

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

JORGE MONTOANELLI CORREA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS NO
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

Alegre, ES

2018

JORGE MONTOANELLI CORREA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na linha de pesquisa Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia.

Alegre, ES

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)
Bibliotecária: Lizzie de Almeida Chaves – CRB-6 ES-000871/O

Correa, Jorge Montoanelli, 1991-

C824a Avaliação de sistemas alagados construídos no tratamento de água residuária de suinocultura / Jorge Montoanelli Correa. – 2018. 55 f. : il.

Orientador: Giovanni de Oliveira Garcia

Coorientadores: Edvaldo Fialho dos Reis ; Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Suíno - Criação 2. Recursos Hídricos 3. Terras inundáveis I. Garcia, Giovanni de Oliveira II. Reis, Edvaldo Fialho dos. III. Lo Monaco, Paola Alfonsa Vieira. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 63

JORGE MONTOANELLI CORREA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE
ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 26 Fevereiro de 2018

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Giovanni de Oliveira Garcia
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
Universidade Federal do Espírito Santo
Co-orientador



Dra. Ana Paula Almeida Bertossi Souza
Bolsista de Pós-doutorado FAPES/CAPES

Aos meus familiares.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

A minha família, meu pai José Atílio Correa, minha mãe Maria Lúcia Montoanelli de Melo Correa e a minha avó Maria Montoanelli de Melo, pelo incentivo, amor e pelas orações em minha intenção.

A Universidade Federal do Espírito Santo, pela oportunidade de cursar o mestrado no Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal e a FAPES pelo apoio financeiro;

Ao meu orientador, professor Giovanni de Oliveira Garcia, pela orientação, dedicação, compreensão e confiança, fundamentais para a realização deste trabalho;

A minha coorientadora, professora Paola Alfonsa Viera Lo Monaco, pelo acompanhamento, acolhimento, conselhos e orientação.

Ao meu coorientador, professor Edvaldo Fialho do Reis.

Ao Grupo de Pesquisa em Manejo Ambiental (GPMA), pelo acolhimento e companheirismo.

Ao Instituto Federal do Espírito Santo, *campus* Santa Teresa, pela oportunidade de realização do trabalho em suas dependências, bem como a concessão de materiais e aos demais servidores que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial o Engenheiro Agrônomo da instituição Thiago Lopes.

Aos meus amigos Eduardo e Milena, pela ajuda mútua no laboratório, nas análises e pelo incentivo.

Aos amigos que ajudaram na condução do experimento, em especial Artur, Aroldo, Gustavo e Cecília.

Ao meu amigo Marcelo Krause, pelo incentivo.

Aos funcionários do setor de Suinocultura do IFES *campus* Santa Teresa, pelos momentos de conversas e pelos “cafezinhos”.

Aos estagiários dos laboratórios Marcos Vinicius Demuner e Otávio Vallandro Rodrigues, pela ajuda e colaboração na realização deste trabalho;

Enfim, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho, muito obrigado!

RESUMO

CORREA, Jorge Montoanelli; M.Sc. Universidade Federal do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Fevereiro de 2018. AVALIAÇÃO DE SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA. Orientador: Giovanni de Oliveira Garcia. Coorientador: Edvaldo Fialho dos Reis. Coorientador: Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco.

A suinocultura é uma atividade agropecuária importante para o estado do Espírito Santo, possuindo em sua grande maioria criações confinadas, sejam elas, de pequeno, médio ou grande porte. Por gerar grandes quantidades de dejetos, as unidades de criação devem ser compostas por um sistema eficaz de tratamento. Neste sentido, os Sistemas Alagados Construídos (SAC's) podem se tornar uma alternativa de custo econômico acessível a pequenos e médios suinocultores. Objetivou-se com a realização deste trabalho, avaliar o desempenho dos SAC's cultivados com capim-Jiggs, no tratamento da água residuária gerada no processo de produção de suínos. O experimento foi desenvolvido no setor de suinocultura do IFES - *campus* Santa Teresa. Foram implantados cinco SAC's cultivados com capim-Jiggs, nos quais eram aplicadas diferentes cargas orgânicas, sendo: 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO. Um SAC não teve o cultivo do capim-Jiggs e no mesmo foi aplicada uma carga de 100 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO. Como meio suporte, em todos os SAC's foi utilizado a brita 0. O desempenho dos sistemas foi verificado avaliando-se a influência da vegetação e a caracterização química e física do efluente em intervalos de 30 dias. Após dois meses de adaptação do sistema, iniciou-se a aplicação do efluente. Após o início das aplicações, foram realizadas seis avaliações de extração de nutrientes pela forrageira, bem como no efluente, onde foram determinados o pH, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total e fósforo total. Constatou-se variação na composição química e física nas amostras de água residuária coletadas antes e após a passagem pelo sistema. O sistema de tratamento proposto demonstrou ser viável na remoção de nutrientes e carga orgânica, porém a variação na composição química e física das amostras de água foram um indicativo que o sistema ainda não esteja totalmente em equilíbrio.

Palavras-chave: wetlands, suíno, Recurso hídrico, forrageira.

ABSTRACT

CORREA, Jorge Montoanelli; M.Sc. Universidade Federal do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. February, 2018. EVALUATION OF ALAGED SYSTEMS CONSTRUCTED IN THE TREATMENT OF SUINOCULTURE RESIDUE WATER. Advisor: Giovanni de Oliveira Garcia. Co-advisor: Edvaldo Fialho dos Reis. Co-advisor: Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco.

Pig farming is an important agricultural activity for the state of Espírito Santo, with most of its confined creations, whether small, medium or large. By generating large amounts of waste, the breeding units must be composed of an effective treatment system. In this sense, Constructed Alachate Systems (SAC's) can become an affordable cost alternative for small and medium pig farmers. The objective of this work was to evaluate the efficiency of SACs grown with Jiggs grass in the treatment of wastewater generated in the pig production process. The experiment was developed in the swine sector of IFES - Campus Santa Teresa. Five SAC's were cultivated with Jiggs grass, in which different organic loads were applied, being: 100, 200, 300 and 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ of BOD. A SAC did not have the cultivation of the Jiggs grass and in the same one was applied a load of 100 kg ha⁻¹ d⁻¹ of BOD. As a support medium, grit #0 was used in all SAC's. The performance of the above described system was verified by evaluating the influence of the vegetation, and chemical and physical characterization of the effluent at intervals of 30 days. After two months of adaptation of the system, the effluent was started. After the start of the applications, six evaluations of dry mass production were carried out in the forage as well as in the effluent where pH, turbidity, electrical conductivity, total solids, biochemical oxygen demand, total nitrogen and total phosphorus were determined. It was verified that the dry mass production suffered interference of climate and the organic loading rate. It was also verified a variation of the chemical and physical composition in the samples of wastewater collected. The proposed treatment system proved to be viable in the nutrient and organic load removal in the proposed system, but the variation in the chemical and physical composition of the water samples was indicative that the system is not yet fully in equilibrium. It is also confirmed, through the chemical and physical composition of the treated effluent, the viability of the

treatment system, for the use of the treated water for later use in agricultural crops through the technique of fertigation.

Key words: wetlands, swine, environment pollution, forage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui experimental.....	17
Figura 2. Vista lateral do sistema de tratamento, constituído por cinco SAC's em série, sendo quatro vegetados e um sem vegetação.....	18
Figura 3. Mudanças de capim-Jiggs, plantadas em tubetes, sendo preenchidas com substrato comercial.....	19
Figura 4. Mudanças de capim-Jiggs com idade de 30 dias (A), apresentando o sistema radicular totalmente desenvolvido (B)	20
Figura 5. SAC sem vegetação, aos 60 dias após a implantação do sistema de tratamento (A). Vista lateral da área experimental, destacando-se o desenvolvimento da vegetação, aos 60 dias após o transplante das mudas (B).....	21
Figura 6. Aparência do capim-Jiggs após o corte de uniformidade na forrageira aos 60 dias após o transplante das mudas.....	22
Figura 7. Medição da vazão de saída e coleta de efluente para análise de qualidade da água residual após passagem pelo sistema de tratamento.....	23
Figura 8. Concentração média de Nitrogênio Total na ARS forrageira ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200 300 e 400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹ de DBO ₅	25
Figura 9. Concentração média de Fósforo Total na ARS ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200, 300 e 400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹ de DBO ₅	29
Figura 10. Concentração média e desvios padrões de Sólidos Totais na ARS apresentadas ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200, 300 e 400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹ de DBO ₅	32
Figura 11. Concentração média e desvios padrões de Turbidez na ARS apresentadas ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200, 300 e 400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹ de DBO ₅	34
Figura 12. Concentração média e desvios padrões de DBO ₅ na ARS apresentadas ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200, 300 e 400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹ de DBO ₅	36

Figura 13. Extração de Nitrogênio (A) e Potássio (B) pela forrageira ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200 e 400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹ de DBO ₅	38
Figura 14. Extração de Fósforo (A), Cálcio (B), Magnésio (C) e Enxofre (D) pela forrageira ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de 100, 200 e 400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹ de DBO ₅	40
Figura 15. Concentração de Proteína Bruta apresentadas pela forrageira ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens 100, 200 e 400 kg ha ⁻¹ d ⁻¹ de DBO ₅	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos da ARS utilizada durante o período experimental.....	21
---	----

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos.....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Local do Experimento.....	16
3.2 Caracterização dos SAC's	16
3.3 Plantio e transplante das mudas	18
3.4 Água Residuária de Suinocultura (ARS)	20
3.5 Condução dos tratamentos.....	21
3.6 Amostragens.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Água Residuária de Suinocultura	25
4.1.1 Nitrogênio.....	25
4.1.2 Fósforo.....	28
4.1.3 Sólidos Totais.....	31
4.1.4 Turbidez.....	33
4.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio.....	36
4.2 Extração de nutrientes pelo capim-Jiggs.....	37
4.2.1 Nitrogênio e Potássio.....	38
4.2.2 Fósforo, Cálcio Magnésio e Enxofre	39
4.2.3 Proteína Bruta	41
5 CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	45
APÊNDICES	52

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade de importância no âmbito nacional, estadual e regional, possuindo propensões de impacto social, econômico e ambiental. O efluente gerado na atividade da suinocultura, possui grande potencial poluente (MATOS *et al.*, 2009) com elevada carga orgânica e nutrientes (STEINMETZ *et al.*, 2009). Os resíduos gerados na atividade, se não foram tratados adequadamente, podem tornar um problema crescente entre os suinocultores, por apresentar um grande potencial poluidor.

O tratamento de dejetos líquidos da suinocultura na forma convencional é oneroso e torna-se inviável financeiramente para produtores de pequeno porte. Diante desta informação, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias mais econômicas para o tratamento destes dejetos. Neste sentido, os Sistemas Alagados Construídos (SAC's) apresentam-se como um método de tratamento alternativo e acessível aos produtores familiares, em razão do menor custo financeiro de implantação e manutenção do sistema.

Os SAC's são projetados de forma a possibilitar o cultivo de espécies vegetais em substratos constituídos por areia, solo ou brita, onde ocorre a formação de biofilme que agrega populações variadas de micro-organismos que, por meio de processos biológicos, químicos e físicos, possibilitam o tratamento das águas residuárias (MATOS, 2003).

A vegetação implantada nesses leitos de cultivo atua como extratora de macro e micronutrientes necessários ao seu crescimento, além de poder transferir oxigênio para o substrato, permitindo a formação de sítios aeróbios em torno de rizomas e raízes. Essas plantas também favorecem o desenvolvimento dos filmes fisiologicamente ativos que propiciam a degradação dos compostos orgânicos, depurando o meio (TANNER, 2001).

Diversas espécies vegetais dos gêneros *Typha*, *Phragmites* e *Scirpus*, naturalmente adaptadas a ambientes alagados, têm sido implantadas nesses sistemas (BRASIL *et al.*, 2007). Várias outras espécies vegetais da família das gramíneas, como o capim tifton 85 (*Cynodon* sp.) e o capim elefante (*Pennisetum purpureum*), adaptadas às condições tropicais, também têm sido utilizadas com sucesso, em SACs, no tratamento de águas residuárias agroindustriais (Matos *et al.*,

2008; 2009); no entanto, não se encontram, na literatura, SAC's, cultivados com o capim-Jiggs (*Cynodon dactylon* cv. Jiggs).

Tratando-se de uma forrageira tropical, acredita-se que por pertencer ao mesmo gênero do capim tífton 85, o capim-Jiggs possa apresentar também, potencial para se desenvolver e atuar como extratora de nutrientes em SAC's, contribuindo para o tratamento de dejetos, gerados pela atividade suinícola.

A seleção de espécies para os SAC's devem ser baseadas em critérios técnicos, levando-se em consideração a capacidade de adaptação da cultura a ambientes alagados, capacidade de extração de nutrientes da cultura e a capacidade fisiológica de incrementação de biomassa da vegetação.

Desta forma, avaliando-se esses critérios, afirma-se que a implementação de uma nova espécie de forrageira no sistema de tratamento proposto, pode ser uma nova opção para o tratamento de dejetos gerados pela atividade suinícola, principalmente para produtores de pequeno e médio porte, onde os investimentos para o tratamento de dejetos são limitados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de SAC's cultivados com capim-Jiggs no tratamento de água residuárias de suinocultura.

2.2 Objetivos Específicos

Avaliar a composição química da água residuária da suinocultura por meio da caracterização química e física antes e após a passagem da mesma no sistema de tratamento proposto;

Avaliar a extração de nutrientes pela forrageira, em função de diferentes dosagens de cargas orgânicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido no período de abril a outubro de 2017, no setor de suinocultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), *campus* Santa Teresa, localizado em São João de Petrópolis, no estado do Espírito Santo. A altitude do local é de 130m, latitude 19°48' 25" sul e longitude 40°41' 05" oeste.

O clima de São João de Petrópolis, segundo a classificação climática de Köppen (1948) citado por Thomaz e Monteiro (1997), é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com inverno seco e temperatura do mês mais quente maior que 22 °C.

A temperatura média durante o período experimental foi obtida em uma estação meteorológica localizada próxima a área do experimento, sendo a média de temperatura mínima de 17,29 °C e a média de temperatura máxima de 29,82 °C, havendo variação na amplitude térmica ao longo do período experimental.

3.2 Caracterização dos SAC's

A Água Residuária da Suinocultura (ARS) utilizada no presente trabalho foi coletada e transportada, por meio de um maconel, da unidade de suinocultura do Instituto até local onde foram implantados os SAC's. Inicialmente, a ARS foi transferida do maconel para um reservatório primário de 2000 L, que continha um sistema de filtragem com tela localizada na parte superior do reservatório, para a retirada de impurezas de maiores dimensões.

Deste reservatório primário, a ARS era direcionada, por meio de ação gravitacional para os para reservatórios secundários com capacidade de 100 L. Na saída desse reservatório secundário, era reguladas as vazões para abastecer cada unidade, chamadas de SAC. Após a passagem pelo sistema de tratamento, a ARS de cada SAC era direcionada para o reservatório de saída, com capacidade de 100 L cada, onde eram coletadas as amostras para caracterização física e química da mesma.

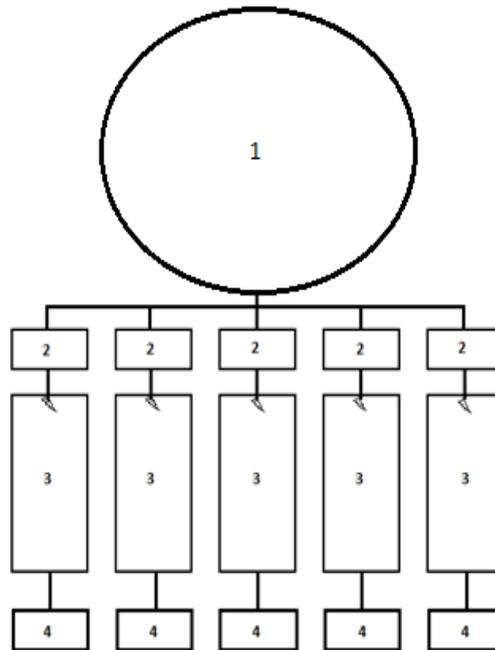


Figura 1 - Croqui experimental, sendo: 1 - Reservatório de 2000 L; 2 – Reservatório secundário de 100 L; 3 - Cochos de polietileno; 4 – Reservatório de saída.

O experimento constituiu-se de cinco SAC's construídos sem declividade, utilizando recipientes do tipo "cocho", confeccionados em polietileno de alta densidade. Cada unidade possui dimensões internas de 0,23 m de altura, 0,38 m de largura e 1,8 m de comprimento, totalizando uma área superficial de 0,684 m² e volume total de 0,157 m³. Dessa maneira, cada SAC, constituído de cinco unidades, possuiu um volume total de 0,785 m³. A área experimental onde os SAC's foram implantados, foi coberta por lona plástica transparente, objetivando a proteção do sistema de tratamento contra a ação de chuva.



Figura 2 - Vista lateral do sistema de tratamento, constituído por cinco SAC's, sendo quatro vegetados e um sem vegetação.

Como meio suporte, foi utilizada a brita zero, até a altura de 0,21 m, passando cada cocho a ter um volume útil de $0,14 \text{ m}^3$. Os drenos de saída de cada unidade foram feitos com flanges e tubos de PVC 32 mm, permitindo assim, o controle do nível de ARS dentro de cada SAC.

3.3 Plantio e transplântio das mudas

As mudas de capim-Jiggs foram obtidas no setor de Bovinocultura da próprio IFES - *campus* Santa Teresa. Objetivando à adaptação da cultura ao local do experimento, foram coletados partes vegetativas do capim para o plantio em tubetes. As mudas foram acondicionadas em tubetes de dimensões de $0,12 \times 0,014 \text{ m}$, sendo preenchidos com substrato comercial (Figura 3).



Figura 3 - Mudanças de capim-Jiggs no dia do plantio em tubetes, sendo preenchidas com substrato comercial.

O transplante das mudas foi realizado 30 dias após o plantio nos tubetes, quando as mudas já estavam com o sistema radicular totalmente desenvolvido (Figura 4).

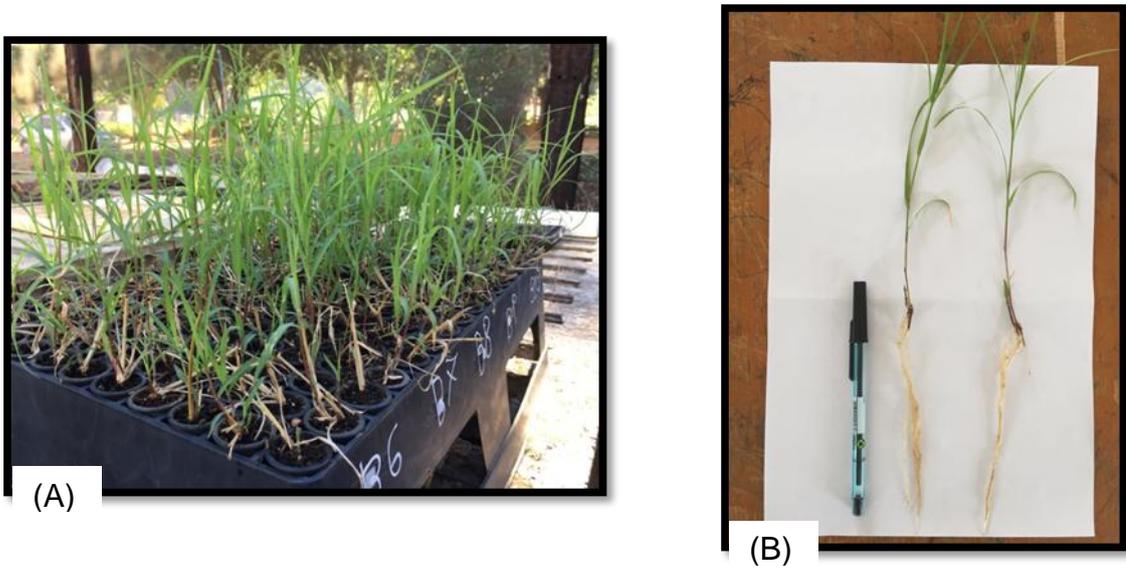


Figura 4 - Mudanças de capim-Jiggs com idade de 30 dias (A), apresentando o sistema radicular totalmente desenvolvido (B), aptas para serem transplantadas nos SAC's.

Foi obedecido uma densidade de 1 propágulo por cova, num espaçamento de 0,08 m, sendo utilizadas 15 covas por SAC. Nesse sistema, foram utilizados ao total, 60 propágulos de capim-Jiggs.

3.4 Água Residuária da Suinocultura (ARS)

A ARS utilizada no experimento (Tabela 1) foi proveniente das instalações da suinocultura presente no próprio IFES *campus* Santa Teresa. Esta suinocultura é classificada como do tipo ciclo completo, por possuir matrizes destinadas à produção de suínos terminados.

Tabela 1 - Atributos da ARS afluyente utilizada durante o período experimental

	Período					
	30	60	90	120	150	180
Nitrogênio Total (mg L ⁻¹)	532 ± 28	928 ± 53	1199 ± 53	896 ± 37	1176 ± 28	774 ± 16
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	23,65 ± 0,240	91,56 ± 0,225	21,26 ± 0,809	16,48 ± 1,617	24,12 ± 0,130	26,43 ± 0,480
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	2081 ± 68,25	5543 ± 383,9	3771 ± 31,7	2902 ± 17,1	3817 ± 373,9	4607 ± 194,4
Turbidez (NTU)	79,5 ± 2,3	255,66 ± 4	245,8	88 ± 0,5	120 ± 1,7	202,83 ± 4
DBO ₅	109,71	553,45	277,30	213,16	288,88	250,59

3.5 Condução dos tratamentos

Os tratamentos consistiram de diferentes taxas de carregamento orgânico de ARS nos SAC's, sendo: 100, 200, 300, 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅ e um tratamento testemunha sem vegetação, aplicando-se uma taxa de 100 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅, baseando-se no valor médio da demanda bioquímica de oxigênio da ARS.

Após o transplântio das mudas, os SAC's foram preenchidos com ARS até a altura de 0,25 m, permanecendo por 60 dias, objetivando a adaptação das mudas ao meio de suporte e para criação do biofilme (Figura 5).

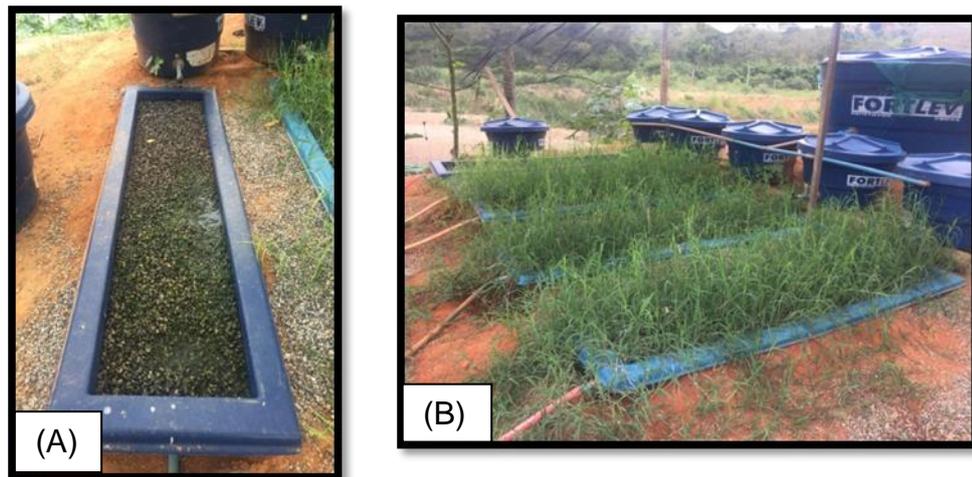


Figura 5 - SAC sem vegetação, aos 60 dias após a implantação do sistema de tratamento (A). Vista lateral da área experimental, destacando-se o desenvolvimento da vegetação, aos 60 dias após o transplântio das mudas (B).

Posteriormente ao período de adaptação, foi realizado um corte no capim-Jiggs (Figura 6) para o início da fase de avaliação e monitoramento do experimento.



Figura 6 - Aparência do capim-Jiggs após o corte de uniformidade na forrageira aos 60 dias após o transplântio das mudas.

Para monitoramento e aferição da dosagem de carga orgânica aplicada no sistema de tratamento, foram realizadas análises da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) da água residuária de suinocultura semanalmente e a vazão aplicada em cada SAC era em função dessa análise. A vazão em cada SAC foi aferida ao menos, duas vezes ao dia, durante o período de avaliação e monitoramento do sistema de tratamento proposto.

3.6 Amostragens

Ao longo do período de avaliação do experimento, foram realizados seis cortes, em intervalos de 30 dias, na altura de 0,15 m no capim-Jiggs. Após os cortes, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e imediatamente pesados no próprio local do experimento, por meio de balança digital, para quantificação da massa verde (Figura 11). Em seguida, o material era levado à estufa com circulação forçada de ar, a $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, até atingir massa constante, para

determinação da massa seca (SILVA; QUEIROZ, 2002) para quantificação da extração de nutrientes por área.

Após a secagem, o material foi moído em moinho tipo Willey com peneira de 30 mesh de malha, acondicionado em sacos de papel e encaminhado ao laboratório da Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel da Palha, para determinação dos teores foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco e manganês conforme preconizado pela EMBRAPA (2009).

As amostragens do afluente e efluente aos SACs foram realizadas no mesmo período de corte da forrageira, ou seja, em intervalos de 30 dias. Na ocasião das amostragens, as mangueiras de saída do sistema de tratamento eram direcionadas para os reservatórios de saída 24 horas antes de realizar a coleta para posteriores análises (Figura 7).



Figura 7 - Medição da vazão de saída e coleta de efluente para análise de qualidade da água residuária após passagem pelo sistema de tratamento.

Foram utilizadas as seguintes variáveis de qualidade da água para a caracterização dos afluentes e efluentes: turbidez (medição em laboratório, com o auxílio de turbidímetro, expresso em UTN), sólidos totais (pelo método gravimétrico, expresso em mg L^{-1}), nitrogênio total (pelo processo semimicro Kjeldahl, expresso em mg L^{-1}), fósforo total (por espectrofotometria, expresso em mg L^{-1} de P) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5 , pela quantificação do oxigênio dissolvido

pelo método iodométrico - Processo Winkler, expressa em mg L^{-1}). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água e Resíduos Sólidos do Ifes campus Santa Teresa, seguindo-se metodologia descrita por Matos (2015).

A proteína bruta (PB) da vegetação foi obtida pela seguinte equação:

$$PB = Nf \times 6,25$$

Em que:

$$PB = Nf \times 6,25 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

Nf = Concentração do Nitrogênio foliar.

Para a análise estatística dos dados da ARS, foram determinados as médias e desvios padrões de cada atributo analisado (com exceção da DBO_5), sendo realizados comparações entre os tratamentos fazendo o uso da inferência estatística.

Para análise estatística da forrageira, utilizaram-se apenas os valores obtidos dos SAC's nas dosagens de 100, 200 e 400 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$. A forrageira do SAC de dosagem de 300 $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$, apresentou desenvolvimento completamente desuniforme e anormal, quando comparados aos demais tratamentos. Acredita-se que tal fato pode ter ocorrido por algum erro de manejo ou da própria instalação do sistema. Para a discussão dos dados obtidos, utilizou-se a estatística descritiva.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Água Residuária de Suinocultura

4.1.1 Nitrogênio

Na Figura 8, apresentam-se os valores de N-total obtidos em cada SAC ao longo do período experimental no sistema de tratamento.

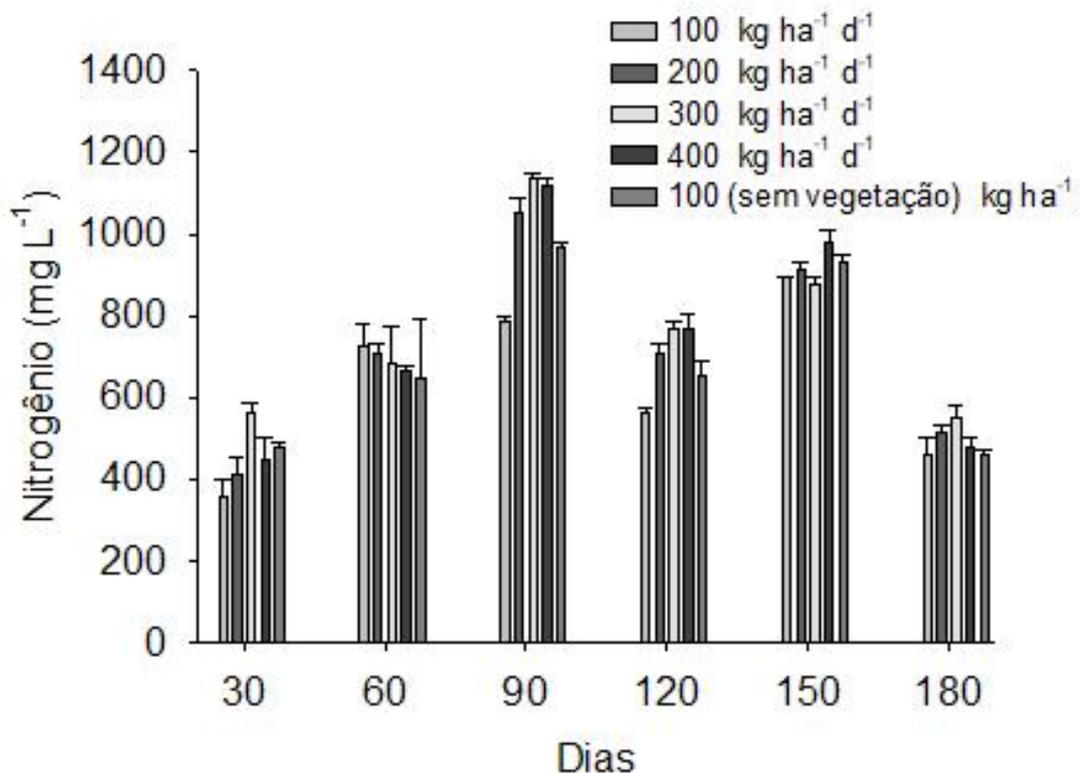


Figura 8 - Concentração média de Nitrogênio Total na ARS forrageira ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200 300 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

Analisando as concentrações de Nitrogênio Total no período de 30 dias, observa-se que as menores concentrações do elemento são encontradas nas menores taxas de carregamento orgânico, ou seja, 100 e 200 kg ha⁻¹ d⁻¹, apresentando 355 e 411 mg L⁻¹, respectivamente, sendo ambos com desvios padrões de 43 mg L⁻¹. Tal fato pode estar relacionado, nesse período ao tempo de detenção hidráulica, onde nas menores taxas, a ARS tramita mais lentamente ao

longo do sistema de tratamento, permitindo assim, um maior tempo de contato entre ARS e as raízes da forrageira. Esse tempo maior de contato pode permitir que as plantas absorvessem mais nutrientes, conseqüentemente, apresentando menores concentrações na ARS.

No mesmo período, o SAC 3 ($300 \text{ kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$) apresentou uma concentração de nitrogênio superior aos demais tratamentos, sendo observados concentrações de 560 mg L^{-1} de Nitrogênio Total, com desvio padrão de 28 mg L^{-1} . Como mencionado anteriormente, nesse SAC, a forrageira não apresentou um padrão de desenvolvimento que pode ser considerado normal, quando comparado aos demais tratamentos. O fato da forrageira não se desenvolver totalmente nesse SAC, pode estar relacionado às maiores concentrações de Nitrogênio Total nesse período.

Observa-se ainda, nesse período que há tendência de influência da forrageira no tratamento da ARS. Quando comparado o SAC 1 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) vegetado e o SAC 5, de mesma carga orgânica, porém sem o cultivo da forrageira. Percebe-se que as concentrações de Nitrogênio Total no tratamento com a presença forrageira é inferior, apresentando média de 355 e desvio padrão de 43 mg L^{-1} , ao mesmo tempo que as concentrações no tratamento onde não possuía a forrageira implantada, apresentou média de 476 mg L^{-1} , com desvio padrão 28 mg L^{-1} .

Tal fato pode estar relacionado às raízes das macrófilas fornecerem suporte para a colonização microbiológica para os organismos presentes no sistema, que podem absorver e utilizar os nutrientes vindos da ARS, fazendo com que, as maiores remoções estejam relacionadas ao SAC vegetado. As raízes do capim-Jiggs, podem ter proporcionado uma maior colonização microbiológica, favorecendo a mineralização do material orgânico oriundo da água residuária, e posterior extração de nutrientes pela vegetação.

No período de 60 dias, o sistema de tratamento seguiu um padrão de comportamento distinto aos demais períodos de avaliação. A carga de $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ apresentou, em média, as menores concentrações de Nitrogênio Total, quando comparado aos demais tratamentos, possuindo média de 667 e desvio padrão de 8 mg L^{-1} .

O fato de maiores cargas orgânicas proporcionarem maiores remoções de nutrientes no sistema de tratamento, também é citado por outros autores. Segundo Tao *et al.* (2006) o aumento na carga orgânica aplicada pode gerar aumento na remoção de matéria orgânica, dentro de certos limites. Jing *et al.* (2002) e Calheiros

et al. (2007), obtiveram aumentos lineares e próximos à linearidade, respectivamente, na remoção com o aumento na carga orgânica aplicada.

Aos 90 dias foi aplicada a maior carga de Nitrogênio Total (Tabela 1) no sistema de tratamento, em média, 1199 mg L^{-1} . Tal variação na concentração de nutrientes na ARS afluyente pode ser atribuído ao manejo dos dejetos nas baias da suinocultura, onde é realizado a raspagem manual da parte mais grosseira das fezes e posteriormente é realizado a lavagem através de pressão de água no piso. Considera-se que dessa forma, há uma maior economia de água, destinada para higienização da suinocultura.

A maior parte do nitrogênio na ARS está na forma amoniacal (oriundo da urina dos animais), concentrando-se ainda mais em razão do manejo realizado na suinocultura do IFES – *campus* Santa Teresa. A carga de nitrogênio considerada elevada pode ter contribuído para o desequilíbrio do sistema, ocasionando morte de microorganismos modificando assim a atividade microbiológica do biofilme e alterando, conseqüentemente o tratamento da ARS. Destaca-se ainda, que a forrageira não apresentou alteração no seu aspecto visual, mesmo aplicando-se essa carga de nitrogênio considerada elevada.

Nesse mesmo período (90 dias), as menores concentrações de Nitrogênio Total, apresentaram-se nos SAC's de menores cargas orgânicas ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), vegetado e não vegetado, sendo observados valores médios de 789 e 966 mg L^{-1} , com desvios padrões de 8 e 14 mg L^{-1} , respectivamente. O sistema de tratamento apresentou comportamento similar ao período de 30 dias, onde as menores cargas orgânicas apresentaram as menores concentrações de Nitrogênio Total.

As concentrações de Nitrogênio Total também foram superiores no SAC 3 ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) quando comparado aos demais tratamentos nesse período (90 dias), onde apresentou média de 1134 e desvio padrão de 14 mg L^{-1} . O motivo de ocorrer esse fato, pode estar relacionado ao desenvolvimento da forrageira, especificamente nesse SAC, já mencionado anteriormente.

Aos 120 dias, o sistema de tratamento apresentou o mesmo comportamento do período de avaliação anterior (90 dias), ou seja, com o aumento do aporte de carga orgânica no sistema, diminuiu-se a remoção de Nitrogênio Total. No mesmo período, também verificou-se um potencial maior de retirada de nitrogênio pelo SAC vegetado em relação ao não vegetado, ambos com a carga de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$,

apresentando concentrações médias de 560 e 653 mg L⁻¹, respectivamente, com desvios padrões de 14 e 35 mg L⁻¹.

No período de 150 dias, os SAC's de 300 e 100 kg ha⁻¹ d⁻¹ apresentaram as menores concentrações de Nitrogênio Total, respectivamente, sendo observadas médias de 877 e 896 mg L⁻¹ e desvios padrões de 16 e 0 mg L⁻¹. Nesse mesmo período, comparando-se os SAC 1 e 5 (vegetado e não vegetado aplicando-se a mesma carga orgânica, de 100 kg ha⁻¹ d⁻¹), observa-se que o SAC onde possuía a vegetação implantada, apresentou concentração inferior ao SAC onde possuía apenas a brita zero como elemento filtrante, apresentando média de concentração de 896 e desvio padrão de 0 mg L⁻¹ de Nitrogênio Total, ao mesmo tempo que, o SAC não vegetado apresentou média de 933 e desvio padrão de 16 mg L⁻¹ de Nitrogênio Total.

Aos 180 dias, os SAC's de menores cargas orgânicas (1 e 5, sendo o primeiro vegetado e o segundo não vegetado), apresentaram as menores concentrações de Nitrogênio Total no período, sendo observadas médias de 457 mg L⁻¹ para ambos os tratamentos e desvios padrões de 43 e 16 mg L⁻¹ para os SAC's 1 e 5, respectivamente.

De acordo com a Figura 8, observa-se que o sistema de tratamento não seguiu um padrão de comportamento na remoção de Nitrogênio Total ao longo do período experimental, o que pode ser consequência da alta variabilidade da composição química da ARS utilizada durante o período experimental.

4.1.2 Fósforo

Na Figura 9 apresentam-se os valores médios e seus respectivos desvios padrões de Fósforo Total em cada SAC e ao longo do período experimental no sistema de tratamento.

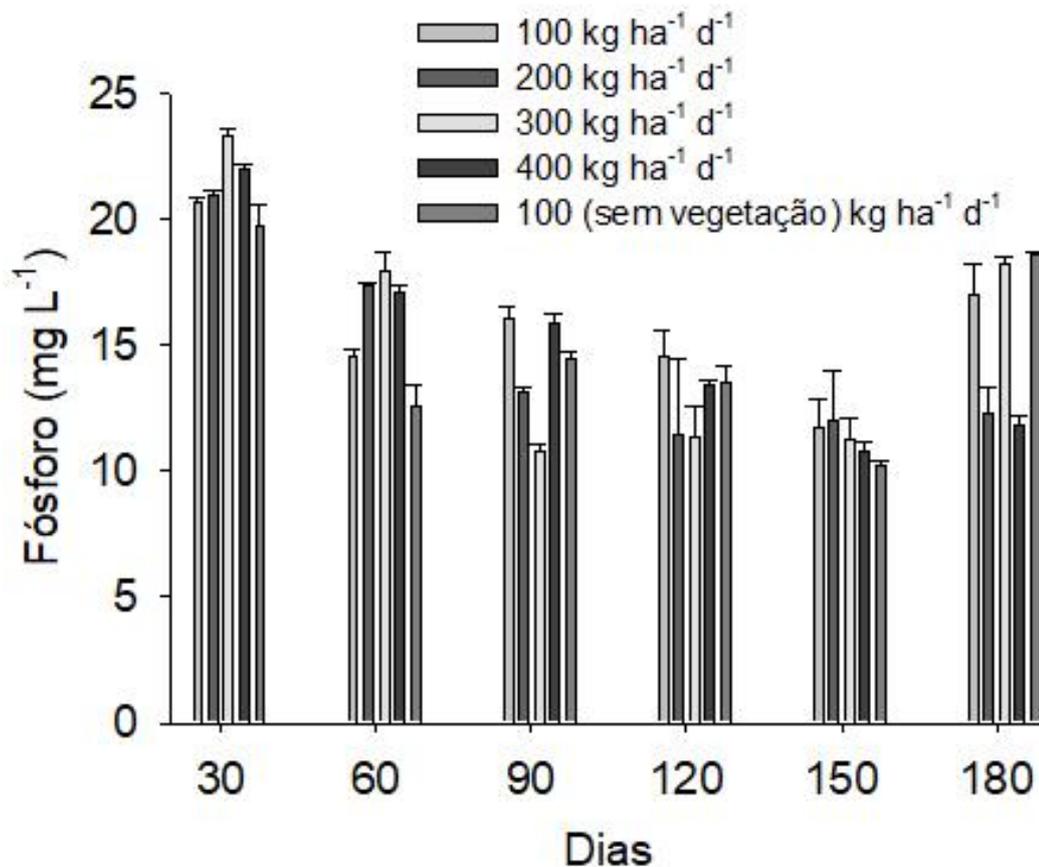


Figura 9 - Concentração média de Fósforo Total na ARS ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

Segunda a Figura 9, no período de 30 dias, o SAC de 100 kg ha⁻¹ d⁻¹ não vegetado, apresentou as menores concentrações de Fósforo Total, sendo observados valores médios de 20,6 e desvio padrão de 0,23 mg L⁻¹ de Fósforo Total. Nesse mesmo período, o SAC vegetado e de menor vazão (100 kg ha⁻¹ d⁻¹) apresentou concentrações médias 19,7 e desvio padrão de 0,8 mg L⁻¹ de Fósforo Total. Observa-se ainda, uma variação considerada pequena quando comparando-se todas as cargas orgânicas aplicadas nesse período, onde as maiores concentrações foram obtidas no SAC 3 (300 kg ha⁻¹ d⁻¹), apresentando médias de 23,2 e desvio padrão de 0,28 mg L⁻¹ de Fósforo Total.

Aos 60 dias foi aplicada a maior carga de Fósforo Total nos sistemas de tratamento (Tabela 1), em média, 91 mg L⁻¹ e o mesmos demonstram-se eficientes na remoção do nutriente. Nesse mesmo período, as maiores remoções ocorreram

nos SAC's onde aplicaram-se as menores taxas de carregamento orgânico ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, sendo o SAC 1 e o 5, vegetado e não vegetado, respectivamente). Nota-se ainda, uma menor concentração de Fósforo Total no SAC manejado sem o cultivo da vegetação.

Em diferentes estudos já realizados com esse tipo de sistema, relata-se que os SAC's têm limitações na remoção de fósforo, em comparação com a remoção de nitrogênio, pois não há nenhum processo análogo a nitrificação-desnitrificação, que promova perda permanente em maior escala desse elemento.

Portanto, neste trabalho, acredita-se que as maiores remoções de fósforo sejam, em parte, decorrentes de serem os sistemas recém-implantados e terem capacidade de adsorver e precipitar compostos à base de P.

Segundo Mendonça *et al.* (2012) a remoção de fósforo dos efluentes dar-se-á de duas formas: o fósforo reativo solúvel é assimilado pelas plantas e é convertido a fósforo orgânico estrutural, sendo assim, armazenado na biomassa das vegetações. As frações de fósforo precipitadas e insolúveis são adsorvidas pelo meio suporte, principalmente por estruturas de rochas ricas em ferro e alumínio.

A composição do meio suporte presente nos leitos foi crucial no que diz respeito à remoção de fósforo por processos de adsorção/dessorção, uma vez que íons fosfato (PO_4^{3-}) podem ser fixados por alumínio ou ferro. A brita utilizada nesta pesquisa foi retirada de jazidas de granito, rochas ígneas compostas basicamente por biotita e feldspato, minerais que possuem ferro e alumínio em sua estrutura molecular.

A partir da Figura 9, é possível visualizar que as concentrações de Fósforo Total ao longo do período de avaliação, sofreram alterações constantes entre os tratamentos aplicados. Tal comportamento, também foi verificado por outros autores (Fia *et al.*, 2008; Mendonça, 2012), utilizando os sistemas para tratamento de águas residuárias da lavagem/descartamento e despolpa dos frutos do cafeeiro e para tratamento de água residuária de laticínios, respectivamente.

No período de 90 dias, as maiores concentrações de Fósforo Total, foram observadas nos SAC's 1 e 3 (100 e $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, respectivamente), sendo apresentadas médias de $16,08$ e $15,89 \text{ mg L}^{-1}$, com desvios padrões de $0,42$ e $0,31 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Nesse mesmo período nota-se ainda que as concentrações de Fósforo Total na ARS no SAC 1 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) foram superiores quando

comparado com o SAC 5, de mesma carga orgânica, porém com ausência do cultivo da vegetação, sendo observadas médias de 16,08 e 14,48 mg L⁻¹, respectivamente.

Aos 120 dias, o sistema de tratamento não apresentou um padrão de concentração de Fósforo Total, nas diversas cargas orgânicas aplicadas nos diferentes SAC's avaliados. As menores concentrações do nutriente foram encontradas no SAC 2 (200 kg ha⁻¹ d⁻¹) e 3 (300 kg ha⁻¹ d⁻¹), respectivamente. As concentrações encontradas nesses SAC's foram de 11,44 e 11,37 mg L⁻¹, respectivamente, com desvios padrões de 2,97 e 1,24 mg L⁻¹.

Segundo a Figura 9, no período de 150 dias, a maior concentração de Fósforo Total na ARS foi observada no SAC 2 (200 kg ha⁻¹ d⁻¹), onde foram encontradas médias de 11,97 com desvio padrão de 2,03 mg L⁻¹. Nesse mesmo período, comprando-se o SAC 1 e o 5 (vegetado e não vegetado, respectivamente), onde a carga orgânica aplicada no sistema de tratamento foi a mesma, diferindo apenas com a ausência da vegetação no SAC 5, as concentrações encontradas no SAC 1 foram superiores às encontradas no SAC 5, apresentando média de concentração de 11,76 e 10,24 mg L⁻¹ de Fósforo Total, respectivamente. Os desvios padrões das médias encontradas nesses tratamentos foram de 1,06 e 0,16 mg L⁻¹, respectivamente.

No período de 180 dias, a maior concentração de Fósforo Total foi observada no SAC 5, onde foi aplicado uma carga orgânica de 100 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅, com ausência de vegetação implantada. Nesse mesmo período, a média apresentada por esse tratamento foi de 18,6 mg L⁻¹, com desvio padrão de 0,11 mg L⁻¹. Ressalta-se ainda, que as médias de todas as concentrações encontradas ao longo do período experimental não se alteraram excessivamente e o sistema de tratamento não apresentou padrão de concentração nos níveis de Fósforo Total ao longo do período experimental de 180 dias entre os tratamentos aplicados.

4.1.3 Sólidos Totais

Na Figura 10, apresentam-se os valores médios de Sólidos Totais (ST) em cada SAC e ao longo do período experimental no sistema de tratamento.

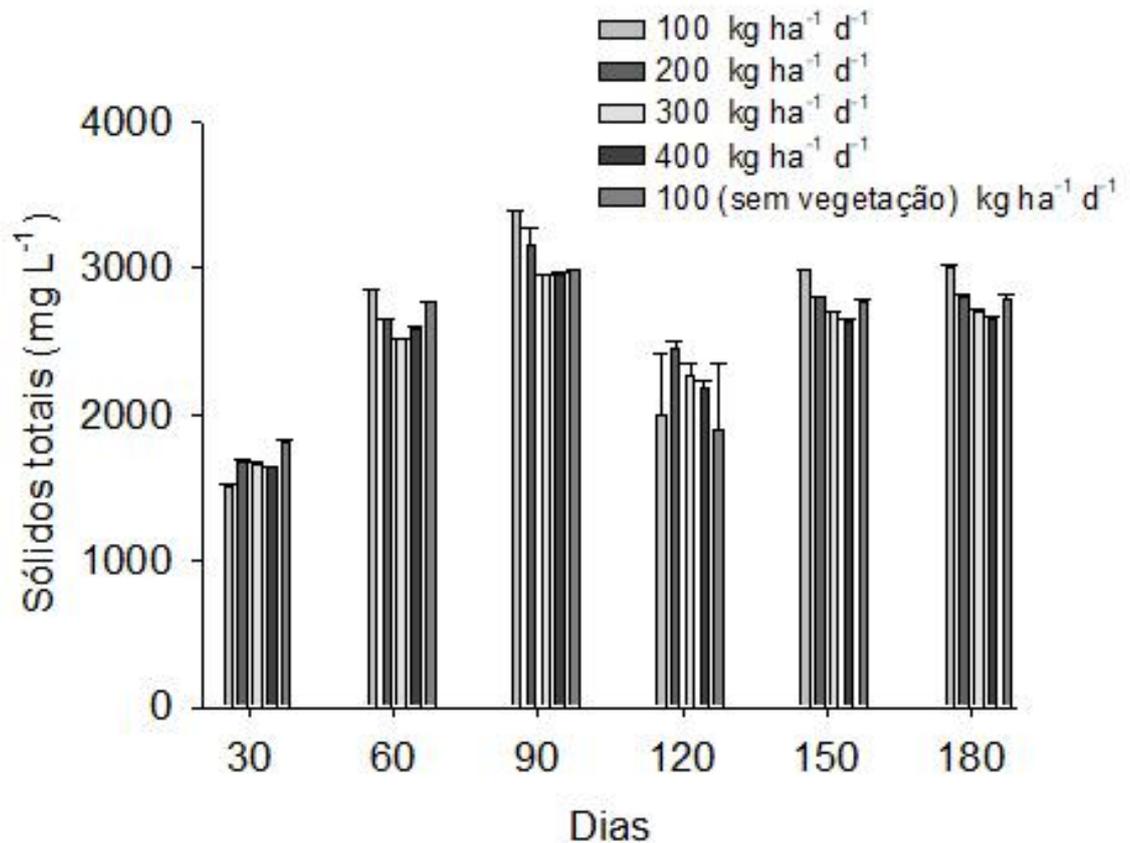


Figura 10 - Concentração média e desvios padrões de Sólidos Totais na ARS apresentadas ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

No período de 30 dias, o sistema a menor concentração de ST foi observada no SAC 1, com carga orgânica aplicada de 100 kg ha⁻¹ d⁻¹, apresentando concentração média de 1517 e desvio padrão de 5,77 mg L⁻¹. Nesse mesmo período, o SAC 5 (100 kg ha⁻¹ d⁻¹) com a presença da vegetação, não influenciou na remoção de ST da ARS, sendo observados média de 1816 e desvio padrão de 18,95 mg L⁻¹.

No período de 60 dias, aplicou-se a maior carga de sólidos totais no sistema de tratamento, em média, 5540 mg L⁻¹ (Tabela 1), o que pode ser considerada alta. Nesse mesmo período as menores dosagens de carga orgânica aplicadas (100 kg ha⁻¹ d⁻¹, sendo o SAC não vegetado e o vegetado), apresentaram as maiores concentrações de ST, apresentando 2852 e 2774 com desvios padrões de 3,85 e 5,09 mg L⁻¹, respectivamente.

No período de 90 dias, as maiores concentrações de ST no sistema de tratamento foram observadas nas menores dosagens de carga orgânica aplicadas, sendo 100 e 200 $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, apresentando concentrações de 3393 e 3156, com desvios padrões de 3,33 e 117,06 mg L^{-1} , respectivamente.

A remoção de ST pelo sistema de tratamento proposto, é citada por Matos *et al.* (2012), onde os SAC's são reservatórios preenchidos com materiais porosos, de alta condutividade hidráulica, geralmente constituídos por brita, que servem de suporte para o cultivo de macrófitas. No meio suporte, desenvolve-se um biofilme entremeado pelas raízes das plantas que proporciona a degradação de parte da matéria orgânica em solução, além da remoção, por meio de processos físicos, de sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e sólidos totais. Assim, no sistema meio poroso-plantas-microrganismos, ocorre a depuração dos resíduos (CHAGAS *et al.*, 2012).

Em trabalho conduzido por Lee *et al.* (2004), foi verificado que 100% da remoção de sólidos suspensos e sólidos totais ocorreram por mecanismos físicos, não havendo contribuição das plantas ou de mecanismos microbiológicos.

Aos 120 dias, as menores cargas orgânicas aplicadas ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, vegetado e não vegetado) apresentaram as menores concentrações de ST, sendo observados médias de 1994 e 1896 mg L^{-1} respectivamente. Nessas menores cargas orgânicas, o efluente tramita mais lentamente ao longo do SAC, permitindo assim uma maior depuração dos ST.

Nos períodos de 150 e 180 dias, o comportamento do sistema de tratamento foi similar. Em ambos os períodos, os SAC's apresentaram as maiores concentrações de ST nas menores cargas orgânicas aplicadas, sendo decrescidas as concentrações, até a maior carga orgânica aplicada, ou seja, de $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de DBO_5 .

4.1.4 Turbidez

Na Figura 11, apresentam-se os valores médios de Turbidez em cada SAC e ao longo do período experimental no sistema de tratamento.

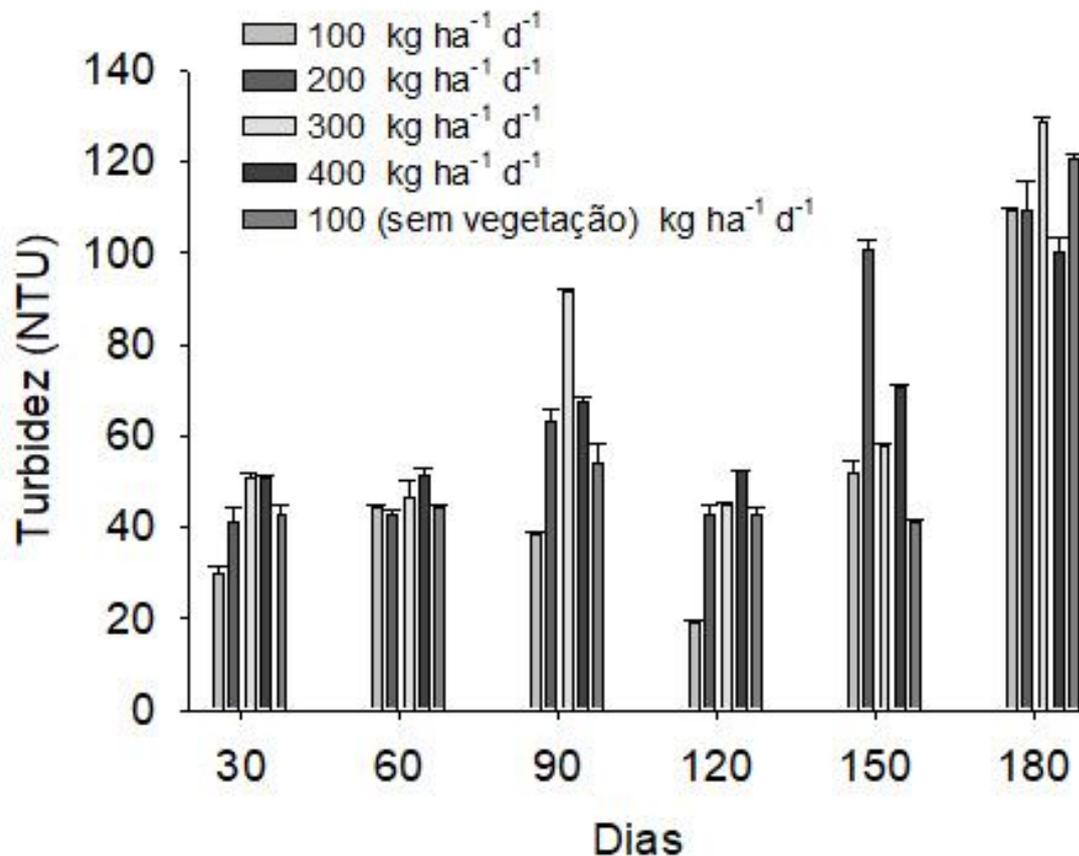


Figura 11 - Concentração média e desvios padrões de Turbidez na ARS apresentadas ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

Segundo Von Sperling (2005), a turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, atribuindo uma aparência turva a mesma, sendo os sólidos em suspensão responsáveis pela sua constituição.

No período de 30 dias, as maiores médias de turbidez foram apresentadas pelos SAC's de maiores cargas orgânicas aplicadas, ou seja, os de 300 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅, sendo observados 51 e 50 NTU, com desvios padrões de 1 e 0,76 NTU, respectivamente.

No período de 60 dias, os valores médios de Turbidez não apresentaram elevadas variações entre os tratamentos aplicados. As maiores médias foram observadas no SAC 4 (400 kg ha⁻¹ d⁻¹), apresentando 51 e desvio padrão de 1,52 NTU. As menores médias encontradas nesse mesmo período foram apresentadas pelo SAC 1 (100 kg ha⁻¹ d⁻¹), sendo observados 43 e desvio padrão de 0,57 NTU.

No período de 90 dias, a discrepância de médias apresentadas pelos tratamentos aplicados foram relativamente altas, sendo apresentadas no tratamento de menor carga orgânica aplicada ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), 38 NTU e desvio padrão de 0,75. Nesse mesmo período, a maior média foi apresentada pelo SAC 3 ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), com 91 e 0,76 NTU de desvio padrão.

Aos 120 dias de avaliação, o SAC 1 ($\text{kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) apresentou a menor média de turbidez, sendo observado 19 NTU com desvio padrão de 0,57 NTU. Nesse mesmo período, o SAC 5 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), com a presença da vegetação, apresentou média de 42 com desvio padrão de 1,75 NTU. Comparando-se essa mesma dosagem aplicada, entre o SAC 1 e o SAC 5, pode-se afirmar que a presença da vegetação no SAC 1, influenciou positivamente no tratamento da ARS, no que diz respeito à remoção de NTU.

Aos 150 dias de avaliação, a menor média de Turbidez foi observada no SAC não vegetado, onde se aplicou a carga orgânica de $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, apresentando 41 NTU com desvio padrão de 0,5. Nesse mesmo período, a maior média de Turbidez, foi apresentada pelo SAC 2 ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), sendo observados valores de 100 NTU, com desvio padrão de 2,08.

Aos 180 dias, em todos os SAC's as médias de Turbidez foram superiores aos demais períodos avaliados, sendo a menor concentração visualizada, de 100 NTU, com desvio padrão de 3,21. Nesse mesmo período, a maior concentração de Turbidez, foi observada no SAC 3 ($300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$), apresentando 128 NTU com desvio padrão de 0,76.

Observando todos os períodos avaliados, é possível afirmar, que o sistema de tratamento não apresentou um padrão de comportamento ao longo dos dias de avaliação. Tal resultado pode ser atribuído ao fato do sistema ser implantado recentemente, com o biofilme ainda não totalmente em equilíbrio e a matéria orgânica juntamente com os sólidos em suspensão serem alocados para as camadas mais profundas no meio de suporte. De acordo com Metcalf & Eddy (2003), os SACs são eficientes na remoção de SST (que são um dos componentes responsáveis pela Turbidez) em decorrência da sedimentação nos interstícios, retenção por restrição ao escoamento (filtração) e adesão aos grânulos do material suporte.

4.1.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

Na Figura 12, apresentam-se os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) em cada SAC e ao longo do período experimental no sistema de tratamento.

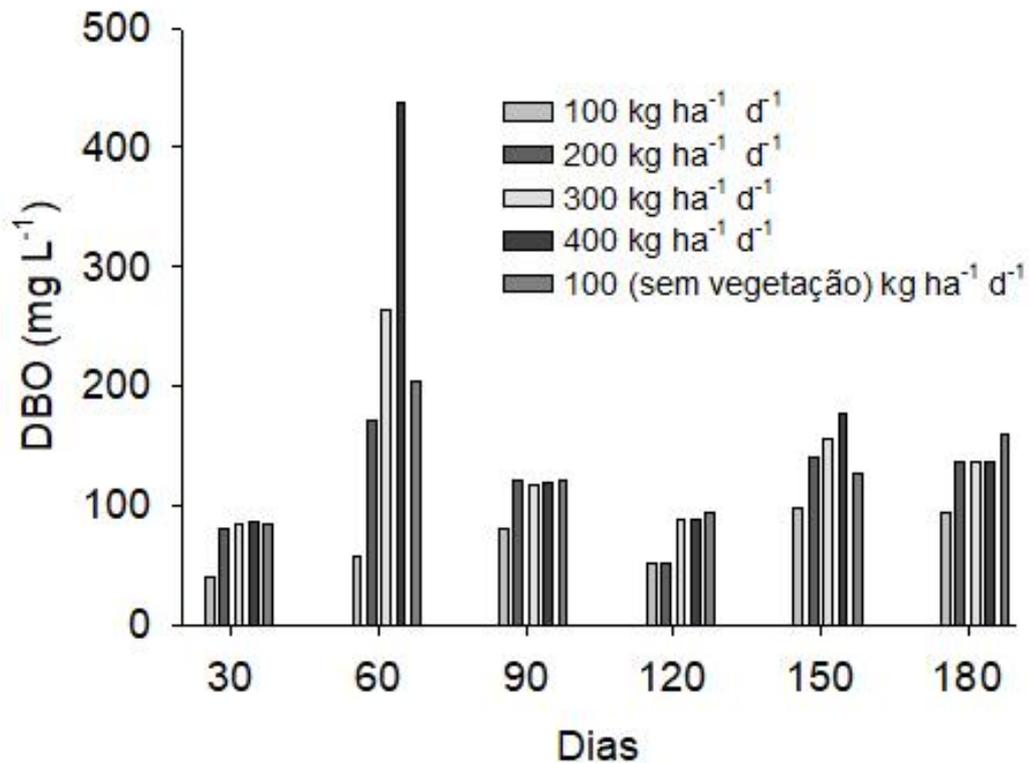


Figura 12 - Concentração média e desvios padrões de DBO₅ na ARS apresentadas ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200, 300 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

As médias de concentrações de afluentes foram de 282 mg L⁻¹, o que pode ser considerada uma carga orgânica não tão elevada quando comparada à outros estudos (MATOS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2016). Como mencionado anteriormente, antes das lavagens das baias, os dejetos sólidos eram raspados e direcionados para outros locais. Essa técnica utilizada para a higienização da suinocultura faz com que a carga orgânica na ARS apresente valores menos expressivos.

As menores concentrações apresentadas pelos SAC's onde aplicaram-se as menores cargas orgânicas, pode ser atribuído a menor velocidade de escoamento

da ARS, permitindo assim, a sedimentação do material orgânico na parte inferior dos SAC's, promovendo o tratamento mais eficiente dos dejetos. Em todos os períodos avaliados, o SAC 1 ($100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) com a presença da vegetação, apresentou as menores concentrações de DBO_5 , após a passagem da ARS pelo sistema de tratamento.

Matos *et al.* (2012) avaliando a eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias de indústria de laticínios concluíram que dentre os vários fatores que contribuíram para que se obtivesse elevado desempenho nos SAC's, o efeito do tempo de detenção hidráulica ($\text{TDH} = 4,8$ dias) a que ficou submetida a ARL, suficiente para que se obtivesse eficiência no processo de remoção.

Resultados, aos quais, semelhantes aos encontrados no presente estudo, onde a menor taxa de carregamento orgânico, obtiveram as menores concentrações de DBO_5 na ARS.

Comprando-se o SAC vegetado e o não vegetado, quando aplicado a mesma carga orgânica, é possível afirmar, que há tendência de maior remoção de carga orgânica, no tratamento onde havia vegetação implantada, ou seja, a forrageira agiu de forma positiva no tratamento da ARS.

Resultados contrastantes foram descritos por Matos *et al.* (2012), quando avaliaram a eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias de indústria de laticínios, onde foram aplicadas taxas de carregamento orgânico de 130 kg ha d^{-1} , e não obtiveram diferenças significativas para os SAC's cultivados com capim tifton 85, capim elefante e o SAC não cultivado.

Assim como ocorreram nos outros parâmetros avaliados, também houve grande variação na concentração de DBO_5 nos afluentes, quando analisados nos diversos períodos de avaliação. No período de 60 dias, a concentração média de DBO_5 afluente era de 553 mg L^{-1} .

4.2 Extração de nutrientes pelo Capim-jiggs

Dentre as funções das macrófitas aquáticas, estão incluídas a extração de nutrientes contidos na água residuária; a transferência de oxigênio para o substrato; servir de suporte (rizomas e raízes) para o crescimento de biofilme de bactérias,

além de melhoria na permeabilidade do substrato e na estética do ambiente (MATOS *et al.*, 2009).

Além do tratamento da ARS, outra vantagem do sistema de tratamento proposto é melhorar o aspecto visual do ambiente, com adaptação de novas espécies vegetais ao meio de cultivo.

4.2.1 Nitrogênio e Potássio

Na apresentam-se os valores de extração de Nitrogênio e Potássio ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento.

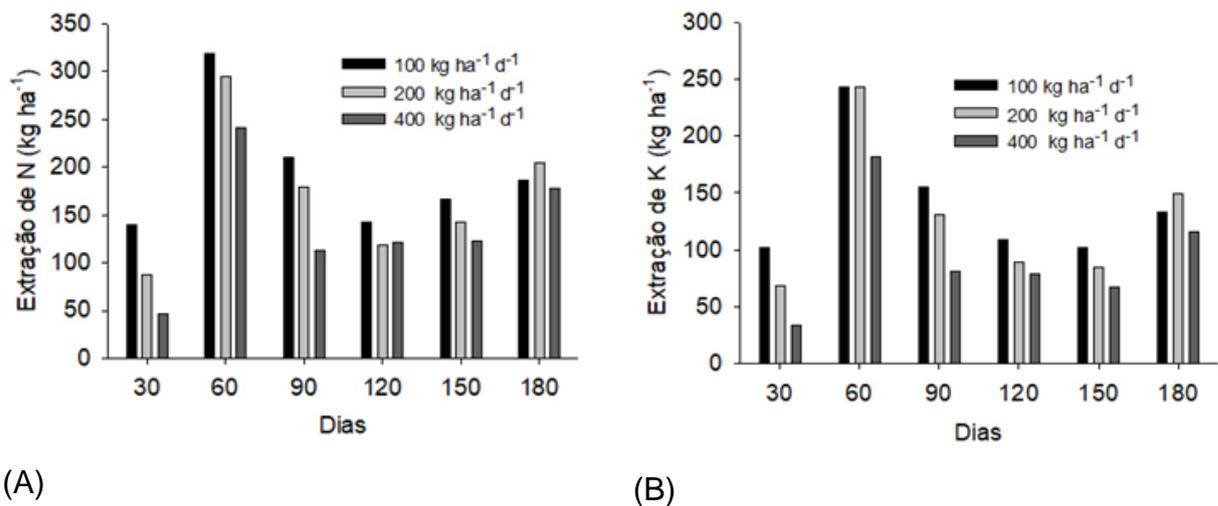


Figura 13 - Extração de Nitrogênio (A) e Potássio (B) pela forrageira ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de carga orgânica aplicadas de 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

De acordo com a Figura 13, as maiores concentrações de Nitrogênio e Potássio na forrageira implantada no sistema de tratamento, foram encontradas no período de 60 dias nas menores cargas orgânicas aplicadas (100 e 200 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅), apresentando extração de 319 e 243 kg ha⁻¹, para o Nitrogênio e Potássio, respectivamente nesse período. Tal fato pode estar relacionado ao desenvolvimento da forrageira, onde dos 30 aos 60 dias de experimento, houve

maior crescimento e desenvolvimento vegetativo, influenciando assim, nas concentrações de nutrientes na forrageira.

Através da Figura 18 (A), é possível visualizar um padrão de comportamento em relação à extração de Nitrogênio pelo capim-Jiggs, ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento. Com exceção do período de 180 dias, todas as extrações foram maiores nas menores dosagens aplicadas, ou seja, 100 e 200 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅, sendo os SAC's 1 e 2, respectivamente.

Tal fato pode estar associado ao tempo de detenção hidráulica, onde nas menores cargas orgânicas aplicadas, a ARS tramita mais lentamente ao longo do SAC, permitindo que os nutrientes presentes no dejetado estejam mais tempo em contato com as raízes da forrageira, permitindo assim, uma maior absorção por parte das plantas.

No que se refere à extração de Potássio, observou-se o mesmo padrão de extração do nutriente, no qual foi observado na extração do Nitrogênio. As maiores extrações também ocorreram no período de 60 dias, sendo as dosagens de 100 e 200 kg ha⁻¹ d⁻¹ apresentando 243 kg ha⁻¹ de remoção de Potássio.

As extrações de Potássio apresentadas no presente estudo podem ser contrastadas com os resultados apresentados por Matos *et al.* (2010), onde foram encontradas médias de extração de 150 kg ha⁻¹ de K pelo capim elefante enquanto nos SAC's cultivados com o capim tifton 85, a extração foi estimada na faixa de 75,9 a 129,2 kg ha⁻¹.

Ressalta-se que o presente estudo foi realizado na maior parte no período de outono/inverno, período no qual, onde o desenvolvimento da forrageira é menor, devido às menores médias de temperaturas e aos menores índices de fotoperíodos. Assume-se ainda o potencial da forrageira em extrair ainda mais nutrientes no tratamento de ARS através do tratamento em SAC's, quando cultivado numa estação do ano em que as condições ambientais sejam mais propícias para o cultivo da forrageira.

4.2.2 Fósforo, Cálcio Magnésio e Enxofre

Na Figura 14, apresenta-se a extração em kg ha⁻¹ de Fósforo, Cálcio, Magnésio e Enxofre pela forrageira.

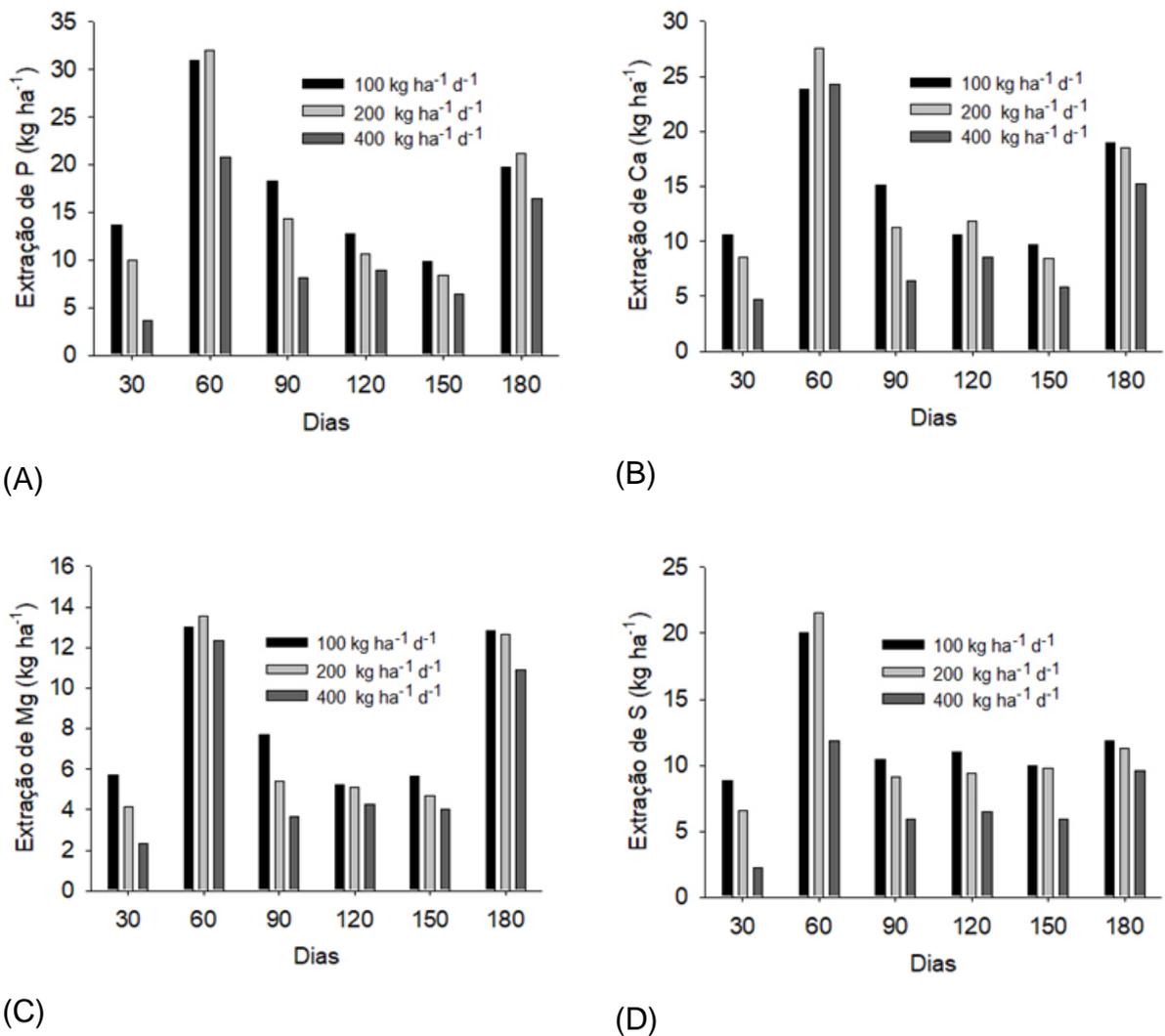


Figura 14 - Extração de Fósforo (A), Cálcio (B), Magnésio (C) e Enxofre (D) pela forrageira ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens de 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

As extrações de Fósforo, Cálcio e Magnésio apresentadas na Figura 14, seguiram o mesmo padrão de comportamento da extração de Nitrogênio e Potássio mencionadas anteriormente. O desenvolvimento vegetativo da forrageira no período de 60 dias influenciou diretamente nas extrações de nutrientes apresentadas no presente estudo. Tal fato ocorre, devido ao cálculo de extração de nutrientes, levar em consideração a matéria seca total da forrageira, onde nesse período, foi superior aos demais períodos. Nesse mesmo período a forrageira apresentou extração de

Fósforo de 31, 32 e 21 kg ha⁻¹, para os SAC's de 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

No período de 150 dias ocorreram as menores extrações de Fósforo pela forrageira, apresentando 10, 8 e 6 kg ha⁻¹ para os SAC's de 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅, respectivamente. Valores, aos quais, são menores do que Matos *et al.* (2010) encontraram em SAC's cultivados com capim tifton 85 (15,7 kg ha⁻¹) e capim elefante (37,8 kg ha⁻¹) e por Queiroz *et al.* (2004) com capim tifton 85 (61 kg ha⁻¹) avaliando-se durante 4 meses de cultivo.

Para a extração de Enxofre, no período de 90, 120 e 150 e 180 dias, as extrações foram semelhantes entre si, para todos os tratamentos avaliados, onde na menor taxa de carregamento orgânico (100 kg ha⁻¹ d⁻¹), as extrações foram superiores em todos os períodos mencionados. Apenas no período de 60 dias em que o SAC 2 (200 kg ha⁻¹ d⁻¹), extraiu uma quantidade maior de Enxofre, quando comparado-de ao SAC 1 (100 kg ha⁻¹ d⁻¹).

4.2.3 Proteína Bruta

Na Figura 15, apresentam-se as concentrações de Proteína Bruta (PB) pela forrageira, nas devidas cargas orgânicas aplicadas.

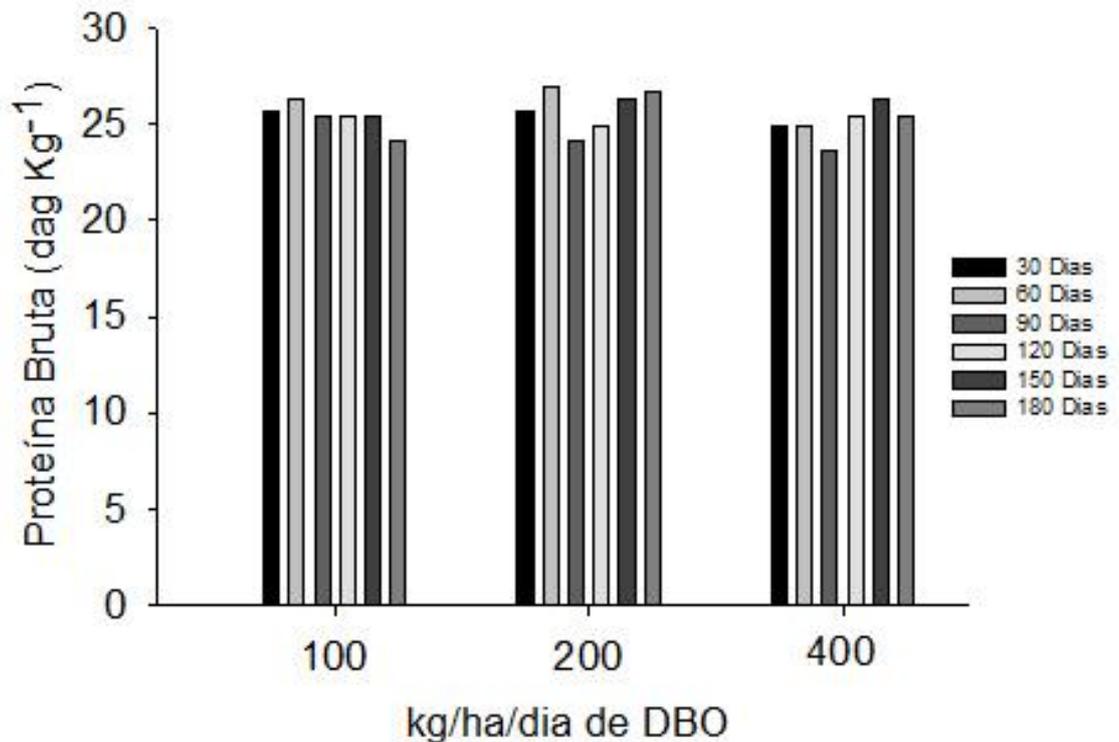


Figura 15 – Concentração de Proteína Bruta apresentadas pela forrageira ao longo do período de avaliação do sistema de tratamento, nas dosagens 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ d⁻¹ de DBO₅.

Comparando-se os resultados obtidos na Figura 15 entre os tratamentos aplicados, observa-se que na dosagem de 100 kg ha⁻¹ d⁻¹, as menores concentrações de PB foram expressas no período de 180 dias, apresentando concentração 23 dag kg⁻¹ de concentração, onde os maiores acúmulos de PB na forrageira ocorreram nos períodos iniciais do experimento.

Silva (2008) obteve valores de proteína bruta, no primeiro corte (30 dias) do capim tifton 85 fertirrigado com chorume de resíduos sólidos urbanos, ligeiramente superiores aos obtidos nesse trabalho (entre 26 e 28 dag kg⁻¹), no entanto, com a continuidade da aplicação do chorume foi verificado decréscimo nos valores de PB do capim tifton 85, nos demais cortes.

Na dosagem de $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$, as maiores concentrações de PB foram expressas pela forrageira no período de 60 dias, onde o acúmulo de Nitrogênio foliar pela forrageira foi mais relevante. Nesse mesmo período, a concentração de PB nessa dosagem ($200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de DBO_5), foi de 27 dag kg^{-1} .

Queiroz *et al.* (2004), Matos *et al.* (2008) e Fonseca (2007) obtiveram menores valores de proteína bruta no capim tifton 85, quando cultivado sob a aplicação de várias cargas orgânicas de diferentes águas residuárias.

Na dosagem de $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ de DBO_5 , a menor concentração de PB apresentada pela forrageira, foi no período de 90 dias, sendo expressos valores de 23 dag kg^{-1} .

Pode-se afirmar ainda, que os valores de PB encontrados no presente estudo, são valores consideráveis dentro de uma normalidade, com pequenas variações entre os tratamentos, evidenciando ainda, que a forrageira se desenvolveu satisfatoriamente bem, no ambiente de cultivo alagado, suportando concentrações elevadas de nutrientes e cargas orgânicas.

5 CONCLUSÕES

A composição química da ARS é alterada pelo sistema de tratamento proposto, onde as concentrações de todos os atributos analisados, é inferior após a passagem da ARS pelos SAC's.

Houve grande variação na carga orgânica e de nutrientes aplicados, o que dificultou uma tendência de comportamento dos atributos analisados ao longo do período de avaliação;

A vegetação atua na extração de nutrientes da ARS, influenciando positivamente na remoção de nutrientes da ARS.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, S. S. 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, 2010.

AMORIM, F.; FIA, R.; PASQUALIN, P.P.; OLIVEIRA, L.F.C.; SILVA, J.R.M. Capim-tifton 85 cultivado em sistema alagado construído com elevadas taxas de aplicação. **Engenharia na Agricultura**. v.23, n.3, p.241-250, 2015.

Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2015**. Disponível em: http://abpa-br.com.br/files/RelatorioAnual_UBABEF_2015_DIGITAL.pdf. Acesso em: 26 out 2016.

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

CALHEIROS, C.S.C.; RANGEL, A.O.S.S.; CASTRO, P.M.L. Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. **Water Research**, v. 41, n. 8, p. 1790-1798, 2007.

CALIJURI, M.L.; BASTOS, R.K.X.; MAGALHÃES, T.B.; CAPELETE, B.C.; DIAS, E.H.O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/*wetlands* construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Eng Sanit Ambient**. v. 14, n. 3, p.421-430. 2009.

CHAGAS, R.C.; MATOS, A.T.; CECON, P.R.; LO MONACO, P.A.V.; ZAPAROLLI, B.R. Remoção de coliformes em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo (*Hemerocallis fava*). **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.20, n.02, p.142-150, 2012.

DIRECTIVE 91/271/EEC. European Comission for Environment. Comission's Environment Directorate General. May 1991.

DUNNE, E.J.; REDDY, K.R. Phosphorus biogeochemistry of wetlands in agricultural watersheds. In: DUNNE, E.J.; REDDY, R.; CARTON, O.T. (Eds). *Nutrient management in agricultural watersheds: a wetland solution*. Wageningen, The Netherlands: **Wageningen Academic Publishers**. p. 105-119. 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 627p. 2009.

FERREIRA, E. P.; OLIVEIRA, E. M.; ROSADO, T. L.; SPERANDIO, G. L. S. Projeto de recuperação de área degradada – PRAD. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Santa Teresa**, 2016.

FIA, F.R.L; MATOS, A.T.; FIA, R.; BORGES, A.C.; CECON, P.R. Efeito da vegetação em sistemas alagados construídos para tratar águas residuárias da suinocultura. **Eng Sanit Ambient**. v. 22, n. 2, p.303-311, 2017.

FIA, R.; MATOS, A. T.; MATOS M. P.; ABREU E. C.; FIA, F. R. L. Tratamento das águas do processamento dos frutos do cafeeiro em filtro anaeróbio seguido por sistema alagado construído: I - remoção de matéria orgânica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1203-1213, nov/dez., 2010.

FIA, R.; MATOS, A.T.; FIA, F.R.L; MATOS M.P.; LAMBERT, T.F.; NASCIMENTO, F.S. Desempenho de forrageiras em sistemas alagados de tratamento de águas residuárias do processamento do café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. UAEA/UFMG. v.14, n.8, p.842–847, 2010.

Gomide, J. A., Queiroz, D. S. Valor alimentício das Brachiarias. In: Simpósio Sobre Manejo da Pastagem. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.223-248, 1994.

HU, M.; AO, Y.; YANG, X. Treating eutrophic water for nutrient reduction using an aquatic macrophyte (*Ipomoea aquatic Forsskal*) in a deep flow technique system. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 5, p. 607-615, 2008.

HUNT, P.G. & POACH, M.E. State of the art for animal wastewater treatment in constructed wetlands. **Water Science and Technology**, v. 44, n. 11-12, p. 19-25, 2001.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE. Estatísticas de Produção Pecuária. Setembro de 2016. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201602caderno.pdf. Acesso em: 26 out 2016.

JING, S-R.; LIN, Y-F.; WANG, T-W.; LEE, D-Y. Microcosm wetlands for wastewater treatment with different hydraulic-loading - rates and macrophytes. **Journal Environmental Quality**, v. 31, n. 2, p. 690-696, 2002.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.22, n.3, p.651-665, 2005.

LAUTENSCHLAGER, S. R. Modelagem do desempenho de Wetlands construídas. **Dissertação Mestrado**. São Paulo: USP. 90p, 2001.

LEE, C.Y; LEE, C.C.; LEE, F.Y.; TSENG, S.K.; LIAO, C.J. Performance of subsurface flow constructed wetland taking pre-treated swine effluent under heavy loads. **Bioresource Technology**. v. 92, p. 173-179, 2004.

MATOS A. T.; FREITAS W.S.; FIA R.; MATOS, M. P. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura visando seu reuso. **Engenharia na Agricultura**. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa. v.17, n.5, p.383-391, 2009.

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 Ambiente e Água**, v.3, n.1, p.43-53, 2008.

MATOS, A. T.; LO MÔNACO, P. A. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. **Boletim Técnico**, n.7. Viçosa: DEA/UFV, 2003.

MATOS, A.T.; ABRAHÃO, S.S.; LO MONACO, P.A.V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias de indústria de laticínios. **Engenharia Agrícola**. v. 32, n. 6, p. 1144-1155, 2012.

MATOS, A.T.; ABRAHÃO, S.S.; LO MONACO, P.A.V.; SARMENTO, A.P.; MATOS, M.P. 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.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4th Edition, McGraw-Hill, New York. 2003.

MENDONÇA, H. V.; RIBEIRO, C. B. M.; BORGES, A. C.; BASTOS, R. R. 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.

NRC - National Research Council. Nutrients requirements of beef cattle. 6.ed. Washington: **National Academy of Science**, 1984. 90p.

NRC - National Research Council. Nutrients requirements of dairy cattle. 6.ed. Washington: **National Academy of Science**, 1988. 157p.

PRATA, R.C.C.; MATOS, A.T.; CECON, P.R.; LO MONACO, P.A.V.; PIMENTA, L.A. Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos cultivados com lírio-amarelo. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n.6, p.1144-1155, 2013.

RAMOS, N.F.S.; BORGES, A.C.; GONÇALVES, G.C.; MATOS, A.T. 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.

REZENDE, A.V.; RABÊLO, F.H.S.; RABELO, C.H.S.; LIMA, P.P.; BARBOSA, L.A.; ABUD, M.C.; SOUZA, F.R.C. Características estruturais, produtivas e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Jiggs fertilizados com alguns macronutrientes. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.3, p.1507-1518. 2015.

SANTOS, B.S.; COSTA, P.F.; EYNG, E.; CÂMARA, C.D. Avaliação da Eficiência de um Sistema de Tratamento por Wetland Construído Aplicado ao Efluente de um Frigorífico de Suínos. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**. v. 37. n. 2. p. 13-22, 2016.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos). 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 235 p, 2002.

SILVA, E.M.; ROSTON, D.M. Tratamento de efluentes de sala de ordenha de bovinocultura: lagoas de estabilização seguidas de leito cultivado. **Engenharia Agrícola**. v. 30, n. 1. p. 67-73. 2010.

SILVA, E.P. Influência da altura da lâmina e da turbidez da água residuária de suinocultura em sistema de desinfecção solar. 2012. 69 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2012.

STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A.; DRESSLER, F. E. M. M.; MARTINS, A. F. Study of metal distribution in raw end screened swine manure. **CLEAN – Soil, Air, Water**, v.37, n.3, p.239-244, 2009.

STRAPAZZON, A. J. Avaliação da eficiência de tratamento de dejetos de suínos, utilizando um procedimento de compostagem misto, em

propriedade rural no vale do taquari, RS, Brasil. 2008. 64 f. **Dissertação** (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz, Santa Cruz, RS, 2008.

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

TAO, W.; HALL, K.J.; DUFF, S.J.B. Performance evaluation and effects of hydraulic retention time and mass loading rate on treatment of woodwaste leachate in surface-flow constructed wetlands. **Ecological Engineering**, v. 26, n. 3, p. 252-265, 2006.

THOMAZ, L.D.; MONTEIRO, R. Composição florística da Mata Atlântica de encosta da Estação Biológica de Santa Lúcia, município de Santa Teresa-ES. **Boletim do Museu de Biologia Mello-Leitão**, série 7, p.3-48, 1997.

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

VIVAN, M.; KUNZ A., STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V.H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.3, p.320–325, 2010.

VON SPERTLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Volume 1. 3ª Edição. Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2005.

VYMAZAL, J. & KRÖPFELOVÁ, L. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Subsurface Flow (Series of Environmental Pollution). **Springer**. v. 14, 566 p, 2008.

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

XIAN, Q.; HU, L.; CHEN, H.; CHANG, Z.; ZOU, H. Removal of nutrients and veterinary antibiotics from swine wastewater by a constructed macrophyte floating bed system. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 12, p. 2657-2661, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Eficiência de remoção (%) pelo sistema de tratamento.

		Eficiência de Remoção (%)					
		Dias	DOSE 100	DOSE 200	DOSE 300	DOSE 400	Testemunha
Sólidos Totais	30	71,43	71,94	66,39	67,05	71,89	
	60	93,55	90,60	89,19	90,27	92,07	
	90	52,23	61,40	79,15	84,66	44,25	
	120	74,55	58,63	78,64	46,21	74,33	
	150	53,27	41,80	76,55	78,26	48,77	
	180	86,94	83,00	79,83	80,48	77,98	
N-Total	30	91,47	85,76	79,53	81,81	91,46	
	60	96,64	87,57	86,43	86,76	92,88	
	90	69,57	66,56	77,71	75,91	41,55	
	120	96,49	86,78	87,70	82,39	86,31	
	150	67,75	48,88	59,32	50,81	62,39	
	180	86,64	79,00	77,24	76,58	75,75	
P-Total	30	80,97	78,59	73,29	77,66	73,66	
	60	91,22	75,90	78,45	80,69	73,41	
	90	69,19	74,50	80,58	81,18	63,34	
	120	86,05	77,31	81,46	78,38	80,98	
	150	66,39	48,59	57,18	54,14	61,00	
	180	77,44	78,59	70,60	66,69	74,72	
Turbidez	30	92,48	88,61	80,43	83,78	88,10	
	60	97,48	96,71	95,22	95,21	98,26	
	90	91,76	88,96	87,53	91,46	86,74	
	120	96,95	85,64	88,43	83,90	86,43	
	150	81,36	50,64	72,81	71,33	85,63	
	180	97,32	95,82	92,59	94,52	95,85	
DBO₅	30	78,34	74,53	53,47	87,94	72,47	
	60	87,94	93,80	88,78	82,90	94,81	
	90	68,37	91,99	68,44	55,38	42,51	
	120	93,61	87,75	94,41	93,17	87,84	
	150	78,45	67,98	81,03	65,17	77,11	
	180	93,15	85,01	83,04	84,06	79,77	

APÊNDICE B – Extração de nutrientes pelo capim-Jiggs.

Dias	Dose	Kg ha ⁻¹										
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
30	100	139,064	13,737	101,754	10,549	5,732	8,819	0,699	0,064	0,027	0,098	0,041
30	200	87,515	9,925	68,304	8,517	4,162	6,574	0,726	0,034	0,009	0,075	0,030
30	300	7,184	0,596	5,117	0,614	0,434	0,268	0,143	0,003	0,002	0,008	0,004
30	400	46,667	3,626	33,918	4,667	2,327	2,211	0,456	0,022	0,007	0,040	0,015
60	100	319,298	31,018	243,275	23,871	13,000	20,070	1,589	0,062	0,062	0,220	0,099
60	200	294,839	32,021	243,414	27,564	13,576	21,530	2,338	0,117	0,034	0,247	0,096
60	300	17,561	1,443	12,544	1,592	1,037	0,675	0,384	0,007	0,005	0,020	0,010
60	400	240,917	20,831	181,140	24,273	12,318	11,835	2,445	0,121	0,042	0,217	0,085
90	100	209,529	18,321	154,825	15,070	7,690	10,476	1,466	0,114	0,026	0,191	0,062
90	200	179,554	14,364	130,585	11,286	5,410	9,141	1,115	0,070	0,014	0,168	0,061
90	300	12,680	0,890	8,289	0,642	0,457	0,583	0,051	0,005	0,002	0,008	0,003
90	400	113,289	8,182	80,921	6,444	3,626	5,874	0,860	0,060	0,012	0,087	0,036
120	100	142,456	12,807	108,772	10,632	5,228	11,018	0,582	0,063	0,011	0,102	0,046
120	200	119,000	10,588	89,474	11,811	5,100	9,365	0,465	0,033	0,006	0,081	0,042
120	300	33,813	2,104	22,924	1,441	0,950	1,850	0,210	0,012	0,003	0,015	0,012
120	400	121,088	8,918	79,035	8,530	4,265	6,502	1,151	0,039	0,009	0,057	0,063
150	100	166,199	9,865	102,339	9,702	5,649	9,988	0,426	0,041	0,012	0,123	0,070
150	200	142,456	8,446	84,795	8,412	4,681	9,735	0,505	0,034	0,007	0,109	0,085
150	300	18,575	0,984	11,820	0,560	0,531	0,700	0,075	0,006	0,002	0,009	0,010
150	400	122,807	6,404	67,251	5,789	4,035	5,936	0,488	0,035	0,012	0,061	0,050
180	100	186,871	19,804	133,480	18,978	12,814	11,843	3,116	0,102	0,049	0,184	0,121
180	200	204,760	21,243	148,655	18,462	12,660	11,269	0,935	0,082	0,038	0,153	0,149
180	300	13,110	1,001	8,289	0,795	0,660	0,543	0,085	0,006	0,002	0,009	0,008
180	400	178,070	16,491	116,228	15,219	10,877	9,561	0,763	0,096	0,066	0,127	0,158

APÊNDICE C – Teores foliares apresentados pelo capim-Jiggs.

DOSE	DIAS	dag Kg ⁻¹						mg Kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Cu	Mn	B
100	30	4,1	0,405	3	0,311	0,169	0,26	206	19	8	29	12
100	60	4,2	0,408	3,2	0,314	0,171	0,264	209	20	9	29	13
100	90	4,06	0,355	3	0,292	0,149	0,203	284	22	5	37	12
100	120	4,06	0,365	3,1	0,303	0,149	0,314	166	18	3	29	13
100	150	4,06	0,241	2,5	0,237	0,138	0,244	104	10	3	30	17
100	180	3,85	0,408	2,75	0,391	0,264	0,244	642	21	10	38	25
200	30	4,1	0,465	3,2	0,399	0,195	0,308	340	16	4	35	14
200	60	4,3	0,467	3,55	0,402	0,198	0,314	341	17	5	36	14
200	90	3,85	0,308	2,8	0,242	0,116	0,196	239	15	3	36	13
200	120	3,99	0,355	3	0,396	0,171	0,314	156	11	2	27	14
200	150	4,2	0,249	2,5	0,248	0,138	0,287	149	10	2	32	25
200	180	4,27	0,443	3,1	0,385	0,264	0,235	195	17	8	32	31
300	30	3,51	0,291	2,5	0,3	0,212	0,131	699	14	9	39	18
300	60	3,64	0,299	2,6	0,33	0,215	0,14	795	15	10	42	21
300	90	4,13	0,29	2,7	0,209	0,149	0,19	167	17	5	25	11
300	120	4,13	0,257	2,8	0,176	0,116	0,226	256	15	4	18	15
300	150	3,85	0,204	2,45	0,116	0,11	0,145	156	13	4	19	20
300	180	4,27	0,326	2,7	0,259	0,215	0,177	276	21	8	29	27
400	30	3,99	0,31	2,9	0,399	0,199	0,189	390	19	6	34	13
400	60	3,99	0,345	3	0,402	0,204	0,196	405	20	7	36	14
400	90	3,78	0,273	2,7	0,215	0,121	0,196	287	20	4	29	12
400	120	4,06	0,299	2,65	0,286	0,143	0,218	386	13	3	19	21
400	150	4,2	0,219	2,3	0,198	0,138	0,203	167	12	4	21	17
400	180	4,06	0,376	2,65	0,347	0,248	0,218	174	22	15	29	36

