RG&SA
Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental
Artigos

EXECUÇÃO DE WETLAND CONSTRUÍDO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO EM PROPRIEDADE RURAL

http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e12018418-446

Flávia Lissa Nagamati[1]
João Jorge Fukuchima Santos[2]
Thiago Augusto Mendes[3]

RESUMO

As wetlands construídas são sistemas projetados com o intuito de maximizar o potencial de melhoria da qualidade do efluente. Sendo assim, este artigo objetiva executar e verificar a eficiência desse sistema, implantado na chácara Córrego das Onças, município de Itapuranga, estado de Goiás, tendo como referência as análises dos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD), pH e turbidez. O tipo de wetland construído implantada foi vertical de fluxo subsuperficial ascendente, vegetada com taboa (*Typha latifólia L.*) devido sua tolerância a áreas úmidas e abundância de ocorrência na região. A wetland construído apresentou boa eficiência na remoção de $DBO_{5,20}$ (em média cerca de 79,0%), bom desenvolvimento das macrófitas e baixo custo de implantação, sendo considerada tecnicamente viável para tratamento de efluentes em ambientes rurais.

Palavras-chave: saneamento básico; sistemas alagados; zona de raízes.

[1] Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC Goiás, Goiânia. E-mail: flavialissa@hotmail.com
[2] Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC Goiás, Goiânia. E-mail: joaojorgef@gmail.com
[3] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, IFG, Campus Aparecida de Goiânia e Pontifícia Universidade Católica de Goiás, PUC Goiás, Goiânia. E-mail: engenhoaugusto@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de vida de uma população está ligada diretamente às boas condições sanitárias, em contraposição, grande parte do efluente gerado no Brasil não passa por nenhum tipo de tratamento, e são lançados diretamente no meio ambiente, contaminando assim o solo, os lençóis freáticos e os rios. Dessa forma, os efluentes sanitários são considerados as principais fontes poluidoras de grande parte dos rios brasileiros, especialmente aqueles situados nas proximidades de zonas urbanas (SILVA *et al.*, 2011).

A escassez de recursos e a má informação da população em relação a saneamento básico levam as pessoas a descartarem os efluentes de forma inadequada no meio ambiente. Devido a esse problema, vê-se a necessidade de buscar alternativas para a atenuação dos problemas ligados à disposição inadequada de efluentes, com a implantação de sistemas de tratamento, minimizando os impactos.

Para as localidades onde não há rede coletora de esgoto, uma alternativa para o seu tratamento é a *wetland* construído, um método de tecnologia simples e, que vem sendo cada vez mais pesquisado devido aos resultados satisfatórios já constatados.

As águas residuais de habitações e atividades humanas têm sido o principal alvo de muitas tecnologias de tratamento, incluindo tratamento por *wetlands* construídos. Inicialmente, a maioria das aplicações eram voltadas para o tratamento das águas residuais domiciliares e municipais. No entanto, há um número crescente de aplicações que tratam desde águas provenientes de animais e industrias, alagamentos urbanos e agrícolas, remediação de águas de minas até águas subterrâneas. Essa diversificação acrescenta uma segunda dimensão para o crescimento do uso do tratamento tipo *wetland* construído (Kadlec e Wallace, 2009).

As *wetlands* construídas são sistemas projetados visando à maximização do potencial de melhoria da qualidade da água, na qual se utiliza plantas aquáticas (macrófitas) em substratos como areia, brita ou outro material inerte, onde ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos. Esse sistema de tratamento de esgoto é considerado um processo natural de depuração do efluente, uma vez que as plantas substituem os produtos químicos (SOUSA *et al*., 2001).

A *wetland* construída é a tentativa de reprodução do ambiente natural, além de serem dimensionadas e implantadas em locais definidos para o tratamento de efluente, as mesmas podem ser combinadas a tratamentos tradicionais, tais como fossa séptica e filtro biológico.

Existem vários tipos de *wetlands* construídas, como: horizontal de fluxo subsuperficial, horizontal de fluxo superficial, vertical de fluxo subsuperficial e vertical de fluxo superficial. A *wetland* construída também pode ser chamada de filtros plantados com macrófitas, leito cultivado, zona de raízes, sistemas alagados construídos (SAC) ou banhados artificiais.

Desta forma, este trabalho tem como propósito dimensionar, executar e avaliar a eficiência (monitorar) do sistema de *wetland* construída do tipo vertical de fluxo subsuperficial ascendente, composto também por uma fossa séptica e caixas de passagem, visando o tratamento dos efluentes domésticos gerados nas residências da chácara Córrego das Onças, localizada no município de Itapuranga, estado de Goiás. A eficiência do sistema será comprovada com base nas análises físico-químicas dos parâmetros de potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD) e na remoção de demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), demanda química de oxigênio (DQO) e turbidez.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Executando intervenções no sistema de tratamento já existente nas duas residências rurais localizadas no município de Itapuranga, Goiás, foi possível implantar no sistema de *wetland* construído. Por se tratar de zona rural, o sistema de tratamento de efluente não conta com rede coletora e os efluentes gerados pelas residências rurais eram descartados em sistema do tipo fossa negra.

Em decorrência da execução do sistema *wetland* construído, foi possível desativar as duas fossas negras existentes, e o efluente gerado pelas duas residências, transportado para o novo sistema de tratamento de esgoto, agora fossa séptica e *wetland* construído.

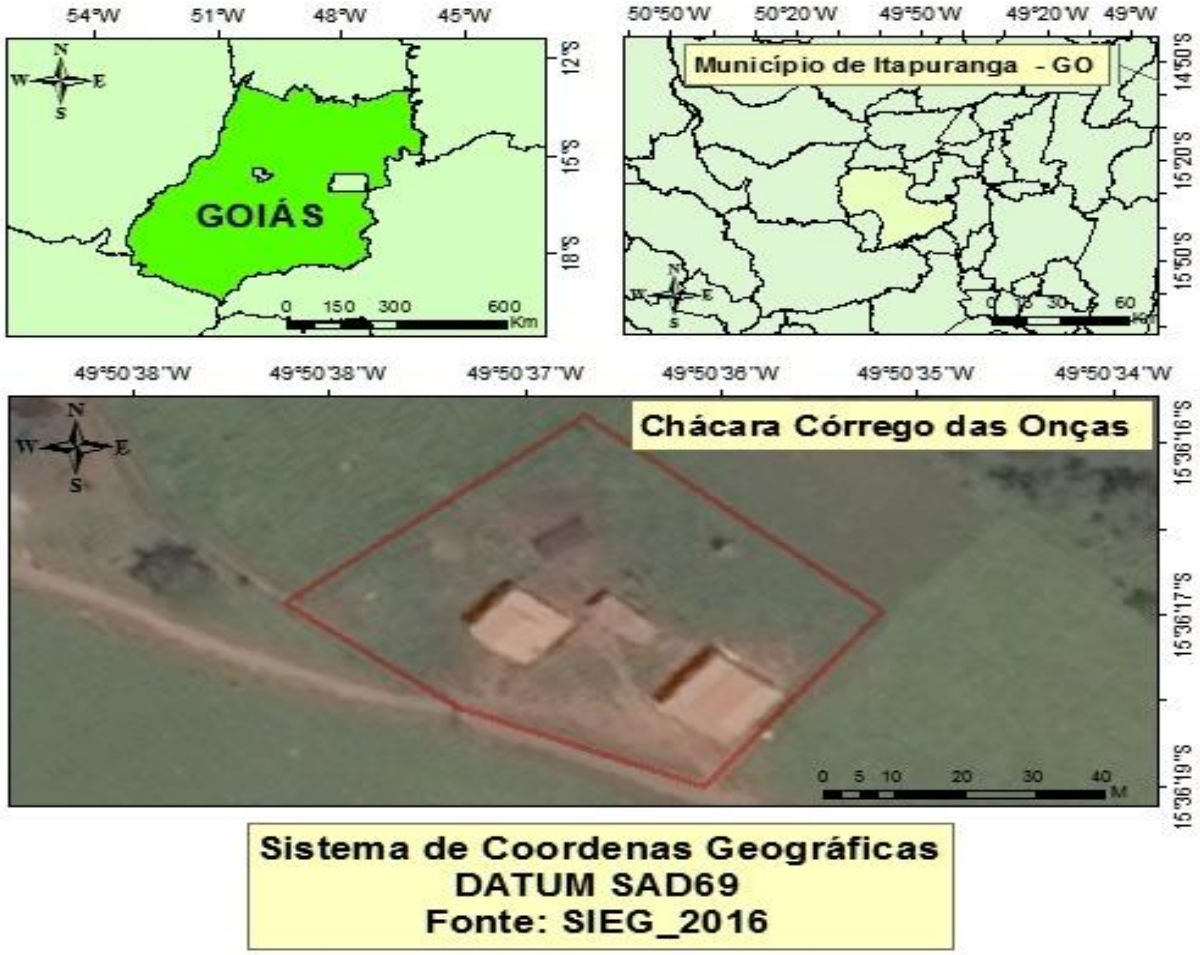
A implantação do sistema consistiu primeiramente na escolha da área e tipo de *wetland* construído, seguindo com o dimensionamento do sistema (fossa séptica, caixas de passagem e de distribuição, de saída e a *wetland* construído), execução e monitoramento.

2.1 Escolha da área para implantação do sistema *wetland* construído

A área de implantação do projeto do sistema de tratamento de efluentes domésticos rural proposto está localizada na chácara Córrego das Onças, de propriedade particular que autorizou a implantação do sistema, situada aproximadamente a 12 km da cidade de Itapuranga – Goiás (Figura 1).

Outros fatores que favoreceram na escolha da área foram: facilidade de acesso e aquisição de materiais de construção e disponibilidade de taboas (*Typha latifólia L.*) em fazendas vizinhas (espécie vegetal cedidas pelos proprietários), além do terreno possuir declividade favorável para a implantação do projeto.

Figura 1 – Local de implantação da *wetland* construído (chácara Córrego das Onças, Itapuranga – GO)

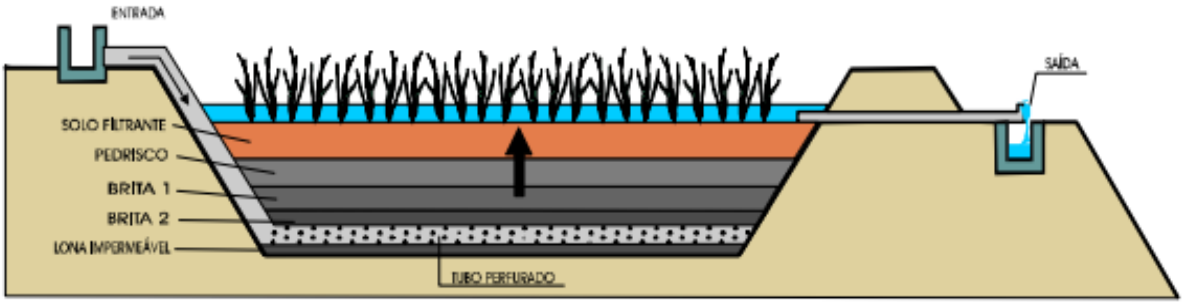


2.2 Escolha do tipo de *wetland* construído

O tipo de *wetland* construído utilizado nesta pesquisa foi vertical de fluxo subsuperficial ascendente, pois, de acordo com Cooper (1999) a área requerida para tratamento secundário da *wetland* construído horizontal é de 5 a 10 m² pessoa $^{-1}$, enquanto a *wetland* construído vertical necessita de uma área de 1 a 2 m² pessoa^{-1}. Queluz (2016), apresentou a *wetland* construído de fluxo horizontal como um sistema com limitada remoção de coliformes, acúmulo de fósforo, metais e compostos orgânicos. Como critério final para escolha do tipo de *wetland* construído, Silva (2007) apresenta a *wetland* construído de fluxo vertical como um sistema mais eficiente para o tratamento de esgoto de climas tropicas e temperados, demandando menor área superficial e satisfatória remoção de $DBO_{5,20}$, DQO, fósforo, nitrato e amônia (cerca de 60,0%).

No que se refere ao fluxo, o mesmo foi subsuperficial ascendente, pois o efluente a ser tratado é introduzido sob o meio suporte da *wetland* construído, no qual será filtrado de baixo para cima, evitando a geração de odores no local e proliferação de insetos, uma vez que o efluente chegará à superfície já tratado, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2 – *Wetland* construído de fluxo vertical ascendente



Fonte: (Salati, 1997; Salati, 2003)

O processo de depuração da *wetland* construído consiste em passar o efluente em meio filtrante (neste caso, brita nº 01, areia grossa lavada e solo do próprio local) de baixo para cima, possibilitando assim que a vegetação finalize o

processo de tratamento do efluente, através dos processos de fixação de nutrientes e matéria orgânica (pelas raízes) e evapotranspiração, principalmente.

2.3 Dimensionamento do sistema de tratamento de efluentes (geral)

O sistema proposto e implantado é constituído por uma fossa séptica, uma caixa de distribuição (entrada da *wetland* construído), a *wetland* construído do tipo vertical de fluxo subsuperficial ascendente e uma caixa de passagem (saída da *wetland* construído).

2.3.1 Fossa séptica

Para dimensionamento da fossa séptica, utilizou-se a Equação 1, proposta pela Norma Brasileira - NBR 7.229 (ABNT, 1993).

$$V = 1000 + N\left(CT + KL_f\right) \quad (1)$$

onde: V é o volume total do sistema (L); N é o número de pessoas; C é a contribuição de esgoto (L pessoa^{-1} dia^{-1}); T é o período de detenção (dias); K é a taxa de acumulação total de lodo digerido em função do intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio (dias); L_f é a contribuição de lodo fresco (L pessoa^{-1} dia^{-1}).

O elemento fossa séptica foi dimensionado seguindo recomendações da NBR 7.229, sendo: a) a geração de efluentes de 6 (seis) pessoas, apesar de serem somente 3 (três) moradores. Essa consideração na possível variação do número de contribuintes é necessária, pois, em algumas épocas do ano, a chácara recebe visitantes ou prestadores de serviço; b) taxa de acumulação total de esgoto digerido (K = 57 dias), considerando temperaturas maiores que 20ºC e período de limpeza de 1 ano (ABNT, 1993, pg 5); c) contribuição de esgoto (C = 100 L pessoa^{-1} dia^{-1}) para ocupações permanentes de baixo padrão (ABNT, 1993, pg 4); d) contribuição de lodo fresco (L_f = 1,0 L pessoa^{-1} dia^{-1}) para ocupações permanentes de baixo padrão (ABNT, 1993, pg 4) e e) período de detenção (T = 1 ano), pois, a contribuição diária total de despejos é maior que 1.500 litros (ABNT, 1993, pg 4).

2.3.2 Caixas de passagem e distribuição

O dimensionamento das caixas de passagem e de distribuição seguiram a NBR 8.160 (ABNT, 1999), ficando com o tamanho padrão (0,60 x 0,60 x 0,15 m).

2.3.3 Wetland construído

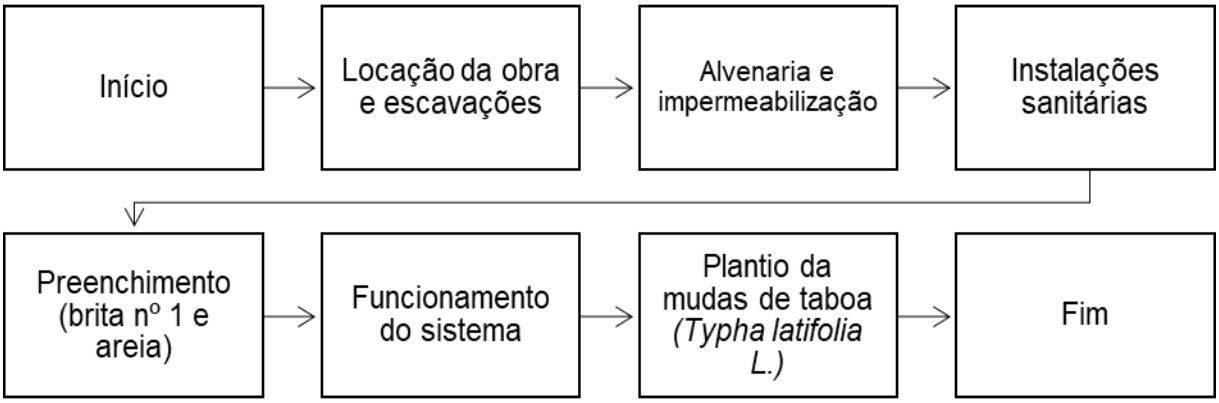
Em relação a profundidade e geometria do sistema, Sezerino *et al.* (2015) verifica como profundidade valores entre 0,50 m e 1,50 m e uma geometria retangular, com comprimento bem superior à largura, a fim de promover uma tendência de escoamento de fluxo pistão. Para o dimensionamento da *wetland* construído utilizou-se da proposta de Brix e Arias (2005), que adota 2 m^2 $pessoa^{-1}$ e 0,70 m de profundidade, em função do número de contribuintes, do tipo de *wetland* e área disponível para a implantação do sistema.

2.4 Execução do sistema *wetland* construído e funcionamento

As obras para a execução do sistema *wetland* construído perfizeram 10 dias de trabalho. Nesse período não está incluso o tempo de plantio das macrófitas (cerca de 1 hora de trabalho). O plantio da vegetação foi realizado somente após o preenchimento e saturação do sistema pelo efluente, uma vez que essas plantas necessitam de um ambiente com inundação contínua e alto teor de carga orgânica.

A execução do sistema *wetland* construído seguiu as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 3, consistindo nas etapas de locação e escavações, alvenaria e impermeabilização, instalações sanitárias, preenchimento, funcionamento do sistema e plantio.

Figura 3 – Fluxograma de estruturação do sistema *wetland* construído



Após a execução da *wetland* construído foi iniciado o funcionamento do sistema. Nesta fase, foi determinado o tempo de detenção hidráulico (TDH) utilizando-se a Equação 2.

$$V = \frac{TDH.Q}{\eta} \quad (2)$$

onde: *TDH* é o tempo de detenção hidráulico (dias); *V* é o volume total da *wetland* construído (L); η é a porosidade equivalente do meio suporte; *Q* é a vazão média de entrada de efluente na *wetland* (L dia^{-1}).

O TDH ocorre em função do meio filtrante, do volume do filtro e da vazão que se deseja tratar. De acordo com Sezerino *et al*. (2015) o TDH varia entre 0,5 e 12,3 dias. Segundo Poças (2015), o TDH contribui significativamente para a capacidade de remoção de nutrientes de um sistema de *wetlands* construídas, apresentando melhores resultados para sistemas que usaram TDH maiores.

As fossas negras utilizadas pelas residências foram desativadas após o funcionamento do sistema proposto, através da instalação de caixas de passagem reversíveis, permitindo que o efluente gerado seja conduzido ao sistema de tratamento. A recepção dos efluentes após o desvio se dá na fossa séptica, dando início ao preenchimento e funcionamento do sistema. Para aperfeiçoar o funcionamento da fossa séptica foi instalada uma chicana, dispositivo importante no controle das condições de mistura e de saída, fundamental para a retenção de sólidos. Dessa forma, evita-se a passagem de escumas, sólidos flotantes e gordura para a *wetland* construído.

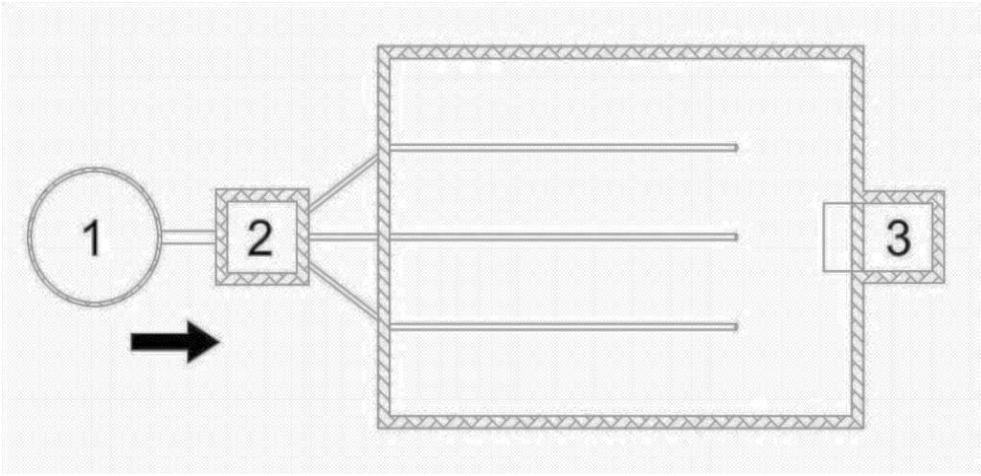
2.5 Monitoramento

O monitoramento do sistema *wetland* construído consistiu na avaliação da estrutura física das caixas de passagem e distribuição, da fossa séptica e da *wetland* construído, bem como a avaliação da eficiência a partir das análises do efluente bruto e tratado. Esse procedimento também inclui a avaliação do desenvolvimento das macrófitas utilizadas (*Typha latifólia L.*) e a limpeza e retirada de espécies invasora na unidade da *wetland* construído.

O desenvolvimento das plantas foi analisado a partir da altura de corte (30 cm) e o aparecimento de novos brotos nos nós dos rizomas, considerando como satisfatório, uma taxa de mortandade de cerca de 5%.

Para avaliar a eficiência do sistema, foram realizadas análises dos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH) e turbidez. Para cada bateria de ensaio realizou-se 3 (três) coletas em pontos diferentes do sistema, sendo o Ponto 1 a entrada da fossa séptica (efluente bruto), o Ponto 2 a caixa de distribuição, entre a fossa séptica e a *wetland* construído, e, por último, o Ponto 3 sendo a caixa de passagem (após a *wetland* construído), conforme Figura 4.

Figura 4 – Pontos de coleta para monitoramento do efluente bruto e tratado e sentido do fluxo



A coleta das amostras de efluente nos pontos supracitados foi simples e pontual, sendo as mesmas realizadas utilizando Equipamentos de Proteção Individual (EPI), evitando o contato direto com o efluente bruto e tratado.

Para a coleta no Ponto 1, foi necessário remover a tampa da fossa séptica, para posteriormente realizá-la. Esse processo foi feito de forma manual, utilizando dispositivo coletor de efluentes, em seguida acondicionados em frascos específicos para análises dos parâmetros.

A coleta do Ponto 2 foi realizada na caixa de distribuição (entre a fossa séptica e a *wetland* construído), também de forma manual. Visto que, a vazão do efluente na caixa de distribuição é pequena, a coleta foi feita com uma seringa. Para realizar esse processo, foi necessário retirar a tampa da caixa de distribuição e em seguida, coletar a amostra, sendo armazenada conforme descrito para o Ponto 1.

O Ponto 3 foi coletado na caixa de saída (após a *wetland* construído), cujos procedimentos foram os mesmos descritos para o Ponto 2.

Após as coletas das amostras, foram realizadas em campo as análises dos parâmetros de oxigênio dissolvido (OD), pH e turbidez, utilizando-se de aparelhos portáteis devidamente calibrados, respectivamente, oxímetro, marca Digimed, modelo DM-4P; medidor de pH portátil, marca Digimed, modelo DM-2P e turbidímetro, marca Digimed, modelo DM-TU, os quais foram disponibilizados pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC - Goiás).

As amostras coletadas e armazenadas nos frascos específicos de demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$) e demanda química de oxigênio (DQO) foram encaminhadas para o laboratório de análises de águas e efluentes Aqualit Tecnologia em Saneamento, localizado na cidade de Goiânia, estado de Goiás. Todos os parâmetros físico-químicos foram avaliados seguindo metodologia propostas por *Standard Methods for the Determination of Water and Wastewater* da APHA (2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de projeto adotados para a determinação do volume e dimensionamento da fossa séptica (Equação 1), seguindo posteriormente com o dimensionamento da *wetland* construído. Sendo assim, determinou-se o volume de projeto da fossa séptica (1.942 litros).

Tabela 1 – Dados de entrada (parâmetros de projeto) para a determinação do volume diário de efluentes

Parâmetros	***N*** **(pessoas)**	***L_f*** **(L pessoa^{-1} dia^{-1})**	***C*** **(L pessoa^{-1} dia^{-1})**	***K*** **(dias)**	***T*** **(dias)**	***H_{min} - H_{max}**** **(m)**
Valores Adotados	6,0	1,0	100,0	57,0	1,0	1,2 – 2,2
Fonte/Referência	Projeto	NBR7.229/1993	NBR7.229/1993	NBR7.229/1993	NBR7.229/1993	NBR7.229/1993

* alturas mínimas e máximas para contribuição total de efluentes até 6.000 litros

Não foi considerado no projeto da fossa séptica o volume de gases (V_g), para não haver superdimensionamento, pois, já foi considerado como coeficiente de segurança, o número maior de pessoas (temporariamente). Assim, foi possível dimensionar a fossa séptica, considerando geometria cilíndrica de diâmetro 1,10 m, perfazendo uma profundidade útil de 2,00 m (atendendo a Tabela 1).

O dimensionamento da *wetland* construído segue a proposta de Brix e Arias (2005), que sugere 2 m² pessoa^{-1} e 0,70 m de profundidade para este tipo de *wetland* construído. Portanto, a área útil da *wetland* construído é de 12 m² (3,00 x 4,00 m). As Figuras 5 e 6 ilustram o sistema geral de tratamento de efluentes proposto, destacando a geometria, tamanhos e distância entre os elementos, principalmente, a *wetland* construído do tipo vertical de fluxo subsuperficial ascendente.

Figura 5 – Planta baixa do sistema *wetland* construído

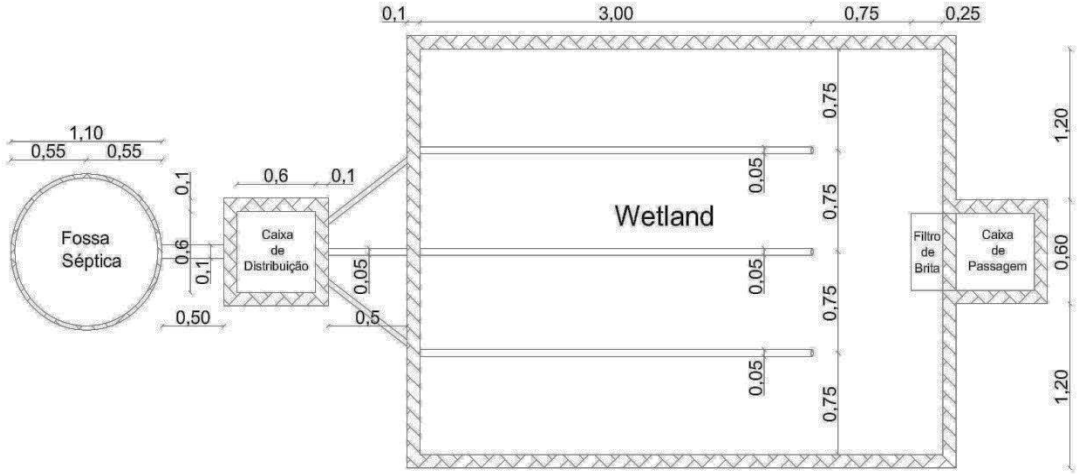
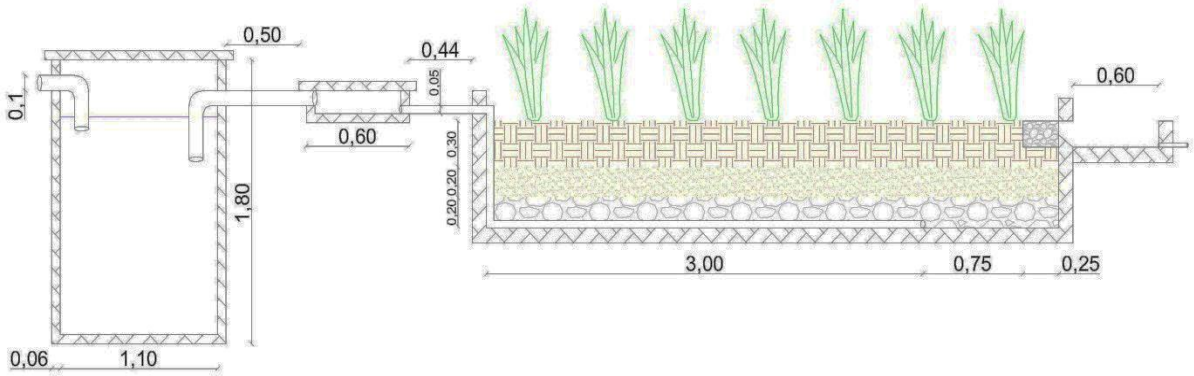


Figura 6 – Corte do sistema *wetland* construído



De acordo com o projeto do sistema de tratamento de efluente apresentado (Figuras 5 e 6), pode-se determinar o volume útil da *wetland* construído, ou seja, 8.400 litros. Assim, para uma vazão de entrada de efluente na *wetland* construído de 600 L dia^{-1} (σ = 80,0) e porosidade de 50% (0,5), o tempo de detenção hidráulico (*TDH*) pode ser calculado (Equação 2), sendo de 7,0 dias. Em decorrência da vazão de entrada diária da *wetland* construído não ser exatamente a considerada, observou-se *TDH* de 12 dias.

Comparado com o sistema convencional (fossa séptica + sumidouro) sua engenharia de construção é simples. Para sua construção, o solo foi escavado a uma profundidade de 0,70 m e impermeabilizado a fim de evitar que o efluente contamine o solo. As próximas etapas consistiram na instalação da rede hidráulica (tubos perfurados) e preenchimento do meio filtrante (brita). Com o sistema montado procedeu-se o plantio das mudas, utilizou-se espécie já presente na região e indicada para o sistema *wetland* construído.

3.1 Locação e escavações

O local de implantação do sistema *wetland* construído na chácara Córrego das Onças (Itapuranga, Goiás) teve como parâmetros principais de escolha: a) adaptabilidade do sistema já implantado e b) declividade propícia e menor distância possível de encontro dos efluentes gerado pelas duas residências até fossa séptica, permitindo assim, a condução dos mesmos com menores obstáculos (Figura 7).

Após a definição do local de instalação, foi realizada a limpeza e retirada de gramíneas e materiais grosseiros, possibilitando o início das escavações da fossa séptica e da *wetland* construído. Também nessa etapa, realizaram-se as escavações para a passagem das tubulações hidráulicas (canos) responsáveis por conduzir o efluente gerado nas residências até o sistema de tratamento. As ferramentas utilizadas nessa etapa foram do tipo manual, ou seja, pás, enxadas, enxadões, colher de pedreiro, picaretas, talhadeiras, trena e carrinho de mão.

Figura 7 – Locação e escavações para fossa séptica e instalações sanitárias

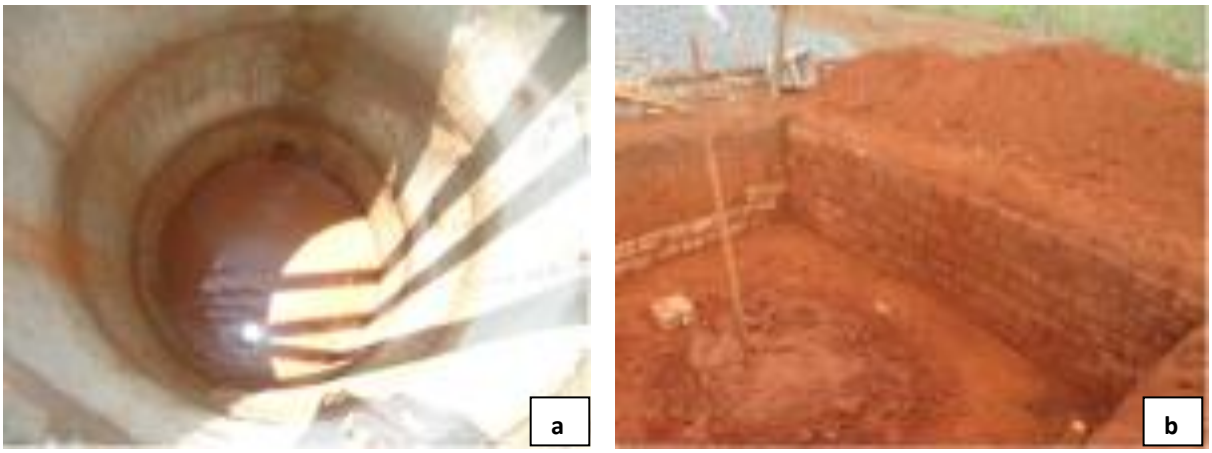
3.2 Alvenarias e impermeabilização

Para a construção da fossa séptica utilizou-se quatro manilhas de 1,10 m de diâmetro por 0,50 m de altura, totalizando 2,0 m de profundidade, conforme recomenda ABNT (1993), sendo uma delas com fundo (última manilha). Para evitar vazamento do efluente, foi necessário impermeabilizar as regiões de encaixe das manilhas com revestimento liso conforme a Figura 8a. A utilização de manilhas para impermeabilização da fossa séptica teve como propósito a redução dos custos e de tempo na implantação desta unidade de tratamento.

A execução das alvenarias da *wetland* construído consistiu na utilização de blocos cerâmicos maciço e massa de adobe (terra e água), visando à economia na implantação do projeto, conforme Figura 8b. Posteriormente, para a impermeabilização, foi realizado o reboco em toda a *wetland* construído (laterais e fundo) e em seguida coberto por uma lona de 200 micras, aterrada 0,30 m em toda a borda da *wetland* construído. Para proteger as extremidades da lona e evitar a

entrada de água proveniente do escoamento superficial, construiu-se uma pequena parede de contenção em bloco cerâmico maciço e concreto, com aproximadamente 0,10 m de altura.

Figura 8 – Execução das alvenarias a) fossa séptica; b) *wetland* construído



Para evitar a saída de solo superficial componente do meio suporte, foi implantada uma caixa de brita nº 1 (filtro de brita), no interior da *wetland* construído contígua ao vertedouro e à caixa de passagem (saída).

As caixas de distribuição e passagem foram construídas com blocos cerâmicos maciços e revestimento liso. As ferramentas utilizadas foram: colher de pedreiro, desempenadeiras, carrinho de mão, pás e enxadas.

3.3 Instalações sanitárias

Anteriormente, o efluente doméstico era descartado em duas fossas negras, uma para cada residência. Com a implantação do sistema proposto foi necessário construir duas caixas de passagens, desviando o efluente gerado para a fossa séptica, resultando na desativação das fossas negras. O efluente gerado é direcionado para a caixa de distribuição, que o distribuí para a *wetland* construído. Em caso de manutenção do sistema, a fossa séptica poderá ser ativada, temporariamente.

Os canos utilizados para conduzir o efluente gerado nas duas residências até a fossa séptica e da fossa séptica para a caixa de distribuição foram de PVC soldável, diâmetro de 100 mm.

A caixa de distribuição tem como finalidade conduzir o efluente para a *wetland* construído de maneira uniforme. Para a entrada da caixa foi utilizado um cano de 100 mm, e para a saída foram utilizados três canos de 50 mm, como ilustra a Figura 9.

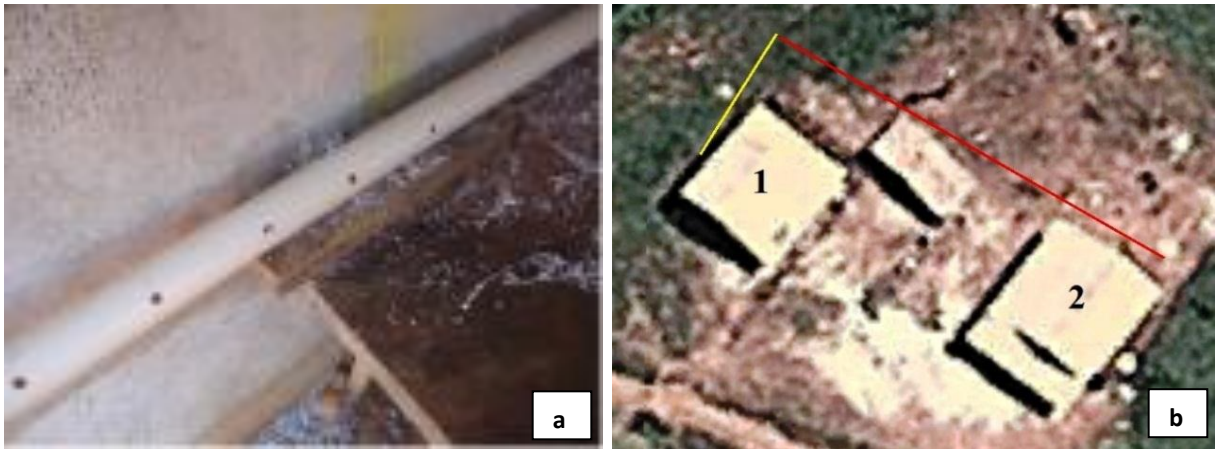
Figura 9 – Caixa de distribuição e instalações sanitárias

Para a distribuição do efluente no interior da *wetland* construído utilizaram-se canos de PVC 50 mm, sendo os mesmos perfurados com furadeira, aleatoriamente ao longo do seu comprimento (3 m) (Figura 10a). De maneira a distribuir uniformemente o efluente e de acordo com o tipo de *wetland* construído escolhida, os canos foram dispostos no fundo e paralelamente ao comprimento da *wetland* construído, mantendo distância de 0,75 m entre eles.

Para encaixar os canos responsáveis por conduzir o efluente para o interior da *wetland* construído, foram utilizados joelhos de 90º, diâmetro de 50 mm e para evitar a entrada de brita no interior dos canos foram colocados tampões de 50 mm em suas extremidades.

Foram utilizados 50 metros de cano PVC soldável (esgoto) para a condução do efluente gerado nas residências até o sistema *wetland* construído, sendo 40 metros para a casa 1 (linha vermelha) e 10 metros para a casa 2 (linha amarela), conforme Figura 10b. A ferramenta utilizada nesta etapa foi somente furadeira.

Figura 10 – Detalhes das instalações sanitárias a) tubos de distribuição (perfurados) do efluente; b) disposição das casas 1 e 2 (Google Earth, 2016)

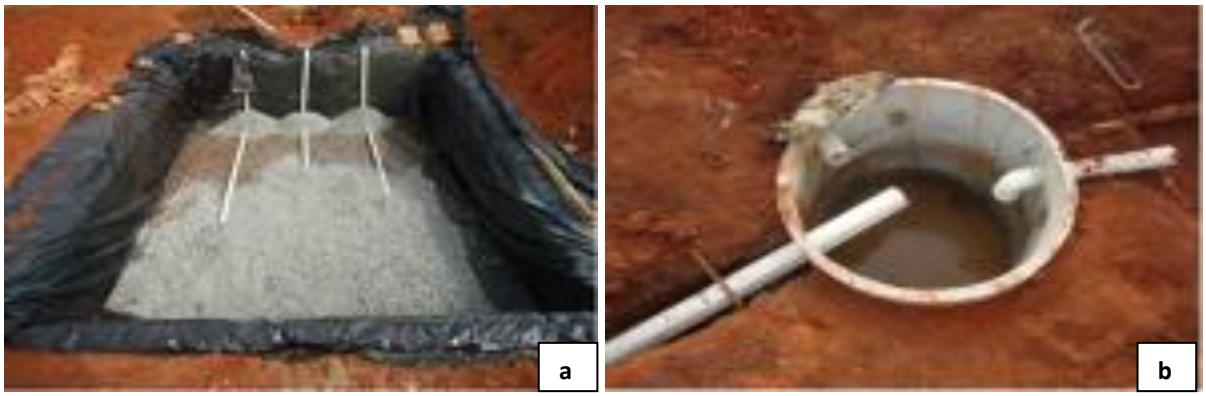


3.4 Preenchimento da *wetland* construído e funcionamento

Após a instalação de toda a canalização no interior da *wetland* construído, realizou-se o preenchimento da mesma (Figura 11a). O preenchimento foi dividido em 3 (três) camadas, sendo a primeira com uma altura de 0,20 m de brita nº 1, em seguida 0,20 m de areia grossa lavada e por fim 0,30 m de solo do próprio local, totalizando 0,70 m de profundidade útil.

As ferramentas utilizadas nesse procedimento foram: pás, carrinho de mão e a enxadas. Ao finalizar o seu preenchimento, com os materiais inertes acima descritos, liberou-se o fluxo de efluentes para o sistema, dando início ao seu funcionamento, como pode-se perceber na Figura 11b, para a fossa séptica.

Figura 11 – Preenchimento dos sistemas de tratamento a) wetland construído; b) detalhes das chegadas e saída do efluente na fossa séptica



3.5 Plantio

A espécie de macrófita selecionada para o plantio na unidade de *wetland* construído foi a taboa (*Typha latifólia L.*), devido à grande disponibilidade local e facilidade na obtenção da mesma na região de implantação do projeto.

Após a saturação do sistema, foi realizada a coleta de taboas (*Typha latifólia L.*), nos brejos (ambiente natural alagado) localizados em fazendas vizinhas situadas também em Itapuranga - GO. A coleta foi realizada manualmente, com cuidado para não danificar as partes anatômicas das macrófitas, especialmente as raízes e os rizomas.

A coleta seguiu recomendações de Kickutch (2008) onde os rizomas coletados possuíam entrenó intacto com dois nós laterais, descartando-se as partes terminais danificadas. Também foi deixado botão de cerca de 30 cm em cada rizoma a fim de se garantir melhor adaptação da taboa na fase de plantio.

Para plantar as taboas (*Typha latifólia L.*), as melhores mudas foram selecionadas e procedeu-se com o plantio. Foram plantadas cerca de 70 mudas da espécie, com espaçamento de 0,20 m entre elas (Figura 12).

Antes do plantio, o efluente já estava sendo conduzido para o sistema durante 33 dias, levando em consideração o término da construção do sistema *wetland* construído e início do funcionamento do mesmo. Esse período foi necessário para a formação de ambiente mais adequado para as macrófitas.

Figura 12 – Projeto da *wetland* construído implantado (destaque para as taboas *Typha latifólia L.* plantadas)

Algumas mudas de taboas (*Typha latifólia L.*) não sobreviveram na unidade *wetland* construído (cerca de 3,0%) podendo estar relacionado à alta carga de matéria orgânica e de nutrientes a que foram submetidas, tornando o ambiente inadequado e com características tóxicas em relação ao limite de tolerância das macrófitas ou falta de água, relacionados à períodos de estiagem.

3.6 Monitoramento e orçamento da *wetland* construído

Ao monitorar o sistema *wetland* construído, verificou-se que as caixas de passagens e a fossa séptica não apresentavam nenhum problema pós-construção que poderia prejudicar o funcionamento do sistema. Já as taboas (*Typha latifólia L.*) plantadas, tiveram bom desenvolvimento, apesar de algumas não sobreviverem e terem que ser substituídas (cerca de 5,0%).

Pode-se considerar que a adaptação da espécie utilizada (*Typha latifólia L.*) ao sistema foi satisfatória, pois, houve o desenvolvimento de novos brotos, alongamento do palmito e aparecimento foliar em tempo hábil (30 dias) após o plantio da macrófita.

Para o monitoramento da eficiência do sistema, realizou-se as análises dos parâmetros demanda bioquímica de oxigênio ($DBO_{5,20}$), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH) e turbidez. Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises para cada parâmetro avaliado e ponto de coleta.

A primeira bateria de ensaio não foi realizada em campo, visto que não havia equipamentos portáteis disponíveis para serem utilizados no momento (época). Portanto as análises de pH, OD e turbidez foram feitas no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal de Goiás – UFG, entretanto o mesmo não possuía equipamento para avaliar o parâmetro de OD.

Na segunda bateria de ensaio, a partir da disponibilização dos aparelhos portáteis oxímetro, turbidímetro e pH-metro pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC - Goiás), foi possível realizar as análises em campo de OD, turbidez e pH. As análises dos demais parâmetros ($DBO_{5,20}$ e DQO), de todas as baterias de ensaio, foram realizadas pela empresa Aqualit Tecnologia em Saneamento.

Tabela 4 – Resultados das análises do efluente

Bateria de Amostra	Ponto	pH	OD (mg/l)	Turbidez (NTU)	Eficiência Turbidez (%)	$DBO_{5,20}$ (mg/l)	Eficiência $DBO_{5,20}$ (%)	DQO (mg/l)	Eficiência DQO (%)
1 (Primeira coleta)*	1 (Efluente Bruto)	6,99	-	56,2	-	1.200,0	-	2.347,8	-
	2 Fossa Séptica (entrada)	7,19	-	43,7	22,24	305,0	74,5	514,7	78,0
	3 *Wetland* (saída)	7,28	-	15,1	73,13	36,6	96,9	81,5	96,5
2 (17 dias)*	1 (Efluente Bruto)	6,67	0,23	87,5	-	460,0	-	860,0	-
	2 Fossa Séptica (entrada)	6,88	0,32	86,2	1,40	220,0	52,1	377,8	56,0
	3 *Wetland* (saída)	6,82	3,24	24,0	72,5	170,0	60,0	197,4	77,0
3 (31 dias)*	1 (Efluente Bruto)	7,34	0,00	145,0	-	300,0	-	569,2	-
	2 Fossa Séptica (entrada)	7,47	0,00	154,0	0,00	260,0	13,3	314,0	44,9
	3 *Wetland* (saída)	7,69	4,14	33,7	76,70	60,0	80,0	160,0	72,0

*significa o tempo (em dias) da realização da análise após o início de funcionamento do sistema

Com relação aos parâmetros monitorados (Tabela 4), não houve variações significativas para o potencial hidrogeniônico (pH) do efluente bruto e tratado, visto que de acordo com Jordão e Pessoa (2011) estão dentro dos valores admitidos para efluentes domésticos. Já para o oxigênio dissolvido (OD) houve variações perceptíveis indicando a melhora da qualidade do efluente final, podendo ser associado à capacidade da macrófita utilizada em transportar oxigênio para o meio suporte através do seu sistema de raízes.

A eficiência na remoção da $DBO_{5,20}$, em média, foi de 79,0% com concentração de efluente final de 88,86 mg l^{-1}, atendendo às exigências da resolução CONAMA 430/2011.

A variação de eficiência, para remoção de $DBO_{5,20}$, na fossa séptica verificado na terceira bateria pode ser explicada pela intermitência de geração de efluente lançado no sistema e pelo tipo de coleta (simples) realizada para as amostras. Devido à sistemática de funcionamento da fossa séptica houve uma concentração de carga orgânica retida na unidade, não seguindo o fluxo hidráulico.

Os valores da $DBO_{5,20}$ e DQO da amostra do Ponto 1 (efluente bruto) coletado na primeira bateria é consideravelmente alto para efluente doméstico. Estes valores estão relacionados à geração de efluente com alta concentração de

detergente, surfactantes e matéria orgânica, devido à cocção de alimentos (preparo de refeição) e lavagem de roupas nas residências no momento da coleta, sendo a mesma simples e pontual. Tais ações também influenciaram na variação de remoção de turbidez por parte da fossa séptica.

Quando se compara a eficiência do sistema avaliado (*wetland* construído com fluxo vertical ascendente) com os outros tipos de *wetlands* construídas, sejam com relação à remoção de $DBO_{5,20}$ (78,9%), DQO (81,8%) e turbidez (74,1%), percebe-se que esta configuração atende à legislação brasileira e acompanha a tendência de qualidade no tratamento de efluentes domésticos, com exceção ao parâmetro turbidez (Tabela 5).

Tabela 5 – Eficiência das diferentes concepções de *wetland* construídas por diferentes autores

Autor/Ano	**Tipo *wetland***	**Tipo efluente**	**Eficiência $DBO_{5,20}$ (%)**	**Eficiência DQO (%)**	**Eficiência Turbidez (%)**	**pH**
Costa (2003)	Fluxo subsuperficial descendente	Córrego poluído por esg. dom.	88,0	-----	-----	7,30
Almeida *et al.* (2007)	Fluxo subsuperficial descendente	Doméstico	92,0	89,0	-----	-----
Silva *et al.* (2008)	Fluxo descendente	Doméstico	88,0	91,0	-----	7,20
Paoli (2010)	Fluxo subsuperficial descendente	Urbano (pós reator UASB)	66,0	69,0	87,0	7,36
Pulschen *et al.* (2013)	Descendente	Urbano	93,0	95,0	89,0	7,20
Ferreira e Saron (2013)	Fluxo vertical descendente	Doméstico	93,0	-----	Não alterou	7,10
Ceve (2015)	Fluxo subsuperficial descendente	Urbano (sintético)	-----	73,0	88,0	7,35
Souza (2015)	Fluxo subsuperficial descendente	Doméstico	70,0	76,5	88,3	-----

A menor eficiência na remoção da turbidez comparada com outros sistemas propostos por outros pesquisadores (Tabela 5) pode estar associada ao tipo de *wetland* construído (fluxo ascendente) utilizado, ou seja, o fluxo do efluente contrário ao efeito gravitacional impede ou prejudica a remoção da turbidez.

Assim, se o efluente final do sistema *wetland* construído fosse lançado em corpo hídrico receptor, estaria dentro dos padrões de lançamento preconizados pela resolução CONAMA 430/2011, que determina pH entre 5,0 e 9,0 e $DBO_{5,20}$ de 120 mg l^{-1}, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado caso o efluente de sistema de tratamento apresente eficiência de remoção mínima de 60,0% de $DBO_{5,20}$.

Ainda com relação ao efluente tratado pela *wetland* construído, este poderia ser utilizado em algumas aplicações na agricultura, como fertirrigação. Segundo Marques (2003), apesar de não haver legislação para o reuso de águas residuárias no Brasil, existem pesquisas sobre fertirrigação com efluentes de diferentes sistemas de tratamento de esgotos sanitários, cujos resultados são bastante promissores.

Apesar dos parâmetros de DQO e turbidez não constarem como padrões de lançamento pela resolução CONAMA 430/2011, os mesmos apresentaram resultados satisfatórios, quando comparados aos resultados encontrados por Almeida *et al.* (2007), Olijnyk *et al.* (2007), Paoli (2010) e Ceve (2015) (Tabela 5).

Com relação aos parâmetros monitorados (Tabela 4), os resultados podem ser considerados satisfatórios e comprovam a eficiência deste tipo de sistema *wetland* construído quando comparados aos parâmetros obtidos por outros pesquisadores (Tabela 5), mostrando similaridade entre os resultados de eficiência.

Com relação aos custos para adaptação (reconfiguração de todas tubulações sanitárias existentes) e execução de todo o sistema de tratamento de efluente, estes podem ser visualizados na Tabela 6. Os custos para a construção de todo o sistema proposto se comparado ao sistema individual de tratamento de esgoto doméstico comumente utilizado (fossa séptica + sumidouro) são próximos, tomando como base os preços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), data base novembro de 2016, desonerado, para a região de Goiás (Goiânia) e podem ser avaliados conforme Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Custos dos materiais e mão de obra utilizada na execução da *wetland* construído (preço de mercado, novembro de 2016, Itapuranga - GO)

Materiais	Quantidade e unidade	Valor (R$)
Cimento	5 Sacos	105,00
Manilhas	2 m	336,22
Tampa da fossa séptica	1 unidade	100,00
Areia grossa lavada	3 m³	217,50
Brita nº1	3 m³	144,84
Lona 200 micras (7 x 8 m)	7 m	31,22
Maciço cerâmico (tijolo comum)	9 m²	894,51
Canos PVC 100 mm	54 m	858,60
Canos PVC 50 mm	18 m	145,80
Joelhos 90º (50 mm)	6 unidades	60,24
Joelhos 90º (100 mm)	2 unidades	64,48
Tampão para cano (50 mm)	3 unidades	15,18
Mão de obra (servente + ajudante)	10 dias	150,00
TOTAL		**3.123,59**

Tabela 7 – Valores das composições de custos dos serviços para tratamento de efluente (fossa séptica + sumidouro) para comparação ao sistema (fossa séptica + *wetland* construído) – SINAPI, nov/2016

Código SINAPI	Elemento de Tratamento	Descrição da composição de custo de serviço	Valor (R$)
95463	Fossa séptica	Alvenaria de tijolo cerâmico maciço; Dimensões externas 1,90x1,10x1,40 m; Volume 1.500 litros; Tampa em concreto armado: espessura 8 cm.	1.264,48
74198/002	Sumidouro[1]	Alvenaria de tijolo cerâmico maciço: Diâmetro 1,40 m e altura de 5,0 m; Tampa em concreto armado: diâmetro 1,60 m e espessura 10 cm.	1.778,87
TOTAL			**3.043,35**

[1] Utilizou-se o valor do sumidouro, visto que não há especificações de wetland no SINAPI.

Comparando os custos de um sistema comum de tratamento de efluentes (ETE), Albizzati *et al.* (2012) encontraram economia de 30 a 70% utilizando *wetland* construído. Em relação a outros sistemas alagados construídos compatíveis, o valor final de custo foi aproximadamente 100% menor que Santos (2015) e 400% maior que Lemes *et al.* (2008), ou seja, valores R$ 6.239,24 e R$ 844,50, respectivamente. Porém, vale destacar que o valor final da *wetland* construído esta vinculado principalmente às dimensões e distâncias entre elementos do sistema, facilidade de aquisição de materiais e mão de obra e época de construção, atentando-se também para o custo da vegetação utilizada, e por isso, apresentam valores tão diferentes.

4 CONCLUSÕES

A partir do planejamento, execução e monitoramento da *wetland* construído com fluxo ascendente, conclui-se que:

- a vegetação utilizada (*Typha latifólia L.*) adaptou-se satisfatoriamente e rapidamente ao sistema (cerca de 30 dias), com baixo nível de mortandade (cerca de 3,0%);

- o sistema é viável para o tratamento de efluento doméstico rural, sendo que a remoção média de $DBO_{5,20}$ é maior que a recomendada pela legislação brasileira (CONAMA 430/2011) que é de 60,0%;

- esta concepção de *wetland* construído também promove satisfatória remoção de DQO e turbidez, além de, aumentar o valor de OD do efluente tratado, quando comparado aos valores encontrados na literatura;

- o custo final de execução do sistema é consideravelmente compatível podendo ser até inferior ao sistema convencional de tratamento de efluentes domésticos (fossa séptica + sumidouro).

A execução do projeto da *wetland* construído permitiu tratar o efluente gerado de forma ambientalmente correta, como também maximizar o uso do efluente final para outro fim, principalmente quando há geração excedente ou meses chuvosos, como a irrigação de canavial adjacente ao sistema.

Para as condições experimentais do estudo e o período de observação, pode-se concluir que, a partir do desempenho verificado através do monitoramento do desenvolvimento das macrófitas, concentração de OD, eficiência na remoção de $DBO_{5,20}$, DQO, análise da turbidez e pH, o sistema *wetland* construído apresentou-se boa alternativa para tratamento secundário de efluentes domésticos precedido de fossa séptica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para avaliar a eficiência do sistema *wetland* construído de forma mais completa sugere-se a realização de análises de parâmetros biológicos (organismos patogênicos), desenvolvimento das taboas nos períodos de estiagem, evapotranspiração na unidade e colmatação do sistema. A utilização de espécies vegetativas diferentes na *wetland* construído como lírio do brejo, arroz, lírio amarelo, entre outras, também podem ser analisadas para complementar a avaliação da pesquisa, bem como as variações provocadas no dimensionamento, baseando-se em outras metodologias.

EXECUTION OF CONSTRUCTED WETLAND TO TREAT DOMESTIC EFFLUENT IN RURAL PROPERTY

ABSTRACT

The constructed wetlands are systems designed with the purpose of maximizing the potential of improving the quality of the effluent. Therefore, this article aims to perform and check the efficiency of this system, implemented in the Córrego das Onças farm, municipality of Itapuranga, state of Goiás, with reference to the analysis of the biochemical oxygen emand parameters ($BOD_{5,20}$), chemical oxygen demand (COD), dissolved oxygen (OD), pH and turbidity. The type of constructed wetland was vertical of ascending subsurface flow, vegetated with cattail (*Typha latifíolia L.)* because of its tolerance to humid areas and plenty of occurrence in the region. The constructed wetland showed good efficiency in the removal of $BOD_{5,20}$ (on average about 79.0%), good development of macrophytes and low implantation cost, being considered technically feasible for treatment of effluents in rural environments.

Key words: basic sanitation, flooded systems, root zone.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 8160/1999. Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução.** Rio de Janeiro, 1999.

ALBIZZATTI, E. C.; MEIRELLES, T. P.; TELES, W. M. **Comparativo entre estações de tratamento de efluentes convencionais e jardins filtrantes.** Tese de Monografia em Engenharia Ambiental, UNICAMP, 2012.

ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. **Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v.37, n.1, p.1-9, 2007.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22nd Edition. Washington: American Public Health Association, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 430**, de 16 de maio de 2015. In: Resoluções, 2015.

BRIX, H. ARIAS, C. A. **The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic**, 2005.

CEVE, A. **Avaliação de Wetland Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal para o Tratamento de Esgotos Sanitários.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica do Paraná. Departamento Acadêmico de Química e Biologia, UTFPR, Curitiba, PR, p. 52, 2015 .

COOPER, P. F. **A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems.** 1999. In: Vymazal, J.; Kropfelová, L. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Backhuys Publishers, p. 169-190, Hereford, U.K., 2012.

COSTA, L. L.; CEBALLOS, B. S. O. de; MEIRA, C. M. B. S.; CAVALCANTI, M. L. F. Eficiência de Wetlands Construídos com dez dias de detenção hidráulica na

remoção de colífagos e bacteriófagos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, 2003.

FERREIRA, M. M.; SARON, A. Estudo da Eficiência do Tratamento de Esgoto Doméstico por Sistema de Wetland de Fluxo Vertical Descendente para ser Aplicado em Comunidades Isoladas Estação de Tratamento em Escala de Laboratório. **Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade.** São Paulo, SP, vol. 8, n. 1, 2013.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 6ª Edição, 2011.

KADLEC, R. H; WALLACE, S.D. **Treatment Wetlands**. 2nd ed. Taylor & Francis Group, LLC, 2009.

LEMES, J. L. V. B.; SCHIRMER, W. N.; CALDEIRA, M. V. W.; KAICKD, T. V.; ABELE, O.; BÁRBARA, R. R. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. **Revista Acadêmica Ciência Agrária Ambiental**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 169-179, abr./jun., 2008.

MARQUES, M. O. **Uso de esgotos tratados em irrigação: aspectos agronômicos e ambientais.** In: Rafael Kopschitz Xavier Bastos. *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura.* Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NASCIMENTO, J. M. L.; COSTA, F. R. L.; QUEIROZ, M. A. A; SANTOS, M. E. R. Crescimento e Valor Bromatológico de Taboa sob Condições Semiáridas. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Online)**, v. 5, p. 1-7, 2015.

OLIJNYK, D. P.; SEZERINO, P. H.; FENELON, F. R.; PANCERI, B.; PHILIPPI, L. S. **Sistemas de tratamento de esgoto por zona de raízes:** *Análise comparativa de sistemas instalados no Estado de Santa Catarina.* 2007. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG, 2007.

PAOLI, A. C. **Análise de Desempenho e Comportamento de Wetland Horizontais de Fluxo Subsuperficial Baseado em Modelos Hidráulicos e Cinéticos.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia, UFMG. Belo Horizonte, MG, p. 159, 2010.

POÇAS, C. D. **Utilização da tecnologia de wetlands para tratamento terciário:** *controle de nutrientes.* Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

PULSHEN, A.; GOMES, M. P. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. **Tratamento biológico de efluentes sanitários em ETE mista.** In: Simpósio Internacional Sobre Gerenciamento De Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, 2013, São Pedro, Anais do... São Pedro: SIGERA, 2013.

QUELUZ, J. G. T. **Eficiência de alagados construídos para o tratamento de águas residuárias com baixas cargas orgânicas.** Tese de Doutorado em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2016.

SALATI, E. **Controle de Qualidade de Águas Através de Sistemas de Wetlands Construídas.** In: 45 Anos do CNPq, 1997. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo, 1997.

SANTOS, J. R.; RUBIO, F.; MEZALIRA, V. P.; CURCEL, M.; SANTOS, F.T. dos; LORIN, H. A. F. **Implantação de Sistema Alternativo para Tratamento de Esgoto Doméstico Associado a Dejetos Suínos em Propriedades Rurais.** 2015. In: IV Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

SEZERINO, P. H; BENTO, A. P; DECERAZO, S. T; MAGRI, M. E; PHILIPPI, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: *parâmetros de projeto para sistemas horizontais*. **Eng. Sanit. Ambient.** Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 151-158, mar. 2015.

SILVA, D. H. R.; PINHO, L. M.; OLIVEIRA, N. N. B. **Wetlands - Terras Úmidas.** Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, 2011.

SILVA, L. M. S.; SILVA, S. M. C. P.; BATISTA, G. A. **Análise da Eficiência de um Sistema Wetland para o Tratamento de Esgoto Doméstico.** 2008. In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Geração de valor no ambiente construído: inovação e sustentabilidade. Fortaleza, CE, 2008.

SILVA, S. C. **Wetlands construídos de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos.** Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2007.

SOUZA, A. B. M. de. **Avaliação do Desempenho de um Wetland Construído na Etapa de Polimento Final de uma Estação Compacta de Tratamento de Esgoto Doméstico.** Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Univates. Curso de Engenharia Ambiental. Lajeado, RS, p. 103, 2015.

UN-HABITAT, 2008. **Constructed Wetlands Manual.** UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu.