo de WC aplicado pelo projeto Bio+ podem contribuir para melhoria da eficiência de tratamento, como orientado nos métodos analisados.

#### 4 CONCLUSÃO

As especificidades para tratamento descentralizado em residências unifamiliares rurais geram um contraponto frente aos métodos de dimensionamento existentes, pois os mesmos apresentam certas limitações nos critérios elencados para o dimensionamento, quando se considera à praticidade necessária e adequada às necessidades das comunidades rurais. Porém, é importante ressaltar que os WC's podem ser utilizados e são reconhecidos como técnicas adequadas para a realidade de muitas comunidades rurais brasileiras.

O método descrito por Kladek *et al.* (2006) se mostrou o mais complexo devido a necessidade de um monitoramento prévio da água residuária a ser tratada e pela aplicação de

equações numéricas que exigem mais variáveis de entrada. Dentre os modelos analisados, o de Kladec *et al.* (2006) foi a que necessitou de mais suposições de informações que justifica as dimensões de menor valor encontrado.

Os métodos de Hoffman *et al.* (2011) e Von Sperling e Sezerino (2018) foram os menos complexos, com dimensões compatíveis a disposição de espaço das comunidades e de custo mais acessível em comparação com o modelo utilizado pelo projeto Bio+. Dessa forma, é possível aferir os métodos citados como os mais passíveis de replicação para as comunidades rurais e/ou isoladas, dentre os analisados. Além disso, os dois métodos também se aproximaram em custo do modelo implantado pelo projeto Bio+, sendo que o método descrito por Dotro *et al.* (2017) o mais oneroso.

Nesse segmento são necessários mais estudos e experimentação prática nas comunidades rurais brasileiras, também em regiões de clima semiárido, para concluir todas as especificações e aprimorar os métodos existentes. Dessa forma, apesar de não conter taxas de remoção completamente compatíveis com outros estudos semelhantes e abaixo do permitido em resoluções estaduais, o projeto Bio+ é uma iniciativa a salutar por gerar dados expressivos para essa discussão.

Por fim, é possível concluir a viabilidade dos WC's para aplicação nas comunidades rurais brasileiras, como tratamento descentralizado, porém é preciso a realização de mais estudos e experimentações práticas para garantir uma forma de dimensionamento que contemple todas as especificações.

## REFERÊNCIAS

ALAM, Sheikh Mahabub. Constructed Wetlands–Australian Environmentally Friendly Natural Wastewater Treatment System: an ideal low-cost solution for bangladesh. : An Ideal Low-Cost Solution for Bangladesh. **International Journal Of Agricultural And Environmental Sciences**, [s.l.], v. 4, n. 4, p. 48-64, nov. 2019. Disponível em: <http://www.openscienceonline.com/journal/ijaes>. Acesso em: 15 maio 2020.

ALEIXO, Bernardo et al. Human right in perspective: inequalities in access to water in a rural community of the Brazilian Northeast. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 19, n. 1, p.63-84, mar. 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/1809-4422-asoc-19-01-00063.pdf>>. Acesso em: 02 maio 2020.

APHA. **Standard Methods for the examination of water wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 22<sup>th</sup> ed. Washington, 2012.

BEGOSSO, Larissa. Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de wetlands construídas para tratamento de água cinza. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

BRASIL. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (Org.). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**: Características gerais dos domicílios e dos moradores 2018. Brasília: Ibge, 2019. 8 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 01 maio 2019.

BRASIL. Secretária Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério das Cidades (Org.). **Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB**. Brasília: Governo Federal do Brasil, 2013. 173 p. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br>>. Acesso em: 01 maio 2020.

CASTRO, Ana Lia de. Abcon e Sindcon - Associação e Sindicato Brasileira e Sindicato das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto (Org.). **Panorama da participação privada no saneamento**. Brasília: em Foco Comunicação Estratégica, 2019. 92 p. Disponível em: <<http://abconsindcon.com.br/panoramas/>>. Acesso em: 02 maio 2020.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará - Ipece. Governo do Estado do Ceará (comp.). **Perfil Municipal**: Fortaleza: Ipece, 2017. 18 p. Disponível em: <http://ipece.gov.ce.br/>. Acesso em: 14 maio 2020.

CEARÁ (Estado). Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (coema) nº 02, de 2017. . Fortaleza, 2 fev. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **L5406**: Coliformes Termotolerantes: Determinação em amostras ambientais pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 - método de ensaio. São Paulo: Cetesb, 2018. 16 p.

DOTRO, Gabriela; LANGERGRABER, Günter; MOLLE, Pascal; NIVALA, Jaime; PUIGAGUT, Jaume; STEIN, Otto; VON SPERLING, Marcos. **Treatment Wetlands**. Londres: Iwa Publishing, 2017. 172 p. (Biological Wastewater Treatment Series). Disponível em: [www.iwapublishing.com](http://www.iwapublishing.com). Acesso em: 14 maio 2020.

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde (Org.). **Manual Prático de Análise de Água**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013. 150 p.

GE, Zhigang; FENG, Cuimin; WANG, Xianping; ZHANG, Jibiao. Seasonal applicability of three vegetation constructed floating treatment wetlands for nutrient removal and harvesting strategy in urban stormwater retention ponds. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [S.L.], v. 112, n. 1, p. 80-87, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.05.007>.

GOKALP, Zeki; KARAMAN, Sedat. Critical design parameters for constructed wetlands natural wastewater treatment systems. **Current Trends In Natural Sciences**, Arges County, v. 6, n. 12, p. 156-164, jan. 2017. Disponível em: <https://www.natsci.upit.ro/>. Acesso em: 15 maio 2020.

HOFFMANN, Heike; PLATZER, Christoph; WINKER, Martina; VON MUENCH,

Elisabeth. **Technology review of constructed wetlands:** subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Eschborn: Deutsche Gesellschaft Für, 2011. 36 p. Disponível em: [www.gtz.de/ecosan](http://www.gtz.de/ecosan). Acesso em: 14 maio 2020.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Cartografia do Ceará.** 2007. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 19 ago. 2020.

KLADDEC, Robert H.; KNIGHT, Robert L.; VYMAZAL, Jan; BRIX, Hans; COOPER, Paul; HABERL, Raimund. **Constructed Wetlands for Pollution Control:** process, performance, design and operation. Londres: Iwa Published, 2006. 171 p. Disponível em: <http://www.iwapublishing.com>. Acesso em: 14 maio 2020.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D.. **TREATMENT WETLANDS.** 2. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2009. 366 p.

LI, Xuhui; GUO, Ruichao. Comparison of Nitrogen Removal in Floating Treatment Wetlands Constructed with *Phragmites australis* and *Acorus calamus* in a Cold Temperate Zone. **Water, Air, & Soil Pollution**, [S.I.], v. 228, n. 4, p. 131-139, 9 mar. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-017-3266-z>.

RESENDE, Rachel Germiniani; FERREIRA, Sindynara; FERNANDES, Luiz Flávio Reis. O saneamento rural no contexto brasileiro. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 1, p.131-150, 28 mar. 2018. IFSULDEMINAS (Instituto Federal do Sul de Minas). <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n120181027>. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br>. Acesso em: 02 maio 2020.

SEZERINO, Pablo Heleno; ROUSSO, Benny Zuse; PELISSARI, Catiane; SANTOS, Mayara Oliveira dos; FREITAS, Monique Nunes; FECHINE, Victor Ybarzo; LOPES, Ana Maria Beims. **WETLANDS CONSTRUÍDOS APLICADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO:** recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção. Tubarão: Fundação Nacional da Saúde - Funasa, 2018. 56 p.

SIEGRIST, Robert L.. Treatment Using Constructed Wetlands. **Decentralized Water Reclamation Engineering**, [s.l.], p. 491-545, 28 out. 2016. Springer International Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-40472-1\\_10](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-40472-1_10).

SPERLING, M.; SEZERINO, P.H.. **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil.** *Boletim Wetlands Brasil*, Edição Especial, dezembro/2018. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <http://gesad.ufsc.br/boletins/>. Acesso em: 14 maio 2020.

WELLER, Nicholas A.; CHILDERS, Daniel L.; TURNBULL, Laura; UPHAM, Robert F.. Aridland constructed treatment wetlands I: macrophyte productivity, community composition, and nitrogen uptake. **Ecological Engineering**, [S.L.], v. 97, n. 1, p. 649-657, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.044>.