



MARINA SANTOS ÁZARA

**Efeito do nível de esgoto no desenvolvimento do sistema radicular
e na absorção de nutrientes em sistemas alagados construídos**

LAVRAS-MG

2020

MARINA SANTOS ÁZARA

Efeito do nível de esgoto no desenvolvimento do sistema radicular e na absorção de nutrientes em sistemas alagados construídos

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos

Orientador

LAVRAS-MG

2020

AGRADECIMENTOS

Ao Nosso Senhor Jesus Cristo e pela Interseção de Nossa Senhora Aparecida por ter me dado vida e saúde para que eu pudesse concluir a minha tão sonhada graduação.

À Universidade Federal de Lavras pela infraestrutura e por todas as oportunidades oferecidas.

À minha mãe Elaine, e ao meu padrasto, Tiago que nunca mediram esforços para que eu pudesse realizar todos os meus sonhos. Obrigada por todo amor, paciência e apoio.

Ao meu pai, Ismael, que sempre me despertou o interesse pela busca do conhecimento.

Ao professor Mateus Pimentel de Matos, pela orientação, paciência, apoio, ensinamentos e pela oportunidade oferecida.

À equipe da Estação de Tratamento de Esgotos, em especial, Aroldo, Aline, Tobias e Henrique, pela cooperação e auxílio no monitoramento do projeto.

Aos meus amigos Jefferson, Jaíza, Hélio, Isabella, Jonathan, Ana Pinheiro, Ana Gabriela, Júlia, Stênio, Victor, Larissa, Thifani e Bárbara por toda paciência e amizade e também à Jaqueline, Heriberto e Matheus, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Ao Peti-Ambiental e ao Núcleo de Estudo em Pesquisa e Planejamento Ambiental, por todo crescimento profissional e pessoal.

Por fim, agradeço todas as pessoas que contribuíram de alguma forma durante a trajetória da graduação, vocês foram fundamentais para que eu pudesse atingir todos os meus objetivos.

RESUMO

O estímulo ao crescimento radicular das plantas cultivadas em sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SACs-EHSS) pode permitir o aumento da extração de poluentes e a adoção de unidades mais profundas e com menores requisitos de área. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar o desempenho de eficiência de remoção de poluentes em três SACs-EHSS e os aspectos fitotécnicos do capim-vetiver (espécie vegetal utilizada e de extenso sistema radicular), submetidos a diferentes alturas do nível de esgoto nos reatores durante a fase de aclimatação. As unidades em escala piloto foram confeccionadas com vidro temperado de 8 mm de espessura nas dimensões de 0,60 m de comprimento x 0,40 m de altura x 0,25 m de largura, sendo alimentadas com uma vazão de 6 mL min⁻¹ (tempo de detenção hidráulica de 2,0 d) com esgoto sanitário do tanque de cloração da estação de tratamento de esgotos da Universidade Federal de Lavras, apresentando aplicação de carga orgânica superficial em torno de 5,18 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO. Os três SACs foram submetidos a duas etapas de aclimatação, onde a lâmina do efluente foi rebaixada a cada ciclo quinzenal, sendo que na primeira fase todas as unidades ficaram com a mesma lâmina de efluente (35, 33 e 30 centímetros) de forma que as mudas do capim-vetiver pudessem se desenvolver em condições iguais e, posteriormente, na segunda etapa, as unidades variaram quanto ao nível de efluente, sendo mantido 30 cm no SAC 1, enquanto os SAC 2 e 3, respectivamente, tiveram o nível gradativamente reduzido a 20 cm e 10 cm (após 15 dias) com o objetivo de visualizar o desenvolvimento radicular diante do estresse provocado. Com base nos resultados, concluiu que SAC 2 apresentou melhor desenvolvimento vegetativo e desempenho, possivelmente dado ao estímulo radicular. Por outro lado, o rebaixamento a 10 cm e/ou o tempo insuficiente de adaptação a essa condição não propiciaram maior produtividade e crescimento no SAC 3.

Palavras-chave: *Wetlands* construídos, tratamento de águas residuárias, sistema radicular, tratamento terciário de efluentes, *Chrysopogon zizanioides*, saneamento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	3
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
4.1. Crescimento aéreo do capim vetiver	7
4.2. Produtividade e teores de nutrientes na parte aérea do capim-vetiver.....	15
4.3. Eficiência das unidades de tratamento.....	23
5. CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2018, aproximadamente 100 milhões de brasileiros (cerca de 47% da população total), não possuem coleta de esgoto (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2018). A falta de infraestrutura sanitária resulta em prejuízos sociais, ambientais, econômicos e de saúde pública, de acordo com a mesma fonte. Um levantamento feito em 2013 indicou que somente nesse ano houve registro de 14.982 milhões de casos de afastamento de pessoas devido à ocorrência de diarreia ou vômitos, causado pela falta de esgotamento sanitário. Visando prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população, a produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica, é necessário aumentar os investimentos em saneamento básico (UCKER, ALMEIDA, KEMERICH; 2012).

Como muitos dos cidadãos que não possuem acesso aos serviços de saneamento residem em locais que comumente não dispõem de recursos para investimento em infraestrutura sanitária, torna-se importante a adoção de soluções descentralizadas e de baixo custo (SEZERINO et al., 2015). Nesse contexto, a implantação de Sistemas Alagados Construídos (SACs) ou *Wetlands* Construídos tem recebido atenção por parte de pesquisadores e empresas de saneamento. Essas unidades reproduzem os processos que acontecem em ambientes alagados naturais, como em brejos, pântanos, várzeas e charcos, porém, se diferem devido à inserção de tecnologia para aprimorar o processo de depuração da água residuária, realizando o tratamento em condições controladas, como a vazão empregada e o tempo de detenção hidráulica (TDH) (FIA et al., 2020; SOUZA et al., 2012).

Os SACs possuem vantagens como a simplicidade operacional e de manutenção, a robustez e elevadas eficiências, sobretudo em regiões de clima tropical como no Brasil, além disso, podem ainda compor áreas de harmonia paisagística (VON SPERLING, 2013; ALBUQUERQUE et al., 2010; NAIME; GARCIA, 2005; PARKISON et al., 2004). No entanto, como em todas as unidades de tratamento, os SACs também apresentam desvantagens, como a grande demanda de área para a sua instalação. Assim, no intuito de maximizar a eficiência e reduzir o espaço físico exigido para a instalação dos SACs, estudos envolvendo como a utilização de sistemas de aeração (difusores e injetores de ar) e a introdução de chicanas (compartimentos que são construídos em tanques para proporcionar uma maior circulação do efluente, promovendo uma maior desnitrificação e remoção de

nitrogênio) têm sido desenvolvidos (WU et al., 2015; BERTONCINI, 2008). Porém, essas técnicas podem inviabilizar uma das principais vantagens dos SACs, que consiste na simplicidade operacional.

Uma característica que difere os SACs de outros reatores de tratamento de efluentes é a presença de plantas, tendo essas um papel de grande importância na depuração de águas residuárias, seja na absorção de nutrientes, na remoção física (barreiras proporcionadas pelas raízes e rizomas), na introdução de oxigênio ou na influência na comunidade microbiana (WIESSNER et al., 2005; KADLEC; WALLACE, 2009; TAYLOR et al., 2011). Assim, as plantas são fatores-chave no bom desempenho das unidades, devendo-se optar por espécies vegetais que possuam uma maior capacidade de extração de nutrientes, realizar o frequente corte da parte aérea e utilizar de estratégias operacionais para que haja maior crescimento da cultura. Como consequência das práticas citadas anteriormente, tendo em vista que as plantas absorvem uma maior quantidade de nutrientes na fase de crescimento e que algumas espécies possuem elevada exigência nutricional, o corte da parte aérea pode contribuir para uma maior capacidade de remoção de poluentes pelo SAC (CHENG et al., 2009; PAVLINERI et al., 2017).

Em uma unidade de tratamento, a profundidade na qual se encontra a água e os nutrientes em um meio, por exemplo, podem influenciar nas características das plantas (HUSSNER et al., 2009; BAI et al., 2014; ROSSI et al., 2015). À procura da seiva bruta, as raízes se desenvolvem, podendo ter maior crescimento horizontal em ambientes com lençol freático mais alto (mais próximo à superfície) e vertical em ambiente com água e nutrientes presentes em maiores profundidades (NING et al., 2014; HIRANO et al., 2018). Raízes com maior extensão vertical podem propiciar construção de SACs mais profundos, com redução da demanda de área (REED et al., 1995; TANNER, 2001; BRASIL et al., 2007).

Em função do seu denso e extenso sistema radicular, que pode vir a alcançar de 3,0 a 5,0 m de comprimento, da sua boa capacidade de extração de poluentes, da tolerância a variações extremas de temperatura e a níveis tóxicos de metais, além de poder atingir de 1,5 a 2,0 m de altura (CAZZUFFI, CORNEO, CRIPPA, 2006; TRUONG, HENGCHAOVANICH, 1997; GRIMSHAW, 2005; TRUONG, VAN, PINNERS, 2008; CHAVES, ANDRADE; 2013), o capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) tem sido amplamente utilizado em SACs. No entanto, devido à grande disponibilidade de água e nutrientes em um sistema continuamente alimentado com águas residuárias, as raízes do capim-vetiver geralmente não

alcançam o fundo dos tanques construídos (de 0,2 a 0,6 m) (RAMOS et al., 2017; MORAIS, 2019), devido a grande disponibilidade de nutrientes e água em um reator continuamente alimentado com águas residuárias. Dessa forma, a adoção de estratégias operacionais, como a variação do nível de efluente e da disponibilidade de nutrientes nos SACs, poderia estimular o crescimento radicular da espécie vegetal cultivada.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência de remoção de poluentes e os aspectos fitotécnicos do capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) cultivado em três Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Horizontal Subsuperficial (SACs-EHSS) em escala piloto, submetidos a diferentes níveis de efluente nos reatores durante a fase de aclimação.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a altura da parte aérea do capim-vetiver;
- Avaliar a produtividade de massa seca e massa úmida da biomassa produzida;
- Quantificar os teores de nutrientes na parte aérea do capim-vetiver;
- Avaliar a capacidade de extração dos poluentes da espécie vegetal utilizada;
- Avaliar o efeito do nível de efluente no desenvolvimento do sistema radicular do capim-vetiver.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade Federal de Lavras (ETE-UFLA), localizada no próprio campus da instituição. A ETE-UFLA conta com um sistema composto por quatro elevatórias, gradeamento, caixa de gordura, seis reatores UASB, seis Filtros Biológicos Aerados Submersos (FBAS), quatro filtros de areia, tanque de cloração, tanque com lâmpadas UV e medidor Parshall com sensor ultrassônico. Durante a maior parte do experimento, a cloração do esgoto não estava sendo realizada, tendo

início da adição do hipoclorito de sódio somente no dia 16/03/2020 (cinco meses após o início do experimento), resultando em efeitos no capim cultivado nos SACs.

Os três Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Horizontal Subsuperficial (SACs-EHSS) utilizados no estudo, denominados como SAC 1, SAC 2 e SAC 3, foram confeccionados com vidros temperados com espessura de 8 milímetros, nas dimensões de 0,60 m de comprimento x 0,40 m de altura x 0,25 m de largura tendo volume total de 60 L (cada) e área superficial de 0,15 m². Optou-se por utilizar tanques de vidro de forma a facilitar a visualização do crescimento das raízes no interior dos SACs. No intuito de evitar a proliferação de algas, em consequência da incidência solar, foram colocadas placas de isopor nas laterais das unidades (Figura 1).

Figura 1: SACs revestidos por placas de isopor nas laterais.



Fonte: Do Autor (2020).

Para o preenchimento dos tanques até a altura de 0,33 m, foi utilizado seixo de dolomita rolada branca, #1, com granulometria mínima de 2 cm e máxima de 4 cm e porosidade de 0,38 m³ m⁻³. As tubulações de entrada e saída de efluente foram colocadas a 0,35 m e em 0,04 m respectivamente, em relação ao fundo do tanque. A tubulação de saída contou com registros para controlar a altura da lâmina da água residuária durante o período de adaptação e

uma estrutura baseada na teoria dos vasos comunicantes, conforme a Lei de Stevin, com altura de 0,30 m.

Para a alimentação dos SACs, foi utilizada uma bomba d'água periférica, que possui sucção de até 8 metros de profundidade, a qual foi instalada no tanque com lâmpadas ultravioletas (UV) da ETE-UFLA. A água residuária bombeada foi destinada para uma bombona de capacidade de 200 litros, com uma perfuração a 15 cm em relação ao seu fundo, compostas por 3 torneiras instaladas paralelamente, de forma que cada torneira alimentasse um SAC por meio da utilização de mangueiras de meia polegada. Assim, as unidades funcionaram como etapa terciária do tratamento de esgoto, quando os nutrientes se apresentam em formas mais disponíveis (inorgânicas) à absorção pelas plantas.

As mudas de capim-vetiver foram plantadas nos SACs com espaçamento de 12 centímetros entre cada uma, totalizando 4 mudas por tanque, conforme recomendado por Jethwa e Bajpai (2016). No período de aclimação da cultura, as condições operacionais variaram conforme descrito na Tabela 1. Inicialmente, os SACs foram mantidos com a mesma lâmina de esgoto (sem diluição) para que as mudas se adaptassem primeiro com altura de 35 cm (período de 24/09/2019 a 09/10/2019), depois de 33 cm (período de 09/10/2019 a 16/10/2019) e por fim de 30 cm (período de 24/09/2019 a 31/10/2019), que é a lâmina que os SACs operaram após o período de aclimação. Ao final da etapa, realizou-se o primeiro corte da parte da área.

Na segunda fase do período de aclimação (período de 31/10/2019 a 30/11/2019), os tanques se diferenciaram em relação à altura da lâmina para que se pudesse avaliar a influência do nível d'água no crescimento das raízes (Tabela 1). O SAC 1 permaneceu com a altura de efluente de 30 cm durante toda essa etapa e após 15 dias do início dessa etapa, o SAC 2 teve a lâmina reduzida para 20 cm. No SAC 3 o nível d'água foi reduzido progressivamente, a cada ciclo quinzenal, até chegar em 10 cm. Ao final dessa segunda fase de adaptação, foi realizado um novo corte da parte aérea. Os procedimentos descritos foram realizados no intuito de possibilitar a observação do comportamento das raízes do capim-vetiver diante do estresse provocado.

Tabela 1: Condições às quais o capim-vetiver cultivado nos SACs foi submetido.

Período (d) ¹	Fases da aclimação	Altura da lâmina do efluente em relação ao fundo do SAC (m)		
		SAC 1	SAC 2	SAC 3
0-15	Fase 1 da aclimação	0,35	0,35	0,35
15-30	Fase 1 da aclimação	0,33	0,33	0,33
30-45	Fase 1 da aclimação	0,30	0,30	0,30
45-60	Fase 2 da aclimação	0,30	0,20	0,20
60-75	Fase 2 da aclimação	0,30	0,20	0,10
75-333	Monitoramento	0,30	0,30	0,30

¹ Dias transcorridos após ao início do experimento.

Fonte: Do Autor (2020).

Após o período de aclimação (Tabela 1), cada SAC recebeu esgoto continuamente, por meio da utilização de gotejadores, com uma vazão de 6 mL por minuto ou 8 L por dia, resultando em um tempo de detenção hidráulica (TDH) em torno de 2,0 d. Considerando a concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e de Demanda Química de Oxigênio (DQO) média no período, as unidades operaram com carga orgânica superficial de 5,18 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO e 14,4 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DQO.

Em seguida, o experimento entrou na fase de monitoramento, com todos os três SACs-EHSS operando de forma semelhante, ambos com nível de efluente em 30 cm durante o período de dezembro de 2019 a agosto de 2020, de forma a avaliar se as diferenças de operação na fase de adaptação interferiram no desempenho das unidades, no crescimento e capacidade de absorção de nutrientes pelo capim-vetiver.

Nesse período de monitoramento da eficiência de remoção de poluentes das unidades, os cortes foram realizados a cada 35 dias, aproximadamente. A biomassa coletada direcionada para a quantificação da produtividade de massa verde (PMV) e produtividade de massa seca (PM), havendo secagem da parte vegetal por 72 h em uma estufa de circulação forçada a 65° C. A produtividade (Prod) foi calculada com base na Equação 1.

$$\text{Prod} = \frac{(\text{massa seca do capim-vetiver (kg)})}{(\text{intervalo entre um corte e outro (d)}) \times (\text{área superficial (m}^2\text{)})} \quad (\text{Eq. 1})$$

Para mensurar os teores de macro e micronutrientes presentes na parte aérea do capim-vetiver, as amostras das estruturas vegetais foram direcionadas para o Laboratório de Análise

Foliar do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras. Os nutrientes analisados foram: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Potássio (K), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Ferro (Fe). Os teores de nutrientes (T) na parte aérea foram obtidas utilizando a Equação 2:

$$T = \frac{\text{massa do elemento químico (g ou mg)}}{\text{massa seca do capim-vetiver (kg)}} \quad (\text{Eq. 2})$$

A medição da altura da parte aérea vegetal dos SACs foi realizada a cada 7 dias, com a utilização de uma trena, considerando a folha que apresentasse o maior crescimento dentro da unidade de tratamento, enquanto a aferição da vazão e do comprimento radicular do capim-vetiver, foram realizadas três vezes por semana.

Foram coletadas amostras de efluente na entrada e saída dos SACs com o objetivo de monitorar a eficiência de tratamento nos sistemas, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água, situado no Departamento de Saneamento e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Lavras. As análises realizadas foram: DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) pelo processo de Winkler; DQO (Demanda Química de Oxigênio) pelo método de refluxo fechado titulométrico; Nitrato pelo método de Yang et. al. (1998); Fósforo pelo método ácido ascórbico; Sólidos Totais, Fixos e Voláteis (por gravimetria); pH (potencial hidrogeniônico) pelo peagâmetro e CE (Condutividade Elétrica) pelo condutivímetro. As análises foram realizadas conforme descrito no *Standard Methods* – 20ª edição (APHA et al., 2012). As eficiências de remoção foram calculadas de acordo com a Equação 3.

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{(\text{Concentração do afluente} - \text{Concentração do efluente})}{(\text{Concentração do afluente})} \times 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

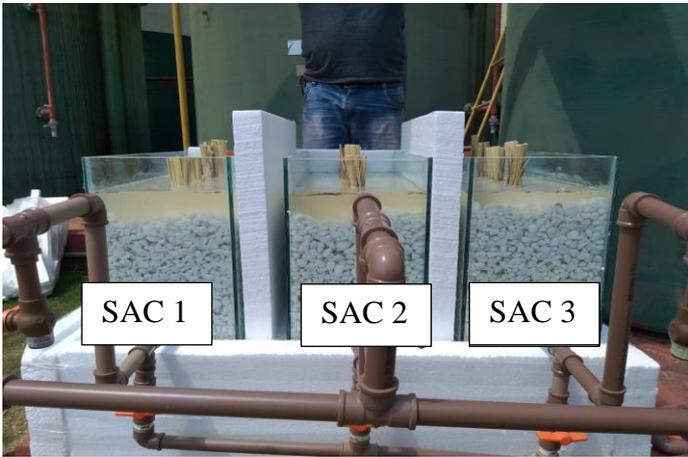
4.1. Crescimento aéreo do capim vetiver

Na Figura 2, estão apresentadas algumas fotos do crescimento da planta durante a realização do experimento, no período de aclimatação, monitoramento e após o início da cloração.

Observou-se que após a adição de hipoclorito de sódio ao esgoto que alimentava as unidades, houve alteração na coloração do capim-vetiver. Em algumas das fotos, também é possível visualizar que no SAC 3, com maior rebaixamento do nível de líquido, um maior número de raízes cresceram até a parte inferior do tanque, indicando que a estratégia operacional surtiu efeito no desenvolvimento radicular (Figura 3)

Figura 2: Crescimento do capim-vetiver durante a fase de realização do experimento.

Início

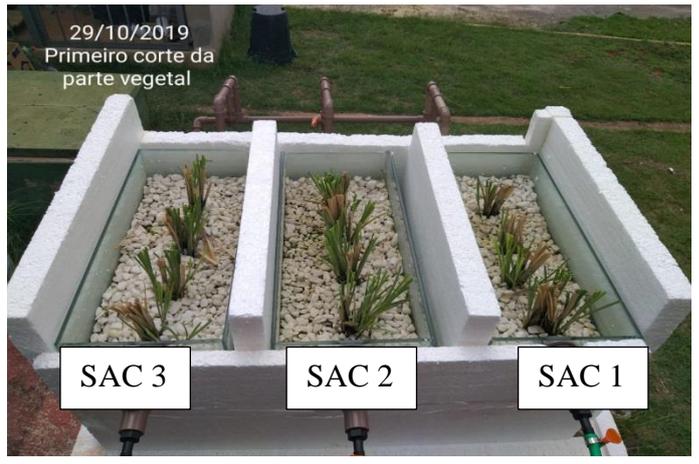
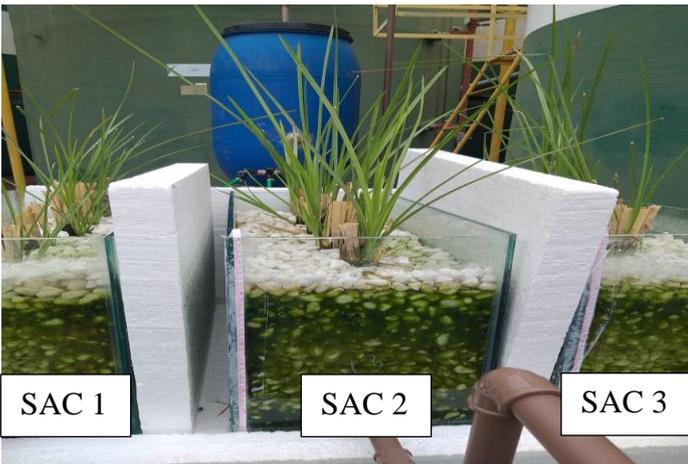


Início



Primeiro corte: 35 dias após o início do experimento.

Primeiro corte: 35 dias após o início do experimento.



Segundo corte: 62 dias após o início do experimento.

Segundo corte: 62 dias após o início do experimento.

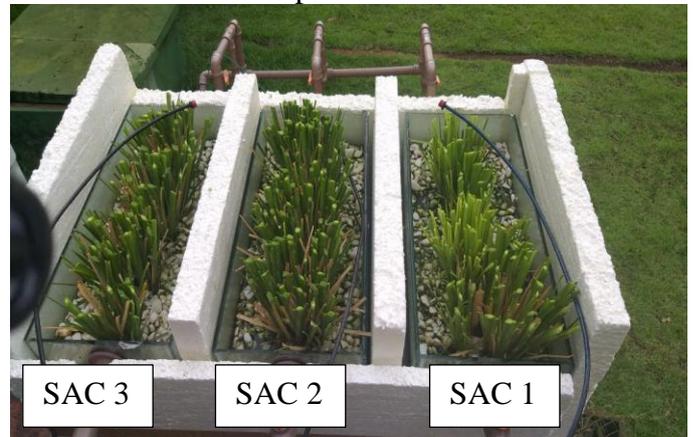


Figura 2: Crescimento do capim-vetiver durante a fase de realização do experimento (continuação).

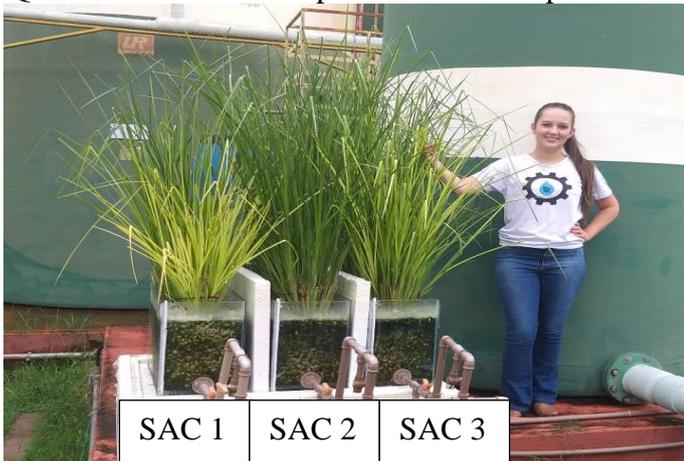
Terceiro corte: 104 dias após o início do experimento.



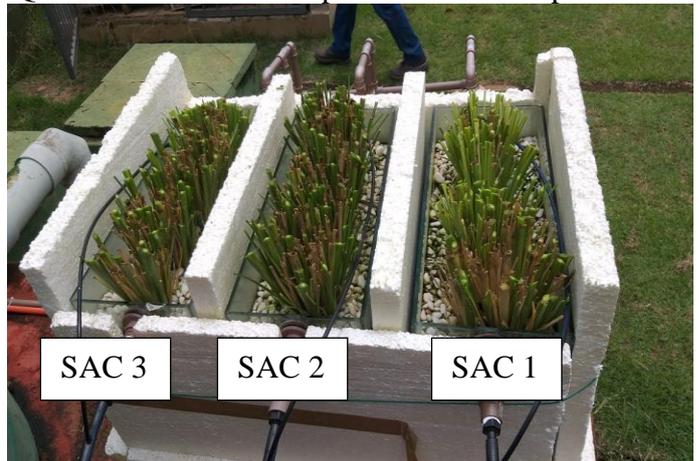
Terceiro corte: 104 dias após o início do experimento.



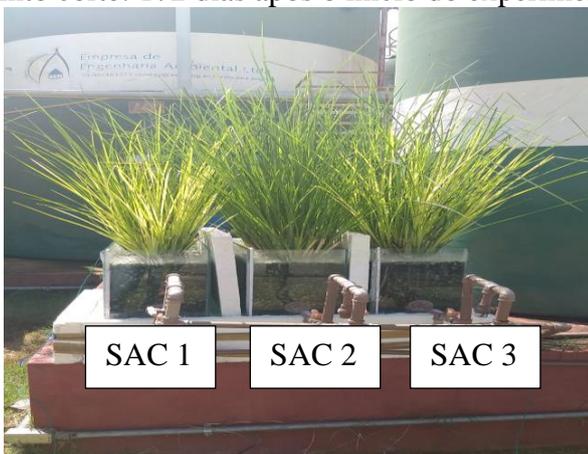
Quarto corte: 139 dias após o início do experimento.



Quarto corte: 139 dias após o início do experimento.



Quinto corte: 172 dias após o início do experimento.



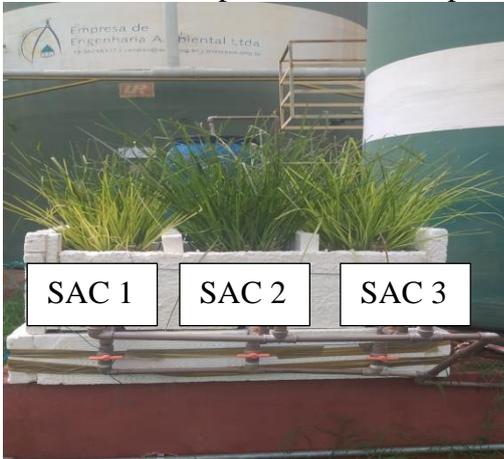
Quinto corte: 172 dias após o início do experimento.



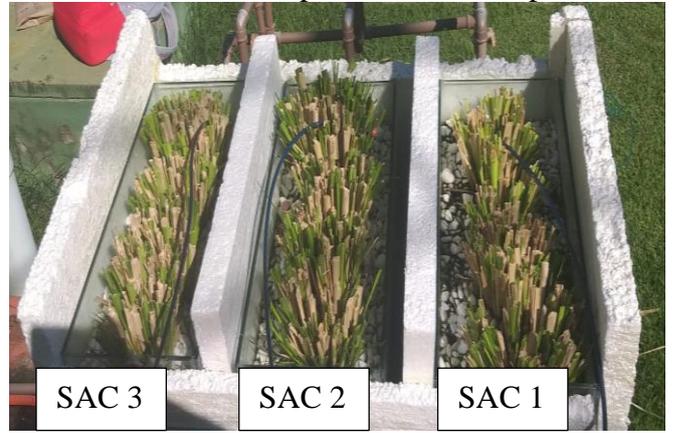
Fonte: Do Autor (2020).

Figura 2: Crescimento do capim-vetiver durante a fase de realização do experimento (continuação).

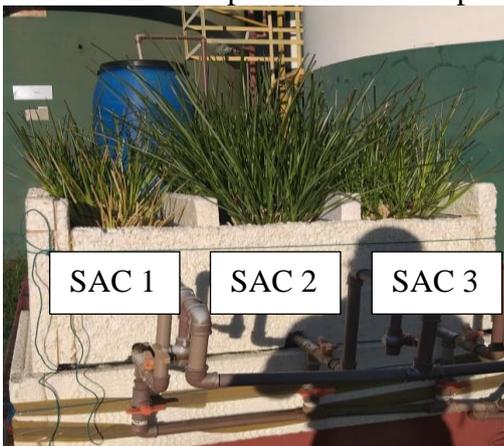
Sexto corte: 207 dias após o início do experimento.



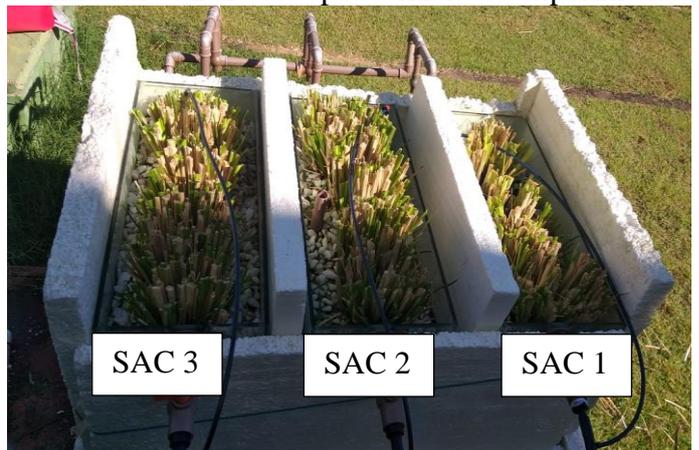
Sexto corte: 207 dias após o início do experimento.



Sétimo corte: 242 dias após o início do experimento.



Sétimo corte: 242 dias após o início do experimento.



Oitavo corte: 276 dias após o início do experimento.

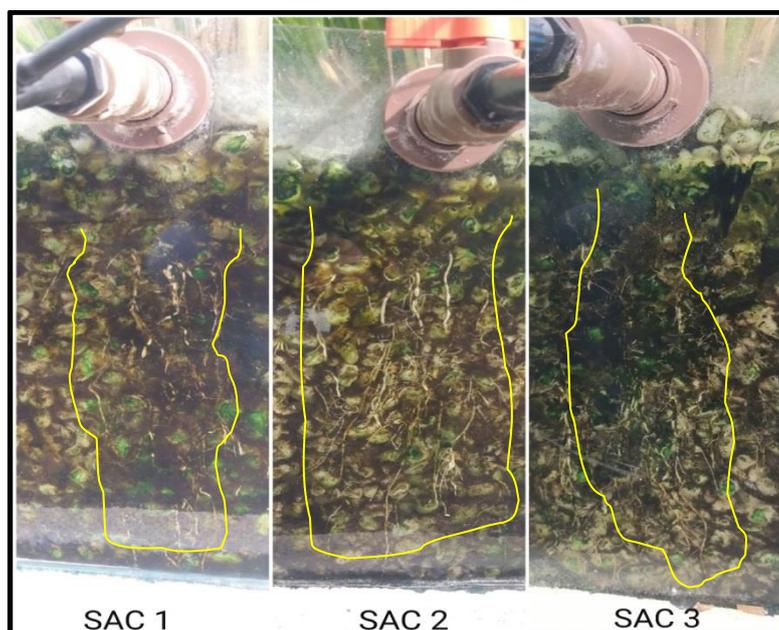


Oitavo corte: 276 dias após o início do experimento.



Fonte: Do Autor (2020).

Figura 3: Raízes do capim-vetiver cultivado nos três sistemas alagados construídos.



Fonte: Do Autor (2020).

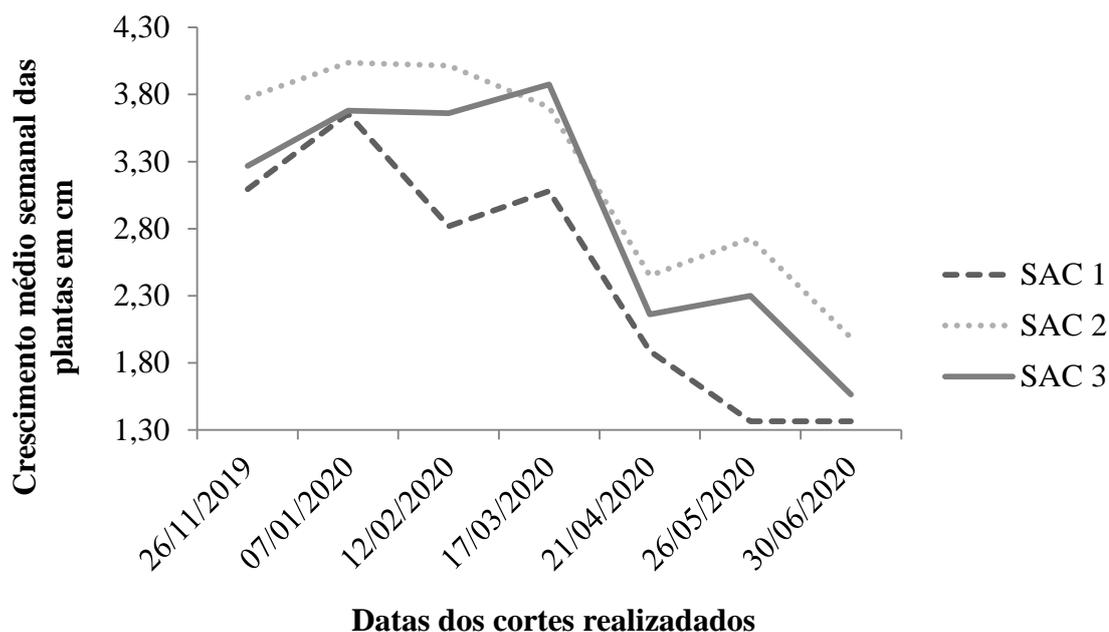
Na Tabela 2 e Figura 4 estão apresentadas, respectivamente, a altura média das plantas presentes em cada unidade de tratamento e o crescimento médio semanal, tendo intervalo de cortes da parte aérea das plantas em períodos em torno de 35 dias, realizando a medição da parte aérea sempre antes do corte.

Tabela 2: Alturas médias da parte aérea do capim-vetiver cultivado nos SACs (imediatamente antes dos cortes).

Datas	Altura média da parte aérea do capim-vetiver (cm)		
	SAC 1	SAC 2	SAC 3
26/11/2019	86,63	105,75	91,50
07/01/2020	153,50	169,50	154,50
12/02/2020	101,50	144,50	131,75
17/03/2020	104,75	126,00	131,75
21/04/2020	66,13	85,75	75,63
26/05/2020	64,25	95,50	80,50
30/06/2020	47,75	69,63	54,75

Fonte: Do Autor (2020).

Figura 4: Taxa de crescimento médio semanal do capim-vetiver cultivado nos SACs em um período de 35 dias, aproximadamente.



Fonte: Do Autor (2020).

Observou-se que o SAC 1 foi o que apresentou menor crescimento da parte aérea do capim-vetiver (Tabela 2), enquanto o SAC 2 foi a unidade que apresentou o maior crescimento vertical em seis dos sete cortes realizados. Isso indica um possível efeito da variação da lâmina de efluente no sistema na fase de crescimento inicial.

Até março, a altura média do capim esteve acima de 100 cm, após o início da cloração na ETE-UFLA (especificamente no dia 16/03/2020), observou-se uma redução de crescimento na parte aérea do capim-vetiver (vide Figura 4). O cloro é um micronutriente essencial para as culturas, porém, quando presente em concentrações elevadas, o que pode ocorrer em efluentes desinfetados quimicamente, pode tornar-se tóxico para algumas culturas, resultando em prejuízo no desenvolvimento vegetativo (AYERS; WESTCOST, 1991; PRADO et al., 2004; MALAVOLTA, VITTI, OLIVEIRA, 1997; CHEN et al., 2010; FARGASOVÁ, 2017).

Segundo Xu et al. (2000) e White e Broadley (2001), concentrações entre 4 e 7 mg L⁻¹ são tóxicas para espécies sensíveis e concentrações entre 15 e 50 mg L⁻¹ para espécies tolerantes. A água residuária submetida ao tratamento terciário, como no presente trabalho, já teve a maior parte dos nutrientes removida, restando íons de difícil remoção e que são pouco aproveitados pelas culturas, podendo haver prejuízo à produtividade, pois esse fator é fundamental para os SACs quanto à remoção de nutrientes, ou seja, quanto maior a

produtividade, maior a remoção dos nutrientes dos efluentes em tratamento (WESTERN CONSORTIUM FOR PUBLIC HEALTH, 1992). Para compreender melhor o efeito da cloração sobre o desenvolvimento da cultura, recomenda-se a realização de mais estudos sobre a fertirrigação com esgoto sanitário submetido à desinfecção química e a utilização de SACs como pós-tratamento dessa etapa.

O capim-vetiver é considerado uma espécie de crescimento rápido, podendo atingir de 150 a 200 cm de altura (CHAVES e ANDRADE, 2013). Ainda que o capim cultivado nos SACs não tenha atingido a altura máxima citada pelos referidos autores, o que pode estar relacionado às pequenas dimensões das unidades avaliadas, o espaçamento entre as plantas e o intervalo entre os cortes da parte aérea (KIAER, WEISBACH, WEINER, 2013; PANWARE; TONDEE; SOHSALAM, 2016; HERNÁNDEZ, GALINDO-ZETINA, CARLOS, 2018; JESUS, 2016), a altura da parte aérea do SAC 2 foi superior a muitos estudos que avaliaram o crescimento do capim em seu habitat natural (terrestre). Abraão et al. (2019), por exemplo, observaram crescimento aéreo do capim-vetiver de 72,33 e 63,00 cm, respectivamente, em solos franco argiloso e argiloso. Utilizando rejeitos da barragem do Fundão em Mariana – MG, Marinho, Balieiro e Tavares (2017) obtiveram altura máxima de 0,80 metros, durante 56 dias de cultivo do capim-vetiver, e esse baixo crescimento pode ser justificado em função da toxicidade causada pelos elevados teores de alumínio no rejeito.

Vieira et al. (2018) e Lima et al. (2019), por sua vez, obtiveram crescimento vertical do capim-vetiver de 180 e 169 cm, respectivamente, ambos cultivados em solo. No trabalho de Vieira et al. (2018), as mudas de capim-vetiver tiveram aplicação de esterco curtido com o objetivo de controlar a erosão hídrica em superfície e também de forma a proporcionar um maior estímulo da revegetação. No trabalho de Lima et al. (2019), as mudas foram submetidas a aplicação de óleo de motor de automóveis, criando uma condição de contaminação no solo e com isso, avaliando a capacidade de fitorremediação do capim-vetiver e capim marandu. Os trabalhos citados anteriormente apresentaram um período entre cortes e de adaptação superior ao realizado no presente estudo, com 180 dias de adaptação (VIEIRA et al., 2018) e corte após 42 dias (LIMA et al., 2019).

Os valores obtidos no presente estudo e as comparações feitas demonstram que após a adaptação do capim-vetiver às condições alagadas, possivelmente pelo desenvolvimento das estruturas do aerênquima, esse passa a apresentar maior capacidade de crescimento, pois há grande disponibilidade de nutrientes no esgoto (SOUZA et al., 2015; SOSSAI et al., 2016;

MURRAY, RAY, 2010). Comparando com outros experimentos realizados em Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Horizontal Subsuperficial (SACs-EHSS), verifica-se que a espécie vegetal cultivada nos SACs do presente trabalho, também apresentou elevado crescimento da parte aérea, como por exemplo, em relação aos trabalhos de Morais et al. (2019) e Ramos et al. (2017). Mesma observação pode ser feita em relação à comparação com outras espécies avaliadas em SACs-EHSS, como em Matos et al. (2013), que obtiveram altura máxima de 50 cm do lírio amarelo (*Iris pseudacorus*), após 7 meses de cultivo e em Pelisari et al. (2019), experimento no qual a taboa (*Typha domingensis*) atingiu crescimento de 83 cm (após 30 dias de cultivo).

Corroborando com os resultados obtidos com o capim-vetiver cultivado em habitat natural, cujo crescimento vegetal foi maior quando houve menor frequência de cortes, Milani et al. (2019), obtiveram altura de 250 cm do capim-vetiver após 7 meses de operação, período no qual não foi realizado nenhum corte da parte aérea. No entanto, nessa condição o desempenho dos SACs tende a diminuir, pois a planta absorve mais nutrientes na fase de crescimento, e após o período de desenvolvimento acelerado, as plantas pouco contribuem e às vezes até disponibilizam poluentes na água residuária, reduzindo a eficiência de remoção (KADLEC, WALLACE, 2009).

4.2. Produtividade e teores de nutrientes na parte aérea do capim-vetiver

A avaliação da produtividade das culturas tem grande importância para inferência do desempenho de SACs, pois há a tendência de que quanto maior a quantidade biomassa vegetal produzida, maior é a capacidade de extração de poluentes pela cultura. Na Tabela 3, estão apresentadas as produtividades de massa seca nos SACs estudados.

Tabela 3: Valores de produtividade massa seca referente aos cortes realizados aproximadamente a cada 35 dias.

Data corte	Produtividade de massa seca em kg ha⁻¹ d⁻¹		
	SAC 1	SAC 2	SAC 3
26/11/2019	303,02	468,69	295,93
07/01/2020	413,76	624,59	521,86
12/02/2020	249,57	424,09	384,09
17/03/2020	237,00	657,67	511,88
21/04/2020 ¹	131,20	246,40	162,42
26/05/2020	105,66	260,91	143,28
30/06/2020	65,79	174,61	96,15

¹ Produtividade após o início da cloração.

Fonte: Do Autor (2020).

Seguindo a mesma tendência do crescimento da parte aérea, o SAC 2 foi o que apresentou maior valores em termos de produtividade de massa seca, além de ter sido observada redução do desenvolvimento do capim nos 3 tanques após início da cloração. A redução da lâmina até 20 cm implicou em maior produtividade do capim-vetiver cultivado no SAC 2, possivelmente pelo crescimento do sistema radicular e melhor aproveitamento dos nutrientes. Por outro lado, a redução da lâmina de efluente até 10 cm e o período de calor intenso que foi realizado esse rebaixamento (novembro de 2019), pode ter causado estresse à cultura, reduzindo o potencial de produção de massa verde, mesmo em condições de maior interceptação radicular. Assim, pode-se verificar que a alteração do nível d'água no período de adaptação pode resultar em diferenças no desenvolvimento da cultura.

Ao final do experimento (que ocorrerá após a defesa do TCC), será realizada a medição da extensão do sistema radicular, permitindo avaliar as hipóteses levantadas. Contudo, na Figura 3, já foi possível visualizar que as raízes cultivadas nos três sistemas alagados construídos, cresceram até o fundo das unidades, ou seja, 33 centímetros.

A Tabela 4 foi elaborada para facilitar a comparação dos resultados obtidos no presente estudo (desconsiderando o período após o início da cloração) com outros estudos semelhantes. Observou-se que a produtividade obtida nos SACs 2 e 3 foi superior a alguns trabalhos

encontrados na literatura, mesmo para intervalos maiores entre um corte e outro, como nas avaliações de Avelar et al. (2015) e Brasil, Matos e Soares (2007), respectivamente, para *Mentha aquática* e taboa cultivadas em SACs. Realizando cortes com maior frequência (a cada 30 dias) do que a realizada neste trabalho, Ramos et al. (2017) reportaram valores de produtividade ainda menores de erva de bicho (*Polygonum persicaria*) e capim-vetiver.

Além da frequência de corte, a espécie vegetal, o tipo de pré-tratamento e as cargas orgânicas aplicadas também influenciam na produtividade (AVELAR et al., 2015; FIA et al., 2011b; MATOS et al., 2011; MATOS et al., 2010; MATOS; FREITAS; LO MONACO, 2009). Como o capim-vetiver normalmente apresenta maior produtividade do que as culturas avaliadas por Avelar et al. (2015), Brasil, Matos e Soares (2007) e Ramos et al. (2017), comparou-se a produtividade obtida no presente trabalho com o capim-tifton 85, utilizado nos trabalhos de Matos et al. (2009), Fia et al. (2011b) e Queiroz et al. (2004). Nos dois primeiros trabalhos, a espécie vegetal foi cultivada em SACs tratando água residuária da suinocultura (ARS), enquanto no último, o capim-tifton 85 foi fertirrigado com ARS. Apesar da carga orgânica aplicada nos SACs em estudo ter sido menor do que nos SACs dos referidos autores, a produtividade de massa seca encontrada no presente trabalho foi superior. De forma semelhante, Zapparoli (2011) e Miranda-Santos (2012) obtiveram produtividade do capim-vetiver aquém dos observados nos SACs 2 e 3, ainda que a alimentação com esgoto sintético e sanitário, respectivamente, fosse feita com cargas orgânicas superiores de 121 e 340 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO.

Os resultados obtidos no presente estudo podem estar ligados à forma de como os nutrientes se apresentaram, estando mais disponíveis para absorção pelas plantas (após passagem pelo tratamento biológico). Além disso, se por um lado um menor espaço físico implica em restrição de crescimento vegetativo, por outro lado, pode resultar em elevados valores de produtividade, dado menor denominador do cálculo (Equação 1).

Além da produtividade, outro aspecto importante a ser considerado na adaptação e desempenho das culturas é quanto aos teores de nutrientes. Na Tabela 4, também estão apresentados os valores médios das concentrações dos macro e micronutrientes encontrados na parte aérea do capim-vetiver.

Tabela 4: Teores de macro e micronutrientes encontrados na parte aérea do capim-vetiver cultivado nos SACs 1, 2 e 3 e outros valores encontrados na literatura.

Unidade	Espécie Vegetal	Intervalo entre cortes	Produtividade kg ha ⁻¹ d ⁻¹	Carga aplicada			Nutrientes										
				DBO	N	P	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
				-----kg ha ⁻¹ d ⁻¹ -----			-----dag kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----				
SAC 1	Capim-vetiver	35	301**	5,18	0,07*	0,16	1,79	0,48	2,20	0,63	0,22	0,29	3,94	24,32	59,67	17,23	95,94
SAC 2	Capim-vetiver	35	544**	5,18	0,07*	0,16	1,77	0,50	2,04	0,69	0,27	0,26	3,02	2,65	62,99	16,12	113,6
SAC 3	Capim-vetiver	35	428**	5,18	0,07*	0,16	1,81	0,49	1,85	0,69	0,26	0,25	3,28	3,02	60,47	16,54	118,23
(1)	Azévem	53	264	750	24,5	2,8		0,18	3,40								
(1)	Aveia	53	50,94	494	38,4	3,1		0,24	2,50								
(2)	Lírio-amarelo	±210	0,72	98	46,5	6,5	2,64	0,28	0,16								
(3)	Capim-tifton	±44	-	-	464	240	1,58	0,10									
(4)	Erva-de-bicho	30	27,9	105	104,3	23	2,77										
(4)	Capim-vetiver	30	19,1	105	104,3	23	1,96										
(5)	<i>Typha domingensis</i>	120	-		19,1****	5,0	3,02	0,64									
(6)	Capim-tifton	150	537		47,2	8,0	1,80	0,27	0,15								
(7)	<i>Typha dominguensis</i>	160	-	-	205***	60***	3,48	4,04	0,35	0,26				106,8	5,3		

* Referente à carga de N-NO₃⁻, pois não foi monitorado o nitrogênio total (NT), ** Média da Tabela 3, desconsiderando o período após o início da cloração; *** Valores máximos; **** Aplicação intermitente.

Tabela 4: Teores de macro e micronutrientes encontrados na parte aérea do capim-vetiver cultivado nos SACs 1, 2 e 3 e outros valores encontrados na literatura (continuação).

Unidade	Espécie Vegetal	Intervalo entre cortes	Produtividade kg ha ⁻¹ d ⁻¹	Carga aplicada			Nutrientes										
				DBO	N	P	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
				-----kg ha ⁻¹ d ⁻¹ -----			-----dag kg ⁻¹ -----										
							----- mg kg ⁻¹ -----										
(8)	<i>Mentha aquatica</i>	65	28,58	40,35			3,32	0,36	1,73								
(8)	<i>Mentha aquatica</i>	65	38,16	53,80			3,43	0,36	1,74								
(8)	<i>Mentha aquatica</i>	71	59,46	79,66			4,09	0,41	2,21								
(8)	<i>Mentha aquatica</i>	71	75,01	160,35			4,48	0,40	2,22								
(9)	Capim-tifton	90	165,55	570			3,46	0,36	1,41								
(9)	Capim-elefante	61	156,67	130			2,81	0,39	1,92								
(10)	Taboa*****	60		327			2,99	0,25	2,57					31,3		250,0	
(10)	Capim-tifton*****	60		327			4,31	0,79	1,93					172,9		294,2	

(1) Fia et al. (2011b); (2) Matos et al. (2013); (3) Amorim et al. (2015); (4) Ramos et al. (2017); (5) Pelissari et al. (2019); (6) Guimarães et al. (2018); (7) Martins et al. (2007); (8) Avelar et al. (2015); (9) Matos et al. (2010); (10) Fia et al. (2011a).

***** - Teores médios

Quanto aos teores de nutrientes na parte aérea do capim-vetiver cultivado, não se percebe uma tendência e nem grandes diferenças entre os três tratamentos. Possivelmente, isso deve ao efeito diluidor da maior massa de matéria seca no capim-vetiver dos SACs 2 e 3, em relação ao SAC 1 (JESUS, 2016), refletindo também na capacidade de extração de poluentes. Ou seja, uma planta de maior desenvolvimento tende a absorver mais nutrientes, no entanto, como o teor é calculado pela massa do elemento por massa seca, há uma redução da diferença em relação a um exemplar que tem menor absorção de nutrientes e desenvolvimento vegetal.

Devido às maiores cargas orgânicas aplicadas nos trabalhos de Matos et al. (2010), Matos et al. (2013) e Pelissari (2019) e também pelas diferentes espécies vegetais utilizadas e condições climáticas, os teores de N foram superiores aos encontrados no presente trabalho. Além disso, após passagem pelo Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS), há maior conversão de N para a forma nítrica (NO_3^-), que é absorvida em menores taxas em comparação com a forma reduzida (NH_4^+) pela maior parte das culturas (GARGALLO et al., 2017). Por outro lado, os teores de P e K observados nos SACs 1 a 3 foram superiores ao de Matos et al. (2010), Fia et al. (2011b), Matos et al. (2013), Amorim et al. (2015) e Guimarães et al. (2018).

Ramos et al. (2017), analisando erva-de-bicho e capim vetiver que foram cultivados em sistemas alagados construídos em leito de argila expandida, obtiveram resultados superiores de N na erva-de-bicho, se sobressaindo em relação aos resultados encontrados no presente estudo, o que pode ser justificado pelo maior tempo de detenção hidráulica (TDH) que as unidades foram submetidas (3,2 d). Assim, houve maior tempo de contato entre a água residuária e as raízes das plantas, resultando em maior absorção de nutrientes, porém, é necessário ter conhecimento em relação à forma em que os nutrientes estarão disponíveis pela absorção pelas plantas.

Águas residuárias como da suinocultura (ARS), piscicultura (ARP) e laticínios (ARL) são mais ricas em macro e micronutrientes do que esgoto sanitário, sobretudo em comparação com efluentes submetidos ao tratamento terciário (WESTERN CONSORTIUM FOR PUBLIC HEALTH, 1992; MATOS; MATOS, 2017). Assim, já era esperado que os teores de nutrientes encontrados deste trabalho fossem inferiores aos encontrados por autores como Matos et al. (2010), Martins et al. (2007), Fia et al. (2011a). Por outro lado, o teor de K nos três SACs esteve próximo ao limite máximo da faixa considerada normal para forrageiras com

suprimento adequado do macronutriente, que é de 1,5 a 2,0 dag kg⁻¹ (GOMIDE; QUEIROZ, 1994).

Para poder inferir sobre o papel das plantas na extração de nutrientes, é preciso apresentar a capacidade de extração, que é resultado do produto da produtividade pelo teor de nutrientes, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Capacidade de extração de nutrientes em kg ha⁻¹ d⁻¹ dos SACs avaliados e comparação com os dados da literatura.

Unidade	Espécie Vegetal	Intervalo entre cortes D	Carga aplicada		Nutrientes									
			DBO (kg ha ⁻¹ d ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe
SAC 1	Capim-vetiver	35	5,18	643	174	790	228	79,3	105	0,00	0,01	0,02	0,01	0,03
SAC 2	Capim-vetiver	35	5,18	965	274	1115	378	147	144	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04
SAC 3	Capim-vetiver	35	5,18	741	200	758	281	108	101	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04
(1)	Capim- tifton	61	570	5,84	0,62	2,12								
(1)	Capim- elefante	90	570		0,34	1,67								
(2)	Capim- tifton	50	318			1,00								
(2)	Capim- Napier	50	318			3,30								
(3)	Capim- tifton	60	327	9,00	1,65	4,02					0,04		0,06	
(4)	Capim- tifton	30	350		0,38									
(4)	Capim- vetiver	30	350		0,51									
(5)	<i>Mentha aquatica</i>	70	160		133	13,3	71,7							
(6)	Capim-tifton	120	0,82*	1,27	0,03	0,54								
(7)	Capim – tifton***	30	2,67**	0,61	0,09	0,80	0,33	0,21	0,22					
(7)	Capim-marandú***	30	2,67**	0,55	0,08	0,90	0,13	0,23	0,07					

*Carga de Nitrogênio aplicada; ** Maior carga de Nitrogênio aplicada no trabalho; *** Maiores valores de extração em uma maior carga de nitrogênio aplicada;

(1) Matos et al. (2010); (2) - Saraiva, Matos e De Matos (2019); (3) - Fia et al. (2011a); (4) – Jesus (2016); (5) – Avelar et a. (2015), (6) – Brasil et al. (2007); (7)- Oliveira et al. (2017);

Fonte: Do Autor (2020).

Dada a maior produtividade do SAC 2, a sua capacidade de extração foi superior ao dos demais SACs, havendo menores valores de extração no SAC 1. Considera-se que o possível maior crescimento radicular do SAC 2, em comparação ao SAC 1, favoreceu uma maior interceptação dos nutrientes, proporcionando maior produção de biomassa e maior extração de poluentes.

Observa-se que os valores encontrados de produtividade de massa seca no presente trabalho foram superiores aos reportados por Matos et al. (2010), Saraiva, Matos e De Matos (2019), Avelar et al. (2015), Oliveira et al. (2017); Matos, Freitas e Lo Monaco (2009) e Jesus (2016), mesmo que os SACs tenham recebido menores taxas de carregamento orgânicos (TCO) e TDH, pois em condições de menores valores de TCO, o ambiente pode vir a ter condições aeróbias predominantes, sendo mais favorável ao desenvolvimento da planta e absorção de nutrientes. Por outro lado, Fia et al. (2011b) encontraram maiores valores de extração de Cu e Zn, em razão da maior presença desses metais pesados na ARS.

Analisando os dados da literatura e com base nos resultados dos SACs 1, 2 e 3, verifica-se a importância de se aplicar a adequada carga de nutrientes para absorção dos mesmos e do TDH suficiente para permitir a absorção de poluentes; realizar o frequente corte da parte aérea; e escolher espécies vegetais de maior potencial de extração. Garcia et al. (2015), por exemplo, verificaram que a maior TCO foi que proporcionou maior extração pelas culturas e que o capim-tifton 85 apresentou desempenho significativamente superior ao marandú na absorção de N. Segundo os autores, as diferenças no desenvolvimento vegetativo poderiam explicar a maior capacidade de extração.

Jesus (2016), por exemplo, justificou-se o melhor desempenho do capim-vetiver em relação ao capim-tifton 85, pelo sistema radicular fasciculado e mais profundo em comparação com espécies estoloníferas. Dessa forma, desde que a variação no nível de água residuária implique em maior crescimento radicular, essa prática pode resultar em maior capacidade de extração de uma cultura como o vetiver, devendo, no entanto, investigar as melhores condições para tal. Aparentemente, a redução até 10 cm ou o curto período para adaptar à essa condição podem ter causado estresse nos exemplares cultivados nos SAC 3.

4.3. Eficiência das unidades de tratamento

Além de resultar em ganho no desempenho das culturas, as estratégias operacionais (alteração do nível do efluente na fase de adaptação) precisam também ter influência positiva nas eficiências de remoção dos SACs. Para observar o efeito, as três unidades de tratamento

foram monitoradas durante 6 meses, no período de fevereiro a agosto de 2020, estando os valores médios e as eficiências descritas na Tabela 6.

Tabela 6: Valores médios e eficiência de remoção das variáveis aferidas durante o monitoramento.

Variáveis	Unidades	Unidades				
		Entrada	SAC 1	SAC 2	SAC 3	
pH		6,13 ± 0,65	7,11 ± 0,23	7,15 ± 0,32	7,15 ± 0,26	
CE	μS cm ⁻¹	529 ± 212	649 ± 246	734 ± 287	718 ± 278	
DBO	mg L ⁻¹	9 ± 10	8 ± 6	6 ± 7	9 ± 8	
DBO (%)				6 ± 45	42 ± 67	-14 ± 85
DQO		25 ± 18	23 ± 16	19 ± 12	22 ± 16	
DQO (%)				36 ± 20	34 ± 14	35 ± 20
N-NO₃⁻		0,12 ± 0,04	0,08 ± 0,04	0,07 ± 0,04	0,10 ± 0,05	
N-NO₃⁻ (%)				34,75 ± 26,25	44,26 ± 28,37	23,90 ± 25,26
PT		0,27 ± 0,06	0,20 ± 0,07	0,14 ± 0,07	0,16 ± 0,04	
PT (%)				25,19 ± 22,44	48,49 ± 26,15	38,27 ± 16,93
ST		457 ± 167	519 ± 196	553 ± 187	458 ± 293	
ST (%)				11 ± 27	7 ± 27	25 ± 41
SV		237 ± 151	312 ± 166	360 ± 148	267 ± 241	
SV (%)				11 ± 28	10 ± 27	10 ± 32
SF		228 ± 47	207 ± 87	249 ± 66	242 ± 146	
SF (%)				12 ± 19	6 ± 11	11 ± 29

* DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; N-NO₃⁻: nitrato; PT: fósforo total; ST: sólidos totais; SV: sólidos voláteis e SF: sólidos fixos.

Fonte: Do Autor (2020).

Os valores de pH e CE aumentaram em relação ao afluente que alimenta as unidades, porém, a expectativa era que a concentração de íons diminuísse em função da extração pelas plantas como discutido por Fia et al. (2017). Matos et al. (2018) justificaram o aumento dos valores das variáveis físico-químicas pela liberação de íons em solução, dada à mineralização do material orgânico.

Por estarem os três SACs atuando como unidades terciárias de tratamento, quando a maior parte dos elementos químicos estaria na forma inorgânica, supõe-se que possa ter ocorrido mineralização de sólidos liberados pelas espécies vegetais cultivadas. Uma evidência dessa liberação de detritos vegetais (resultante da senescência) é que a concentração de sólidos totais (ST) aumentou em duas das três unidades. Ao longo do seu desenvolvimento, as plantas podem liberar sólidos vegetais e exsudatos (MATOS; MATOS, 2017; MATOS et al., 2018), o que pode ter grande influência na concentração efluente de SACs alimentados com água residuária de baixa concentração de material orgânico e nutrientes (MATOS et al., 2018; COSTA et al., 2018; FU et al., 2013). Outro fator que poderia reforçar a hipótese é que as concentrações de ST na saída dos SACs aumentaram, em média, 36% após cloração, quando as plantas sofreram maior estresse (e poderiam liberar mais sólidos), enquanto a concentração afluente aumentou 26% (possível influência do Cl^- na concentração de sólidos dissolvidos). Já o aumento do pH pode estar relacionado tanto a liberação de íons em solução quanto à desnitrificação, que implica em consumo de H^+ (KADLEC; WALLACE, 2009).

Segundo Campos et al. (2020) e Souza et al. (2019), o esgoto da ETE-UFLA normalmente pode apresentar concentrações de ST superiores a 900 mg L^{-1} (sendo 40 a 60% de sólidos suspensos), havendo remoção para 562 mg L^{-1} após passagem pelo reator UASB. Com base nesses valores, a eficiência do Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS) seria em torno de 19%, possivelmente com grande predominância de sólidos dissolvidos em relação aos totais, podendo implicar na condição supracitada de eficiências negativas nas unidades operando com etapa terciária. Em SACs utilizados como tratamento secundário (com ou sem a presença de tratamento anaeróbio), por sua vez, verifica-se eficiências positivas e maiores aos reportados neste trabalho como verificado em Prata et al. (2013) e Fia et al. (2015). Os autores obtiveram eficiências, respectivamente, de 12,6 e 16,5%, com cargas orgânicas aplicadas de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

Pelo mesmo motivo apresentado na discussão dos sólidos, as remoções de DBO e DQO foram baixas nos SACs, face às reduzidas concentrações no tanque de cloração. Como base

para comparação das baixas eficiências encontradas, Avelar, Matos e Matos (2019), obtiveram valores de eficiência de DQO e DBO equivalentes na faixa de 71,3 e 91,4%, 75,3 e 91,0%, nesta ordem, em SACs-EHSS cultivados com *Mentha aquática*, tendo concentrações afluentes de 248 e 416 mg L⁻¹ de DBO e DQO. Mesmas observações podem ser feitas nos trabalhos de Soela et al. (2017), Costa et al. (2019), Ramos et al. (2017), Mendonça et al. (2015), Zurita et al. (2009) e Gikas e Tsihrintzis (2012), com diferentes espécies vegetais e tipos de meio suporte, tratando distintas águas residuárias, no entanto, sempre com concentrações afluentes aos SACs superiores aos reportados neste presente trabalho.

Por estar operando como pós-tratamento do FBAS, era esperado que os SACs proporcionassem boas eficiências de remoção de nutrientes, no entanto, como as concentrações já se encontravam baixas, não se pode avaliar o potencial das plantas na extração dos íons. Apesar disso, as eficiências de remoção de P estiverem dentro da faixa de 40-60% citada por Vymazal (2007), sendo parte da extração atribuída à absorção pelas plantas e remoção da parte aérea (FIA et al., 2020; TURNER; NEWMAN; NEWMAN, 2006).

Comparando com a literatura, as eficiências de remoção foram superiores aos de Miranda et al. (2020) (20-39%) e Amorim et al. (2015) (20-30%), porém inferiores aos de Lee et al. (2010) (47-59%) e Fia et al. (2017) (> 70%), o que é justificando por fatores como espécie vegetal, características do meio suporte, tempo de detenção hidráulica (TDH) e concentração afluente. Nas unidades avaliadas por Fia et al. (2017), por exemplo, com concentração afluente de P (161 mg L⁻¹) e TDH em torno de 12,0 dias, havia maior disponibilidade P e maior tempo para absorção do macronutriente pelas plantas. Em baixos tempos de detenção, outros mecanismos de remoção como a adsorção, sedimentação do P orgânico (assimilado por bactérias) e precipitação podem ser mais importantes (ARIAS et al., 2003), fazendo com que não haja diferenças expressivas entre SACs, entre espécies vegetais e mesmo unidades não plantadas AVELAR; MATOS; MATOS, 2019).

Os SACs apresentaram baixas remoções de NO₃⁻, possivelmente dada à baixa concentração afluente de nitrato e de matéria orgânica, reduzindo as taxas de desnitrificação, rota na qual ocorre maior perda de nitrogênio (RAMOS et al., 2017). Para comparação, Zurita et al. (2009), encontraram remoções equivalentes à 47,7%, empregando copo-de-leite.

O SAC 2 foi o que apresentou maior remoção de NO₃⁻, inclusive estando dentro da faixa reportado por Vymazal e Kropfelová (2008) e próximos aos encontrados por Fia et al.

(2017), o que segundo Liu et al. (2014), pode estar relacionado com o desenvolvimento das raízes das plantas. Na rizosfera são criadas condições que favorecem uma comunidade microbiana mais rica e desenvolvida, promovendo maior remoção de nitrogênio (CHEN et al., 2016).

Na remoção de nutrientes (fósforo e nitrato) e de DBO, o SAC 2 foi o mais efetivo em termos de porcentagem, o que em concentração equivale a pequenas diferenças entre os tratamentos. As remoções de DQO estiveram próximas, enquanto em relação aos sólidos não se observou tendência. Recomenda-se a avaliação da variação de nível do efluente no período de adaptação das culturas em SACs tratando águas residuárias mais concentradas, de forma a possibilitar observação de efeito mais pronunciado no desempenho das unidades.

O efeito da variação de nível foi verificado no maior crescimento e produtividade do SAC 2 (melhor saúde e desenvolvimento vegetativo), havendo efeito positivo do rebaixamento do nível de água residuária no tanque, enquanto o crescimento das raízes será avaliado posteriormente. Hipoteticamente, a redução do nível a 10 cm e/ou o insuficiente tempo de adaptação a essas condições podem ter causado estresse ao capim-vetiver no SAC 3.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, concluiu-se que:

- O SAC 2 foi a unidade de tratamento que apresentou melhores valores em termos de eficiência de tratamento (DBO e nutrientes), altura da parte aérea, produtividade, teor e extração de nutrientes, possivelmente em função da maior densidade radicular, pelo estímulo ao crescimento radicular (rebaixamento do nível até 20 cm);
- O rebaixamento a 10 cm e/ou o tempo insuficiente de adaptação a essa condição não permitiu ter maior produtividade e crescimento no SAC 3;
- O SAC 1, unidade no qual não houve variação do nível d'água, resultou nas menores produtividades e crescimento da parte aérea;
- A cloração reduziu o crescimento vegetativo, havendo queda da produtividade em todos os SACs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAÃO, N. S. et al. Biometry of vetiver grass cultivated in soils of different texture class. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 94, n.1, p. 10-24, 2019.

ALBUQUERQUE, A. et al. Evaluation of the effectiveness of horizontal subsurface flow constructed wetlands for different media. **Journal of Environmental Science**, v. 22, n. 6, p. 820-826, 2010.

AMORIM, F. et al. Capim-tifton 85 cultivado em sistema alagado construído com elevadas taxas de aplicação. **Engenharia na Agricultura**, v.23, n.3, p. 241-250, 2015.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22a. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1496p, 2012.

ARAÚJO, R.K. **Redução de micropoluentes por sistemas de tanque séptico e wetland construído vertical com recirculação**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Rio Grande do Sul, 163 p. 2018.

ARIAS, C. A.; BRIX, H.; JOHANSEN, N.H. Phosphorus removal from municipal wastewater in an experimental two-stage vertical flow constructed wetland system equipped with a calcite filter. **Water Science and Technology**, v. 48, n. 5, p. 51-58, 2003.

AVELAR, F. F.; MATOS, A. T., MATOS, M. P. Remoção de contaminantes do esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com *Mentha aquatica*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n. 6, p. 1259-1266, 2019.

AVELAR, F.F. et al. Desempenho agrônômico de *Mentha aquatica* cultivada em sistemas alagados construídos sob diferentes taxas de aplicação orgânica. **Engenharia Agrícola**, v.35, n.2, p. 322-330, 2015.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura - Estudos FAO Irrigação e Drenagem - Boletim 29**. Campina Grande: UFPB, 1991.

BAI, X.; CHEN, X.; CHEN, K. Impact of water depth on root morphology of *Juncellus serotinus* (Cyperaceae). **Nordic Journal of Botany**, v.32, p.245–250, 2014.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v.1, n.1, p. 152-169, 2008.

BRASIL et al., 2007. Desempenho agrônômico de vegetais cultivados em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.15, n.3, 307-315, 2007.

BRASIL, M.S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Thypha SP.*) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.3, p. 266-272, 2007.

CAMPOS, L. B. et al. **Estimativa da produção e perdas de metano em reator UASB da ETE-UFLA por meio de diferentes modelos matemáticos**. Capítulo 18. In: SILVA, H. C. Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 2, p. 185-195, 2020.

CAZZUFFI, D.; CORNEO, A.; CRIPPA, E. Slope stabilisation by perennial “gramineae” in Southern Italy: plant growth and temporal performance. **Geotechnical and Geological Engineering**, Italy, n. 24, p. 429-447, 2006.

CHAVES, T. A.; ANDRADE, A. G. Capim Vetiver: Produção de Mudas e uso no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas. **Manual Técnico**, 18 p., 2013.

CHEN, L. et al. Induced maize salt tolerance by rhizosphere inoculation of *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9. **Physiologia plantarum**, v. 158, n. 1, p. 34-44, 2016.

CHEN, W. et al. Chlorine nutrition of higher plants: progress and perspectives. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 7, p. 943-952, 2010.

CHENG, B. et al. Growth and Contaminant Removal Effects of Several Plants in Constructed Wetlands. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 51, Issue 3, 2009.

COSTA, G. B. et al. Efeito de diferentes taxas de aeração na remoção de nitrogênio total e DQO em alagados construídos de fluxo subsuperficial horizontal aerados intermitentemente. **Hollos environment**, v.19, n.4, p. 672-687, 2019.

COSTA, J. F. et al. Avaliação do desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial tratando efluente do reator UAS, com base em quatro anos de monitoramento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.1, p. 191-200, 2018.

FARGASOVÁ, A. Plant stress activated by chlorine from disinfectants prepared on the base of sodium hypochlorite. **Nova Biotechnologica et Chimica**, v. 16, n. 2, p. 76-85, 2017.

FIA, F. R. L. et al. Dinâmica do fósforo em sistemas alagados construídos tratando água residuária da suinocultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro – RJ, v.25, n.1, p. 79-86, 2020.

FIA, F. R. L. et al. Influência da carga de nutrientes e da espécie cultivada na remoção de K, Na, Cu e Zn da água residuária da suinocultura tratada em sistemas alagados construídos. **Ambiente & Água**, Taubaté, v.10, n.3, p. 542-553, 2015.

FIA, F. R. L. et al. Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 77-89, 2011a.

FIA, F.R. et al. Efeito da vegetação em sistemas alagados construídos para tratar águas residuárias da suinocultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 303-311, 2017.

FIA, R. et al. Desempenho Agronômico de aveia e azévem cultivados em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de águas residuárias do processamento dos frutos do cafeeiro. In: VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, **Anais...**, Embrapa – DF, 2011b.

FU, G. et al. Medium clogging and the dynamics of organic matter accumulation in constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v.60, p.393-398, 2013.

GARCIA, G. O. et al. Massa seca e extração de nutrientes por duas forrageiras fertirrigadas com esgoto doméstico tratado. **Bioscience**, Uberlândia-MG, v. 31, n. 1, p. 215-226, 2015.

GARGALLO, S.et al. Biokinetic model for nitrogen removal in free water surface constructed wetlands. **Science of the Total Environment**, v. 587, p. 145-156, 2017.

GIKAS, G. D.; TSIHRINTZIS, V. A. A small-size vertical flow constructed wetland for on-site treatment of household wastewater. **Ecological Engineering**, v. 44, p. 337-343, 2012.

GOMIDE, J.A.; QUEIROZ, D.S. Valor alimentício das Brachiarias. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, p.223,1994.

GRIMSHAW, R. The vetiver system: Vetiver grass Technology: Technology characteristics. **Apresentação de slides**. 28 slides, 2005.

GUIMARÃES, J.J. et al. Utilização de forrageira no tratamento de esgoto doméstico. **Irriga - Edição especial**, v.1, n.1, p. 92-100, 2018.

HERNÁNDEZ, M. E.; GALINDO-ZETINA, M.; CARLOS, H. H. J. Greenhouse gas emissions and pollutant removal in treatment wetlands with ornamental plants under subtropical conditions. **Ecological Engineering**, v. 114, p. 88-95, 2018.

HIRANO, Y. et al. Quantification of the contrasting root systems of *Pinus thunbergii* in soils with different groundwater levels in a coastal forest in Japan. **Plant and Soil**, v. 426, n. 1-2, p. 327-337, 2018.

HUSSER, A. Growth and photosynthesis of four invasive aquatic plant species in Europe. **Weed Research**, v.49, n.5, p. 506-515, 2009.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/>>. Acesso em: 02 mai. 2020.

JESUS, F. L. F. **Desempenho e influência dos capins tifton 85 (*Cynodon sp.*) e vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) no tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 133 P., 2016.

JETHWA, K. B; BAJPAI, S. Role of plants in constructed wetlands (CWAS): a review. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences**, v. 2, p. 4-10, 2016.

KADLEC, R.H.; WALLACE, R.D. **Treatment Wetlands**. 2a. ed. Florida: CRC Press, 1016p., 2009.

KIÆR, L. P.; Weisbach, A.N.; Weiner, J. Root and shoot competition: meta-analysis. **Journal of Ecology**, v. 101, p. 1298-1312, 2013.

LEE, S., MANQUIZ, M.C., KIM, L.H. Characteristics of contaminants in water and sediment of a constructed wetland treating piggy wastewater effluent. **Journal of environmental sciences**, v. 22, n. 6, p. 940-945, 2010.

LEIVA, A. M. et al. Performance of ornamental plants in monoculture and polyculture horizontal subsurface flow constructed wetlands for treating wastewater. **Ecological Engineering**, v. 120, p. 116-125, 2018.

LIMA, V. H. R. et al. Avaliação do capim-vetiver e capim-marandu na remediação de solo contaminado com óleo lubrificante usado. **Sustentare**, v.3, n.1, p. 122- 142, 2019.

LIU, Y. et al. Enhanced rhizosphere colonization of beneficial *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 by pathogen infection. **FEMS microbiology letters**, v. 353, n. 1, p. 49-56, 2014.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. Ed. Piracicaba. Ed: Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997.

MARINHO, B.S.; BALIEIRO, F. C.; TAVARES, S. L. Combinando insumos para a revegetação eficiente do rejeito da Barragem do Fundão – Mariana-MG. In: **Seminário PIBIC – EMRAPA SOLOS**, 2017.

MARTINS, A. P. L. et al. Capacidade da *typha dominguensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na Bacia do Iraí- Paraná. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p. 324-330, 2007.

MATOS, A. T. et al. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Agrícola**, Campina Grande-PB, v.14, n.12, p. 1311-1317, 2009.

MATOS, A. T. et al. Desempenho agrônômico do lírio amarelo cultivado sob diferentes taxas de aplicação de esgoto doméstico em sistemas alagados construídos. **Engenharia na Agricultura**, v.21, n.1, p. 79-88, 2013.

MATOS, A. T. et al. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.83-92, 2010.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; PEREIRA, O. G. Desempenho agrônômico de capim Napier (*Pennisetum purpureum*) cultivado em sistemas alagados construídos. **Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 19, n. 5, p. 469-477, 2011.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LO MONACO, P. A. V. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Ambiente & Água**, v. 4, n.2, p. 31-45, 2009.

MATOS, A. T.; MATOS, M. P. Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. 1. ed. Viçosa: UFV, 371 p., 2017.

MATOS, M. P. et al. Colmatação e desempenho de sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial ao longo de oito anos de operação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.6, p. 1227-1237, 2018.

MENDONÇA, H. V. et al. Sistemas Alagados Construídos em Batelada: remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio e regulação de pH no tratamento de efluentes de laticínios. **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n.2, p. 442-453, 2015.

MILANI, M. et al. Evapotranspiration from Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands Planted with Different Perennial Plant Species. **Water**, v.11, n. 2159, p. 02-21, 2019.

MIRANDA, S. T. et al. Efficiency of horizontal subsurface flow-constructed wetlands considering different support materials and the cultivation positions of plant species. **Ambiente & Água**, Taubaté, v.15, n.2, p. 01-13, 2020.

MIRANDA-SANTOS, L. **Avaliação do desenvolvimento e a eficiência do capim vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) em sistemas híbridos de alagados construídos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Bauru-SP, 65 p. 2012.

MORAIS, C.J. **Influência da profundidade do meio de suporte em wetlands construídos de fluxo vertical ascendente plantados com capim vetiver**. 2019. 95 p. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba- PR, 2019.

- MURRAY, A.; RAY, I. Wasterwater for agriculture: A reuse-oriented planning model and its application in peri-urban China. **Water research**, v. 44, n. 5, p. 1667-1679, 2010.
- NAIME, R.; GARCIA, A. C. Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais. **Estudos tecnológicos**, v. 1, n. 2, p. 09-20, 2005.
- NING, Y. et al. Adaptive Significance of and Factors Affecting Plasticity of Biomass Allocation and Rhizome Morphology: a Case Study of the Clonal Plant *Scirps planiculmis* (Cyperaceae). **Polish Journal of Ecology**, v. 62, n. 1, p. 77-88, 2014.
- OLIVEIRA, J. F. et al. Performance of tifton 85 grass under fertirrigation with slaughterhouse wastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n.4, p. 790-800, 2017.
- PANRARE, A.; TONDEE, T.; SOHSALAM, P. Effect of plant density in constructed wetland on domestic wasterwater treating efficiency. **International Journal of Applied and Physical Sciences**, n.2, v.11, p. 07-12, 2016.
- PARKINSON, J. N.; SIQUEIRA, E. Q.; CAMPOS, L. C. Tratamento de esgotos domésticos de pequenas comunidades utilizando áreas alagadas construídas (AACs). **Revista Intercursos**, v. 3, n. 2, p. 135-139, 2004.
- PAVLINERI, N.; SKOULIKIDIS, N.T.; TSIHRINTZIS, V.A. Constructed Floating Wetlands: A review of research, desing, operation and management aspects, and data meta-analysis. **Chemical Engineering Journal**, v. 308, p. 1120-1132, 2017.
- PELLISSARI, C. et al. Incorporação de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. Durante o tratamento de efluente da bovinocultura leiteira em wetlands construídos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.3, p. 585-590, 2019.
- PRADO, R. M. et al. Aplicação de potássio no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 26, n. 2, p. 295-299, 2004.
- PRATA, R.C.C. et al. Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.6, p.1144-1155, 2013.

Queiroz, F. M. et al. Características químicas do solo e absorção de nutrientes por gramíneas em rampas de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, v.12, n.2, p.77-90, 2004.

RAMOS, N. F. S. et al. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em sistemas alagados construídos, com *Chrysopogon zizanioides* e *Polygonum punctatum* cultivadas em leito de argila expandida. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.22, n.1, p. 123-132, 2017.

REED, S.R.; CRITES, R.W.; MIDDLEBROOKS, J.E. Natural Systems for Waste Management and Treatment. **McGraw-Hill**, 2a ed., New York, USA, 448p. 1995.

ROSSI, E. et al. Profundidade do lençol freático no cultivo de canola. **Holos Environment**, v. 6, p. 131-136, 2015.

SARAIVA, C. B.; MATOS, A. T., MATOS, M. P. Extraction capacity of grasses grown in constructed wetland systems using diferente arrangements and substrates. **Engenharia Agrícola**, v.39, n. 5, p. 668-675, 2019.

SEZERINO, P. H. et al. Wetlands construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos. **Revista Engenharia Construção Civil**, Curitiba - PR, v. 2, n.2, p. 1-10, 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 28 abril, 2020.

SOELA, D. M. et al. Tratamento de água residuária de suinocultura em sistema alagado construído cultivado com *Helicônia-papagaio*. In: **VI Congresso Latino – Americano em Agroecologia**, Brasília – DF, 2017.

SOSSAI, T. P. et al. Utilização de lodo de esgoto da ETE de Poços de Caldas na adubação do feijoeiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.13, n.2, p. 88-97, 2016.

SOUZA et al. Pós tratamento de efluentes de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.4, n.1, p. 87-91, 2012.

SOUZA, D. P. et al. Influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro. **Irriga**, v. 20, n. 2, p. 348-362, 2015.

SOUZA, G. R. Use of Coffe Capsules as Support Material in Upflow Anaerobic Fixed Bed Reactors. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, 2019.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. American Public health Association, 20th ed. New York, 1998.

TANNER, C.C. Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. **Water Science Technology**, v.44, n.11-12, pp.9-17, 2001.

TAYLOR, B. Early Mesolithic Activity in the Wetlands of the Lake Flixton Basion. **Journal of Wetland Archaeology**, v.11, 2011.

TRUONG, P.; HENGCHAOVANICH, D. Application of the Vetiver grass system in land stabilization, erosion and sediment control in civil construction. In: Queensland main roads southern region symposium, **proceedings....** Toowoomba, 1997.

TRUONG, P.; VAN, T. T.; PINNERS, E. **Sistema de aplicação Vetiver: Manual de referência técnica**. 2ª Edição: Rede Internacional de Vetiver, 2008.

TURNER, B. L.; NEWMAN, S.; NEWMAN, J. M. Organic phosphorus sequestration in subtropical treatment wetlands. **Environmental science & technology**, v.40, n.3, p. 727-733, 2006.

UCKER, F.E.; ALMEIDA, R. A.; KEMERICH, P. D. C. Remoção de nitrogênio e fósforo do esgoto sanitário em um sistema de alagados construídos utilizando o capim vetiver. **Ambiente & Água**, Taubaté, v.7, n.3, p. 87-98, 2012.

VIEIRA, C. L. et al. Use of vetiver grass to the erosion control and ground cover on áreas with sandizations at the southeast portion of RS state, Brazil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.1, n.2, p. 338-351, 2018.

VON SPERLING, M. **Avaliação e análise comparativa de três diferentes sistemas de "Wetlands"-Fluxo Superficial, Vertical e Subsuperficial-utilizados para o tratamento de curso d'água poluído por fontes difusas e pontuais, para o tratamento de esgotos brutos e**

para o pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. In: BRASIL - Fundação Nacional da Saúde. **7º** Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública. 1.ed. Brasília: Funasa, p. 81-108, 2013.

VYMAZAL, J. Removal of nutrientes in various types of constructed wetlands. **Science of the total environment**, v. 380, n. 1-3, p. 48-65, 2007.

VYMAZAL, J., KRÖPFELOVPA, L. Wastewater Treatment in Constructed Wetlandswith Horizontal Subsurface Flow. **Springer Science & business media**, v. 14, 2008.

WESTERN CONSORTIUM FOR PUBLIC HEALTH. **The City of San Diego Total Resource Recovery Project Health Effects Study.** Final Summary Report, Oakland, CA., 1992.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. **Annals of Botany**, v. 88, n. 6, p. 967-988, 2001.

WIESSNER, A.; KAPPELMEYER, U.; KUSCHK, KASTNER, M. Influence of the redox condition dynamics on the removal efficiency of a laboratory-scale constructed wetland. **Water Research**, v.39, p.248-256, 2005.

WU, H. et al. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Desing and operation. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 594-601, 2015.

Xu, G. et al. Advances in chloride nutrition of plants: Advances in Agronomy. **Academic Press**, v. 68, p. 97-150, 2000.

YANG, Z. et al. Effect of Plant Harvesting on the Perfomance of Constructed Wetlands during Summer. **Water**, v.8, n.24, p.02-10, 2016.

ZAPAROLI, B. R. **Capacidade desnitrificante de sistemas alagados construídos operados em bateladas sequenciais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Viçosa, Viçosa-MG, 81p. 2011.

ZURITA, F.; ANDA, J.D.; BELMONT, M.A. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v.35, n.5, p.861-869, 2009.