

PRÊMIO ECOLOGIA 2017

Categoria: GRADUAÇÃO



**TRATAMENTO DE ÁGUAS
RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA
EM FILTROS ANAERÓBIOS COM
DIFERENTES TIPOS DE MEIO
SUPORTE**

Eduardo France Oza

**Instituto Federal do Espírito Santo –
campus Santa Teresa**



INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A suinocultura é uma atividade pecuária que, em escala comercial, se expandiu muito nas últimas décadas, devido ao aumento na demanda de carnes e de derivados de suíno, sendo uma atividade importante do ponto de vista social, econômico e, especialmente, de fixação do homem no campo (MATOS *et al.*, 2009).

O desenvolvimento da suinocultura tem como fator de maior preocupação a quantidade de dejetos produzidos, que apresentam alto poder poluente, especialmente quando lançados sem tratamento em corpos hídricos. Matos *et al.* (2010) reforçam que além da poluição de águas superficiais e subterrâneas, a aplicação de doses inadequadas desses resíduos no solo podem proporcionar a salinização, poluição e danos à sua estrutura.

Como na legislação ambiental estão estabelecidos padrões para lançamento de efluentes em corpos hídricos, torna-se necessário, caso a opção seja esta forma de destinação final, o tratamento dessas águas residuárias. Existem diversos processos para o tratamento e/ou reaproveitamento de efluentes, que em sua maioria apresenta elevada eficiência, no entanto, necessitam de grandes investimentos. Por outro lado, pequenos agricultores familiares, como é o caso da maioria de imóveis rurais no estado do Espírito Santo, carecem de recursos, assistência técnica e possuem baixo nível tecnológico para empregarem métodos sofisticados no tratamento dos dejetos gerados em suas propriedades.

Dentre as soluções simples, propostas para tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico, como é o caso das provenientes das granjas suínolas de menor porte, destaca-se o filtro anaeróbio de fluxo ascendente. De acordo com Souza *et al.* (2010), os filtros anaeróbios podem ser definidos como reatores biológicos preenchidos com algum material com boa superfície de aderência, imóveis e inertes. São sistemas que facilitam a proliferação de microrganismos anaeróbios formando uma fina camada, denominada biofilme ou lodo, envolvendo um material de enchimento, atuando como absorvente. Tonetti *et al.* (2011) reforçam que os filtros anaeróbios são uma opção de baixo custo tanto no aspecto construtivo, quanto operacional, removendo aproximadamente 70% da matéria orgânica e produzindo reduzida quantidade de lodo.

Um dos empecilhos para a adoção de filtros anaeróbios em escala real se refere ao custo do material de enchimento como meio suporte, podendo-se alcançar a mesma grandeza da construção do filtro (TONETTI *et al.*, 2011). Nesse sentido, pesquisas têm sido realizadas utilizando materiais de baixo custo e com elevada disponibilidade como meio suporte para filtros anaeróbios, tais como rejeitos de construção civil (CAMPOS *et al.*, 2008), anéis de bambu (TONETTI *et al.*, 2011; 2012), escória de alto forno (FIA *et al.*, 2010), bucha vegetal (FERNANDES *et al.*, 2015) dentre outros. À exceção de Fia *et al.*

(2010), que utilizaram água residuária de café, todos os demais autores citados utilizaram meios suportes alternativos de filtros anaeróbios no tratamento de esgoto doméstico.

Pesquisas utilizando materiais alternativos à brita tornam-se fundamentais, principalmente se forem de baixo custo, acessíveis e possibilitem elevada eficiência no tratamento de águas residuárias. Nesse sentido, materiais como anéis de bambu, bucha vegetal e espuma de poliuretano já foram pesquisados como materiais de enchimento em filtros anaeróbios, porém, em trabalhos envolvendo tratamento de esgoto doméstico. Assim, esse trabalho justifica-se em razão de serem escassos os dados de eficiência quanto à aplicabilidade desses materiais no tratamento de águas residuárias ricas em material orgânico, como as de suinocultura.

OBJETIVOS

Avaliar a eficiência de filtros anaeróbios com diferentes tipos de meio suporte, alternativos à brita, no tratamento de águas residuárias da suinocultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido durante os meses de dezembro de 2016 a julho de 2017, no setor de Animais de Médio Porte do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) *campus* Santa Teresa, município de Santa Teresa, estado do Espírito Santo.

A bancada experimental foi constituída de 12 filtros anaeróbios de policloreto de vinil (PVC) de fluxo ascendente, com capacidade para 5,1 litros cada, preenchidos totalmente com os meios suporte. Os volumes de vazios para cada meio suporte (Tabela 1) foram calculados para a determinação da vazão de cada filtro.

As britas utilizadas no experimento foram adquiridas em loja de material de construção, com dimensões de 50 a 76 mm, classificadas como nº 4, e foram lavadas e peneiradas até se obter uma granulometria uniforme. Os anéis de bambu, obtidos a partir do corte de touceiras cultivadas no *campus*, apresentavam dimensões médias de 3 cm de altura e 2 cm de diâmetro. Os cortes de buchas vegetais continham, em média, 5 cm de altura e 12 cm de diâmetro e foram adquiridos em propriedades de agricultores familiares pertencentes a Associação Santa Teresa de Agroecologia - ES (ASTRAL). Os cubos de espuma de poliuretano foram adquiridos a partir de colchões descartados, com densidade 33 (D 33), e recortados até se obter dimensões de aproximadamente de 3 x 3 x 3cm (altura x comprimento x largura).

Tabela 1 - Valores de volumes vazios para cada filtro e suas respectivas vazões

Tipo de filtro	Volumes Vazios	Vazão
Brita	60%	5,8 mL min ⁻¹
Bambu	75%	6,0 mL min ⁻¹
Bucha vegetal	82%	6,9 mL min ⁻¹
Espuma	76%	6,4 mL min ⁻¹ ,

Os diferentes tipos de meio suporte (Figura 1) foram secos à sombra e protegidos contra insetos e poluição.



Figura 1 - Vista superior dos filtros contendo diferentes tipos de material suporte: brita, anéis de bambu, bucha vegetal e espuma

Nas dimensões estabelecidas por esse projeto, cada filtro anaeróbico tem a capacidade de realizar o tratamento de aproximadamente 3,6 L de águas residuárias de suinocultura, com o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 12 horas. Desse modo, a capacidade de tratamento diário era de 7,2 L. De acordo com Oliveira (1993 apud OLIVEIRA, 2003), a produção média diária de águas residuárias por animal é de 8,6 l (considerando fezes e urina), assim sendo, cada filtro é capaz de tratar o efluente diário produzido por 0,84 animais.

Os filtros foram operados com fluxo ascendente no tratamento de águas residuárias provenientes da suinocultura do próprio *campus*. O efluente foi armazenado em reservatório de fibra de vidro com capacidade para 500 L, instalado em uma estrutura 2 m acima dos filtros, fazendo com que a alimentação dos mesmos ocorresse por gravidade. O tempo de detenção do efluente no filtro foi de 12 horas, seguindo-se a norma NBR 7229 (1993), tendo a vazão de saída medida e controlada diariamente de modo a permanecer nos valores estabelecidos pelos cálculos de volume de vazios. A amostragem do efluente bruto e tratado foi realizada a cada 15 dias, durante um período experimental de 8 meses.

As análises do efluente bruto e tratado consistiram na determinação do pH, turbidez, sólidos totais (ST), sólidos suspensos (SS), condutividade elétrica (CE), nitrogênio total (Ntotal), fósforo (P) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Tais análises foram

realizadas no Laboratório de Qualidade de Água do Ifes – *campus* Santa Teresa, seguindo-se metodologia descrita segundo Matos (2015).

Para a determinação da eficiência de remoção dos filtros (E), considerou-se os valores das concentrações do afluente e efluente dos filtros, conforme a Equação 1.

$$E (\%) = \frac{(C_{af} - C_{ef})}{C_{af}} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

C_{af} : concentração afluente;

C_{ef} : concentração efluente;

E: eficiência de remoção, em %.

Os efluentes tratados apresentaram valores de pH dentro da faixa ótima para o desempenho de micro-organismos produtores de metano, recomendada por Chenicharo (2007), que é de 6 a 8,3. Os demais atributos do efluente apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores máximo, médio e mínimo para os seguintes atributos presentes no afluente bruto da suinocultura: Condutividade elétrica (CE); Turbidez; potencial hidrogeniônico (pH); Demanda bioquímica de oxigênio (DBO); Nitrogênio total (Ntotal); Fósforo total (Ptotal); Sólidos totais e; Sólidos suspensos

	Atributos do afluente bruto de suinocultura							
	($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	(NTU)		(mg.L ⁻¹)				
	CE	Turbidez	pH*	DBO	Ntotal	Ptotal	ST	SS
Máximo	6.490,0	457,0	8,8	474,8	10.080,0	56,2	9.946,0	268,0
Médio	4.177,0	302,5	8,4	245,4	6.932,0	44,6	3.568,0	1.116,0
Mínimo	1.680,0	225,0	8,1	148,3	3.052,0	33,1	1.597,0	427,0

* pH não possui unidade, portanto variável adimensional.

Os baixos valores de DBO para a água residuária de suinocultura são justificados pela raspagem do dejetos antes da lavagem das baias, o que diminui consideravelmente a carga orgânica do efluente gerado.

O experimento foi implantado em Delineamento inteiramente ao acaso (DIC), em esquema de parcelas subdivididas no tempo, utilizando análise de medidas repetidas. Os tratamentos alocados nas parcelas foram compostos por diferentes filtros biológicos (brita, bambu, bucha vegetal e espuma), e aqueles distribuídos nas subparcelas compuseram

diferentes períodos de avaliação (0, 60, 120, 180 e 240 dias pós-estabelecimento dos filtros). Para análise dos fatores intra-sujeitos (períodos de avaliação dentro do fator Filtro), realizou-se o teste de esfericidade de Mauchly para verificar se a matriz de covariâncias dos erros atenderia à condição de simetria composta (similaridade de variâncias e correções nulas). Em caso de verificação da esfericidade insatisfatória ($P < 0,05$), os graus de liberdade dos fatores na subparcela (Períodos de avaliação e a interação entre estes e o fator Filtro) foram corrigidos. Anteriormente à análise de variância testou-se cada variável quanto à homogeneidade de variâncias (teste de Levene) e à normalidade dos resíduos padronizados (teste de Shapiro-Wilk). Após verificados os efeitos para os fatores isolados, ou para a interação (Filtro x Período), foram efetuados os desdobramentos e as comparações dos efeitos, por meio de comparações múltiplas utilizando o teste Sidak. Para os procedimentos estatísticos foi utilizado do programa SPSS Statistics 20.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de eficiência de remoção (%) de Turbidez, Condutividade elétrica, Sólidos totais, Sólidos suspensos para os diferentes meio suporte, nos diferentes períodos de avaliação, apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3- Média das eficiências de remoção de Turbidez, Sólidos totais (ST), Sólidos suspensos (SS), em porcentagem (%), para os diferentes tipos de meios suporte nos diferentes períodos de avaliação

TURBIDEZ								
Tipo de Filtro	Período de avaliação P.A.(dias)					Valor de P		
	0	60	120	180	240	Filtro	P.A.	Filtro*P. A.
Brita	75,25 Aab	55,13 Cd	87,46 Aa	66,35 Bbc	57,60 BCcd			
Bambu	70,93 Ab	74,16 Bb	90,85 Aa	83,38 Aab	77,56 Ab	0,009	0,000	0,004
Bucha vegetal	69,91 Aa	75,86 Aa	88,13 Aa	89,91 Aa	50,98 Cb			
Espuma	72,40 Abc	73,09 Bb	72,31 Bbc	81,58 Aa	64,38 Bc			

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA								
Tipo de Filtro	Período de avaliação P.A.(dias)					Valor de P		
	0	60	120	180	240	Filtro	P.A.	Filtro*P. A.
Brita	34,40 Aa	2,00 Ab	3,65 Cb	1,19 Cb	-6,05 Ab	0,052	0,000	0,004
Bambu	23,85 Aa	1,59 Bd	8,07 Ac	15,09 Bab	-5,25 Ad			

Bucha vegetal	21,64 Aa	3,86 Ac	7,59 Ab	3,51 Cc	-2,63 Ac
Espuma	32,36 Aa	0,05 Bc	4,32 BCc	18,98 Ab	-2,15 Ac

Sólidos Totais

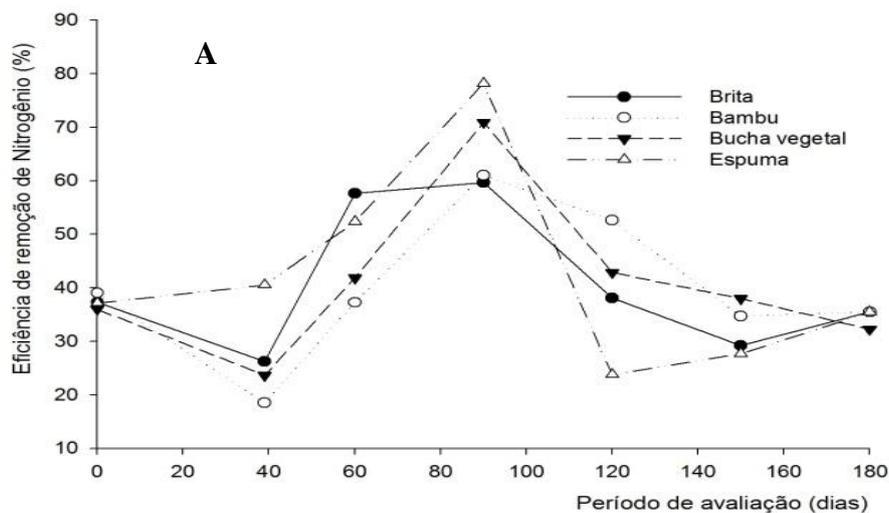
Tipo de Filtro	Período de avaliação P.A.(dias)					Valor de P		
	0	60	120	180	240	Filtro	P.A.	Filtro*P.A.
Brita	31,87 Bd	64,39 Aab	47,25 Ac	31,07 Ad	83,27 Aa	0,001	0,000	0,002
Bambu	15,36 Dd	62,93 Ab	52,36 Abc	41,85 Ac	82,83 Aa			
Bucha vegetal	18,15 Cc	64,66 Aa	42,82 Ab	35,16 Ab	45,46 Bb			
Espuma	40,85 Acd	64,99 Ab	49,45 Ac	35,88 Ad	85,31 Aa			

Sólidos Suspensos

Tipos de Filtro com	Período de avaliação P.A.(dias)					Valor de P		
	0	60	120	180	240	Filtro	P.A.	Filtro*P.A.
Médias gerais								
Brita (93,51 A)	86,39	95,84	93,59	94,22	97,51	0,007	0,001	0,116
Bambu (90,84 AB)	83,15	90,57	92,94	88,65	98,88			
Bucha (87,72 B)	78,51	92,34	82,81	85,93	99,00			
Espuma (92,39 A)	81,12	89,43	97,80	94,67	98,92			
Efeito do P.A.	82,29 c	92,04 b	91,78 b	90,87 b	98,58 a			

As médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas, nas colunas, e minúsculas, nas linhas, são iguais entre si, pelo teste de Sidak ao nível de 5% de probabilidade.

Os gráficos da eficiência de remoção de Nitrogênio total, Fósforo total e Demanda bioquímica de oxigênio apresentam-se nas Figuras 2A, 2B e 2C, respectivamente.



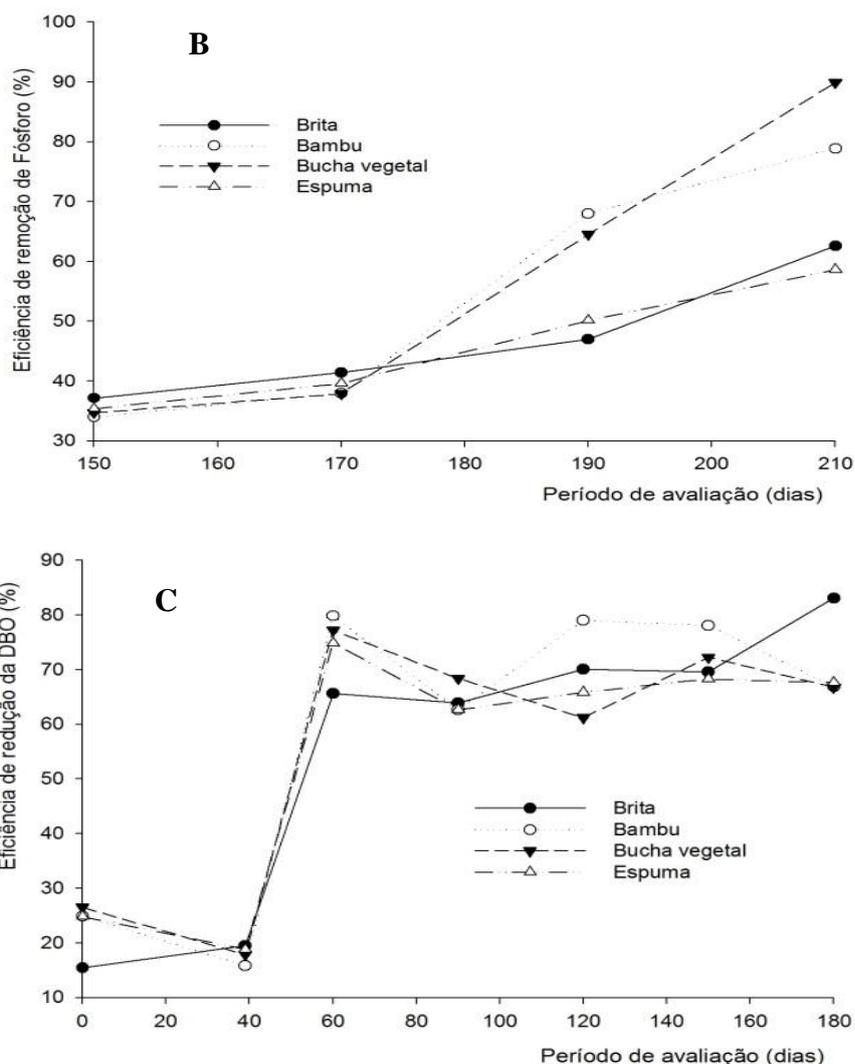


Figura 2 - Evolução da eficiência de remoção de Nitrogênio total (A), Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (B) e Fósforo total (C) em função dos diferentes períodos de avaliação

Turbidez

De acordo com a Tabela 3, observa-se que não houve diferença estatística ($P < 0,01$) entre os diferentes tipos de meio suporte no primeiro período de avaliação, sendo este considerado como o ponto de partida de operação dos filtros, indicando que as estruturas dos meios suporte apresentam boa capacidade filtrante, removendo em torno de 70% da turbidez. Entretanto, aos 60 dias de operação, observa-se (Tabela 3) diferença estatística, tendo os filtros contendo bucha vegetal como material suporte apresentado o melhor resultado (75,86%). Filtros contendo bambu e bucha vegetal apresentaram resultados satisfatórios, não diferenciando-se entre si, sendo muito superiores aos filtros contendo brita, que apresentou o menor resultado (55,13%).

Aos 120 dias de operação houve um aumento significativo na eficiência de remoção da turbidez em todos os meios suporte, com exceção dos filtros contendo bucha vegetal, que se mantiveram com eficiência em torno de 72%, sendo este o menor resultado para o

período. Para os filtros contendo brita e bambu, este período proporcionou as maiores eficiências, alcançando-se valores próximos a 90%. Já no período de 180 dias, todos os filtros apresentaram eficiência em torno de 85%, com exceção dos filtros contendo brita, que se diferiram significativamente apresentando resultado inferior (66,35%), quando comparado aos outros meios suporte.

Para o último período de avaliação (240 dias), observa-se um decréscimo na eficiência em todos os meios suporte, tendo como melhor tratamento os filtros contendo bambu (77,56%). O maior decréscimo é observado nos filtros contendo bucha vegetal. Este meio suporte apresentou elevada e crescente eficiência ao longo dos períodos de avaliações, indicando que sua estrutura possibilita a filtração e favorece a proliferação microbológica. Entretanto, no final de operação, a alta degradabilidade de sua estrutura, reduziu drasticamente a eficiência desse material. Chanakya e Khuntia (2014), avaliando a degradação de outra espécie de bucha vegetal (*Luffa acutangula*), muito similar à utilizada neste estudo, verificaram a degradação do material em 93,5% no final dos 408 dias de estudos.

A eficiência média obtida nos filtros contendo os anéis de bambu foi semelhante ao encontrado por Souza *et al.* (2010), que obtiveram eficiência de 82,37% na remoção desta variável em filtros contendo anéis de bambu, com o mesmo tempo de operação, porém, tratando efluente doméstico.

A eficiência média de remoção da turbidez nos filtros contendo espuma foi também satisfatória (72,75%), não diferindo da brita (68,35%). Evidenciando o potencial desses materiais alternativos à brita, como meios suportes em filtros anaeróbios, no tratamento de águas residuárias de suinocultura.

Condutividade elétrica

De acordo com a Tabela 3, observa-se que não houve diferenças estatísticas entre os meios suporte, no período inicial de avaliação (P.A. 0 dia), ficando em torno de 25%. Nesta fase, também se observa (Tabela 3) os melhores resultados em relação aos demais períodos de avaliação, apresentando uma forte oscilação nas eficiências ao longo dos dias, culminando na eficiência negativa ao final do período de avaliação (240 dias).

Tais resultados podem estar associados à liberação de íons presentes nas estruturas dos próprios materiais suporte. Outro fator que pode estar associado com a ineficiência na remoção de C.E. é de que, com o passar dos dias de operação, o acúmulo de lodo resultante do processo de filtragem, pode ter aumentado a toxicidade do meio. Chen; Cheng & Creamer (2007) afirmam que o acúmulo e a idade do lodo podem reduzir a proliferação de

bactérias anaeróbia, causando a mortandade de colônias devido à sensibilidade às cargas tóxicas. Além disso, Chenicharo (2007) reforça que a com maior acúmulo de lodo, menor serão os espaços vazios, aumentando a entrada de oxigênio proveniente do aflente. Desse modo, o acúmulo de lodo ao longo dos períodos de avaliação pode ter propiciado maior escoamento e carreamento de íons provenientes da morte das células bacterianas, presentes no interior dos filtros.

Sólidos Totais

Inicialmente, os filtros contendo bambu e bucha vegetal apresentaram eficiências baixas (15,36% e 18,15%, respectivamente), quando comparados aos filtros contendo espuma de poliuretano (40,85%) e brita (31,87%), ainda que todos diferiram entre si.. No entanto, vale salientar que a eficiência de materiais como a bucha e o bambu está relacionada às suas estruturas filtrantes, pois a formação do biofilme bacteriano só é estabelecido com alguns meses, como afirmam Tonetti *et al.* (2011), avaliando filtros anaeróbios com recheio de bambu no tratamento de efluentes domésticos com TDH de 9 horas.

Aos 60 dias de operação, ocorreu uma elevação na eficiência de remoção de ST (em torno de 64%) por todos os meio suporte, não havendo diferenças estatísticas entre os filtros. Tal fato pode estar associado à evolução do filme bacteriano, contribuindo para a eficiência de remoção de ST da água residuária.. Entretanto, aos 120 dias de P.A., ocorreu uma ligeira redução da eficiência de remoção (em torno de 47%) em todos os filtros, não havendo diferença estatística entre eles. O mesmo efeito se observa aos 180 dias (Tabela 3), cuja média de eficiência de remoção de ST reduziu para aproximadamente 35%. Essa redução pode estar associada à elevada concentração de SS presente na água residuária de suinocultura (Tabela 2), cuja característica tende a dificultar a hidrólise pelos microrganismos fazendo com que ocorresse a desestabilização do meio, tal como sugerido por Kim *et al.* (2009). Além disso, fatores estocásticos, como a amplitude térmica, podem ter interferido na comunidade microbiana. Chernicharo (2007) ressalta que microrganismos não dispõem de mecanismos para controlar sua temperatura interna, desse modo, esta é imposta pela temperatura ambiente.

Entretanto, de acordo com Appels *et al.* (2008), a eficiência dos filtros anaeróbios pode ser comprometida pela oscilação da temperatura devido a sensibilidade da maioria dos microrganismos, já que estes não apresentam muita tolerância a variações de temperatura acima de 2°C diária. Além disso, os mesmos autores salientam que elevadas temperaturas também promovem aumento da pressão parcial de hidrogênio, aumentando a concentração

de amônia livre, que tende a inibir os processos anaeróbios. Tal fato pode ter também ocorrido neste experimento, já que neste período houve uma elevada oscilação de temperatura.

Ao final do período de avaliação (240 dias), além da redução da concentração de SS do afluente, ocorreu a diminuição da amplitude térmica com a chegada do inverno, que mesmo sendo a estação mais fria do ano, ofereceu menor oscilação entre a temperatura mínima e máxima durante o dia, fazendo com que os filtros pudessem retomar às eficiências de remoção de ST.

Elevadas eficiências de remoção de ST foram obtidas nos filtros contendo espuma (85,36%), brita (83,27%) e bambu (82,83%) aos 240 dias de avaliação, não havendo diferenças significativas ($P < 0,05$) entre esses materiais (Tabela 3). Já nos filtros contendo cortes de bucha vegetal, a eficiência de remoção foi menor (45,46%), diferindo-se dos demais. Este fato pode estar relacionado com maior volume de vazios deste material (Tabela 1), indicando que os cortes de bucha vegetal possuem menor superfície específica, além de possuir galerias oriundas da própria morfologia do fruto, favorecendo o escoamento do efluente por caminhos preferenciais. Esses fatores podem ter promovido menor contato do material com o afluente. Além disso, Fernandes *et al.* (2015), ao avaliarem a eficiência de filtros contendo bucha vegetal como meio suporte no tratamento de esgoto doméstico, afirmaram que por ser um material orgânico, a bucha vegetal possui fácil degradabilidade, podendo contribuir para as baixas eficiências de ST e Turbidez, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

A elevada eficiência obtida na remoção de ST pelo filtro contendo espuma (85,36%) foi semelhante à encontrada por Ávila (2005). No entanto, a autora avaliou eficiência do conjunto tanque séptico e filtros anaeróbios contendo espuma de poliuretano no tratamento de esgoto doméstico e não a eficiência somente dos filtros, tal como realizado neste trabalho. De acordo com Zaiat *et al.* (1994) a estrutura de cubos de espuma é formada por microgalerias internas, o que favorece a filtração dos sólidos e a proliferação de microorganismos nas paredes dessas galerias, aumentando assim, o contato do biofilme microbiano com a água residuária a ser tratada.

De maneira geral, aos 240 dias, todos os filtros, com exceção dos filtros contendo a bucha, proporcionaram elevada eficiência de remoção ST, mesmo com a elevada concentração de SS contida na água residuária de suinocultura. Para melhorar ainda mais a eficiência dos filtros, Duda e Oliveira (2009) sugerem o uso do processo anaeróbio em dois estágios, com a hidrólise parcial da matéria orgânica particulada no primeiro reator e a conversão, no segundo reator, dos compostos solúveis formados no primeiro reator.

Sólidos Suspensos

No tocante à variável SS, elevadas eficiências de remoção foram obtidas em todos os tipos de meio suporte (Tabela 3), não havendo diferença estatística ($P < 0,01$) nos diferentes períodos de avaliação. Em relação às médias gerais de eficiência de remoção de SS, os filtros contendo brita e espuma apresentaram os melhores resultados (93,51% e 92,39%, respectivamente), não havendo diferenças estatísticas entre si. A menor eficiência de remoção de SS foi obtida no filtro contendo bucha vegetal (87,72%), que não diferiu do filtro contendo bambu (90,84%).

De um modo geral, os atributos relacionados à remoção física, tais como SS e Turbidez, foram removidos com eficiência, provavelmente em decorrência da sedimentação nos interstícios, retenção por restrição ao escoamento (filtração) e adesão aos grânulos de ambos os materiais suporte.

Nitrogênio

De maneira geral, todos os filtros apresentaram comportamento semelhante em relação à remoção de Nitrogênio total (N_{total}), apresentando eficiência inicialmente em torno de 40%, com redução de 20% aos 40 dias, tendo o valor máximo entre 60 e 100 dias de avaliação. Filtros contendo brita e anéis de bambu como meios suporte alcançaram eficiência máxima em torno de 60%, enquanto filtros contendo bucha vegetal, e espuma, alcançaram eficiências em torno de 80 e 70%, respectivamente.

A elevada eficiência na remoção de N_{total} pela espuma possa estar relacionada à melhor adaptação e formação do biofilme, sendo esta próxima à obtida por Abreu & Zaiat (2008), que encontraram eficiência média de remoção de N-amoniaco em 85%, avaliando um sistema de filtros contendo espuma no tratamento de águas residuárias domésticas. No entanto, os autores utilizaram um tratamento preliminar e primário antes conduzir o efluente ao filtro anaeróbio.

A eficiência de remoção de N_{total} obtida neste trabalho foi superior à obtida por Tonetti *et al.* (2012), que avaliando o pós-tratamento de efluentes de filtros anaeróbios com recheios de bambu, encontraram eficiência de apenas 16%. No entanto, no referido trabalho, o TDH foi de 3 h, valor diferente do TDH utilizado neste trabalho (12 h). Desse modo, o maior tempo de detenção e, conseqüentemente, maior tempo de contato dos nutrientes com o biofilme, pode ter proporcionado maior eficiência da remoção do N_{total} .

Fósforo

Por problemas laboratoriais, as análises da eficiência de remoção do P só se iniciaram a partir de 150 dias após o início da operação dos filtros. De acordo com a Figura 2, nota-se que todos os filtros apresentaram baixa eficiência de remoção de P (em torno de 38%) até os 170 dias de avaliação. Entretanto, filtros contendo bambu e bucha vegetal apresentaram uma elevação acentuada, tendo atingido valores máximos de remoção em 80% e 90%, respectivamente, no final do período de avaliação.

Embora os filtros contendo brita e espuma também apresentassem uma elevação de eficiência de remoção de P em relação ao período inicial de avaliação, essa elevação foi mais discreta quando comparada aos outros dois filtros (bambu e bucha vegetal), apresentando eficiência no período final de avaliação em torno de 60%. Tonetti *et al.* (2012) encontraram eficiência de remoção de P de 19% trabalhando no pós-tratamento de efluentes de filtros anaeróbios com TDH de 3 h. No entanto, o TDH utilizado pelos autores foi inferior ao utilizado neste trabalho (12 h).

Os dados de eficiência de remoção de P nos filtros aos 150 dias (em torno de 38%) corroboram com Chernicharo (2007), que afirma que os filtros anaeróbios possui uma desvantagem no tocante à baixa eficiência de remoção de P, sendo necessária a aplicação de um pós-tratamento. Entretanto, maiores eficiências foram observadas ao longo dos dias de avaliação, indicando que maiores períodos de adaptação são necessários para que filtros anaeróbios apresentem boa eficiência.

A baixa eficiência nos períodos iniciais pode ser um indicativo de aproveitamento do efluente oriundo dos filtros em sistemas de fertirrigação, já que os SS (Tabela 3), variável que, em elevada concentração, contribuiria para o entupimento nos sistemas de irrigação, foram retidos pelos filtros, , mas nutrientes essenciais para desenvolvimento de culturas, como é o caso do P e N, possuem baixa remoção, proporcionando um efeito benéfico nas lavouras.

Demanda Bioquímica de Oxigênio

Inicialmente, nota-se uma baixa eficiência da remoção de DBO em todos os filtros, principalmente naqueles contendo brita (Figura 2). A partir de 40 dias de operação aproximadamente, observa-se que uma grande elevação da eficiência, culminando no pico de em torno de 80% para filtros contendo bambu, bucha vegetal e espuma e 65%, naqueles contendo brita. Até o final do período de avaliação (180 dias), ocorreram pequenas oscilações na eficiência, que podem estar associadas às diferentes cargas orgânicas de entradas, além da variação da temperatura ambiental durante o período avaliado. De maneira geral, todos os filtros apresentaram razoável eficiência de remoção, atingindo em torno de

65% de eficiência de remoção de DBO para filtros contendo bambu, bucha e espuma e 80% para os filtros contendo brita.

Os valores médios de DBO encontrados por este trabalho são próximos aos encontrados por Campos *et al.* (2005b) que encontraram eficiência de 75% na remoção de DBO em águas residuárias de suinoculturas. No entanto, no referido trabalho, os autores utilizaram um sistema constituído de um Tanque de Acidificação e Equalização (TAE), Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB), Lagoa Aerada Facultativa (LAF), sendo muito mais complexo do que o sistema utilizado neste trabalho.

A remoção de DBO pelos filtros evidencia que os meios suporte avaliados propicia boa adaptação e formação do biofilme. Mesmo assim, em ambos os materiais suportes esses valores podem ser considerados baixos. Tal fato possa estar associado à elevada concentração de SS contida na água residuária de suinocultura, dificultando a hidrólise pelos microrganismos, tal como sugerido por Kim *et al.* (2009). Nesse caso, acredita-se que um tratamento preliminar e primário antes dos filtros anaeróbios poderia aumentar a eficiência de remoção desse atributo.

Considerações finais

De um modo geral, em razão da ausência de qualquer tratamento preliminar e primário, pode-se considerar que os filtros anaeróbios com os meios suportes alternativos à brita apresentaram resultados satisfatórios no tratamento da água residuária de suinocultura.

Os filtros contendo cortes de bambu apresentaram os melhores resultados, indicando que sua estrutura em formato de anéis dispostos ao longo dos filtros possui elevada ação filtrante, tal como observado por Souza *et al.* (2010). Quanto maior a espessura do biofilme, maior será a estabilização e degradação da matéria orgânica (SANTOS, 2004).

A manutenção da qualidade dos corpos hídricos é necessária em qualquer momento, entretanto, em tempos de crise hídrica como acomete o estado do Espírito Santo, o controle da emissão de efluentes em corpos d'água é imprescindível. Tendo em vista que grande parte dos produtores capixabas não tem acesso às tecnologias, políticas públicas e assistência necessárias no manejo dos efluentes produzidos em suas residências e empreendimentos, o uso de tecnologias simples, de baixo custo, fácil aquisição e manejo se fazem necessárias para atenuar os problemas oriundos do descarte inadequado dos dejetos.

Os filtros anaeróbios com diferentes meios suporte apresentados nesse trabalho foram eficientes no tratamento de águas residuárias de suinocultura e, como já relatado pela literatura científica, podem ser empregados em escala real no tratamento de diversos tipos de efluentes, sem a necessidade de grandes investimentos. Desse modo, essa importante

tecnologia pode ser replicada facilmente, auxiliando a população a manter a qualidade da água de seus corpos d'água, trazendo inúmeros benefícios, dentre eles a redução dos impactos ambientais e melhorias na qualidade de vida das comunidades.

Caso a opção seja utilizar a água residuária na fertirrigação de culturas, os filtros anaeróbios com os diferentes meios suporte foram bastante eficientes na remoção de Sólidos Suspensos, variável que contribui para o entupimento em sistemas de irrigação localizada.

. Em dados ainda não publicados, Poloni *et al.* não encontraram redução do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) em sistema de irrigação por gotejamento utilizando efluentes oriundos dos filtros anaeróbios em até 240 horas ininterruptas de uso. Assim sendo, a utilização dos efluentes provenientes de filtros anaeróbios podem ser aplicados em sistemas de irrigação localizada, diminuindo os custos manutenção.

Referências

ABREU, S. B.; ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.2, p.181-188, 2008.

APPELS, L. et al. Principles and potential of the anaerobic digestion of wasteactivated sludge. **Energy and Combustion, London**, v. 34, p. 755-781, Aug. 2008.

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

ÁVILA, R. O. de. **Avaliação do desempenho do sistema tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes meios suportes**. 2005. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Engenharia Civil)- Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2005/Teses/AVILA_RO_05_t_M_rhs.pdf>. Acesso em: 29 de jul. 2017.

CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. D.; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C.

D.Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v. 30, n. 1, p. 140-147, 2008.

CAMPOS, C. M. M.; MOCHIZUKI, E. T.; DAMASCENO, L. H. S.; BOTELHO, C.G..

Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v. 29, n. 4, p. 848-856, jul./ago. 2005b.

CERQUEIRA, A. F.; FEITOZA, H. N.; FEITOZA, L. R.; LOSS, W. R. **Zonas naturais do Espírito Santo**: uma regionalização do Estado, das microrregiões e dos municípios. Vitória: SEPLAN/SEAG, 1999. 101p. il. color.

CHANAKYA, H.N.; KHUNTIA, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 92, n. 2, p. 186-192, March 2014.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, S. K. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 99, n. 10, p. 4044-4064, Mar. 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057>

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias**. 2.ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007. 359 p.

DUDA, R.M.; OLIVEIRA, R.A. Reatores anaeróbios operados em batelada sequencial, seguidos de lagoas de polimento, para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. Parte I: produção de metano e remoção de DQO e de sólidos suspensos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 122-134, 2009.

FERNANDES, W. V.; ATHAYDE, G. B. J.; BATISTA, M. M.; ANJOS JUNIOR, R. H. Avaliação da remoção de matéria orgânica de efluente de tanque séptico utilizando filtro anaeróbico preenchido com *Luffa cylindrica* como meio de suporte. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. v. 3, n. 1, p. 1-13, 2015.

FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; MOREIRA, D. A.; FIA, R.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V. Remoção de compostos fenólicos em reatores anaeróbios de leito fixo com diferentes materiais suporte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.10, p.1079-1086, 2010.

KIM, W.; HWANG, K.; SHIN, S.G.; LEE, S. HWANG, S. Effect of high temperature on bacterial community dynamics in anaerobic acidogenesis using mesophilic sludge inoculum. **Bioresource Technology**, v.1, n.1, p.17-22, 2009.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LO MONACO, P.A.V. Eficiência de alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. **Ambi-Água**, Taubaté, v.5, n.2, p.119-132, 2010.

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

MATOS, A. T. **Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias**. Viçosa: Editora UFV, 1ª ed., 2015. 149p.

OLIVEIRA, P. A. V. **PRODUÇÃO E MANEJO DE DEJETOS DE SUÍNOS**. Concórdia: Embrapa, 2003. 83 p. Disponível em: http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/8-PauloArmandoProducao.pdf. Acesso em: 22 jul. 2017.

SANTOS, A. S. P. **Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolador em diferentes meios suporte plásticos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2004.

SOUZA, R. C. DE; ISOLDI, L. A.; OLIZ, C. M. Tratamento de Esgoto Doméstico por Filtro Anaeróbico com Recheio de Bambu. **Revista Vetor**, Rio Grande, v.20, n.2, p. 5-19, 2010.

TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUTTI, R. Pós-tratamento de efluente de filtros anaeróbios operados com baixo tempo de detenção hidráulica por escoamento superficial no solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.17, n.1, p.7-12, 2012.

TONETTI, A. L.; FILHO, B.C.; GUIMARÃES, J.R.; CRUZ, L.M.O.; NAKAMURA, M.S.; Avaliação de partida de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n.1, p. 11-16, 2011.

ZAIAT, M.; CABRAL, A.K.A.; FORESTI, E. Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo Para Tratamento de Águas Residuárias: Concepção e Avaliação Preliminar de Desempenho. **Revista Brasileira de Engenharia**, Caderno de Engenharia Química, v. 11, n. 2, p. 33-42, 1994.

ANEXOS



Figura 3 - Caixas de armazenamento do Efluente Bruto do Setor de Suinocultura do Ifes - *campus* Santa Teresa- ES



Figura 4 - Vista Superior dos Filtros anaeróbios em operação



Figura 5 – Filtros anaeróbios utilizados no experimento para o tratamento de águas residuárias da suinocultura do Ifes - *campus* Santa Teresa - ES



Figura 6 – Amostras coletadas em Dezembro de 2016 para análise do efluente bruto (DIREITA) e dos efluentes tratados (1 a 4)



Figura 7- Amostras coletadas em Fevereiro de 2017 para análise dos efluentes bruto (ESQUERDA) e dos efluentes tratados (AF1, AF2, AF3 e AF4)



Figura 8 - Amostras coletadas em Abril de 2017 para análises dos efluente bruto (ESQUERDA) e dos efluentes tratados (FILTRO 1, FILTRO 2, FILTRO 3 E FILTRO 4)



Figura 9 – Amostras coletadas em Junho de 2017 para análises dos efluentes bruto (ESQUERDA) e tratados (AF1, AF2, AF3 e AF4)

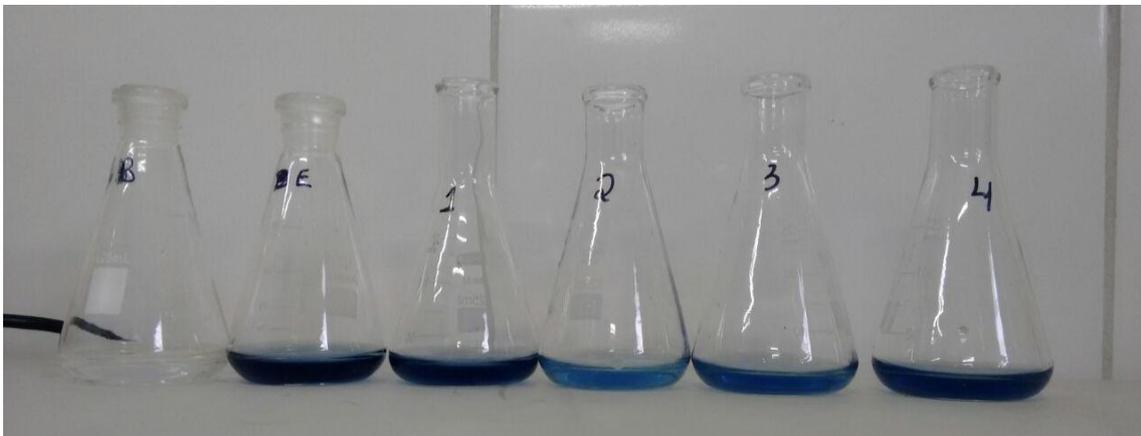


Figura 10 - Análise realizada para quantificação de P-total em amostras de efluentes bruto (E) e tratados (1 a 4)



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO
X CONGRESSO BRASILEIRO
V SEMINÁRIO DO DF E ENTORNO

12-15 SETEMBRO 2017
BRASÍLIA- DF, BRASIL

CERTIFICADO

Certificamos que OZA, EDUARDO FRANCE apresentou, no formato de Pôster, o trabalho AGROECOLOGIA2017-1230 - DESEMPENHO DE FILTROS ANAERÓBIOS UTILIZANDO ESPUMA DE POLIURETANO COMO MATERIAL SUPORTE NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA, dos autores OZA, EDUARDO FRANCE; LO MONACO, PAOLA ALFONSA VIEIRA; HADDADE, ISMAIL RAMALHO; SANTOS, MILLENA MONTEIRO DOS; SOELA, DÉBORA MORO no VI Congresso Latino-Americano, X Congresso Brasileiro e V Seminário do DF e Entorno de Agroecologia, realizado em Brasília-DF, Brasil, no período de 12 a 15 de setembro de 2017.

Irene Maria Cardoso
IRENE MARIA CARDOSO
PRESIDENTE DA ABA

Clara Nicholls
CLARA NICHOLLS
PRESIDENTE DA SOCLA

Mariane Carvalho Vidal
MARIANE CARVALHO VIDAL
PRESIDENTE AGROECOLOGIA2017

CERTIFICADO GERADO ELETRONICAMENTE. SUA AUTENTICIDADE PODE SER VERIFICADA EM
[HTTP://WWW.SWGE.INF.BR/CERTIFICADO](http://www.swge.inf.br/certificado), INFORMANDO O CÓDIGO:

PDFA8E21-4071-4164-BF68-F5014B89AB90

PROMOÇÃO



PATROCÍNIO



ORGANIZAÇÃO



REALIZAÇÃO



Figura 11 – Certificado de apresentação do trabalho no VI Congresso Latino Americano, X Congresso Brasileiro de Agroecologia e V Seminário do DF e Entorno (CBA)



VI CONGRESSO LATINO-AMERICANO
X CONGRESSO BRASILEIRO
V SEMINÁRIO DO DF E ENTORNO

12-15 SETEMBRO 2017
BRASÍLIA- DF, BRASIL

CERTIFICADO

Certificamos que MILLENA MONTEIRO DOS SANTOS apresentou, no formato de Pôster, o trabalho AGROECOLOGIA2017-1229 - DESEMPENHO DE FILTROS ANAERÓBIOS UTILIZANDO BUCHA VEGETAL COMO MATERIAL SUPORTE NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA, dos autores SANTOS, MILLENA MONTEIRO DOS; LO MONACO, PAOLA ALFONSA VIEIRA; HADDADE, ISMAIL RAMALHO; OZA, EDUARDO FRANCE; SOELA, DÉBORA MORO no VI Congresso Latino-Americano, X Congresso Brasileiro e V Seminário do DF e Entorno de Agroecologia, realizado em Brasília-DF, Brasil, no período de 12 a 15 de setembro de 2017.

Irene Maria Cardoso
IRENE MARIA CARDOSO
PRESIDENTE DA ABA

Clara Nicholls
CLARA NICHOLLS
PRESIDENTE DA SOCLA

Mariane Carvalho Vidal
MARIANE CARVALHO VIDAL
PRESIDENTE AGROECOLOGIA2017

CERTIFICADO GERADO ELETRONICAMENTE. SUA AUTENTICIDADE PODE SER VERIFICADA EM
[HTTP://WWW.SWGE.INF.BR/CERTIFICADO](http://www.swge.inf.br/certificado), INFORMANDO O CÓDIGO:

0A0A53F-AB8D-4B8F-B068-5A3234F01DD0

PROMOÇÃO



PATROCÍNIO



ORGANIZAÇÃO



REALIZAÇÃO



Figura 12 - Certificado de apresentação do trabalho no VI Congresso Latino Americano, X Congresso Brasileiro de Agroecologia e V Seminário do DF e Entorno (CBA)



CARTA DE ACEITE

Brasília, DF, Brasil, 19 de Junho de 2017

A Comissão Organizadora do **VI Congresso Latino-Americano de Agroecologia, X Congresso Brasileiro de Agroecologia e V Seminário de Agroecologia do Distrito Federal e Entorno – AGROECOLOGIA2017**, que será realizado em Brasília, DF, de 12 a 15 de setembro de 2017, tem o prazer de informar-lhe que o trabalho abaixo identificado foi **ACEITO PARA PUBLICAÇÃO E APRESENTAÇÃO**:

Código

AGROECOLOGIA2017-1272

Título
Desempenho de filtros anaeróbios utilizando bambu como material suporte no tratamento de águas residuárias de suinocultura

Autores

OZA, Eduardo France; LO MONACO, Paola Alfonsa Vieira; HADDADE, Ismail Ramalho; SANTOS, Millena Monteiro dos; SOELA, Débora Moro; STEFANON, Reynaldo Marin

Parabenizamos os autores e aguardamos a presença de todos em Brasília.

COMITÊ ORGANIZADOR AGROECOLOGIA2017

Essa CARTA foi gerada eletronicamente e sua autenticidade pode ser verificada em (<http://www.swge.inf.br/certificado/>), utilizando o código:
04BF9747-4E02-4407-8FE3-02C82531FB7D

Figura 13 – Carta de aceite do trabalho: “Desempenho de Filtros anaeróbios utilizando bambu como material suporte no tratamento de águas residuárias de suinocultura”, apresentado no VI Congresso Latino Americano, X Congresso Brasileiro de Agroecologia e V Seminário do DF e Entorno (CBA). A comissão organizadora do evento ainda não nos disponibilizou o certificado deste trabalho