



MARIA DE LARA ALVARENGA

**DESEMPENHO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS
CULTIVADOS COM CAPIM-VETIVER TRATANDO ÁGUA
RESIDUÁRIA DE CANIL.**

LAVRAS-MG

2021

MARIA DE LARA ALVARENGA

**DESEMPENHO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS CULTIVADOS COM
CAPIM-VETIVER TRATANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DE CANIL.**

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

2021

MARIA DE LARA ALVARENGA

**DESEMPENHO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUIDOS CULTIVADOS COM
CAPIM-VETIVER TRATANDO ÁGUA RESIDUÁRIA DE CANIL.**

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.

APROVADA em 31/05/2021

Dr. Mateus Pimentel de Matos DAM-UFLA

Dr. Ronaldo Fia DAM-UFLA

MSc. Dayana Cristiane Barbosa Mafra AMBIÊNCIA

Dra. Aline dos Reis Souza DAM-UFLA

LAVRAS-MG

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas oportunidades e por ter me acompanhado ao longo dessa caminhada, e me fazer acreditar que seria possível.

Um agradecimento especial a minha mãe, Kátia, por sempre fazer o impossível para que eu pudesse realizar meus sonhos e por estar ao meu lado sempre.

Aos meus irmãos, Sávio e Nathalia, por todo amor e carinho que sempre tiveram comigo.

Ao Vagner, por sempre me apoiar e acreditar que eu seria capaz.

Ao meu namorado, Diogo, por todo amor, carinho, companheirismo, compreensão, paciência e incentivo ao longo de toda a minha graduação.

A Beatriz, Izabela, Karina e Virginia, por estarem comigo desde o início e contribuírem para que minha caminhada se tornasse mais leve.

As minhas várias companheiras de casa, em especial a Fernanda, Iara, Tata e Giovana, por terem feito de “nossas casinhas” um lar e me proporcionado tantos momentos incríveis.

Ao meu orientador, professor Mateus Pimentel de Matos, pela paciência, pelos ensinamentos e por ter me acompanhado ao longo da minha graduação.

A Aline, Marilane e Maria Júlia, pela colaboração no projeto.

A toda minha família, meus sogros e meus amigos, por todo incentivo e amor.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação.

A Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Bolsa Institucional de Pesquisa, pela bolsa no decorrer do projeto.

E por fim, agradeço aos membros da banca, Aline, Dayana e Ronaldo.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

A estação de tratamento de esgotos do Parque Francisco de Assis (ETE-PFA) é composta por gradeamento, decantador primário, tanques sépticos, filtros anaeróbios, filtro biológico aerado submerso (FBAS), decantadores secundários e três sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SACs), de volume útil de 0,8 m³ (tempo de detenção hidráulica - TDH = 0,2 d cada), preenchido com brita #1 e cultivado com capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). A instalação dos SACs teve como intuito proporcionar o aumento na remoção de nutrientes sem elevar os custos e a complexidade operacional da ETE. Assim, com a realização do trabalho objetivou-se avaliar o desempenho dos SACs cultivados com capim-vetiver na remoção de poluentes em duas diferentes condições de operação na ETE-PFA. Para avaliação, monitorou-se semanalmente a entrada da primeira e a saída da terceira unidade, além da produtividade e os teores de nutrientes na parte aérea do capim-vetiver em duas fases de aeração contínua diária no FBAS diferentes, sendo a Fase 1 por 5 h e fase 2, 7 h. As análises foram realizadas no Laboratório de Águas Residuárias e Reúso de Água do Departamento de Engenharia Ambiental da UFLA. Com base nos resultados, observou-se que o baixo TDH implicou em desempenho aquém dos SACs na remoção de poluentes (< 65% DBO; < 14% de DQO; < 15% de NTK, < 24% de P), na produtividade (média de 2,8 g m⁻² d⁻¹) e na capacidade de extração de nutrientes, em comparação com a literatura. Não foi verificada influência das fases de aeração no desempenho das unidades, sendo perceptível apenas na remoção de DQO. Os maiores teores de nutrientes foram observados na fase de menor aeração, o que parece estar ligado ao replantio do capim-vetiver. Ainda sobre os teores de N e P, verificou-se tendência contrária à produtividade, tendo maiores valores nos SACs que tiveram menor produção de biomassa vegetal. Torna-se necessário realizar modificações na operação da ETE-PFA, como a limpeza mais frequente dos decantadores e aumento do número de SACs (para ter TDH total superior a 1,0 d), de forma a elevar as eficiências de remoção.

Palavras-chaves: Aeração; *Chrysopogon zizanioides*, Abrigo de cães; Extração; Wetlands Construídos.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAIS E METODOS.....	9
2.1. Caracterização da área de estudo	9
2.2. Aspectos Construtivos dos SACs-EHSS.....	16
2.3. Monitoramento	19
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1. Eficiências de remoção.....	21
3.2. Produtividade	23
3.3. Teores de Nutrientes	28
4. CONCLUSÕES	30
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

Na escolha da configuração do tratamento de águas residuárias, deve-se levar em conta alguns aspectos, dentre os quais menciona-se as características do efluente líquido gerado e a disponibilidade de área e recursos financeiros (VON SPERLING, 2014). Porém, para algumas águas residuárias, há escassez de informações, como é o caso do efluente proveniente de abrigo de cães (canis), dificultando a definição das etapas de tratamento.

Dos poucos registros, cita-se os trabalhos de Jaworski e Hickey (1962) e Souza et al. (2018). No primeiro trabalho, os autores avaliaram as características da água residuária proveniente da lavagem das baias após as raspagens das fezes de 300 cães no canil em Washington D.C., nos Estados Unidos. Souza et al. (2018), por sua vez, caracterizaram o efluente do canil Parque Francisco de Assis (PFA) (com capacidade para 450 cães), localizado em Lavras, MG, também gerado após prévia remoção do material sólido. As informações geradas pelos autores estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1- Dados da literatura relacionados aos efluentes de um canil.

VARIÁVEIS	Jaworski e Hickey	Souza et al. (2018)
DBO (mg L^{-1})	660	189
DQO (mg L^{-1})	-	612
Sólidos totais (ST) (mg L^{-1})	1.360	926
Sólidos voláteis (SV) (mg L^{-1})	1.230	-
Fósforo total (PT) (mg L^{-1})	-	165
Nitrogênio total Kjeldahl (NTK) (mg L^{-1})	-	94

Fonte: Adaptado de Souza (2018).

Pelas poucas informações disponíveis, observa-se pelo auxílio da Tabela 1, ser uma água residuária com elevada concentração de sólidos, ainda que tenham sido obtidas após a lavagem de baias que tiveram as fezes raspadas. O efluente apresenta elevada relação DQO/DBO, possivelmente pela presença dos pelos ou pela inibição da ação microbiana pela presença de antibióticos e produtos de limpeza (SOUZA et al., 2018; WU et al., 2016). No entanto, estas características não impedem do efluente apresentar biodegradabilidade aeróbia (SOUZA et al., 2015).

Souza et al. (2018) constataram que um sistema composto por tanques sépticos, filtros anaeróbios e lagoas de estabilização não eram suficientes para atendimento dos padrões de lançamento no córrego Santa Cruz. Assim, para aumento da eficiência de tratamento, as lagoas de estabilização foram substituídas por um filtro biológico aerado submerso (FBAS), decantadores e três Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Horizontal Subsuperficial

(SACs-EHSS) (SOUZA et al., 2020). O intuito da utilização dos SACs é elevar a capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes, como demonstrado por diferentes autores como Mendonça et al (2012), Ucker et al (2012), Avelar et al (2019) e Fia et al (2020), além de ser uma alternativa de baixo custo, sendo indicada adoção em uma instituição que é mantida por meio de doações, como ocorre no PFA.

Os SACs ou sistemas *Wetlands construídos*, foco do presente trabalho, são unidades de tratamento no qual há interação entre meio suporte, microrganismos e plantas para proporcionar diferentes mecanismos de remoção, como absorção, adsorção, filtração, sedimentação, degradação microbiana, liberação de substâncias antimicrobianas (MATOS et al., 2008; KADLEC; WALLACE, 2009; MENDONÇA et al., 2012; VALENTIM, 1999; AVELAR et al., 2015; MATOS; MATOS, 2017). Além da grande capacidade de remoção de distintos poluentes e dos baixos custos, os SACs ainda possuem como vantagens a pequena ou nenhuma demanda energética; a simplicidade operacional e de manutenção, podendo ainda constituir área de harmonia paisagística e aumento do *habitat* para a vida selvagem (BRASIL et al., 2007).

Como meio suporte em SACs já foram avaliados diferentes materiais como brita, areia grossa, cascalho, garrafas pet, escórias de alto forno, sendo comumente utilizado o primeiro em função da facilidade de aquisição e os menores custos (KADLEC; WALLACE, 2009; SEZERINO et al., 2015; MIRANDA et al., 2020). Em relação às espécies vegetais, encontra-se trabalhos utilizando forrageiras como o azevém e a aveia-preta (FIA et al., 2010), e os capins-tifton 85 (FIA et al., 2011; MATOS et al., 2010a; 2010b e 2010c) e elefante (MATOS, et al. 2008). Sabe-se que os capins apresentam rápido desenvolvimento, elevada geração de biomassa vegetal e grande potencial de extração de nutrientes, resultando em bom desempenho no emprego em SACs tratando diferentes águas residuárias. Cita-se ainda a possibilidade de se ter benefícios econômicos com o aproveitamento da massa vegetal gerada para alimentação animal, adubação verde ou artesanato (KADLEC; WALLACE, 2009; LOPES et al., 2020; MARÍN-MUNIZ et al., 2018; MATOS; MATOS, 2017; SANDOVAL-HERAZO et al., 2018; VYMAZAL, 2005).

O capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) foi implementado nos SACs do PFA, em razão de ser uma gramínea perene, de elevado crescimento, tolerância a diferentes condições ambientais, boa capacidade de extração de nutrientes, além de possuir diferentes potenciais de utilizações de sua biomassa gerada. O seu óleo pode ser utilizado na indústria farmacêutica, como aromatizante ou fixador de perfume; na indústria alimentícia, como flavorizante e também como inseticida natural (TRUONG et al., 2008; VIERITZ et al., 2010; MIRANDA-

SANTOS, 2012; RAMOS et al., 2016). Já o potencial de emprego da cultura em SACs pode ser observado, por exemplo, no trabalho de Jesus, Matos e Matos (2020), que observaram maior capacidade de remoção extratora do capim-vetiver comparativamente ao capim-tifton 85, e melhor eficiência em relação à unidade sem a presença de plantas.

Assim, com a realização do presente trabalho objetivou-se avaliar o desempenho de Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Horizontal Subsuperficial (SACs-EHSS) cultivados com capim-vetiver na remoção de poluentes da água residuária de um canil, por meio do monitoramento da remoção de poluentes da água, da produtividade do capim e teores de nutrientes na planta. A partir dessa análise, pode-se inferir se as condições de operação são adequadas para aproveitar o potencial do capim-vetiver.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

O Parque Francisco de Assis (PFA) está localizado na zona urbana de Lavras-MG, à aproximadamente 8 km da cidade, na Rodovia BR-265, no km 341 (Figura 1), sentido São João Del Rei, sob as coordenadas geográficas 21°15'47,4" de latitude sul e 44°56'12,5 de longitude oeste. A área do canil é de 7.000 m², sendo delimitada pela referida rodovia e pelo ribeirão do Camarão (Figura 2), que passa aos fundos da propriedade.

Figura 1 - Entrada do Parque Francisco de Assis as margens da Rodovia BR-265, no km 341;



Fonte: PFA (2021).

Figura 2 - Ribeirão do Camarão que passa nos fundos da propriedade do Parque Francisco de Assis.



Fonte: PFA (2021).

O PFA é uma instituição de acolhimento de cães abandonados, doentes e maltratados, que após receberem tratamento são encaminhados à adoção. A estrutura do canil conta com baias para recebimento de cães saudáveis (Figura 3), duas enfermarias (Figura 4) para cães portadores de doenças infectocontagiosas e uma enfermaria para cães em pós-operatório; casa de cura, depósito de ração, almoxarifado, farmácia, sala de cirurgia, ambulatório, sala de expurgo, cozinha dos animais, sala de banho e tosa, lavanderia, rouparia, banheiros e refeitório para voluntários e funcionários (SOUZA, 2018).

Figura 3 – Cães alojados nas baias do Parque Francisco de Assis.



Fonte: PFA (2021).

Figura 4 –Imagem de cães recebendo cuidados em uma das enfermarias do Parque Francisco de Assis.



Fonte: PFA (2021)

Nas baias de abrigo de cerca de 450 cães, a limpeza é feita com raspagem do material sólido antes da lavagem, o que reduz as concentrações de matéria orgânica e nutrientes na água residuária gerada, além de propiciar aproveitamento do resíduo. Esse é encaminhado para compostagem com serragem de madeira, no próprio canil, sendo o composto produzido doado à comunidade para utilização como fertilizante (DELFINO, 2018).

A lavagem do piso é realizada diariamente, do período de 9 às 15 h, com água e sanitizante. O efluente é então encaminhado para a estação de tratamento de esgotos do parque (ETE-PFA), passando inicialmente pelo tratamento preliminar e primário. Em função do desnível do terreno, parte do efluente do canil passa pelo gradeamento (Figura 5), seguido do decantador primário de 4 m³ (Figura 6), sendo direcionado para tanque séptico-filtro de 10 m³ cada unidade (Figura 7). O restante da vazão (menor parcela) passa por gradeamento e tanque séptico-filtro de 5 m³, antes de haver a mistura das águas residuárias no Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS) (Figura 8), início do tratamento secundário.

O FBAS possui 25 m³, preenchido com pedra de mão (brita #4, malha entre 50mm e 76mm) até o fundo falso que abriga o aerador. Durante o trabalho realizado por Souza et al. (2020), o FBAS foi submetido a diferentes fases de aeração, nos quais variou-se o tempo que o insuflador de ar permaneceu ligado, sendo: a) Fase 1 (F1): de 9 às 16 h (taxa de aplicação de 1,96 gO₂ L⁻¹ d⁻¹) de agosto/2017 à 9 de janeiro/2018); b) Fase 2 (F2): 9 às 14 h (1,40 gO₂ L⁻¹ d⁻¹) e c) Fase 3 (F3): Aeração intermitente a cada 2 h, durante o período de geração de água residuária do canil (9 às 16 h, com taxa de aplicação de 2,8 gO₂ L⁻¹ d⁻¹) (SOUZA et al., 2020).

O presente trabalho focará nas duas primeiras fases, nas quais foram feitos o acompanhamentos do desenvolvimento das plantas cultivadas.

Posteriormente, o líquido é drenado para 10 tanques (caixas d'água) de 2,0 m³ cada, em qual, seis desses funcionam como decantadores secundários (Figura 9), três como Sistemas Alagados Construídos (Figura 10) e o último como tanque de passagem. Essas unidades substituíram as antigas lagoas facultativas, que operavam em condições semelhantes a lagoas anaeróbias, dada às elevadas cargas aplicadas (SOUZA et al., 2018).

O sistema foi dimensionado para um mínimo de 12 h de detenção e vazão máxima 20 m³ d⁻¹, operando com vazão média de 6,5 m³ d⁻¹. Na Figura 11 está apresentado um diagrama esquemático da ETE-PFA. Após o tratamento, o efluente é lançado no Ribeirão do Camarão.

Figura 5- Gradeamento da unidade de tratamento do PFA



Fonte: PFA (2021).

Figura 6- Decantador da unidade de tratamento do PFA



Fonte: PFA (2021).

Figura 7- Tanque séptico-filtro anaeróbio da unidade de tratamento do PFA



Fonte: PFA (2021).

Figura 8- Filtro biológico aerado submerso da unidade de tratamento do PFA



Fonte: PFA (2021).

Figura 9- Tanques de decantação secundária da unidade de tratamento do PFA



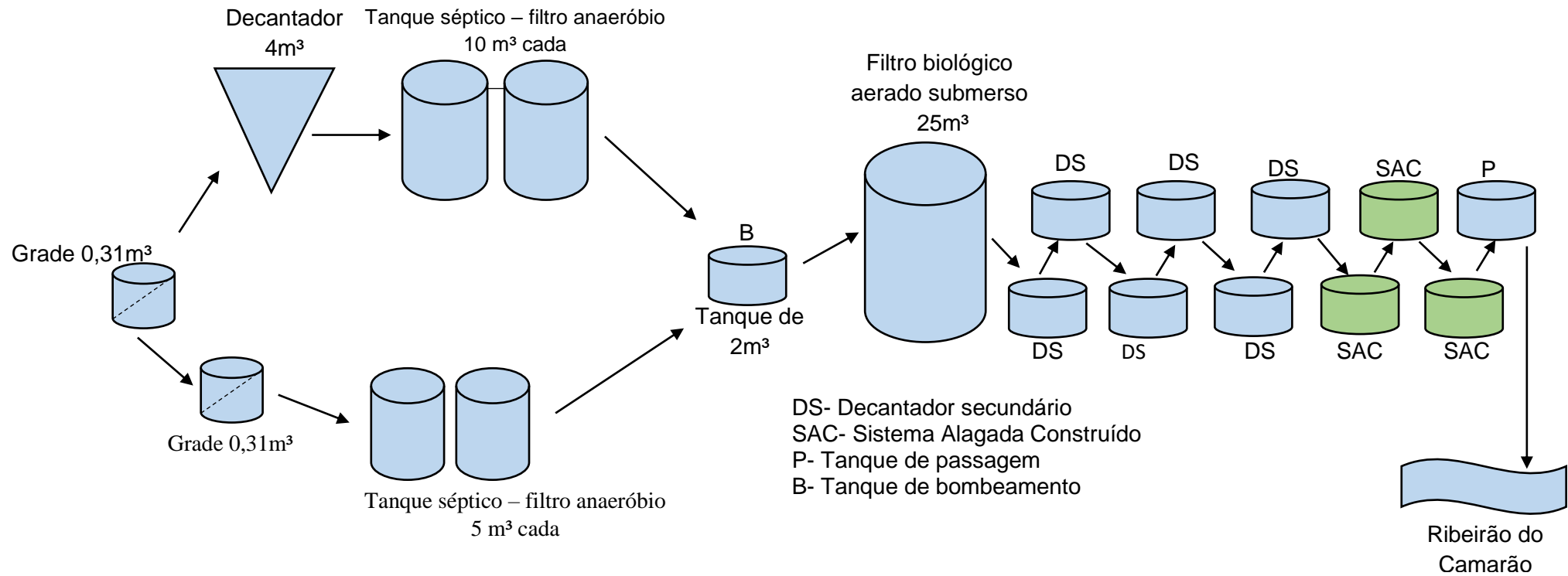
Fonte: PFA (2021).

Figura 10- Sistemas alagados construídos da unidade de tratamento do PFA



Fonte: PFA (2021).

Figura 11 – Diagrama esquemático do sistema de tratamento das águas residuárias do canil parque Francisco de Assis de Lavras-MG.



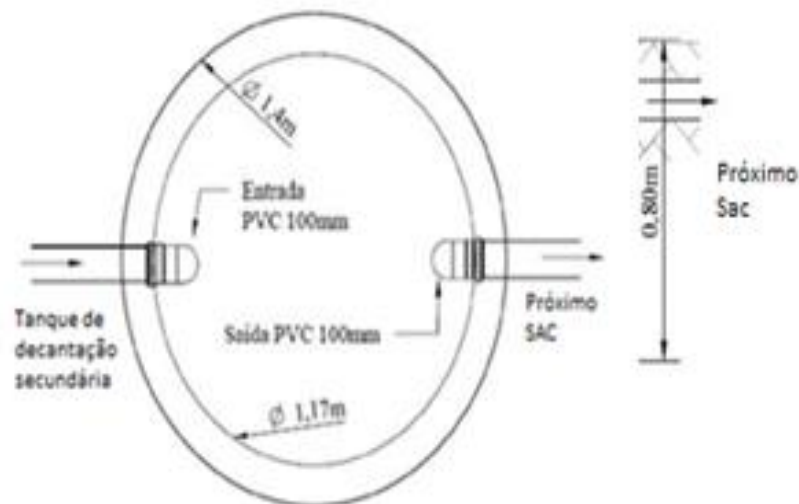
Fonte: Adaptado de Franco et al (2018).

2.2. Aspectos Construtivos dos SACs-EHSS

Os Sistemas Alagados Construídos de Escoamento Horizontal Subsuperficial (SACs-EHSS) inseridos na ETE-PFA foram colocadas em série, recebendo vazão de até $20 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Para a construção das unidades, foram aproveitados os tanques de fibra de vidro já instalados no PFA (antigas lagoas facultativas em série), que possuem 0,80 m de altura, 1,40 m de diâmetro na superfície e 1,17 m de diâmetro na base (Figuras 12 e 13). Na avaliação, será considerada a área superficial de $5,19 \text{ m}^2$, valor calculado à meia altura do tanque.

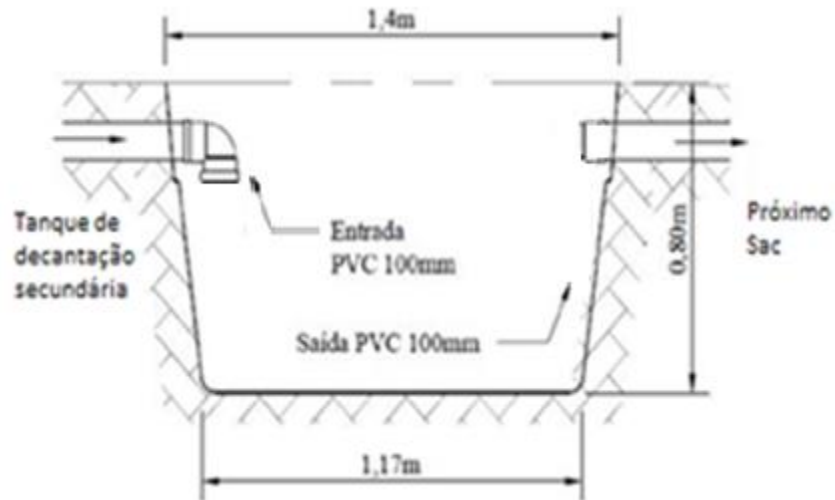
A água residuária entra na parte superior dos tanques utilizados como SACs-EHSS, sendo direcionada aproximadamente a 0,15 m da altura da borda dos tanques por tubulação de PVC de 100 mm. Após passar pelo tratamento, a água residuária tratada no SAC é captada na superfície do tanque, no lado oposto, por tubulação de PVC de 100 mm. Os tanques possuem barreiras (chicanas) de plástico no centro das unidades, de forma a reduzir os caminhos preferenciais e promover alongando do caminho da água residuária até a saída (Figuras 13 e 14).

Figura 12 - Planta baixa do tanque com suas medidas.



Fonte: Adaptado de Souza (2015).

Figura 13 - Corte do tanque com a configuração das canalizações de entrada e saída dos tanques, antes do transbordamento do efluente.



Fonte: Adaptado de Souza (2015).

Figura 14- SACs instalados no Parque Francisco de Assis com entrada da canalização dada a 0,15 m da altura da borda do tanque em 2016, e ilustração sobre a chicana.



Fonte: Adaptado de MAFRA (2017).

Os SACs foram preenchidos com brita #1 (malha entre 9,5 mm e 19,0 mm), dispostas até 0,80 m da altura do tanque. Para evitar arraste do meio suporte para dentro da tubulação, foi colocada uma tela de proteção na saída das caixas d'água (Figura 15). Nas condições de operação da ETE-PFA, os SACs operaram desde agosto de 2016, com volume útil de 0,8 m³ e tempo de detenção hidráulica (TDH) teórico de 0,2 h (cada) (MAFRA, 2017).

Cultivou-se nos SACs, mudas de capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), em razão

do seu grande crescimento radicular, aspecto interessante para um SAC profundo (Figura 16), com plantio homogêneo em densidade de 25 mudas por m² (MAFRA, 2017). As mudas do capim-vetiver foram adquiridas no comércio local. Após término do experimento de Mafra (2017) (Jan/2017), iniciou-se o monitoramento deste trabalho (agosto/2017), no mês de novembro do mesmo ano foi necessário a limpeza dos tanques, do material suporte colmatado (lodo acumulado deste a instalação dos SACs) e replantio do capim-vetiver com as mesmas mudas e critérios descritos acima, retomando a operação. Na Figura 17, é apresentada uma imagem dos três SACs-EHSS instalados.

Figura 15- Instalação dos SACs no Parque Francisco de Assis com as britas e tela de proteção.



Fonte: MAFRA (2017).

Figura 16- Mudas de capim-vetiver adquiridas em comércio, geminada em tubetes.



Fonte: MAFRA (2017).

Figura 17- Sistemas alagados construídos de escoamento horizontal subsuperficial (SACs), na época de transplantação das espécies.



Fonte: PFA (2016)

2.3. Monitoramento

Para verificar a eficiência da remoção da matéria orgânica e nutrientes nos SACs, foram feitas análises da Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT) e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), em amostras coletadas semanalmente na entrada do primeiro SAC e na saída do terceiro. As amostragens foram realizadas no período de 9 às 15 h, enquanto as análises foram feitas no Laboratório de Análises de Águas Residuárias e Reúso de Água do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), seguindo a metodologia descrita em APHA et al. (2012) e Matos (2015). O período de monitoramento foi de agosto de 2017 a janeiro de 2018 na primeira fase (11 dados) e de janeiro a maio de 2018 (11 dados) na segunda fase. As eficiências de remoção foram calculadas de acordo com a Equação 1.

$$\text{Eficiência (\%)} = \frac{(\text{Concentração do afluente} - \text{Concentração do efluente})}{(\text{Concentração do afluente})} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

De forma a inferir sobre a contribuição das plantas na remoção de nutrientes, foram quantificadas a produtividade e os teores de N e P na parte aérea das plantas. A retirada da biomassa vegetal (parte aérea) ocorreu nos dias 05/09/17 e 14/04/18, que equivale às duas diferentes fases de operação da ETE-PFA. No primeiro período, o FBAS estava em operação com 7 horas de aeração contínua, e foi reduzido para 5 h na Fase 2, que pode influenciar na

capacidade de absorção de nutrientes pelas plantas. O material coletado foi seco em estufa por 24 h à 65 °C (MATOS, 2015), determinando a produtividade de matéria seca. Com as amostras secas, se quantificou também os teores de N e P. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Águas Residuárias e Reúso de Água do Departamento de Engenharia Ambiental (DAM) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

O primeiro corte foi realizado para obtenção de amostras da parte aérea do capim-vetiver, de forma a propiciar a obtenção do teor de água e de nutrientes. Assim sendo, a produtividade não foi estimada (não foi pesada a totalidade da parte aérea do capim), até pelo fato de haver incerteza da data do corte anteriormente realizado pelos funcionários do PFA, esse feito após término do experimento de Mafra (2017) e antes do início deste trabalho. No dia 14/01/18, nova manutenção dos SACs foi feita pela administração do canil, com corte do capim e descarte da biomassa, não sendo possível aproveitar o material vegetado removido das unidades. Assim, o segundo corte considerado no trabalho somente ocorreu após 90 dias (3 meses) da intervenção ocorrida nas unidades, sendo feito no dia 14/04/18.

A produtividade foi calculada dividindo a massa seca pelo produto entre área superficial de cada SAC (1,54 m²) e o intervalo entre os cortes (90 dias no corte 2). Com a produtividade e os teores de nutrientes pode-se estimar a contribuição da absorção na remoção de N e P pelo sistema de tratamento. A produtividade foi calculada de acordo com a Equação 2.

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

Para auxiliar na discussão dos resultados, também mediu-se a condutividade elétrica (CE) e o pH das amostras, utilizando condutivímetro e um peagâmetro.

Testes estatísticos foram realizados com utilização do *Software* Statistica 10.0, empregando Wilcoxon e Mann-Whitney, ao nível de 5% de significância, respectivamente, para comparação de dados pareados (entrada e saída) e não pareados (comparação das duas diferentes fases), inferência não paramétrica (para dados que não seguem distribuição normal).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Eficiências de remoção

Na Tabela 2 é possível observar oscilações com relação ao pH, estando os valores encontrados dentro da faixa ideal para as condições de sobrevivência das bactérias responsáveis pela degradação da matéria orgânica, a qual varia de 6,0 a 9,0 (METCALF; EDDY, 2003). Além disso, os valores próximos à neutralidade, também podem contribuir para o melhor desempenho de espécies vegetais (BRIX et al. 2002).

Tabela 2 – Valores médios, mediana e desvio padrão dos valores de pH e condutividade elétrica do afluente e efluente dos SACs.

Amostra		pH		CE (dS cm ⁻¹)	
		1ª Fase	2ª Fase	1ª Fase	2ª Fase
Entrada	Média	7,69 ± 0,22	7,73 ± 0,26	1,60 ± 0,80	1,81 ± 0,37
	Mediana	7,70Aa	7,67Aa	1,56Aa	1,85Aa
Saída	Média	7,72 ± 0,23	7,77 ± 0,20	1,59 ± 0,74	1,81 ± 0,35
	Mediana	7,78Aa	7,74Aa	1,54Aa	1,80Aa

Medianas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferiram significativamente pelo teste de Wilcoxon (comparação de entrada e saída) e pela mesma letra minúscula não diferiram significativamente pelo teste de Mann-Whitney (comparação de duas diferentes fases) ao nível de 5,0% de significância.

Fonte: Do Autor (2021)

Observa-se não ter havido diferença significativamente do pH e da condutividade elétrica (CE) da entrada para saída, e nem de uma fase para outra. O fato pode estar ligado ao baixo tempo de detenção hidráulica (TDH) e a ocorrência de mecanismos como mineralização e disponibilização de íons, absorção de íons e evapotranspiração nos três SACs, como discutido por Fia et al. (2017) e Matos et al. (2018). Assim, pode ter havido um contrabalanceamento de fatores, resultando em diferenças não significativas.

Na Tabela 3, estão apresentados os dados de eficiência de remoção de DBO, DQO, NTK e PT geral dos SACs.

Tabela 3- Medianas das concentrações e eficiências (calculado com base nas concentrações médias), além da taxa de carregamento orgânico (TCO)* nas duas fases de avaliação dos SACs na ETE-PFA

Amostra	Variável	Fase 1			Fase 2		
		TCO	Conc.	Efic.	TCO	Conc.	Efic.
		g _{DBO} m ⁻² d ⁻¹	mg L ⁻¹	%	g _{DBO} m ⁻² d ⁻¹	mg L ⁻¹	%
Entrada	DBO		69Aa	-		46Aa	-
Saída	DBO		27Ba	48		15Ba	65
Entrada	DQO		616Aa	-		286Ab	-
Saída	DQO	79	411Aa	10	58	164Ab	14
Entrada	NTK		33Aa	-		31Aa	-
Saída	NTK		28Aa	15		26Aa	11
Entrada	PT		17Ab	-		22Aa	-
Saída	PT		12Bb	24		18Aa	12

Medianas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferiram significativamente pelo teste de Wilcoxon (comparação de entrada e saída) e pela mesma letra minúscula não diferiram significativamente pelo teste de Mann-Whitney (comparação de duas diferentes fases) ao nível de 5,0% de significância.

* Considerando o primeiro SAC.

Fonte: Do Autor (2021)

Observa-se, na Tabela 3, que só houve efetividade na remoção de DBO, em ambas as fases, e de PT, na primeira fase – quando a concentração foi menor. Para DQO e NTK, não houve diferença significativa entre a entrada e saída. Essa condição, assim como a do pH, também pode ser explicada em razão dos baixos valores de TDH. Sultana et al. (2015), por exemplo, indicaram que somente com TDH superior a 2 dias, houve atendimento da legislação europeia, utilizando SACs-EHSS no tratamento de água residuária agroindustrial. Outra consideração para se fazer, é que existe uma remoção de matéria orgânica no tratamento antes do efluente chegar aos SACs, o que se justifica pela baixa concentração de DBO remanescente, logo já é de se esperar uma baixa remoção, visto que sobra no sistema uma matéria orgânica que é menos biodegradável.

Para a remoção adequada de nutrientes é necessário tempo ainda maior de forma a propiciar a ocorrência da nitrificação/desnitrificação e absorção pelas plantas (SIRIANUNTAPIBOON et al., 2006; AKRATOS; TSIHRINZIS, 2007; KADLEC; WALLACE, 2009; AVELAR; MATOS; MATOS, 2019) também influencia a taxa de carregamento orgânico e as características do efluente tratado. TDH e cargas aplicadas adequadas são de grande importância para operação de SACs, pois podem proporcionar maior oportunidade para remoção de contaminantes por plantas e microrganismos (SAAED; SUN, 2012; YAN; XU, 2014; WU et al., 2015).

Em relação à taxa de carregamento orgânico (TCO), a aplicada no primeiro SAC foi superior ao valor máximo recomendado por Matos e Matos (2017), de $50 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de DBO, o que também prejudica o desempenho dos SACs-EHSS. Fia et al. (2011), por exemplo, observaram que a maior capacidade de extração de nutrientes pelas plantas ocorreu em taxa de carregamento de $33 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e um TDH de 5,9d sendo que acima desse valor houve redução de eficiência. O valor verificado por Fia et al. (2011) está dentro da faixa recomendada por Matos et al. (2010), entre 25 e $40 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, com o TDH de 4,8d. As altas taxas de TCO, podem ter causado a obstrução dos poros e reduzindo a eficiência no desempenho de remoção dos SACs. Se forem considerados os três SACs como uma única unidade, as cargas aplicadas atenderiam os especificados pelos autores, visto que as cargas aplicadas no primeiro SAC (7 e $58 \text{ g}_{\text{DBO}} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), seria dividida por três unidades e ainda ocorreria o aumento do TDH, proporcionando uma maior eficiência.

Quanto às fases de aeração, houve diferença no desempenho apenas entre PT, já que para DQO houve diferença entre os valores das duas fases, porém não foi verificada diferença entre a entrada e saída. Tratando da remoção de fósforo, verificou-se ter havido redução da eficiência da primeira para segunda fase, apresentando em ambas eficiências menores que a encontrada no trabalho de Mafra (2017) (51%), o que pode estar ligado à saturação dos sítios de sorção de fósforo, visto que a eficiência na remoção de fosforo reduz com o tempo, devido ao fenômeno de “envelhecimento” (KADLEC; WALLACE, 2009; KARCZMARCZYK; RENMAN, 2011). Comparando com o trabalho de Mafra (2017) também houve perda de desempenho na remoção de DQO (27%) e eficiências próximas de NTK (12%). Dada às elevadas cargas aplicadas no primeiro SAC, supõe-se que pode ter havido grande obstrução dos poros do leito, com redução das eficiências do SAC, resultando em diminuição do já baixo TDH (ROUSSEAU; VANROLLEGHEM; DE PAUW, 2004). Paoli e Von Sperling (2013), por exemplo, relataram escoamento superficial, resultante da colmatação, após 2 anos de operação tendo cargas aplicadas de $20,0 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de DBO, inferior aos valores da Fase 1 e da Fase 2 na primeira unidade.

3.2. Produtividade

Alguns fatores influenciam a produtividade e dentre eles estão a espécie vegetal, a frequência de corte, o tipo de pré-tratamento e as cargas orgânicas (AVELAR et al., 2015; FIA et al., 2011; MATOS et al., 2011a; MATOS et al, 2010; MATOS; FREITAS; LO MONACO, 2009)

Na Figura 18, estão apresentadas algumas avaliações visuais do capim-vetiver presente nos SACs-EHSS.

Figura 18- Registros fotográficos dos SACs-EHSS durante alguns meses de observação do desenvolvimento do capim-vetiver.



11/07/2017



31/08/2017



21/11/2017



09/01/2018

Fonte: Do Autor (2021)

Com base nas imagens, é possível observar que havia grande diferença entre as alturas do capim-vetiver em julho e agosto de 2018, tendo maior crescimento vertical no primeiro SAC-EHSS, sendo que recebe maior carga de nutrientes. O mesmo foi observado por Jesus (2016), que ainda concluiu que quanto maior a biomassa produzida maior é a capacidade de acumular nutrientes e assim poderia aumentar a eficiência do sistema. Após limpeza e replantio do capim-vetiver, a análise visual indica que as diferenças de produtividade podem

ter diminuído, pois após o fim do experimento de Mafra (2017), não foi realizada a limpeza nos tanques, e por consequência havia uma grande quantidade de lodo retido no primeiro tanque.

Para avaliar se a quantidade da massa seca gerada corrobora com as análises visuais, construiu-se a Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de produtividade na fase 2 do capim-vetiver (90 dias entre os cortes) (14/04/18).

PRODUTIVIDADE (g m⁻² d⁻¹)	2^a Fase
SAC 1	3,50
SAC 2	2,02
SAC 3	2,78

Fonte: Do Autor (2021)

Com base na análise da Tabela 4, observa-se que, como o avaliado visualmente, a produtividade do SAC 1 foi maior. Por outro lado, o segundo tanque apresentou menor produtividade do que o último reator. No SAC 2, houve muitos problemas na operação como o desnivelamento do material suporte, apresentando escoamento superficial e eventos de transbordamento, o que pode explicar os resultados obtidos. De forma a comparar com os dados da literatura, construiu-se a Tabela 5.

Tabela 5- Teores de macro e micronutrientes encontrados na parte aérea do capim-vetiver cultivado nos SACs 1, 2 e 3 (na segunda fase) e outros valores encontrados na literatura (continuação)

Unidade	Espécie Vegetal	Intervalo entre cortes	Produtividade g m ² d ⁻¹	Carga aplicada						Nutrientes								
				DBO	N	P	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe	
				-----g m ² d ⁻¹ -----			-----dag kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----						
				D		--												
(5)	<i>Mentha aquática</i>	71	7,50	16,03	-	-	4,48	0,40	2,22									
(6)	Lírio-amarelo	±210	0,072	9,80	4,65	0,65	2,64	0,28	0,16									
(7)	Aguapé (<i>Eichhornia crassipes</i>)	70	15,60	-	-	-	3,97	0,72	3,56	0,84	0,39	0,34	11,30	6,50	123,60	44,80	305,30	

(1) Mafra (2017); (2) Ázara (2020); (3) Ramos et al. (2017); (4) Matos et al. (2010); (5) Avelar et al. (2015); (6) Matos et al. (2013); (7) Souza (2018)

Fonte: Do Autor (2021)

Apesar do menor intervalo entre cortes, a produtividade obtida foi superior ao encontrado por Mafra (2017). Essa condição pode ter sido observada devido a maior adaptação da cultura ao ambiente alagado e com elevada condutividade elétrica em relação ao trabalho do autor, sugerindo uma maior diluição de sais no efluente.

Os dados de produção vegetal ainda estiveram próximos aos de Ramos et al. (2017), que utilizaram erva-de-bicho e capim-vetiver cultivados em SACs. Na avaliação dos autores, os cortes ocorriam a cada 30 dias o que pode resultar em menor acúmulo de matéria seca (ALVIM et al., 1998; JESUS, 2016).

A produtividade dos SACs 1 a 3, no entanto, foram inferiores aos encontrados por Ázara (2020), Matos et al. (2010), Avelar et al. (2015), Matos et al. (2013) e Souza (2018), uma vez que todos apresentaram TDH superiores aos dos SACs do PFA. O TDH influencia diretamente no processo de absorção de nutrientes, afetando a produtividade das espécies vegetais, sendo assim, um maior tempo de permanência do líquido sugere um maior tempo de contato com os nutrientes (YAMAUCHI, 2014).

3.3. Teores de Nutrientes

Os valores obtidos na Fase 1 e Fase 2 de nitrogênio (NTK) e fósforo (PT) na parte aérea das plantas, encontram-se na Tabela 6, junto com a porcentagem de remoção pelas plantas na Fase 2.

Tabela 6- Valor de N e P obtidos nas duas fases de operação

SACs	NUTRIENTES - 1ª Fase		NUTRIENTES - 2ª Fase	
	NTK (g kg ⁻¹)	PT (g kg ⁻¹)	NTK (g kg ⁻¹)	PT (g kg ⁻¹)
SAC 1	6,78	0,05	11,54	0,51
SAC 2	6,70	0,11	7,67	0,65
SAC 3	8,44	0,26	12,75	0,64
Remoção (%)	-	-	2,10	0,01

Fonte: Do Autor (2021).

Uma importante constatação feita é de que os teores de nutrientes do tecido vegetal aumentaram do SAC 1 para o SAC 3, possivelmente devido a maior produtividade na primeira unidade, e conseqüentemente uma maior diluição dos nutrientes na matéria seca,

sendo o oposto da última unidade, que apresentou uma produtividade menor, sendo assim a matéria seca para a diluição dos nutrientes foi menor, logo os teores de nutrientes obtidos foram maiores, mesma constatação feita por Jesus (2016).

Comparando com os dados apresentados na Tabela 5, observa-se que os teores de nutrientes são inferiores aos reportados na literatura, o que novamente pode se explicar pelo baixo TDH, além do grande intervalo entre cortes, visto que plantas mais velhas demandam de poucos nutrientes. A retirada mais frequente da parte aérea da biomassa também pode resultar em maior capacidade de extração de poluentes como citado por Verhofstad et al. (2017).

Na Fase 2, foi observado um aumento dos teores de nutrientes, o que poderia estar ligado à menor conversão do nitrogênio amoniacal à nitratos no FBAS. Sabe-se que a maior parte das espécies vegetais absorvem mais o nitrogênio na forma de NH_4^+ do que NO_3^- (GARGALLO et al., 2017), o que poderia resultar em menores teores na parte aérea dos SACs. No entanto, não houve diferença significativa na produção de nitrato da Fase 1 para a Fase 2 (SOUZA et al., 2020), indicando que a adaptação dos exemplares replantados pode ter sido mais importante nos resultados obtidos.

Com base na produtividade, teores de nutrientes e a carga removida na Fase 2, pode-se calcular a porcentagem removida via extração na parte aérea pelo capim-vetiver. Os valores obtidos foram de 2,10 e 0,01% (considerando os três SACs), indicando que há outros mecanismos envolvidos. Segundo Kadlec e Wallace (2009), em um SAC-EHSS pode ocorrer além da extração via parte aérea, a remoção nas raízes, a nitrificação/desnitrificação, assimilação microbiana e a adsorção no meio suporte.

A contribuição do capim-vetiver por extração via aérea foi inferior a de trabalhos como Jesus (2016), de 10 e 3%, respectivamente, de NTK e PT; e Borges et al. (2015), 10,4% de N. Acredita-se que essa condição se deve à grande profundidade dos leitos, altura em que as raízes podem ter tido dificuldade para alcançar, e as elevadas cargas aplicadas, além da necessidade de limpeza dos decantadores secundários. Com base para comparação, Matos et al. (2009), apresentaram remoção de $57,5 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de NTK em um período de 4 meses, em unidades com TDH de 4,8 d. Enquanto que no trabalho avaliado, a remoção foi $0,09 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de NTK.

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que as condições de operação não favorecem o desempenho de SACs-EHSS, sendo necessário realizar intervenções nas unidades em operação. A limpeza mais frequente dos decantadores secundários, o nivelamento das unidades em operação, o corte mais frequente da parte aérea e a utilização de

mais tanques como SACs, de forma a obter TDH total superior a 1 dia, condição mais comum encontrada na literatura, são algumas das possíveis modificações na operação e manutenção da ETE-PFA. Podendo-se alcançar o atendimento aos parâmetros estabelecidos para lançamento no curso d'água (MINAS GERAIS, 2008). Atualmente, apenas a variável DBO (60 mg L^{-1}) está sendo alcançada em termos de concentração, considerando o padrão para lançamento.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados conclui-se que:

- Não houve grande influência das fases de aeração no desempenho dos sistemas alagados construídos (SACs), sendo perceptível apenas na remoção de DQO;
- Os maiores teores de nutrientes na parte aérea do capim-vetiver foram obtidos na fase de menor aeração do FBAS, possivelmente devido ao replantio do capim-vetiver;
- Os teores de nutrientes tiveram tendência contrária à produtividade, tendo maiores valores nos SACs que tiveram menor produção de biomassa vegetal;

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AKRATOS, C. S.; TSIHRINTZIS, V. A. Effect of temperature, HRT, vegetation and porous media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands. **Ecological engineering**, v. 29, n. 2, p. 173-191, 2007.

ALVIM, M. J. et al. Efeito de doses de nitrogênio e de intervalos entre cortes sobre a produção de matéria seca e teor de proteína bruta do Tifton 85. **Reunião anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 492-494, 1998.

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

AVELAR, F. F.; DE MATOS, A. T.; DE MATOS, M. P. Removal of sewage contaminants in constructed wetlands systems cultivated with mentha aquatica. **Engenharia Sanitaria 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.

AZÁRA, M. S. **Efeito do nível de esgoto no desenvolvimento do sistema radicular e na absorção de nutrientes em sistemas alagados construídos**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária. Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Lavras , 2020.

BORDIN, A. R. et al. Produção de suínos e o impacto ambiental na Suinocultura. **Boletim Técnico**. 2005.

BORGES, I. D. et al. Efeito das épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, das fontes de nitrogênio e dos espaçamentos entre fileiras na cultura do milho. **Revista Ceres**, v.53, p.75-81, 2015

BRASIL, M. S. et al. 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 et al. Modelling of pollution removal in constructed wetlands with horizontal subsurface flow. **Agrartechnische Forschung**, v. 13, n. 2, p. 48-56, 2007.

BRIX, H.; DYHR-JENSEN, K.; LORENZEN, B. Root-zone acidity and nitrogen source affects Typha latifolia L. growth and uptake kinetics of ammonium and nitrate. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 379, p. 2441–2450, 2002.

CASELLES-OSORIO A.; PUIGAGUT J.; SEGÚ E.; VAELLO N.; GRANÉS F.; GARCIA D.; GARCIA J. Solids accumulation in six full-scale subsurface flow constructed wetlands. **Water Research**, v.41, p.1388-1398, 2007.

COPAM – Conselho de Política Ambiental. Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acessado em Fevereiro de

2021.

DELFINO, R.T. **Tratamento de Feses de Cães por Compostagem para Reúso Agrícola**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária. Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Lavras. 2018.

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

FIA, F. R. L. et al. Phosphorus dynamics in constructed wetlands systems treating swine wastewater. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 79–86, 2020.

FIA, F. R. L. et al. Remoção de nutrientes por *Typha latifolia* e *Cynodon* spp. cultivadas em sistemas alagados construídos. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v.6, n.1, 2011.

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

FIA, R. et al. Desempenho de forrageiras em sistemas alagados de tratamento de águas residuárias do processamento do café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 842-847, 2010.

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.

JAWORSKI, N.A.; HICKEY, J.L.S. Cage and kennel wastewater. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v.34, n.1, p.40-43, 1962.

JESUS, F. L. F. **Desempenho e influência dos capins-tifton 85 (*Cynodon spp*) e vetiver (*Chrysogon zizanioides*) nas condições operacionais de sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de esgoto sanitário**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Ambientais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 93 p., 2016.

JESUS, F. L. F; MATOS, A. T; MATOS, M. P. Efficiency of horizontal subsurface flow constructed wetlands cultivated with grasses of different root systems. **Water Supply**, v. 20, n. 8, p. 3318-3329, 2020.

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

KARCZMARCZYK, A.; RENMAN, G. Phosphorus Accumulation Pattern in a Subsurface Constructed Wetland Treating Residential Wastewater. **Water**, v.3, p.146-156, 2011.

LOPES, B. C. et al. Potential use of Tifton 85 cultivated in VFCW for animal feed. **Water Practice & Technology**, v. 15, n. 3, p. 598-604, 2020.

MAFRA, D. C. B. **Sistema alagado construído como unidade de pós-tratamento de efluentes do canil Parque São Francisco de Assis de Lavras - MG**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária. Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Lavras. 50 p., 2017.

MARÍN-MUNIZ, J. L. et al. Influence of different porous media and ornamental vegetation on wastewater pollutant removal in vertical subsurface flow wetland microcosms. **Environmental Engineering Science**, Monticello, v. 35, n. 2, p. 88–94, 2018.

MARONEZE, M. M. et al. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

MATOS, A. T. **Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias**. Editora UFV, 1ª ed., Viçosa, MG. p149, 2015

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.; ABRAHÃO, S.S.; PEREIRA, O.G. Desempenho agrônômico de capim Tifton-85 (*Cynodon spp.*) cultivado em sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de água residuária de laticínios. **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v.3, n.1, p.43-53, 2008

MATOS, A T. et al. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1311-1317, 2010.

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 espécie vegetal cultivada nas condições redox de sistemas alagados construídos. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 518-526, 2010c.

MATOS, A. T et al. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.1. p.83-92, 2010a.

MATOS, A. T. et al. Tifton grass yield on constructed wetland used for swine wastewater treatment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 510-516, 2010b

MATOS, A. T; FREITAS, W. S.; BORGES, A. C. Estudo cinético da remoção de matéria orgânica de águas residuárias da suinocultura em sistemas alagados construídos cultivados com diferentes espécies de vegetais. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1179-1188, 2011a.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LOMONACO, P. A. V. Capacidade extratora de diferentes espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 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. Clogging and performance of horizontal subsurface flow constructed wetlands over eight years of operation. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 1227–1237, 2018.

MENDONÇA, H. V et al. Remoção de nitrogênio e fósforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. **Ambi-Agua, Taubaté**, v. 7, n. 2, p. 75-87, 2012.

METCALF & EDDY, Inc. (2003). Wastewater engineering: treatment and reuse. 4. ed. New York: McGraw-Hill. 1819p.

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.

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

PAOLI, A.C.; VON SPERLING, M. (2013) Evaluation of clogging in planted and unplanted horizontal subsurface flow constructed wetlands: solids accumulation and hydraulic conductivity reduction. **Water Science and Technology**, v. 67, n. 6, p. 1345-1352.

PARQUE SÃO FRANCISCO. Disponível em:
<<http://www.parquefranciscodeassis.com.br/sobre-o-parque>>, acesso em 21 de fevereiro de 2020.

RAMOS, K.; ANDREANI JUNIOR, R.; KOZUSNY-ANDREANI, D. I. Essential and vegetal oils in the in vitro control of *Colletotrichum gloeosporioides*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 2, p. 605-612, 2016.

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 Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 123–132, 2017.

ROUSSEAU, D.P.L.; VANROLLEGHEM, P.A.; DE PAUW, N. Model-based design of horizontal subsurface flow constructed treatment wetlands: a review. *Water Research*, v. 38, n. 6, p. 1484-1493, 2004.

SAEED, T; SUN, G. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. **Journal of environmental management**, v. 112, p. 429-448, 2012.

SANDOVAL-HERAZO, L. C. et al. Effects of the use of ornamental plants and different substrates in the removal of wastewater pollutants through microcosms of constructed wetlands. **Sustainability**, San Diego, v. 10, n. 5, p. 1594, 2018.

SEZERINO, P. H. et al. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 151-158, 2015.

SIRIANUNTAPIBOON, S; KONGCHUM, M; JITMAIKASEM, W. Effects of hydraulic retention time and media of constructed wetland for treatment of domestic wastewater. **African Journal of Agricultural Research**, v. 1, n. 2, p. 27-37, 2006.

SOUZA, A. R. **Avaliação do sistema de tratamento de efluentes do canil Parque São**

Francisco de Assis em Lavras-MG. Dissertação de mestrado em Hidrologia e Saneamento Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 129 p., 2015.

SOUZA, A. R. et al. Efficiency of the treatment system of wastewater at a kennel. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 40, p. 1–13, 2018.

SOUZA, A. R. et al. Evaluation of nitrogen removal and the microbial community in a submerged aerated biological filter (SABF), secondary decanters (SD), and horizontal subsurface flow constructed wetlands (HSSF-CW) for the treatment of kennel effluent. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 1, p. 1-1, 2020.

SOUZA, A. R. **Pós-tratamento para remoção de nitrogênio de efluente de canil em filtro biológico aerado submerso e sistemas alagados construídos: eficiência e microbiota em diferentes tempos de aeração.** Tese de doutorado em Saneamento Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas. Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 143 p., 2019.

SOUZA, V. S. **Avaliação do potencial para adubação verde com a parte aérea de espécies vegetais cultivadas em sistemas alagados construídos no tratamento de esgoto sanitário.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária. Núcleo de Engenharia Ambiental e Sanitária, Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Lavras. 67 p., 2018.

SULTANA, M. Y. et al. Effect of hydraulic retention time, temperature, and organic load on a horizontal subsurface flow constructed wetland treating cheese whey wastewater. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 91, n. 3, p. 726-732, 2016.

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

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

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** p. 137, 1999.

VERHOFSTAD, M. J. J. M. et al. Finding the harvesting frequency to maximize nutrient removal in a constructed wetland dominated by submerged aquatic plants. **Ecological Engineering**, v. 106, p. 423-430, 2017.

VIERITZ, A. et al. Modelling Monto Vetiver Growth and Nutrient Uptake. Department of Natural Resources and Mines. Queensland, p. 87-99. 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG),v.1, p. 472, 2014.

VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, v.25, p.478–490, 2005.

WU, H et al. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment:

design and operation. **Bioresource technology**, v. 175, p. 594-601, 2015.

YAMAUCHI, A.K.F. Efeito da incorporação de macrófitas aquáticas sobre características químicas de solo degradado. 2014. 45 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2014

YAN, Y; XU, J. Improving winter performance of constructed wetlands for wastewater treatment in northern China: a review. **Wetlands**, v. 34, n. 2, p. 243-253, 2014.