

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

**Avaliação dos Meios Filtrantes Combinados no Tratamento da
Água Residuária da Suinocultura**

Sayonara Costa de Araújo

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DOS MEIOS FILTRANTES COMBINADOS NO
TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA**

SAYONARA COSTA DE ARAÚJO

Sob a Orientação da Professora
Érika Flávia Machado Pinheiro

e Co-orientação do Pesquisador
Marco Antônio de Almeida Leal

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de concentração Meio Ambiente.

Seropédica, RJ
Dezembro de 2018

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A658a ARAÚJO, SAYONARA COSTA DE , 1990-
Avaliação dos meios filtrantes combinados no
tratamento da água residuária da suinocultura /
SAYONARA COSTA DE ARAÚJO. - 2018.
50 f.

Orientadora: ÉRIKA FLÁVIA MACHADO PINHEIRO.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
e Ambiental, 2018.

1. Tratamento de efluente. 2. resíduos agrícolas.
3. água de reuso . I. PINHEIRO, ÉRIKA FLÁVIA MACHADO ,
1975-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio
de Janeiro. Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e
Ambiental III. Título.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

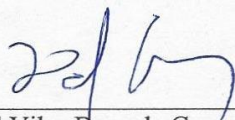
SAYONARA COSTA DE ARAÚJO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de concentração Meio Ambiente.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 17/12/2018.



Érika Flávia Machado Pinheiro. Dr.^a UFRRJ
(Orientadora)



David Vilas Boas de Campos. Dr. EMBRAPA SOLOS



Leonardo Duarte Batista da Silva. Dr. UFRRJ

DEDICATÓRIA

Aos meus amados pais, Jailton Araújo do Nascimento e Ana Maria Oliveira da Costa e a minha querida avó, Josefa Maria Araújo, por todo amor e apoio.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo seu amor incondicional, por ser meu abrigo seguro nas horas de incerteza e dor, por iluminar meu caminho e minha mente, me guardar, me dar forças para prosseguir e nunca desistir.

Aos meus bens mais preciosos, meus pais, Ana Maria Oliveira da Costa e Jailton Araújo do Nascimento, por todo amor, incentivo, confiança, orações, e por serem meu exemplo de determinação, humildade, coragem e por acreditarem na realização deste sonho, mesmo diante de todas as adversidades.

Aos meus amados irmãos, Sergio Costa de Araújo e Savio Costa de Araújo, por todo amor e carinho. Amarei-vos eternamente.

A minha amada avó, Josefa Maria de Araújo, uma mulher guerreira e amável, por me mostrar o real significado da palavra amor, por todo sacrifício, orações e simplesmente por existir e colorir a minha vida.

Ao meu pequeno, Enzo Gabriel, por me mostrar uma forma de amor tão pura e singela.

Aos meus familiares, por todo apoio e carinho.

As amigas Gabriela Muricy e So Yin Nak, pela amizade, por estarem comigo durante essa jornada, por todo incentivo, carinho, companheirismo, pelos momentos alegres, pelo apoio nas etapas difíceis, por simplesmente existirem e fazerem parte da minha vida e história.

As amigas Camila Matos, Adriana Oliveira, Raquel Oliveira, Rakiely Martins e Jessica Costa pelo carinho, cumplicidade, dedicação, ajuda e por fazerem da minha caminhada mais leve e divertida. Sem vocês não teria conseguido chegar até aqui. “Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas”.

Aos amigos, Luiz, Aretha Cabral, Camila Barros, Amanda Lima, Janaina Freire, Jessyka Costa pelas vezes que me ajudaram me dando suporte quando mais precisava, pelo carinho e por todos os momentos compartilhados.

À minha orientadora, Dra. Érika Flávia Machado Pinheiro, pela confiança, paciência, disponibilidade, incentivo, ensinamentos, por contribuir para meu crescimento profissional e pessoal. Sou imensamente grata a Deus por sua vida. Você é tão humana, obrigada por isso e por fazer parte da minha história.

Ao meu Co-orientador Dr. Marco Antônio de Almeida Leal, por todo auxílio, conhecimento e disponibilidade.

A Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva e ao Dr. David Vilas Boas de Campos, pela disponibilidade de participarem da defesa deste trabalho.

Aos funcionários do Setor de Suinocultura e da Fazendinha Agroecológica, em especial ao Bruno, Sr. Paulo e Sr. Isaias por contribuírem para execução desta pesquisa, pela disponibilidade, carinho, pelo convívio agradável.

Ao Martin Freire, por toda ajuda, disponibilidade e amizade.

Aos técnicos Dedeco, Jair e Adriana, por me auxiliarem nas análises laboratórias.

Ao Pesquisador Dr. Caio de Teves Inácio, por contribuir de forma significativa para realização desta pesquisa.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (AGEVAP) na elaboração da pesquisa.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental pela oportunidade de realizar o curso e esta pesquisa.

RESUMO

ARAÚJO, Sayonara Costa de. 2018. **Avaliação dos meios filtrantes combinados no tratamento da água residuária da suinocultura**. 50p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

A crescente demanda por carne suína e seus derivados estimulou a expansão do setor suinícola, culminando no aumento da produção e exportação, do número de animais nas unidades produtoras, na intensificação dos criatórios em confinamento, e conseqüentemente, no aumento da quantidade de resíduos sólidos e líquidos gerados. Estes resíduos apresentam alto poder poluidor e quando não tratados de forma adequada podem causar impactos ambientais negativos nos recursos hídricos, solo e ar. Assim, a utilização de resíduos de origem orgânica, facilmente encontrados numa propriedade rural, como meio filtrante no tratamento de águas residuárias pode ser uma alternativa eficiente e de baixo custo, que pode minimizar os danos decorrentes do lançamento de efluentes, sem o prévio tratamento, em corpos hídricos receptores ou no solo. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho do processo de filtração, utilizando filtro orgânico constituído pela combinação entre diferentes proporções de serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e composto orgânico no tratamento da água residuária da suinocultura (ARS). A filtração foi conduzida no Setor da Suinocultura do Instituto de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Campus Seropédica-RJ. Foram confeccionadas 12 colunas filtrantes reutilizando recipientes plásticos, que após conectados formaram uma coluna de 60 cm de comprimento. A água residuária foi obtida na esterqueira do Setor da Suinocultura e, antes de ser armazenada, a ARS foi passada por uma peneira de malha de 2 mm. A filtração ocorreu até os 100 L, sendo o filtrado coletado a cada 20 L. O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, tendo quatro tratamentos, com quatro repetições totalizando dezesseis unidades experimentais. Os meios filtrantes foram caracterizados segundo o teor de umidade, densidade global e das partículas, porosidade total e pH. A ARS bruta e os efluentes filtrados foram avaliados quanto às características físicas: sólidos totais (ST), suspensos (SST) e sedimentáveis (SSD), condutividade elétrica (CE) e cor aparente e químicas, tais como: potencial hidrogeniônico (pH), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo (P), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e metais (Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu e Zn total). De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que embora a ARS bruta estivesse muito diluída ainda apresentava alta capacidade poluidora evidenciada pelos teores de SST, SSD, DBO, N-amoniacal, Mn, Cu e Zn. Verificou-se, ainda, que todos os tratamentos avaliados mostraram-se eficientes na remoção de todos os parâmetros físico-químicos investigados, com destaque na redução dos teores totais de metais, com exceção do Mg, K, Na que tiveram suas concentrações elevadas nos efluentes filtrados. A inserção do composto orgânico na coluna filtrante influenciou de forma significativa as variáveis DBO, DQO, P, K, Mg, CE e pH. Por meio da análise de componentes principais (ACP) foi possível averiguar que nenhuma variável (física e/ou química) investigada nesta pesquisa apresentou correlação com as da ARS bruta. Todos os filtros orgânicos avaliados (constituídos de dupla e tripla camadas e em diferentes proporções de materiais) foram eficientes e apresentaram potencial para serem instalados em propriedades rurais e fazer parte de uma unidade de tratamento de efluentes.

Palavras-chaves: Tratamento de efluente, resíduos agrícolas, água de reuso.

ABSTRACT

ARAÚJO, Sayonara Costa de. **Evaluation of combined filter media in the treatment of swine wastewater**. 2018. 50p. Dissertation (Master Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Engineering Department, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

The increasing demand for pork and its derivatives stimulated the expansion of the pig sector, culminating in the increase of production and export, the number of animals in the production units, the intensification of the confinement plants and consequently the increase of the solid and liquid residues generated. These residues are highly polluting, and when not properly treated can cause negative environmental impacts to water, soil and air. Thus, the use of materials of organic origin as a filter medium in the treatment of wastewater can be an efficient and low-cost alternative, which can minimize the damages resulting from the discharge of effluents, without prior treatment, in receiving or soil water bodies. The objective of this work was to evaluate the performance of the filtration process using a filter consisting of the combination of different ratios of wood sawdust, sugarcane bagasse and organic compost in the swine wastewater treatment (ARS). Residual water was obtained from the swine breeder's estuarine and, before being stored, the ARS was passed through a 2 mm mesh sieve. It was then transferred to a polyethylene water box, where it was redistributed to the filters, positioned on a support at a lower level by gravity action. The filtration occurred until 100 L, and the filtrate was collected every 20 L. The experiment using organic filters was installed in a randomized block design, with 4 treatments, with four replications totaling sixteen experimental units. The media were characterized according to moisture content, total and particle density, total porosity and pH. The crude ARS and filtered effluents were evaluated for the physical characteristics: total solid (ST), suspended (SST) and sedimentable (SSD), electrical conductivity (EC) and apparent color and chemical, such as hydrogenation potential (pH), Biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), phosphorus (P), ammoniacal nitrogen (N-NH₃) and metals (Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu and total Zn). According to the results, it was verified that although the crude ARS was very diluted, it still had high polluting capacity evidenced by the contents of SST, SSD, BOD, N-ammoniacal, Mn, Cu and Zn. It was also verified that all evaluated treatments proved to be efficient in the removal of all the physicochemical parameters investigated, especially in the reduction of the total metal's contents, with the exception of Mg, K, Na, which had their high concentrations in filtered effluents. The insertion of the organic compound in the filter column significantly influenced the BOD, COD, P, K, Mg, EC and pH variables. By means of principal component analysis (PCA) it was possible to verify that no variables (physical and / or chemical) investigated in this research correlated with those of crude ARS. All organic filters evaluated (consisting of double and triple layers and in different proportions of materials) were efficient and presented the potential to be installed in rural properties and to be part of an effluent treatment unit.

Keywords: Treatment of effluent, agricultural residues, reuse water.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Faixa de valores médios das características físicas e químicas das águas residuárias da suinocultura.....	6
Tabela 2. Principais poluentes e impactos ambientais causados pela disposição de águas residuárias, sem tratamento adequado, em corpos hídricos e no solo.	7
Tabela 3. Eficiência média de remoção de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), turbidez (T), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e metais empregando-se diferentes meios filtrantes orgânicos no tratamento de efluentes.	12
Tabela 4. Variação dos valores de umidade (U), da massa específica global (ρ_g), do pH em água, da condutividade elétrica (CE) e da cor aparente da água após tratamento utilizando diferentes resíduos orgânicos.....	13
Tabela 5. Caracterização física e química dos resíduos orgânicos e suas associações utilizados como meios filtrantes no tratamento da ARS.....	21
Tabela 6. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.....	23
Tabela 7. Valores médios obtidos para as variáveis físicas e químicas da ARS bruta e os valores máximos permissíveis (VMP) para lançamento de efluente em corpos hídricos estabelecidos na legislação ambiental estadual (NT 202/1986 e DZ 215/2007) e nacional (CONAMA nº 430/2011).	25
Tabela 8. Valores médios de ST, SST, CE e cor aparente da ARS em diferentes volumes, após filtração com material orgânico.....	26
Tabela 9. Valores médios dos atributos químicos, após processo de filtração da ARS bruta empregando-se filtros orgânicos.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais produtores (A) e exportadores (B) mundiais de carne suína.....	5
Figura 2. Alternativas de tratamento, os subprodutos gerados e a destinação final de resíduos orgânicos, oriundos dos Setores agroindustrial e agropecuário.	9
Figura 3. Detalhamento da montagem e do funcionamento de um filtro orgânico.....	14
Figura 4. A reutilização dos resíduos orgânicos de uma propriedade rural, como meio filtrante no tratamento de efluentes e a estabilização dos meios filtrantes após utilização.....	15
Figura 5. Setor da Suinocultura do Instituto de Zootecnia da UFRRJ (A) e detalhe da baía abrigando os suínos na fase de engorda, manejados sob o sistema confinado (B).	17
Figura 6. Detalhe da parte superior e inferior da coluna de filtração (A) e da abertura circular realizada para unir as partes da coluna (B) e o produto final com as colunas de filtração após confecção (C).....	18
Figura 7. Etapas de secagem e triagem dos materiais orgânicos usados como meio filtrante.	19
Figura 8. Triturador utilizado na pesquisa (A) e peneiras mecânicas com malhas de 4 mm na parte superior e 2 mm na parte inferior (B).	19
Figura 9. Detalhamento da entrada da ARS na esterqueira (A e B); tratamento preliminar da ARS bruta (C); processo de filtração da ARS (D e E); coleta do filtrado (F) e; preservação, em isopor com gelo, das amostras coletadas.	22
Figura 10. Concentração relativa (C/Co) de ST (A), SST(B), CE (C) e da cor aparente (D) em função do volume da água residuária da suinocultura filtrada, após tratamento utilizando filtros orgânicos.	28
Figura 11. Pigmentação dos efluentes coletados dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 após filtração da ARS bruta aos 20L e 100L.	29
Figura 12. Avaliação de sólidos sedimentáveis totais na ARS bruta (A) e efluente filtrado resultante do tratamento T2, aos 80 L (B) utilizando cone de Imhoff.....	30
Figura 13. Valores de pH em função do volume filtrado nos tratamentos avaliados.....	32
Figura 14. Concentração relativa (C/C0) de DBO (A), DQO (B), fósforo total (C) e nitrogênio amoniacal total (D) nos efluentes dos filtros, sob diferentes tratamentos, em função do volume filtrado de ARS bruta.....	33
Figura 15. Concentração relativa (C/C0) dos teores totais de cálcio (A), magnésio (B), manganês (C), ferro (D), cobre (E) e zinco (F) do efluente em relação ao afluente.	35
Figura 16. Valores de concentração relativa de K-total (A) e Na-total (B) no efluente dos filtros compostos por diferentes combinações e proporções de serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e composto orgânico em função do volume filtrado.	37
Figura 17. Análise de componentes principais (ACP1 e ACP2) dos efluentes resultantes dos tratamentos T1 (30% de SM + 70% BCA); T2 (70% de SM + 30% BCA); T3 (15% de SM + 55% BCA + 30% CO); T4 (55% de SM + 15% BCA + 30% CO) após filtração de ARS bruta.	38
Figura 18. Análise de componentes principais (ACP1, ACP2) da ARS bruta e dos tratamentos (T1, T2, T3 e T4) ao final do processo de filtração. T1: 30% de SM + 70% BCA; T2: 70% de SM + 30% BCA; T3: 15% de SM + 55% BCA + 30% CO; T4: 55% de SM + 15% BCA + 30% CO.	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Geral	4
2.2 Específicos	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 Suinocultura no Mundo e no Brasil.....	5
3.1.2 Características da água residuária da suinocultura.....	6
3.1.3 Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada da ARS em corpos hídricos e no solo.....	7
3.2. Possibilidades de Utilização dos Resíduos Orgânicos na Agropecuária.....	8
3.3 Processo de Filtração.....	9
3.3.1 Potencial de utilização dos resíduos orgânicos como meio filtrante	10
4 MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 Local de Execução do Experimento	17
4.2 Procedimentos Metodológicos	17
4.2.1 Confeção da coluna filtrante.....	17
4.2.2 Obtenção, preparo e caracterização dos meios filtrantes	18
4.2.4 Caracterização química e física da ARS bruta e do efluente filtrado	22
4.2.5 Delineamento experimental e análise estatística dos dados	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Caracterização Física e Química da ARS.....	25
5.3. Desempenho do Processo de Filtração.....	26
5.3.1 Caracterização física da ARS após a filtração: sólidos totais, suspensos e sedimentáveis, condutividade elétrica e cor aparente	26
5.3.2 Caracterização química da ARS após o processo de filtração: pH, DBO, DQO, fósforo, nitrogênio amoniacal e metais	30
5.4 Análise de Componentes Principais (ACP) das Variáveis Físico-Químicas da ARS Bruta e Filtrada	37
6 CONCLUSÕES.....	40
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1 INTRODUÇÃO GERAL

A população mundial de suínos produz anualmente cerca de 1,7 bilhões de toneladas de esterco (MAKARA e KOWALSKI, 2017). Atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor e exportador de carne suína do mundo (ABPA, 2018). Embora exerça um papel notável no desenvolvimento econômico e social do país e se tenha alcançado índices de produção elevados por meio de melhoramento genético, nutricional e ambiência, a suinocultura produz grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos (efluentes), resultante principalmente do sistema intensivo de criação, que tem sido alvo de preocupação.

Com relação ao efluente gerado no sistema intensivo de produção destaca-se a água residuária da suinocultura (ARS) que é composta por fezes, urina, resíduos de ração e de cama animal, pelos e produtos da higienização dos ambientes (OLIVEIRA et al., 2017a). O descarte indevido da ARS configura-se num problema ambiental e socioeconômico de grande impacto, posto que, está apresenta alto poder poluidor mediante as altas cargas de nutrientes, sólidos em suspensão e dissolvidos, matéria orgânica, agentes patogênicos, metais pesados, sais diversos e hormônios (SMANHOTTO et al., 2010). Desse modo, o lançamento da ARS nos corpos hídricos requer um prévio e adequado tratamento, de modo a atender os padrões da legislação ambiental. Da mesma forma, critérios devem ser seguidos para que a ARS possa ser disposto no solo, por meio de métodos como infiltração-percolação, escoamento superficial, fertirrigação, uma vez que a aplicação excessiva da mesma pode resultar na poluição ou contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Em razão do potencial poluidor da ARS existe uma variedade de tecnologias para o tratamento que empregam processos biológicos e físico-químicos, com diferentes graus de sucesso, para controlar e/ou minimizar os impactos no meio ambiente. No entanto, os elevados custos de instalação e operação, a alta produção de lodo e os complexos procedimentos envolvidos limitam a sua utilização (GISI et al., 2016), principalmente, em pequenas propriedades rurais onde, muitas vezes o tratamento convencional possui custo elevado e não abrange tais localidades.

Além dos métodos normalmente utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura existem outras tecnologias que são pouco exploradas e difundidas, mas que podem mitigar os danos decorrentes da disposição inadequada da ARS, como o processo de filtração, que consiste na utilização de filtros preenchidos com materiais orgânicos para o tratamento primário de águas residuárias. O tratamento primário tem por objetivo principal a remoção de sólidos suspensos sedimentáveis (VON SPERLING, 2014). Cabe ressaltar que os trabalhos na literatura tem demonstrado que à utilização de filtros orgânicos pode proporcionar um tratamento mais afinado, atingindo um nível de secundário, com a remoção da demanda química ou biológica de oxigênio (LO MONACO et al., 2011a), bem como, alcançar um nível terciário ou mesmo avançado, por meio da remoção de nutrientes e metais na ARS (OLIVEIRA et al., 2017a).

Dentre as vantagens proporcionadas pelos filtros orgânicos destacam-se: a eficiência no tratamento de efluente, inclusive acima do que se propõe; o baixo custo de investimento, sobretudo pelo fato da coluna filtrante poder ser confeccionada por um material reciclável e ser preenchida por resíduos orgânicos que podem ser obtidos na propriedade rural; à simplicidade do processo de operação; a possibilidade dos meios filtrantes poderem, após filtração, ser submetidos a processos como a compostagem, tal como em trabalhos realizados por Febrer et al. (2002) e Magalhães et al. (2006b), ou serem reutilizados novamente, após um determinado tempo de descanso do material orgânico, isso se os mesmos ainda possuam capacidade filtrante como comprovado por Teixeira et al. (2013).

Tradicionalmente, o processo de filtração é procedido com materiais inorgânicos (areia, argila, entre outros). Mais recentemente, devido à preocupação ambiental, e a necessidade da reinserção dos resíduos orgânicos, gerados na propriedade agrícola, em outros processos e/ou cadeias produtivas, trabalhos de pesquisa vem investigando a possibilidade de uso de materiais orgânicos no processo de filtração.

Buscando avaliar a influência da granulometria da serragem de madeira no tratamento da ARS, Lo Monaco et al. (2004) verificaram remoção da DBO₅, DQO, sólidos totais (ST), nitrogênio total e fósforo total de 40, 80, 70, 50 e 65%, respectivamente, na granulometria entre 2,00 a 2,83 mm. Ao avaliar o desempenho de filtros orgânicos utilizando serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, Magalhães et al. (2006a) observaram uma remoção média de sólidos suspensos totais (SST) de 90 a 99% e de 81 a 96% na ARS, nesta ordem. Em ensaio, Lo Monaco et al. (2011a) obtiveram eficiências de remoção de DQO de 50 a 80% e de cobre entre 85 e 95% utilizando triturado de bagaço de cana. Retenção acima de 99% de Cu, Zn e Mn, foram averiguados por Oliveira et al. (2017a) empregando-se o mesmo resíduo como meio filtrante no tratamento da ARS. Ao comparar bagaço de cana-de-açúcar e Solo (Nitossolo Vermelhos Distrófico) como meios filtrantes no tratamento da ARS Crozariollo Neto et al., (2011) verificou que filtro composto de bagaço de cana apresentou eficiência de 74,8% na remoção de Ca e 56,2% Mg quando comparado ao solo. Visando avaliar o desempenho de filtros constituídos de palha de arroz, fibra de tamareira e aparas de madeira de laranjeira no tratamento de esgoto doméstico (ED), Ghazy et al., (2016) obtiveram remoção da DBO e DQO foi (81,5, 88,3 e 66,7%), DQO (79,7; 88,3 e 64,6%), SST (82,43, 86,6 e 68,3%) nitrogênio total (50,21, 55 e 45%) e fósforo total de 41,92, 50,52 e 32,45%, nesta ordem. Em ensaio, empregando-se bagaço de cana também no tratamento de ED, Abid et al. (2014) atestou a capacidade desse resíduo em remover 90,9% de turbidez, sólidos suspensos 88,4%, 85,0% de cor e 85,5% de DQO. A utilização de coagulação natural (extrato de sementes de moringa preparado utilizando-se Ca(OH)₂) seguido de filtração em serragem de madeira, no tratamento de esgoto sanitário, proporcionou remoções de 98,0; 75,3; 79,7% de turbidez, ST, SST e de 51,2; 88,7; 72,6; 33,5 e 38,5% de DBO, DQO, Fósforo, Nitrogênio e Sódio (LO MONACO et al., 2014).

A eficiência na retenção ou adsorção de poluentes, em meio aquoso, empregando-se resíduos de origem vegetal conforme observada nas pesquisas citadas, podem ser explicadas pelo fato destes resíduos serem constituídos, principalmente, por celulose (entre 7 e 73%), hemicelulose (6 e 33%) e lignina (2% e 33%) (TRAN et al., 2015). Essas proporções variam entre as espécies vegetais. Estes contêm uma variedade de grupos funcionais (carboxílicos, fenólicos, álcoois, aldeídos, cetonas e éteres) capazes de ligar-se aos metais formando complexos com os íons em solução (GUPTA e SUHAS, 2009). Além disso, a granulometria, a área superficial, porosidade, morfologia da superfície e compressibilidade destes materiais, também são importantes características e devem ser consideradas antes de se definir um meio filtrante.

Embora as pesquisas realizadas, utilizando diferentes efluentes, evidenciam a eficácia da utilização de resíduos orgânicos, principalmente a serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar, ainda é escassa na literatura a utilização desses ou de outros materiais combinados na mesma coluna filtrante, ou seja, compondo uma camada dupla ou tripla de material filtrante. Além disso, a junção poderia proporcionar diversos benefícios, como melhorias nas características químicas e físicas das águas residuais tratadas, redução da quantidade de resíduos dispostos no ambiente muitas vezes de maneira inadequada, desenvolvimento de tecnologias que podem reduzir a poluição dos corpos hídricos e do solo a um custo razoável e geração de novos produtos a partir dos matérias pós processo de filtração.

Como destacado anteriormente, a superfície específica e a presença de grupos funcionais com cargas elétricas na superfície é fundamental no processo de adsorção de

poluentes. Dessa forma, a utilização de resíduos orgânicos coloidais pode apresentar um bom potencial no tratamento de efluentes. Entretanto, ainda é escasso o estudo empregando-se materiais coloidais humificados, como o composto orgânico, como meio filtrante.

As hipóteses do estudo foram: i) o emprego de filtros, constituídos de duas camadas de resíduos orgânicos (cana-de-açúcar e serragem) como meio filtrante, é capaz de proporcionar um melhor desempenho no processo de filtração da ARS quando comparado com o filtro com somente um material orgânico filtrante; ii) a inserção de um terceiro material orgânico, que possua elevada superfície específica e cargas elétricas na superfície, como o composto orgânico (colóide húmico), pode proporcionar uma maior adsorção de elementos químicos (metais e não-metais) e alcançar níveis mais altos no tratamento da ARS (secundário e terciário).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o desempenho do processo de filtração, utilizando filtros constituídos pela combinação entre diferentes proporções de serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e composto orgânico no tratamento da água residuária da suinocultura (ARS).

2.2 Específicos

- Caracterizar física e quimicamente a ARS bruta antes do processo de filtração;
- Caracterizar física e quimicamente o efluente da ARS após o tratamento com filtro orgânico utilizando-se dupla camada (serragem de madeira e bagaço de cana-de-açúcar) e tripla camada (serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e composto orgânico) como meios filtrantes em diferentes proporções;
- Avaliar a eficiência dos meios filtrantes orgânicos combinados no tratamento da ARS.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Suinocultura no Mundo e no Brasil

A existência de suínos na Terra é evidenciada há mais de 40 milhões de anos, sendo a carne destes animais uma das mais antigas formas de alimentação (CARDOSO et al., 2015). A domesticação dos suínos ocorreu há cerca de 5000 AC, antes mesmo do aparecimento dos bovinos (ABPA, 2018). Nas Américas, os suínos chegaram através da segunda expedição de Cristóvão Colombo, no ano de 1493, e foram trazidos ao Brasil pelo navegador Martins Afonso de Souza, em 1532 (ABPA, 2018), que proporcionou o isolamento de determinadas raças, como também, o cruzamento de outras, dando origem ao conjunto de raças nacionais (FÁVERO e FIGUEIREDO, 2009).

A suinocultura cresceu significativamente nas últimas décadas devido à crescente demanda por carne suína e seus derivados, resultando na expansão do setor tanto no mercado nacional quanto internacional (HACHMANN et al., 2013). Apesar de não ser consumida por uma parte considerável da população mundial por motivos religiosos (judeus, muçulmanos, hindus) a carne suína é a segunda carne mais produzida e consumida do mundo (GUIMARÃES et al., 2017).

A importância do setor é notada quando se verifica a participação no mercado mundial indicado, principalmente, pela a produção e exportação de carne suína. Os principais produtores que se destacam são: China, União Europeia, Estados Unidos, Brasil, Rússia e outros (como Vietnam, Canadá, México). Já como maiores exportadores, tem-se em evidência o grupo de países que compõem a União Europeia e os Estados Unidos, com 2.800 e 2.706 milhões de toneladas embarcadas, respectivamente, como demonstrado na Figura 1 (USDA, 2017).

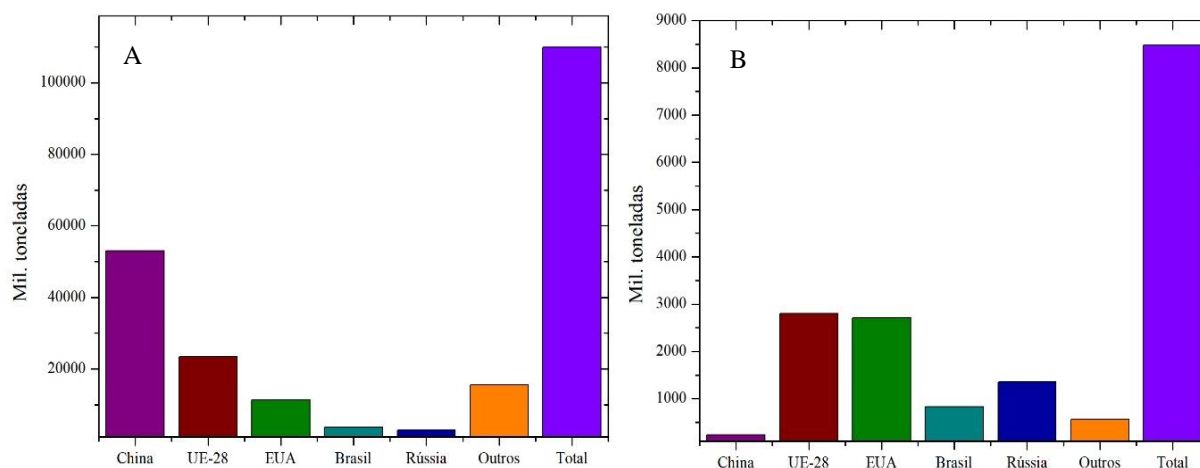


Figura 1. Principais produtores (A) e exportadores (B) mundiais de carne suína.

Fonte: Adaptado do USDA (United States Department of Agriculture), 2017.

O Brasil segue como o quarto maior produtor (3.7 milhões. toneladas) e exportador (830 mil. ton.) mundial (Figura 1) e o quinto maior consumidor de carne suína (USDA, 2017). As regiões Sul e Sudeste lideram a produção e exportação de suínos no país (EMBRAPA, 2018). Nestas regiões adota-se, principalmente, o sistema intensivo de suínos criados em confinamento, com vistas a alcançar índices elevados de produção, empregando técnicas de melhoramento genético, nutricional e de manejo (OLIVEIRA, 2018). Ainda segunda a autora, o inverso ocorre no Norte e Nordeste do Brasil, onde o ocorre o predomínio do sistema de criação extensivo e é praticada a suinocultura de subsistência.

3.1.2 Características da água residuária da suinocultura

Até a década de 1970, os dejetos dos suínos não representavam problema ao meio ambiente dado que a concentração de animais era pequena (SOUZA et al., 2009). A expansão do setor contribuiu para o desenvolvimento econômico e social, mas também resultou no aumento do número de animais nas unidades produtoras, na intensificação dos criatórios em confinamento, o que culminou no aumento da quantidade de resíduos produzidos (HUANG et al., 2014; BÜHRING e SILVEIRA, 2016). Estima-se que em média um suíno produz aproximadamente 2,3 kg de esterco, que após misturar-se com urina e água tem seu volume aumentado, podendo chegar a produzir entre 4,9 a 7,0 litros de dejetos/dia, para suínos com faixa de peso entre 25 a 100 kg (BRASIL, 2016).

As águas residuárias da suinocultura apresentam composição físico-química extremamente variada, que depende da raça, do peso e da idade dos animais, da alimentação, da fase de crescimento, da época do ano, da quantidade de água utilizada nas instalações para fins sanitários, dos desperdícios nos bebedouros, da possível incorporação de águas pluviais ao efluente, dos modelos de sistema de produção, da forma de armazenamento e do manejo dos resíduos (KOWALSK et al., 2014; MATOS e MATOS, 2017). Na Tabela 1, pode ser visto os principais parâmetros avaliados, bem como, a faixa de valores observada na literatura para tais, podendo ser constatada a variação das características, tanto físicas quanto químicas, das águas provenientes do setor suinícola.

Tabela 1. Faixa de valores médios das características físicas e químicas das águas residuárias da suinocultura.

Parâmetros	Faixa de valores médios
Potencial Hidrogeniônico (pH)	5,6 - 9,1
Condutividade Elétrica (mS/cm)	0,6 - 25,2
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	50 - 850
Sólidos Totais (mg/L)	840 - 132.000
Sólidos Fixos Totais (mg/L)	300 - 6.200
Sólidos Voláteis Totais (mg/L)	300 - 10.300
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	520 - 123.000
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	3.800 - 12.500
DBO (mg/L)	336 - 29.400
DQO (mg/L)	650 - 136.000
Nitrogênio Total (mg/L)	900 - 8.600
Fósforo Total (mg/L)	0,03 - 1.600
Potássio (mg/L)	0,05 - 1,6
Cálcio (mg/L)	50 - 2.832
Magnésio (mg/L)	20 - 705
Sódio (mg/L)	30 - 1400
Cobre (mg/L)	0,3 - 780
Zinco (mg/L)	0,8 - 114
Óleos e Graxas (mg/L)	133 - 9.800

Fonte: Adaptado de Matos e Matos (2017) e Oliveira (2018).

3.1.3 Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada da ARS em corpos hídricos e no solo

A suinocultura é considerada pelos órgãos de controle ambiental uma das atividades agropecuárias de maior impacto ambiental (RIZZONI et al., 2012). Os dejetos de suínos apresentam uma capacidade poluente equivalente à de 3,5 pessoas (HACHMANN et al., 2013; CANCELIER et al., 2015). Em razão do seu potencial poluidor, os resíduos gerados nessa atividade requerem tratamentos estabelecidos por órgãos de proteção ambiental, podendo este fato se tornar limitante, em algumas situações, o gerenciamento destes resíduos devido a formação inadequada de alguns produtores (CABRAL et al., 2014). Segundo Seidel et al. (2010), o aumento na produção gera acúmulo de dejetos nas propriedades, muitas vezes além da capacidade das áreas circunvizinhas em receber tais resíduos. Os autores destacaram ainda que esse fato tem gerado preocupação dos órgãos ambientais, uma vez que esgotada a capacidade do solo de adsorção, tais dejetos podem causar sérios danos ambientais, principalmente, aos recursos hídricos.

De acordo com Matos e Matos (2017), as águas residuárias provenientes de criatórios de animais, se não tratadas de forma adequada, podem ser fontes de poluição para o ambiente, seja pela inserção de substâncias orgânicas ou inorgânicas, ou pela modificação das características físicas, químicas ou biológicas, em especial, do meio aquático ou terrestre. Embora os efluentes possam apresentar inúmeros tipos de poluentes, os comumente encontrados e que podem causar danos para os corpos hídricos e solo ou criar problemas a saúde humana, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Principais poluentes e impactos ambientais causados pela disposição de águas residuárias, sem tratamento adequado, em corpos hídricos e no solo.

Constituinte/ Poluente	Parâmetros indicativos	Possível efeito poluidor	
		Corpos hídricos	Solo
Sólidos em suspensão	SST	Problemas estéticos, depósito de lodo, adsorção de poluentes, proteção de patógenos	Selamento superficial, danos a estrutura e a porosidade do solo, dependendo do sólido em questão.
Matéria orgânica biodegradável	Demanda Biológica Biodegradável	Consumo de oxigênio, mortandade de peixes,	Exerce papel fundamental nas características químicas, físicas e biológicas do solo. Deve-se atentar para que não esteja contaminada, retendo metais pesados e microrganismos patogênicos.
Nutrientes	Nitrogênio e fósforo	Crescimento excessivo de algas e macrófitas, tóxico aos peixes (amônia), doença em recém-nascidos (nitrato), poluição da água subterrânea	O excesso pode acarretar na limitação de absorção de outro nutriente à planta.
Organismos patogênicos	Coliformes	Doenças de veiculação hídrica	Sobrevivência depende da temperatura, teor de água, pH, composição do solo e

			presença de outros microrganismos. Pode causar doenças nas plantas.
Matéria orgânica não biodegradável	Agrotóxicos, detergentes Farmacêuticos e outros	Toxidade (vários), espumas (detergente), biodegradabilidade reduzida ou inexistente, maus odores (ex: fenóis)	Toxidade às plantas e aos organismos do solo (ex: boro presente nos detergentes)
Metais	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Pb) Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc.)	Toxidade, inibição do tratamento biológico Problemas de disposição do lodo na agricultura Contaminação de água subterrânea	Contaminação das plantas, dos organismos do solo Toxidade nas plantas (Pb, Hg)

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014) e Matos e Matos (2017).

Os sistemas de tratamento de águas residuais são, geralmente, projetados para remover os poluentes mencionados na Tabela 2. Dessa forma, é importante conhecer as características das águas residuárias tanto acerca da sua composição quantitativa quanto qualitativa, pois o conhecimento das quantidades produzidas e dos principais atributos possibilita a escolha do tipo de tecnologia e facilita o dimensionamento do sistema de tratamento. Cabe salientar que a quantidade de efluente produzido, para qualquer atividade, pode variar dependendo do clima, período do ano, dia da semana e horário do dia, hábitos e condições socioeconômicas, tipo de processo, consumo de água e incorporação de águas pluviais (BRAGA et al., 2005; MATOS e MATOS, 2017).

3.2. Possibilidades de Utilização dos Resíduos Orgânicos na Agropecuária

Os materiais orgânicos, principalmente os resíduos vegetais, estão disponíveis em grandes quantidades, sendo considerado um dos recursos renováveis mais abundantes do planeta (ADEGOKE e BELLO, 2015; DAI et al., 2018). Na Figura 2 estão apresentadas algumas tecnologias de tratamento, com os subprodutos gerados e as formas ambientalmente corretas para destinação dos diferentes tipos de resíduos orgânicos gerados nos setores agroindustriais e agropecuários. De acordo com a Figura 2, os resíduos sólidos orgânicos apresentam grande potencial para serem aproveitados de formas distintas. O mesmo resíduo pode ser usado na alimentação animal, sendo o esterco animal, posteriormente utilizado para gerar energia e calor e produzir um fertilizante orgânico, como é caso dos subprodutos da digestão anaeróbia: o biogás e o digestato (KUMAR et al., 2015; INSAM et al., 2015), como poder ser visto na Figura 2.

Outras rotas podem ser percorridas, como o aproveitamento dos resíduos orgânicos na indústria de alimentos para produção de óleos essenciais e extração de compostos (como fenólicos). Como fonte de energia térmica (vapor), como é caso do bagaço da cana-de-açúcar, que corresponde a 33% do resíduo gerado durante a produção de açúcar (PATWARDHAN, 2013). Mais recentemente esses resíduos têm sido utilizados como bioadsorventes para a remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes nas águas residuárias (BHATNAGAR e SILLANPÄÄ, 2015; DAI et al., 2018; OMO-OKORO et al., 2018). O carvão vegetal (biochar) é um exemplo de adsorvente natural, produto da pirólise de resíduos orgânicos. Frequentemente tem sido adicionado ao solo para estocar carbono e reduzir as emissões gasosas (AHMAD et al., 2014; LEHMANN e JOSEPH, 2015; TAN et al., 2015).

Segundo Tan et al. (2015), o biochar apresenta um grande potencial para adsorver contaminantes do meio aquoso devido à sua ampla disponibilidade de matérias-primas, às características físico-químicas e o baixo custo. Os resíduos sólidos de origem orgânica podem ainda ser submetidos a outros processos biológicos, como a compostagem e vermicompostagem.

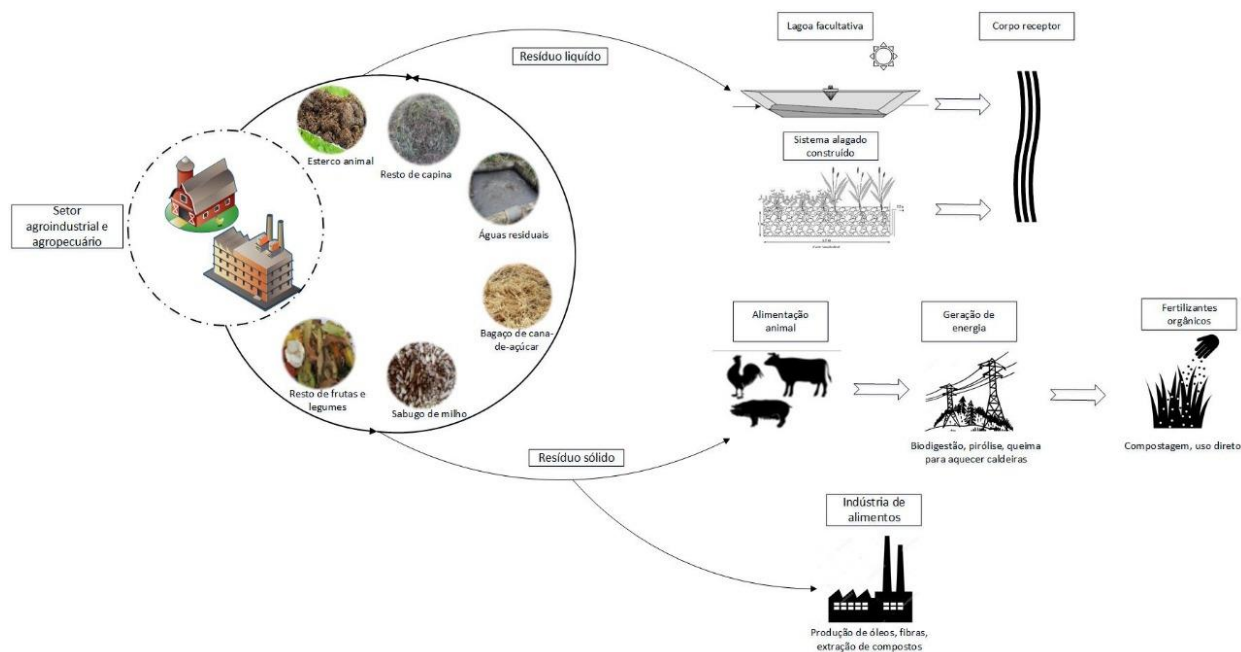


Figura 2. Alternativas de tratamento, os subprodutos gerados e a destinação final de resíduos orgânicos, oriundos dos Setores agroindustrial e agropecuário.

De acordo com a Figura 2, os resíduos líquidos, após tratamento adequado, podem ser lançados no corpo hídrico ou dispostos no solo. Em razão do poder poluidor da ARS existe uma variedade de tecnologias para o tratamento desta. Os métodos normalmente utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura são lagoas de estabilização, separação das fases sólida e líquida, biodigestores anaeróbicos, sistemas alagados construídos, armazenamento em esterqueiras (GOMES et al., 2014; DIAS et al., 2016). Entretanto, existem outras tecnologias que são pouco exploradas e/ou difundidas, mas que podem mitigar os danos decorrentes da disposição inadequada da ARS.

A seguir, será destacado o tratamento de efluentes por processo de filtração.

3.3 Processo de Filtração

A remoção de poluentes de meios aquosos pode ser realizada por meios de métodos físicos, físico-químicos e biológicos. A seleção do método a ser empregado depende da característica do efluente, bem como, dos padrões de qualidade exigidos na legislação vigente para lançamento em corpos hídricos receptores ou disposição no solo. Dentre os métodos físicos utilizados destaca-se o processo de filtração, considerado um dos métodos de tratamento primário mais antigos e simples de remover poluentes presentes em efluentes (ISLAMUDDIN et al, 2016).

A filtração consiste na passagem de um fluido (líquido) por um meio poroso, onde ocorre a retenção de sólidos suspensos através de processos físicos, podendo envolver ainda fenômenos químicos e biológicos, resultando na remoção de impurezas (GULHANE e CHARPE, 2015; MÜLLER, 2016). O fluido pode percorrer o filtro por ação da gravidade,

pressão, vácuo ou força centrífuga. Os produtos da filtração consistem no que se denomina de filtrado (fluido que passa pelo meio filtrante), que pode estar isento ou conter alguns sólidos, e de uma fração sólida contendo partículas retidas ou adsorvidas, conhecida como torta ou resíduo (TIEN, 2012).

Os meios filtrantes tradicionalmente utilizados são constituídos de materiais minerais, tais como: areia, antracito, diatomita, cascalhos, carvão ativado, zeólitos e outros materiais capazes de remover impurezas restantes da fase anterior a filtração (como a coagulação, floculação, tanques de sedimentação ou decantação). A areia, quando utilizada, promove a presença de pequenas partículas na água residuária e provoca a rápida colmatação superficial (BRANDÃO et al., 2003; VANOTTI et al., 2005). A utilização destes materiais convencionais exige, com o passar do tempo, a execução de uma retrolavagem. Esse processo demanda energia e uma considerável quantidade de água limpa, gerando lodo (VESILIND e MORGAN, 2015).

Os filtros podem ser constituídos por um único material filtrante ou por camadas duplas (tipicamente empregados no tratamento) ou triplas (tendo este último uma utilização mais restrita). Além disso, o meio filtrante apresenta granulometria e altura específicas (FERREIRA FILHO, 2017). A definição do meio filtrante e da quantidade de camadas (única ou dupla) depende da qualidade exigida para o tratamento, das características do efluente a ser tratado, ou do contaminante e/ou poluente que se deseja remover do meio aquoso (RUBIM, 2012). Os filtros de areia são utilizados para remover sólidos em suspensão apenas na água bruta, com baixa cor e turbidez. Os zeólitos são empregados quando se visa remoção de material em suspensão, bem como, de ferro e manganês (RUBIM, 2012; ISLAMUDDIN et al., 2016).

Mais recentemente, os trabalhos de pesquisa têm avaliado a possibilidade de se utilizar materiais orgânicos como meio filtrante (EL NADI et al., 2014; GHAZY et al. 2016; ISLAMUDDIN et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017a). As vantagens evidenciadas nos estudos sobre filtros constituídos com resíduos orgânicos são: (a) os resíduos orgânicos são considerados materiais abundantes e de fácil aquisição no meio rural e urbano; (b) reciclagem da matéria orgânica (c) a coluna do filtro pode ser confeccionada utilizando-se materiais de baixo custo como: bombonas, toneis, garrafas PET (polietileno tereftalato), baldes, cano de policloreto de polivinila (PVC), entre outros; (d) baixo custo de investimento; (e) de simples operação, não necessita de profissional qualificado; (f) tratamento primário da água residuária, e alguns materiais pode proporcionar tratamento secundário e terciário (OLIVEIRA et al., 2017a); (g) obtenção de adubo orgânico ou substrato para produção de mudas, por meio de processos como compostagem, a partir dos materiais pós-processo de filtração.

Como desvantagens apontam-se: redução considerável do tempo de vida útil dos filtros, principalmente, quando o afluente apresenta alta concentração de sólidos; a qualidade do efluente filtrado pode ser afetada pelo tipo de resíduo utilizado como meio filtrante, pela granulometria adotada, e pelas dimensões da coluna de filtração.

3.3.1 Potencial de utilização dos resíduos orgânicos como meio filtrante

Como destacado anteriormente, vários resíduos de origem vegetal têm sido estudados e destacados na literatura quanto à sua capacidade de remoção e adsorção de poluentes e/ou contaminantes das águas residuárias. A Tabela 3 destaca trabalhos recentes de pesquisas que utilizaram filtros orgânicos e os principais parâmetros químicos e físicos avaliados. A utilização destes materiais orgânicos pode proporcionar a remoção de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), turbidez (T), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (N_T), fósforo total (P_T) e metais como zinco (Zn), cobre (Cu), magnésio (Mg), ferro (Fe), manganês (Mn) e cálcio (Ca) (LO MONACO et al., 2004; LO MONACO et al., 2011a; EL NADI et al., 2014; GHAZY et al. 2016; ISLAMUDDIN et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2017a).

Outro material em evidência na literatura, que embora não seja estudado como meio filtrante e sim como adsorvente de metais pesados e poluentes orgânicos contidos em meio aquoso, é o composto orgânico, obtido por meio do processo de compostagem. O composto proveniente de esterco de aves de capoeira foi utilizado como um biossorvente eficiente para a remoção de cádmio (Cd) e chumbo (Pb) de soluções aquosas (LOPEZ-SOTELO et al., 2017). Em ensaio realizado por Zhang (2011), o composto foi usado como biossorvente para a remoção de metais pesados (Pb, Cu e Zn). As capacidades máximas de adsorção, calculadas pela aplicação da isoterma de Langmuir, foram 0,460 mmol/g para Pb, 0,428 mmol/g para Cu e 0,237 mmol/g para Zn a pH 4,0. O autor verificou ainda que a troca de íons foi o principal mecanismo de adsorção. Ao comparar dois materiais, composto orgânico derivado de resíduos sólidos urbanos e zeólitos naturais para a remoção simultânea de hidrocarbonetos de petróleo (benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos) e metais pesados (Cd e Zn), Simantiraki e Gidarakos (2015) verificaram remoções de 85 % para benzeno, 88% tolueno, etilbenzeno 89%, xilenos 95% e capacidade máxima de adsorção de 90% para Cd e 87% para Zn. Os autores concluíram que o composto é capaz de remover simultaneamente os poluentes orgânicos e inorgânicos das águas residuais e seu desempenho é superior ao zeólito.

A eficiência para a adsorção do composto é explicada pelas propriedades do mesmo, com a presença de substâncias húmicas que possui grupos funcionais ionizáveis (ácidos carboxílicos e hidroxilas fenólicas e alcoólicas), capazes de ligar-se aos metais formando complexos com os íons em solução. Além disso, o composto também possui alta capacidade de troca catiônica (CTC) devido à elevada superfície específica e as cargas elétricas em sua superfície (carga líquida negativa) (LOPEZ-SOTELO et al., 2017). Características físicas como porosidade e granulometria também são importantes.

Tabela 3. Eficiência média de remoção de sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), turbidez (T), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e metais empregando-se diferentes meios filtrantes orgânicos no tratamento de efluentes.

Resíduos vegetais	Efluentes	Remoção (%)								Referências
		ST	SST	T	DBO	DQO	N _T	P _T	Metais	
Bagaço de cana-de-açúcar	ARS	43	-	-	-	-	-	-	Zn e Cu (99,9); Mn (99,4), Fe (67), Ca e Mg (40)	a
	ARS	-	-	-	-	-	81,8	74,6	Cu (100), Zn (81,9) Ca (74,8), Mg (56,2)	b
	ARS	55	-	-	25 e 60	50 a 80	50	65	Cu (85 e 95), Zn (<90)	c
	ED		88,41	90,9	-	85,5	-	-	-	d
	ARS	50 a 56	81 a 96	-	-	-	-	-	-	e
Casca de arroz	ARM	-	82,4	-	81,5	79,7	50,2	41,9	-	f
	ED	-	-	-	36,7	36,8	-	-	-	g
Casca de arroz + bagaço de cana Carvão ativado + grama seca		-	61	82,7	41	50,4			-	h
Colmos de bambu	ED	-	-	-	71	76	-	-	-	i
	ED	-	-	80	-	-	64,3	42,3	-	j
	ARS	33,3	-	-	-	14,3	-	-	-	l
Fibra de tamareira	ARM	-	86,3	-	88,3	88,3	55	50,2	-	f
Fibra de coco	ARS	40	75	-	-	-	30	70	-	m
Folhas de bambu	ARB	44,6	49,2	-	-	43,8	-	-	-	n
Palha de feijão	ARS	30	-	50	-	-	-	-	-	o
Sabugo de milho	ARS	60	-		50 e 40	50 a 60	45	65	Cu (58 e 85), Zn (< 90)	c
	ARB	40,8	49,1	-	-	34,6	-	-	-	n
	ARS	43 a 57	90 a 99	-	-	-	-	-	-	e
	ED	73,3	79,7	98	51,2	88,7	33,5	72,6	-	p
Serragem de madeira	ARS	70	-	-	40	80	50	65	Cu e Zn (95)	q

a- Oliveira et al., (2017a); b- Crozariollo Neto et al., (2011); c- Lo Monaco et al., (2011a); d- Abid et al., (2014); e- Magalhães et al., (2006); f- Ghazy et al., (2016); g- El Nadi et al.,(2014); h- Islamuddin et al., (2016); i- Tonetti et al., (2011); j- Sousa, Isoldi e Oliz (2010); l- Dados não publicados-arquivo pessoal; m- Lo monaco et al., (2009); n- Francisco et al., (2014); o- Oliveira et al. (2017a); p- Lo Monaco et al., (2014); q- Lo Monaco et al., (2004). ARM – Águas residuárias municipais; ED – Esgoto doméstico; ARS – Água residuária da suinocultura; ARB – Água residuária da bovinocultura. (-) Parâmetro não avaliado no estudo.

Uma importante forma de prever a eficiência de remoção, de poluentes e/ou contaminantes em meio aquoso, é caracterizar o material orgânico quanto aos aspectos físicos e físico-químicos, antes de utilizá-lo como meio filtrante, pois é possível antecipar possíveis alterações no efluente. Os resultados de Oliveira et al. (2017b) evidenciaram que os materiais orgânicos apresentam vantagens e desvantagens ao serem utilizados como material filtrante (Tabela 4). Por isso, a utilização de filtros constituídos de diversos materiais orgânicos pode apresentar maior eficiência no tratamento de águas residuárias do que os filtros preenchidos com apenas um resíduo. Os resíduos orgânicos investigados por Oliveira et al. (2017b) foram o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de alho, a casca dos frutos do cafeeiro, o colmo de bambu, a fibra de coco, a palha de feijão, as serragens de madeiras e o sabugo de milho (Tabela 4).

Tabela 4. Variação dos valores de umidade (U), da massa específica global (ρ_g), do pH em água, da condutividade elétrica (CE) e da cor aparente da água após tratamento utilizando diferentes resíduos orgânicos.

Material	U	ρ_g	pH _{HO}	CE	Cor
	%	$g\ cm^{-3}$	-	$\mu S\ cm^{-1}$	PtCo
Sabugo de milho	11,95	0,21	4,81	602,83	242,00
Serragem de madeira I ^a	10,89	0,09	4,54	178,51	140,67
Serragem de madeira II ^b	9,83	0,13	4,92	144,19	402,33
Fibra de coco	11,85	0,07	4,51	1.948,27	2.130,00
Colmo de bambu	10,05	0,12	6,98	671,43	966,67
Palha de feijão	11,78	0,09	5,42	1.033,77	1.560,00
Casca de alho	12,99	0,04	5,13	1.080,47	2.575,00
Bagaço de cana-de-açúcar	10,71	0,05	4,02	255,70	792,00
Casca dos grãos de café	12,71	0,21	6,50	1.710,70	3.813,33

^aSerragem de madeira I: proveniente do processamento de; ^bSerragem de madeira II: resultante do processamento de diversas madeiras. Fonte: Oliveira et al. (2017b).

O teor de umidade dos materiais orgânicos é um importante parâmetro, uma vez que resíduos que apresentam menor teor de umidade podem ser eficazes na retenção de poluentes das águas residuárias, dado que a água pode atuar como um plastificante na estrutura dos polímeros naturais (ALBINANTE et al., 2012). A umidade ainda, pode interferir na porosidade do material, alto teor de umidade implica no intumescimento das partículas, fazendo com que o espaço entre estas diminua, poros vazios permitem a entrada de ar ou líquido de maneira mais efetiva (MENDES et al., 2014).

O pH é outra variável de grande relevância, de acordo com Oliveira et al. (2017c) resíduos cuja constituição apresente maiores concentrações de ácidos orgânicos e cuja solubilização libere-os com maior facilidade podem contribuir na redução do pH do efluente filtrado. Os autores ressaltaram ainda que, apesar do pH em água estar mais ácido para alguns resíduos orgânicos (Tabela 4), esses materiais podem ser utilizados no tratamento de águas residuárias alcalinas e os resíduos que apresentaram pH em água próximo da neutralidade podem ser utilizados como material filtrante de efluentes que já apresentam o pH também próximo da neutralidade.

A condutividade elétrica apresenta alta variação entre os diversos materiais orgânicos avaliados, como pode ser observado na Tabela 4. A CE pode aumentar no efluente filtrado, podendo esse aumento ser explicado pela liberação de alguns elementos, tais como sódio e potássio, que ao invés de serem retidos pelo material podem ser liberados (LO MONACO et al., 2011a; OLIVEIRA et al., 2017b). Reduzir a condutividade elétrica do filtrado é importante caso o efluente seja utilizado na irrigação para evitar problemas osmóticos às culturas e salinização do solo (LO MONACO et al., 2009). Os materiais podem ainda causar alteração na

cor do efluente filtrado devido a substâncias que compõem os resíduos vegetais (taninos, betalaínas, entre outros) que podem ser solúveis em água e assim pigmentar o efluente, que embora não seja indicativo de eficiência do tratamento, é esteticamente desagradável (OLIVEIRA et al., 2017b).

Dessa forma, é importante conhecer as características tanto dos resíduos a serem utilizados como meios filtrantes quanto do efluente a ser tratado, para que o lançamento deste no corpo hídrico ou no solo, esteja de acordo com os padrões de qualidade exigidos na legislação ambiental em vigor como as estabelecidas na Diretriz DZ 215/2007, na Norma NT 202/1986 e na Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011; FEEMA, 2007; FEEMA, 1986).

Cabe salientar que embora os resultados na literatura evidenciem o elevado potencial desse tratamento na retenção de poluentes deve-se considerar que o uso de filtros orgânicos se constitui em um tratamento primário (MAGALHÃES et al., 2013). Neste caso, dependendo do destino final da água residuária tratada, é recomendado optar por uma ou mais formas de tratamento caso o interesse desta seja o lançamento em cursos d'água. No caso da disposição no solo, após a filtração, utilizando resíduos agrícolas, o efluente pode ser aproveitado na agricultura por meio da fertirrigação (a água residuária após filtrada pode ser bombeada diretamente para a lavoura), ou pelo tratamento da água utilizando o sistema solo-planta (SILVA, 2001; MATOS e MATOS, 2017).

3.3.2 Reutilização e estabilização dos meios filtrantes após o processo de filtração

A montagem do filtro, geralmente, é realizada conforme as seguintes etapas: i) definição do recipiente a ser utilizado como coluna filtrante; ii) obtenção e preparo dos resíduos orgânicos (secagem e trituração); iii) ajuste da granulometria por meio de peneiramento e por fim; iv) montagem da coluna filtrante: os materiais são acondicionados na coluna, sendo que na parte inferior e superior da coluna é adicionado brita, com vistas a evitar a passagem de partículas do meio filtrante para o efluente e a obstrução do orifício de saída, bem como, o selamento superficial. Entre as camadas de brita tem-se o meio filtrante. Na Figura 3 pode ser visualizado o esquema de um filtro orgânico usualmente empregado em pesquisas.



Figura 3. Detalhamento da montagem e do funcionamento de um filtro orgânico.

Considerando que os resíduos utilizados como meio filtrante podem reter e/ou adsorver metais e também microrganismos patogênicos e que os mesmos são transferidos para a

superfície sólida, o gerenciamento desses materiais orgânicos, pós-filtração, é de extrema importância para a sustentabilidade da utilização de resíduos de origem orgânica como meios filtrantes. Dentre as opções para gerenciar esses pós-tratamento, recomenda-se a estabilização do material orgânico, por meio de processos biológicos, como a compostagem. A compostagem é um método que visa à obtenção de um composto orgânico que, ao ser utilizado na agricultura como adubo orgânico poderá contribuir na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, na redução do uso de fertilizantes químicos, na minimização de impactos ambientais e maximização da reciclagem (GUILANE e HAMDAOUI, 2016; REDDY et al., 2017). Cabe destacar que antes de serem submetidos a compostagem, existe ainda a possibilidade de se reutilizar os meios filtrantes, após um determinado tempo de pouso, novamente em um processo de filtração (TEXEIRA et al., 2013).

O composto obtido a partir do processo de compostagem pode ser utilizado, dependendo das características físicas, químicas e biológicas, como fertilizantes orgânicos ou substratos para produção de mudas. Dessa forma, esse método tem se mostrado como uma alternativa economicamente viável e sustentável, sendo um passo importante para alcançar os objetivos globais de sustentabilidade e nutrição humana saudável (REDDY et al., 2017).



Figura 4. A reutilização dos resíduos orgânicos de uma propriedade rural, como meio filtrante no tratamento de efluentes e a estabilização dos meios filtrantes após utilização.
Fonte: Adaptado de Reddy et al. (2017).

Cabe ressaltar que após o processo de filtração, meios filtrantes como o carvão vegetal (*biochar*) pode ser utilizado na compostagem, sendo este material, proposto atualmente como uma alternativa para melhorar o processo em si, pois pode aumentar a aeração (devido à sua alta porosidade), a capacidade de retenção de água e sorção de compostos de carbono disponíveis, estimular a atividade microbiana, reduzir as perdas de nitrogênio, melhorando dessa forma, a qualidade do composto final (JINDO et al., 2012; STEINER et al., 2015). O uso do carvão pode ainda, representar uma oportunidade para garantir um uso sustentável dos recursos naturais, integrando a produção de carvão, do setor florestal, na cadeia de produção agrícola (SOHI et al., 2015).

A possibilidade de integrar a agricultura e a pecuária, através do tratamento e da reciclagem dos resíduos gerados e, a geração de um produto final (composto) que pode ser utilizado na agricultura é um avanço não somente do ponto vista econômico, com a redução dos custos com o uso do fertilizante, mas do ponto de vista energético, tornando o ciclo de vida da produção animal e vegetal cada vez mais positivo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de Execução do Experimento

A avaliação do desempenho do processo de filtração da ARS foi conduzida no Setor da Suinocultura do Instituto de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Campus Seropédica-RJ (Figura 5A). Segundo a classificação Köppen, o clima da região pode ser classificado como Aw, caracterizado por apresentar um verão quente e chuvoso, com chuvas concentradas entre os meses de novembro e março. O inverno é seco, apresentando temperatura média de 23,9°C e com pluviosidade média anual de 1213 mm (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2014; CARVALHO et al., 2011).



Figura 5. Setor da Suinocultura do Instituto de Zootecnia da UFRRJ (A) e detalhe da baia abrigando os suínos na fase de engorda, manejados sob o sistema confinado (B).

O Setor da Suinocultura possui galpões (40m x 8m largura) que abrigam os animais em diferentes fases de desenvolvimento: gestação e maternidade, creche, engorda e terminação. Ao todo são 50 baias, dispostas lado a lado contendo um comedouro fixo de concreto, bebedouros tipo chupeta, e aspersores de água, conforme a Figura 5B. As baias são limpas diariamente a seco com auxílio de pá, rodo e/ou vassoura, sendo utilizada água somente na saída de lotes das fases de engorda e terminação. Para a limpeza da saída dos lotes são utilizados lava jato, detergente e desinfetante. A ARS resultante é encaminhada, por gravidade, para a esterqueira que se localiza no final do galpão.

As instalações do Setor da Suinocultura foram projetadas, principalmente, para o desenvolvimento de atividades de pesquisa, ensino e extensão. A quantidade de animais nesse setor é variável, porém, no momento da realização do presente estudo haviam aproximadamente 48 suínos. O sistema de produção de suínos é confinado. A alimentação é constituída de ração à base de milho e soja.

4.2 Procedimentos Metodológicos

4.2.1 Confecção da coluna filtrante

As colunas filtrantes foram confeccionadas no Laboratório de Matéria Orgânica e Ciclagem de Nutrientes, no Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da UFRRJ, reutilizando materiais recicláveis para a construção da coluna filtrante. O recipiente usado como coluna era utilizado para acondicionar margarina. A escolha desses recipientes para utilização

como coluna filtrante deu-se mediante à fácil obtenção, menor custo para a aquisição, à facilidade de confecção, a qualidade (o material é resistente e pode ser utilizado novamente em outra filtração) e especialmente devido a facilidade de operação dos filtros. Cada recipiente plástico possuía 30 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento, com volume total de 15 L cada.

A coluna filtrante foi confeccionada utilizando-se dois recipientes plásticos (Figura 6A), resultando numa coluna de 60 cm de comprimento. O recipiente empregado para compor a parte superior da coluna teve o seu fundo retirado com auxílio de um ferro de solda. As partes superior e inferior da coluna foram conectadas por meio de uma tampa de plástico e posteriormente vedadas com adição de uma camada de durepoxi e outra de vedatudo (Figura 6B).

No outro recipiente, que foi utilizado para integrar a parte inferior da coluna foi acoplado uma torneira para permitir a saída do efluente, conforme Figura 6A. Utilizou-se ainda, uma tela de náilon somente no orifício interno da torneira, para evitar o transporte do material filtrante para fora da coluna. Nas paredes internas da coluna foram coladas areia, de modo a aumentar a rugosidade, minimizando assim o fluxo preferencial (TEIXEIRA et al., 2013). Foram confeccionadas 12 colunas filtrantes (Figura 6C).



Figura 6. Detalhe da parte superior e inferior da coluna de filtração (A) e da abertura circular realizada para unir as partes da coluna (B) e o produto final com as colunas de filtração após confecção (C).

4.2.2 Obtenção, preparo e caracterização dos meios filtrantes

Os materiais utilizados como meios filtrantes foram o bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), a serragem de madeira e o composto. Esses materiais foram selecionados principalmente por se constituírem em resíduos agrícolas e florestais comumente descartados e não reutilizados nas propriedades rurais, por se destacarem na literatura no tratamento de águas residuárias, devido a facilidade de obtenção e disponibilidade regional.

O bagaço de cana-de-açúcar foi obtido em feira livre e a serragem de madeira em serralheria, ambos na cidade de Volta Redonda-RJ. O composto foi obtido na Embrapa Agrobiologia, em Seropédica-RJ. O composto foi resultante da mistura dos seguintes materiais vegetais: capim elefante + torta de mamona e capim elefante + farelo de trigo e apresentava as seguintes características químicas: N (2,0 mg/kg), C (24,7 mg/kg), relação C:N de 12,3, P (9009,3 mg/kg), Ca 22887,3 (mg/kg), Mg (10415,7 mg/kg), Mn (899,7 mg/kg), Fe (2440,3 mg/kg), Cu (13,6 mg/kg), Zn (223,9 mg/kg), K (13555,7 mg/kg) e Na (91,4 mg/kg).

As etapas de preparo do material orgânico, para serem utilizados como meio filtrante, e a caracterização dos mesmos são descritas a seguir.

(a) Secagem e triagem dos resíduos

O bagaço de cana-de-açúcar e o composto foram secos ao ar por quatro dias devido ao alto teor de umidade. O procedimento de secagem não foi necessário à serragem de madeira.

Em seguida, a serragem e o bagaço de cana passaram por uma triagem, de forma a retirar materiais indesejáveis (plásticos, papéis, vidros, entre outros). As etapas descritas acima podem ser visualizadas na Figura 7.

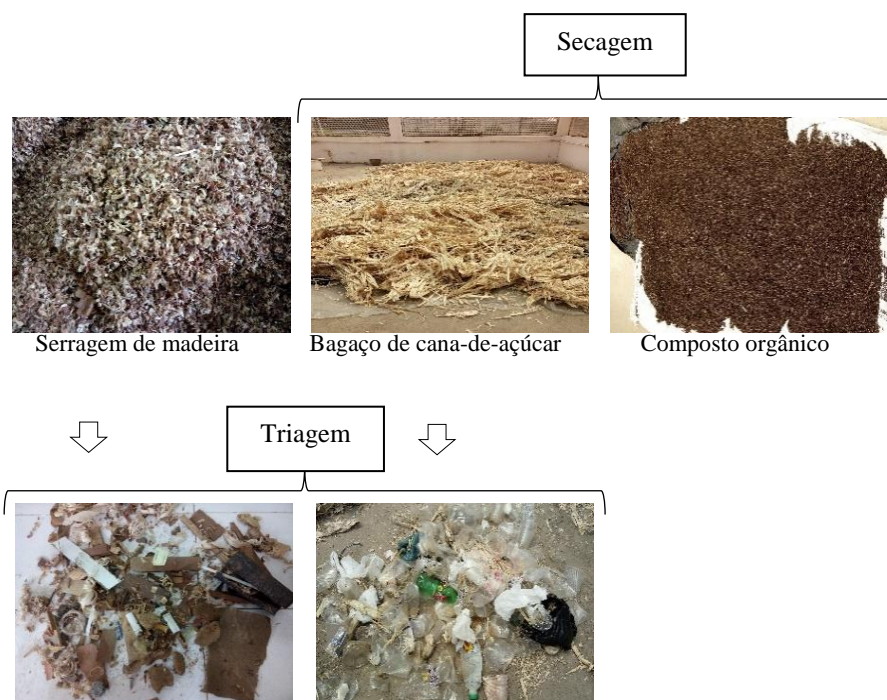


Figura 7. Etapas de secagem e triagem dos materiais orgânicos usados como meio filtrante.

(b) Trituração e ajuste da granulometria

Esta etapa foi realizada no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), conhecido como “Fazendinha Agroecológica km 47”, localizado no município de Seropédica-RJ. O bagaço de cana-de-açúcar foi o único resíduo orgânico triturado, dado que a serragem de madeira era constituída por partes menores (mistura de lascas e pó) e o composto já apresentava a granulometria fina. O bagaço de cana-de-açúcar, após secagem, foi triturado com auxílio de um triturador de resíduos orgânicos (Trapp® TRF-200), conforme Figura 8A.



Figura 8. Triturador utilizado na pesquisa (A) e peneiras mecânicas com malhas de 4 mm na parte superior e 2 mm na parte inferior (B).

Posteriormente, os três materiais foram peneirados, Figura 8B, de modo a se obter um material com granulometria entre 2-4 mm, segundo recomendações de Lo Monaco et al. (2004). Esses autores destacam essa faixa como sendo a que proporciona maior taxa de filtração, sem

um aumento excessivo das perdas de carga no sistema e o mais importante é que essa granulometria proporcionou uma maior retenção de poluentes.

(c) Acondicionamento dos meios filtrantes na coluna de filtração

Antes dos materiais serem acondicionados nas colunas filtrantes, a serragem de madeira e bagaço de cana foram homogeneizados, sendo coletado de cada resíduo vegetal 6 L de modo a compor uma amostra homogênea. Em seguida adicionaram-se 1,6 kg de brita previamente lavada e seca em estufa (105°C por 24 h) na parte inferior assim como na parte superior da coluna visando evitar a passagem de partículas do meio para o efluente e a obstrução do orifício de saída, bem como o selamento superficial, respectivamente (FRANCISCO et al., 2014).

Após a primeira camada de brita, a serragem de madeira (SM), o bagaço de cana-de-açúcar (BCA) e o composto orgânico (CO) foram acondicionados na coluna considerando as proporções de cada tratamento, sendo: T1 (30% de SM + 70% BCA), T2 (70% SM + 30% BCA), T3 (15% de SM + 55% BCA + 30% CO) e T4 (55% de SM + 15% BCA + 30% CO). Como a coluna continha no total 60 cm de comprimento, determinou-se que os resíduos seriam adicionados até ocuparem 58 cm da mesma, deixando-se 2 cm livre. Considerando que 100% corresponde a 58 cm, o preenchimento deu-se da seguinte forma: Para se ocupar 15% da coluna adicionou-se material até que o mesmo atingisse 8,7 cm de altura, para 30% (17,4 cm), 55% (31,9 cm) e 70% (40,6 cm). Cada camada foi comprimida por meio da pressão exercida por um indivíduo com massa entorno de 58 kg, apoiando-se em somente um pé (MAGALHÃES et al., 2013).

Cabe ressaltar alguns aspectos referente a forma de acondicionamento dos materiais na coluna filtrante: (i) o composto orgânico (30%) foi misturado aos resíduos (bagaço de cana-de-açúcar e serragem de madeira) em proporções iguais (sendo 15% misturado ao SM e 15% ao BCA, total de 30%) nos tratamentos T3 e T4; (ii) após a adição da camada de brita (na parte inferior da coluna) adicionaram-se em todos os tratamentos o bagaço de cana, bem como sua mistura com o composto; (iii) por fim, adicionou-se a serragem. Optou-se, com base na literatura, por adicionar o material que apresentasse maior porosidade na camada superior, o que justifica a escolha da serragem de madeira como meio filtrante superior, como pode ser visto na Tabela 5.

(d) Caracterização dos meios filtrantes

As características químicas e físicas do bagaço de cana-de-açúcar, da serragem de madeira, do composto e da combinação entre esses materiais foram avaliados antes da operação dos filtros (Tabela 5). Os parâmetros avaliados foram: densidade global (ρ_g), determinada pelo método da proveta; densidade de partículas (ρ_p), por meio do método do balão volumétrico (volume de álcool etílico necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico de 50 ml). A porosidade total (em porcentagem) foi avaliada de forma indireta utilizando os resultados obtidos pela densidade global e da partícula $(1 - \rho_g/\rho_p) \times 100$. A umidade do material vegetal (%) foi determinada por gravimetria, por meio da secagem em estufa à 65°C, por 24 horas e pesagem (PU-PS/PS) $\times 100$. O pH foi mensurado em água destilada (5:1 v/v) e em solução de cloreto de potássio (KCl 1 N), com auxílio de um pHmetro de bancada, marca *Sensoglass* SP1800. O pH foi mensurado em H₂O e KCl para determinar a Δ pH dos materiais investigados neste estudo (BRANDÃO et al., 2003), obtida da seguinte maneira: Δ pH = pH_{KCl} - pH_{H₂O}. Delta pH negativo indica predominância de cargas negativas (eletronegatividade), e nesses casos o resíduo retém mais cátions (como o cálcio) do que ânions. Quando pH em H₂O é menor que pH em solução de KCl predominam cargas positivas (eletropositividade) e o resíduo retém mais ânions do que cátions. Quando os valores são iguais zero, o balanço de

cargas é nulo e o resíduo retém cátions e ânions em baixas quantidades e nas mesmas proporções.

As análises mensuradas foram realizadas em três repetições de acordo com procedimentos descritos no manual da Embrapa (2017). As características físico-químicas da serragem de madeira, do bagaço de cana-de-açúcar, do composto orgânico e suas combinações (T1, T2, T3 e T4) estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização física e química dos resíduos orgânicos e suas associações utilizados como meios filtrantes no tratamento da ARS.

Resíduos Orgânicos	U	Pg	ρ_p	P	pH		Δ pH
	%	g/cm ³		%	H ₂ O	KCl	
SM	11,79	0,11	0,46	85,23	3,56	3,17	-0,39
BCA	10,34	0,11	0,42	76,26	3,81	3,76	-0,05
CO	16,02	0,52	0,96	45,67	7,36	6,97	-0,39
T1	11,93	0,10	0,52	81,43	3,85	3,41	-0,44
T2	12,43	0,12	0,76	84,55	3,90	2,77	-1,13
T3	17,38	0,24	1,04	76,22	6,99	6,48	-0,51
T4	16,16	0,68	0,95	28,03	6,83	6,40	-0,43

U - Umidade; pg - densidade global; ρ_p - densidade de partículas; P_T - porosidade total; SM - Serragem de madeira; BCA - Bagaço de cana-de-açúcar; CO - Composto orgânico. T1(30% de SM + 70% BCA), T2 (70% SM + 30% BCA), T3 (15% de SM + 55% BCA + 30% CO) e T4 (55% de SM + 15% BCA + 30% CO).

4.2.3 Obtenção da ARS e operação dos filtros

A água residuária foi obtida na esterqueira do Setor da Suinocultura, no Instituto de Zootecnia da UFRRJ, Figura 9B, em julho de 2018. A esterqueira possui volume de 8 m³ (2 m de profundidade, 2 m de comprimento e 2 m de largura) e recebe água residuária proveniente de 50 baias. As baias abrigavam no momento da coleta 48 suínos, distribuídos entre as fases de crescimento e terminação. No momento da coleta da ARS havia uma entrada frequente de água na esterqueira, o que resultou em uma maior diluição da água residuária do setor, conforme Figura 9A.

Antes de ser armazenada em caixa d'água, toda ARS coletada (cerca de 1800 L), passou por uma peneira de malha de 2 mm, configurando-se como um tratamento preliminar, conforme Von Sperling (2014). Esse procedimento foi realizado com vistas a remover sólidos grosseiros, bem como, evitar o entupimento das torneiras de alimentação das colunas durante a execução do experimento (Figura 9C). Após peneiramento, ARS foi transferida e armazenada em caixa d'água de polietileno (capacidade para 500 Litros), de onde foi redistribuída para os filtros, posicionados sobre um suporte num nível mais abaixo, por gravidade (Figura 9D). Para que fosse possível a alimentação dos filtros mediante a caixa d'água, foram conectadas torneiras na parte inferior da mesma. A coleta e o transporte da ARS foram realizados seguidas vezes, devido a capacidade de armazenamento da caixa e o volume utilizado no experimento.

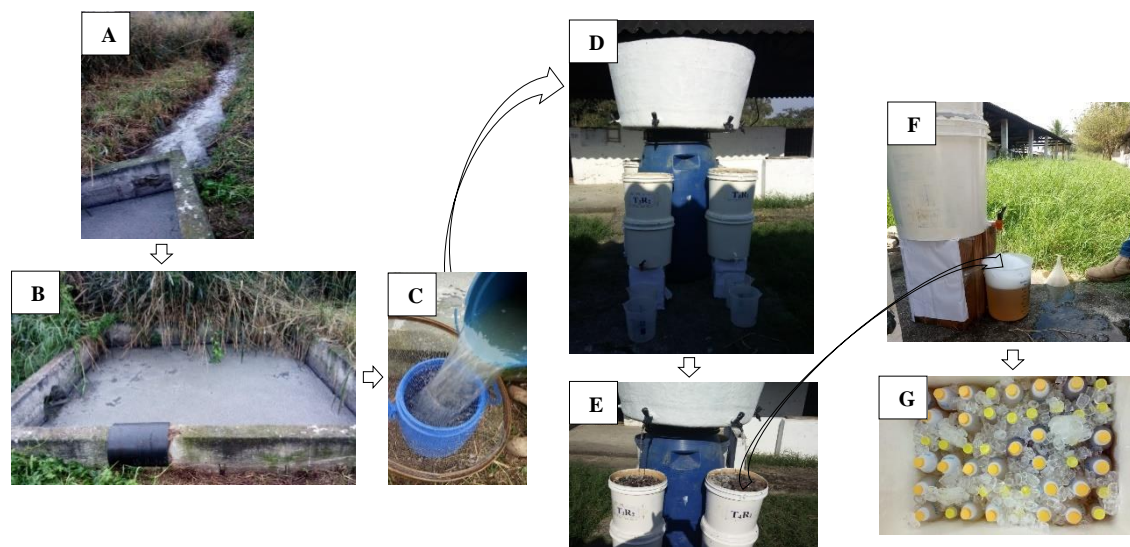


Figura 9. Detalhamento da entrada da ARS na esterqueira (A e B); tratamento preliminar da ARS bruta (C); processo de filtração da ARS (D e E); coleta do filtrado (F) e; preservação, em isopor com gelo, das amostras coletadas.

O processo de filtração deu-se início com a saturação de todas as colunas filtrantes com ARS, simultaneamente. Em seguida, as torneiras foram abertas permitindo a coleta do efluente filtrado até 100 L, sendo essa coleta feita por meio de frascos plásticos de 2 L (Figura 9E e 9F).

Para a caracterização físico-química do afluente (ARS bruta), retirou-se uma alíquota de 1000 mL da ARS do reservatório de armazenamento e para o efluente filtrado de cada tratamento, 500 mL a cada 20 L filtrado. A ARS bruta foi revolvida, constantemente, objetivando impedir a sedimentação do material no fundo do reservatório (MATOS et al., 2010). As análises supracitadas foram realizadas em quatro repetições.

As amostras da ARS bruta e do efluente foram coletadas e preservadas, conforme as condições exigidas na NBR 9898 (ABNT, 1987), sendo acondicionadas em caixa de isopor contendo gelo, como pode ser visto na Figura 9G, e em seguida encaminhadas ao Laboratórios de Matéria Orgânica e Ciclagem de Nutrientes para análise.

4.2.4 Caracterização química e física da ARS bruta e do efluente filtrado

Os parâmetros foram avaliados conforme especificações contidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). O pH foi determinado por meio de um pHmetro de bancada, marca *Sensoglass* SP1800. A condutividade elétrica utilizando um condutivímetro de bancada (*Digimed* DM3PPE2). A cor aparente foi realizada através de um espectrofotômetro modelo Hach DR 3900, enquanto que, a turbidez foi analisada mediante um turbidímetro de bancada *Hanna* HI9370311. Os teores de sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST) foram quantificados pelo método gravimétrico. Os sólidos sedimentáveis (SS) foram obtidos mediante decantação da amostra durante 1 h utilizando cone de Imhoff.

A concentração de nitrogênio amoniacal total foi quantificada por meio do método modificado do fenato/azul de indofenol, 4500-N_{NH3} F (APHA, 2005). As amostras de água foram filtradas utilizando filtros de papel qualitativo. Posteriormente, pipetou-se em uma microplaca de petri 125 µL da ARS bruta, em seguida a filtrada e em seguida, 62,5 µL das soluções reativas I (hipoclorito de sódio 2,5% e NaOH) e II (fenol e nitroprussiato de sódio).

Após desenvolvimento e estabilização da cor realizou-se a leitura em espectrofotômetro (Thermo Scientific Multiskan GO). O fósforo total foi determinado através de digestão sulfúrica-nítrica das amostras, conforme recomendações descritas no procedimento 4500-P B (APHA, 2005) e posteriormente, foi quantificado segundo o método do ácido ascórbico (4500-P C). A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada por meio do método de refluxo fechado colorimétrico, seguido da determinação espectrofotométrica (Hach, modelo DR 3900). A demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) foi determinada pelo método respirométrico, conforme 5210 B (APHA, 2005).

Os teores totais dos metais cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro foram determinados pela adaptação do método EPA 3010 A (USEPA, 1992). Pipetou-se 10 mL das amostras da ARS bruta e filtrada (previamente agitadas e acidificadas com adição de HNO₃ concentrado até pH < 2) mais 3 mL de HNO₃ concentrado para os tubos de ensaio. Em seguida, os tubos foram cobertos com funil de vidro e digeridos em bloco digestor Mars Xpress® com temperatura entre 110 – 120°C, até a permanência de 5 mL da amostra. Após o resfriamento à temperatura ambiente, adicionou-se novamente 3 mL de HNO₃ concentrado. Assim que as amostras ficaram transparentes adicionou-se 1 mL de HCl, seguidamente, as mesmas foram agitadas levemente e digeridas por mais 15 minutos. Após a digestão, ajustou-se o volume para 50 mL com água destilada e filtrou-se as mesmas utilizando papel filtro qualitativo. A leitura deu-se nos extratos digeridos por espectroscopia de absorção atômica (EAA), em equipamento modelo Varian 55 B, com capacidade sequencial rápida e correção com lâmpada de deuterium. Nos extratos de digestão, determinou ainda as concentrações sódio e potássio por fotometria de emissão de chama.

As análises supracitadas foram executadas nos Laboratórios de Matéria Orgânica e Ciclagem de Nutrientes, Nutrição de Plantas e Química do Solo, vinculados ao Departamento de Solos do Instituto de Agronomia, e no de Monitoramento Ambiental I (Água e Efluentes) do Departamento de Engenharia, Instituto de Tecnologia, ambos pertencentes à UFRRJ. Todas as análises foram realizadas em quatro repetições.

4.2.5 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O experimento utilizando filtros orgânicos foi instalado no delineamento em blocos casualizados, tendo 4 tratamentos, conforme Tabela 6, com quatro repetições totalizando dezesseis unidades experimentais.

Tabela 6. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento.

Tratamentos	Material adicionado na coluna (%)
T1	30% SM
	70% de BCA
T2	70% SM
	30% de BCA
T3	15% SM
	30% CO
	55% BCA
T4	55% SM
	30% CO
	15% BCA

SM – Serragem de madeira; BCA – Bagaço de cana-de-açúcar; CO – Composto orgânico.

O desempenho dos filtros foi avaliado estatisticamente de duas formas: (i) por meio da análise de regressão, na qual foi realizado o ajuste de equações matemáticas relacionando a concentração relativa C/C_0 (razão entre as concentrações de saída (efluente) e de entrada no filtro (afluente)) das variáveis físicas e químicas em função do volume da ARS filtrado, com exceção da variável pH. Foram considerados satisfatórios os ajustes que apresentaram significância mínima de 5% de probabilidade nos coeficientes, conforme destaca Lo Monaco et al. (2014). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014); (ii) E também utilizando análise de componentes principais (técnica estatística multivariada de modelagem da estrutura de covariância) sendo esta desenvolvida por meio da organização de uma matriz $m \times n$ (linhas x colunas), onde m representa a quantidade de amostras dos parâmetros avaliados e n representa as variáveis analisadas em cada amostra (BATISTA, 2018). A matriz foi composta por 20 amostras ($m=20$) e 18 variáveis ($n=18$), sendo as variáveis: CE, pH, cor aparente, sólidos totais, suspensos totais, sedimentáveis, DQO, DBO, fósforo, nitrogênio amoniacal, sódio, potássio, cálcio, magnésio, manganês, ferro, cobre e zinco totais. Após a formação da matriz, os dados foram padronizados utilizando a Equação 1, para média igual a zero e desvio padrão igual a 1, a fim de eliminar a diferença das unidades de medidas das variáveis.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

Z: variável padronizada; X: variável; μ : média; σ : desvio padrão.

Considerou-se três critérios para a escolha adequada do número de componentes principais necessários para explicar a variância dos dados. O primeiro, foi o critério de Kaiser (define que a quantidade necessária de componentes principais é igual ao número de autovalores > 1 para a análise dos dados padronizados). O segundo, foi o critério dos fatores interpretáveis, na qual se determina o número de componentes principais como sendo a soma do número de autovalores cuja soma represente mais que 70% da variação. E por fim a observação do *Scree Plot*, onde ocorrer a estabilização da curva de dados (OGILVIE et al., 2008). A ACP foi realizada utilizando o software *SAS Students*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização Física e Química da ARS

A caracterização físico-química inicial da ARS bruta coletada no setor da suinocultura da UFRRJ, bem como os valores máximos permissíveis (VMP) estabelecido na legislação ambiental brasileira, Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2011), e na Norma NT 202/1986 (FEEMA, 1986) e na Diretriz DZ 215/2007 (FEEMA, 2007), ambas do Estado do Rio de Janeiro, é demonstrada na Tabela 7.

Tabela 7. Valores médios obtidos para as variáveis físicas e químicas da ARS bruta e os valores máximos permissíveis (VMP) para lançamento de efluente em corpos hídricos estabelecidos na legislação ambiental estadual (NT 202/1986 e DZ 215/2007) e nacional (CONAMA nº 430/2011).

Parâmetros	Valor médio	VMP NT 202 e DZ 215	VMP CONAMA 430
ST (mg/L)	1775	-	-
SST (mg/L)	2775	180	-
SSD (mL/L)	11	1	1
Cor aparente (PtCo)	2635	-	-
CE (mS/cm)	0,57	-	-
pH	6,82	5 - 9	5 - 9
DBO (mg/L)	348,27	180	120
DQO (mg/L)	1876,00	-	-
Fósforo total (mg/L)	24,08	-	-
N-amoniaco total (mg/L)	66,64	5	20
Potássio total (mg/L)	3,50	-	-
Sódio total (mg/L)	4,63	-	-
Cálcio total (mg/L)	49,76	-	-
Magnésio total (mg/L)	5,49	-	-
Manganês total (mg/L)	1,44	1	1
Ferro total (mg/L)	7,76	15	15
Cobre total (mg/L)	0,90	0,5	1
Zinco total (mg/L)	1,62	1	5

ST - Sólidos totais; SST - Sólidos suspensos totais; SSD - Sólidos sedimentáveis; CE - Condutividade elétrica; DBO - Demanda biológica de oxigênio e DQO - Demanda química de oxigênio.

É possível aferir que ARS estava muito diluída, principalmente, devido aos baixos teores de sólidos totais (ST) e ao valor de condutividade elétrica (CE). Esses valores, assim como, as concentrações de DBO e DQO são características da ARS do setor da Suinocultura da UFRRJ, coletada no período de verão, conforme foram averiguados nos estudos realizados por Oliveira et al. (2017a), Oliveira et al. (2017c) e Oliveira (2018) que também desenvolveram pesquisas utilizando a ARS do referido Setor.

A ARS do presente estudo foi coletada em julho de 2018, sendo esse período considerado inverno no município de Seropédica-RJ. O inverno em Seropédica é caracterizado

por ser seco, frio e com baixa precipitação pluviométrica (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2014; CARVALHO et al., 2011). Sendo assim, nessa época do ano no Setor ocorre uma menor aspersão de água para o conforto térmico dos suínos, redução do consumo de água pelos suínos, com menor perda desta no sistema de dessedentação, bem como, do volume de água utilizada durante a higienização das baias. Além de uma baixa incorporação pluvial, podendo resultar numa ARS com um maior teor de sólidos totais e de elementos associados à fração sólida. De acordo com Tavares (2012), no inverno o volume médio de ARS gerado é, aproximadamente, metade do que é produzido no verão. A divergência entre as características observadas na ARS em estudo e as esperadas para estação do ano a qual essa água residuária foi coletada, pode ser explicada pela incorporação acidental de um grande volume de água ocorrido dias antes da coleta no Setor da Suinocultura da UFRRJ.

Na Tabela 6 verifica-se ainda que a ARS mesmo estando bastante diluída ainda apresenta alta capacidade poluidora evidenciada pelos teores de SST, SSD, DBO, N-amoniacoal, Mn, Cu e Zn que impossibilitam a disposição deste efluente em corpos hídricos, mediante os valores especificados na legislação estadual do RJ e/ou na nacional. Cabe ressaltar que elementos como Cu e Zn são motivos de preocupação, uma vez que são encontrados em maior concentração na ARS bruta, por serem utilizados na suplementação mineral das rações e na formulação de antibióticos, em doses excessivas, para garantir a sua absorção. A disposição indiscriminada da ARS em corpos receptores pode levar o acúmulo desses na cadeia alimentar (biomagnificação) (SANTOS, 2014).

Observa-se, também, que tanto as variáveis físicas quanto químicas da ARS encontram-se entre os valores observados nos inventários realizados das características desse efluente (MATOS e MATOS 2017; OLIVEIRA, 2018) com exceção do magnésio e sódio que estão abaixo e do potássio que está acima dos valores averiguados nesses inventários.

5.3. Desempenho do Processo de Filtração

5.3.1 Caracterização física da ARS após a filtração: sólidos totais, suspensos e sedimentáveis, condutividade elétrica e cor aparente

Na Tabela 8 podem ser verificados os valores dos teores de sólidos totais (ST) e sólidos suspensos totais (SST), bem como, a condutividade elétrica (CE) e a cor aparente da ARS, quantificados após o tratamento com filtros orgânicos utilizando diferentes combinações entre serragem de madeira (SM), bagaço de cana-de-açúcar (BCA) e composto orgânico (CO).

Tabela 8. Valores médios de ST, SST, CE e cor aparente da ARS em diferentes volumes, após filtração com material orgânico.

Volume filtrado (L)	ST	SST	CE	Cor aparente
	(mg/L)	(mg/L)	(mS/cm)	(PtCo)
ARS filtrada- T1				
20	4353,3	470,0	1,0	2465,0
40	1580,0	220,0	0,5	1935,0
60	1003,3	237,5	0,5	1810,0
80	690,0	257,5	0,5	1325,0
100	686,7	257,5	0,5	870,0
ARS filtrada- T2				
20	3793,3	232,5	0,9	1920,0
40	1220,0	147,5	0,5	1525,0

60	836,7	232,5	0,5	1520,0
80	743,3	232,5	0,5	1455,0
100	623,3	145,0	0,5	1365,0
ARS filtrada- T3				
20	4120,0	392,5	4,3	4180,0
40	2093,3	247,5	2,1	2430,0
60	1420,0	202,5	1,5	1510,0
80	753,3	260,0	0,8	1450,0
100	610,0	77,5	0,8	1410,0
ARS filtrada- T4				
20	3946,7	642,5	3,2	3170,0
40	2030,0	472,5	1,6	2750,0
60	1593,3	385,0	1,3	2230,0
80	960,0	347,5	0,9	1700,0
100	780,0	197,5	0,8	1380,0

T1: 30% de SM + 70% BCA; T2: 70% de SM + 30% BCA; T3: 15% de SM + 55% BCA + 30% CO; T4: 55% de SM + 15% BCA + 30% CO.

Na Figura 10, estão apresentados os modelos ajustados relacionando as concentrações relativas (C/C_0) de ST, SST, CE e cor aparente em função do volume de ARS filtrada para cada tratamento. Os modelos linear e não linear (polinomial de ordem dois e três) foram os que proporcionaram os melhores ajustes das curvas de regressão das concentrações relativas de dos referidos parâmetros.

Observa-se por meio da Figura 10A, aumento da concentração relativa de ST nos 20 L de ARS filtrada. Esse aumento de sólidos totais nos primeiros litros filtrados é um comportamento atestado em pesquisas em que se empregam resíduos orgânicos como meio filtrante no tratamento de águas residuárias (LO MONACO et al., 2009; LO MONACO et al., 2011b; OLIVEIRA et al., 2017a). Esse aumento deve-se, possivelmente, ao transporte de pequenas partículas contidas na superfície do material orgânico ou devido a lixiviação de açúcares e outros compostos orgânicos presentes no material que são solúveis a ARS conforme destacam Oliveira et al., (2017a) e Marques (2017).

Apesar de inicialmente proporcionar uma elevação na concentração ST os tratamentos mostraram-se eficientes na remoção deste parâmetro, uma vez que a partir dos 60 L observou-se uma redução, obtendo-se remoções de 43 a 61% (T1) 52 a 64% (T2) 20 a 65% (T3) e entre 10 a 56% (T4) de ST entre os 60 a 100 L filtrados, respectivamente. Resultados similares foram observados ao utilizar um único resíduo como meio filtrante. Um desses estudos foi conduzido por Magalhães et al. (2006) que obtiveram remoção de 43 a 57% de ST em filtro constituído somente por serragem de madeira e remoção de 50 a 56% quando utilizaram filtro somente com bagaço de cana-de-açúcar, no tratamento água residuária da suinocultura. Outro trabalho foi o realizado por Lo Monaco et al. (2011a) que observaram reduções de 60 a 70% e 60% de ST utilizando filtro constituído de serragem de madeira e cana-de-açúcar, respectivamente. Oliveira et al. (2017a) verificaram uma retenção de sólidos totais de 43% ao operar um filtro constituído por bagaço de cana-de-açúcar.

No caso dos sólidos suspensos totais (SST) percebe-se que a relação C/C_0 foi menor que 1 ao longo de todo o processo de filtração ($C/C_0 < 1$) (Figura 10B). Todos os tratamentos mostraram-se muito eficientes desde os primeiros 20 Litros filtrados. Foram averiguadas remoções 83 a 91%; 91 a 94%, 85 a 97%, 77 a 93% para o T1, T2, T3 e T4, nesta ordem. Em estudo Magalhães et al. (2006) obtiveram remoção de 90 a 99% de SST, quando utilizaram

serragem de madeira no tratamento de ARS, no entanto ao se utilizar o mesmo resíduo no tratamento de esgoto doméstico, Lo Monaco et al. (2014) verificaram remoção de 79,7%. Eficiências inferiores foram observadas ao se empregar meios filtrantes como fibras de coco (75%) (LO MONACO et al., 2009) e folhas de bambu (49,2%) (FRANCISCO et al., 2014) no tratamento das águas residuárias provenientes da suinocultura e bovinocultura de leite, respectivamente.

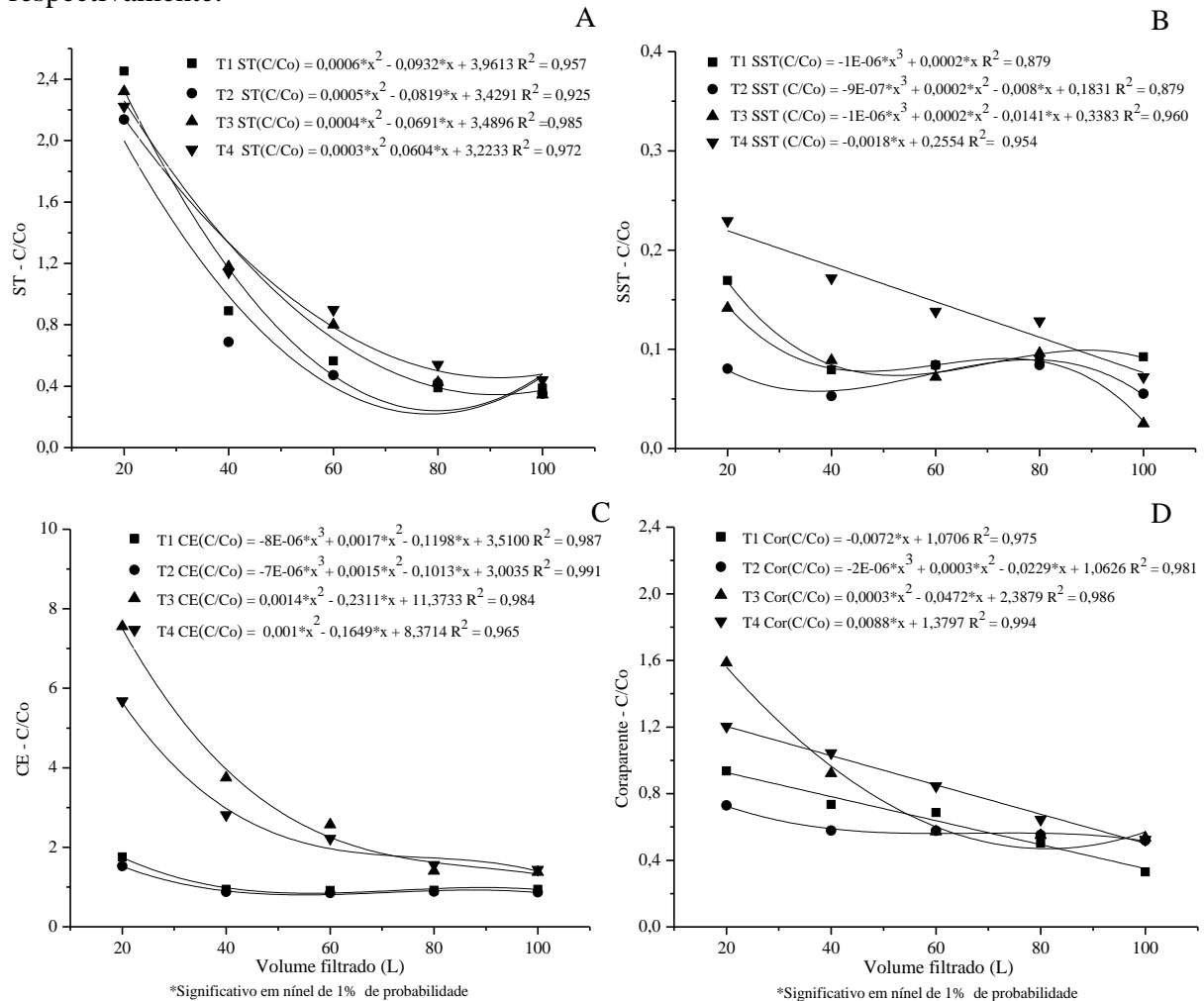


Figura 10. Concentração relativa (C/Co) de ST (A), SST(B), CE (C) e da cor aparente (D) em função do volume da água residuária da suinocultura filtrada, após tratamento utilizando filtros orgânicos.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 10C, verifica-se que houve um aumento considerável no valor da condutividade elétrica (CE), em especial nos primeiros litros filtrados e nos efluentes filtrados provenientes dos tratamentos T3 e T4. O acréscimo nessa variável foi, possivelmente, devido à solubilização de sais, como o sódio e o potássio que estão entre os principais elementos que podem ser lixiviados, presentes nos materiais utilizados como meio filtrante, em especial no composto (KIEHL, 2010). É comum o aumento da CE no efluente filtrado ao se empregar resíduos de origem orgânica como meio filtrante. Esse fato foi atestado em outros estudos, tais como os de Oliveira et al. (2017), Oliveira et al. (2017c) e Marques (2017). Cabe destacar que embora o valor de CE dos efluentes gerados neste estudo tenham sido maiores que os da ARS bruta, os mesmos não apresentaram grau de restrição para fins de fertirrigação, caso a destinação seja a utilização no solo, pois no final da filtração obtiveram-se valores médios iguais a 0,62; 0,57; 1,8 e 1,5 $dS\ m^{-1}$ para o T1, T2, T3 e T4, nesta ordem. Logo, se os efluentes obtidos após filtração fossem dispostos no solo, por meio da fertirrigação

ou escoamento superficial, os valores obtidos de CE não interfeririam de forma negativa na fisiologia e bioquímica das plantas e nem nas propriedades físico-químicas dos solos, dado que os efeitos negativos decorrentes da salinidade se tornam aparentes com valores de condutividade elétrica a partir de 2,5 - 3,0 dS m⁻¹ para os frutos, de 4,5 - 5,0 dS m⁻¹ para os caules e folhas (CUARTERO e FERNANDEZ-MUNOZ, 1999; SILVA FILHO et al., 2000).

Com relação à cor aparente pode-se notar um aumento na concentração (C/Co>1) deste parâmetro até os 40 litros filtrados para os tratamentos T3 e T4 (Figura 10D). Isso significa que o tratamento que contém composto orgânico aumentou em 20 e 60% (T4 e T3, respectivamente) a cor aparente da ARS após filtração. Provavelmente, esse aumento ocorreu devido à presença de substâncias húmicas oriundas do composto orgânico, como os ácidos fúlvicos que conferem coloração amarelada (VON SPERLING, 2014). A cor geralmente é indicada pela presença de metais como Fe e Mn, húmus, dentre outras substâncias dissolvidas na água (LEAL e LIBÂNIO, 2002; VON SPERLING, 2014). Por outro lado, T1 e T2 não conferiram aumento de cor aparente. A partir dos 60 L foram observadas remoções, sendo as melhores eficiências atestadas aos 100 Litros filtrados de 67% para T1, 48% T2, 46% T3 e 47% T4.

Dentre todos os tratamentos avaliados, o T1 foi o que conferiu menores valores de cor aparente ao longo de todo processo de filtração. Na Figura 11, pode ser visto a diferença de pigmentação entre os tratamentos aos 20 L e 100 L filtrados. Embora a cor não seja um parâmetro que indique a eficiência de remoção de poluentes, um efluente com coloração pode ser indesejável devido a aspectos estéticos (ADEGOKE e BELLO, 2015).

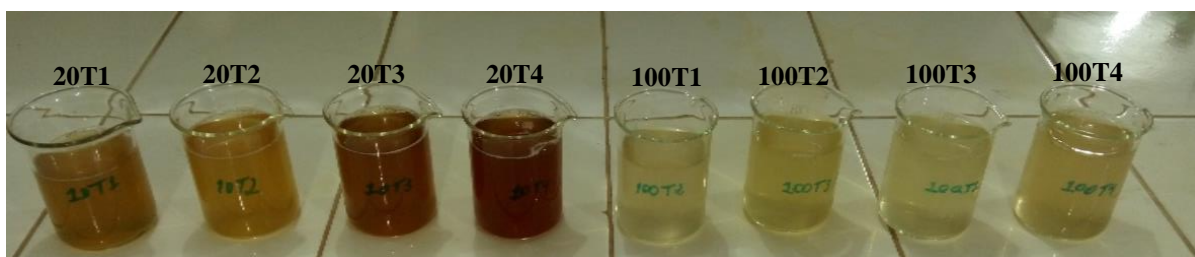


Figura 11. Pigmentação dos efluentes coletados dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 após filtração da ARS bruta aos 20L e 100L.

Os sólidos sedimentáveis totais (SSD) foram removidos totalmente removidos (100%) após o processo de filtração. Isso pode ser comprovado pelos valores apresentados pela ARS bruta (valor médio de 11 mL L⁻¹) (Tabela 6) e os valores observados em todos os volumes filtrados (20 a 100 L) nos tratamentos investigados que apresentaram SSD igual a 0 mL L⁻¹ (Figura 12). Em ensaio, Brandão e colaboradores (2000) também atestaram alta eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis, sendo obtido retenção superior a 90% em todos os materiais filtrantes investigados (bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de café, fino de carvão vegetal, sabugo de milho e serragem de madeira) no tratamento de águas residuárias de suinocultura.

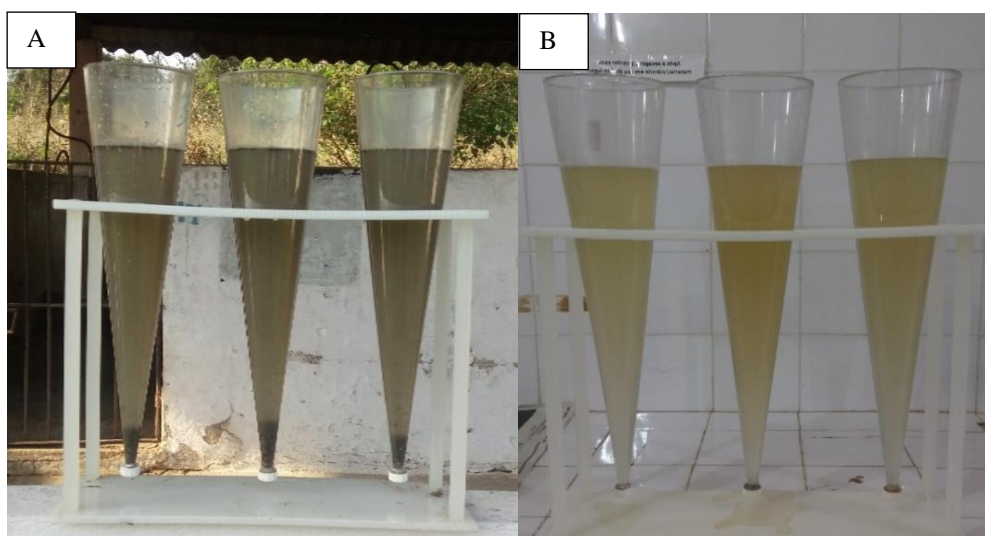


Figura 12. Avaliação de sólidos sedimentáveis totais na ARS bruta (A) e efluente filtrado resultante do tratamento T2, aos 80 L (B) utilizando cone de Imhoff.

5.3.2 Caracterização química da ARS após o processo de filtração: pH, DBO, DQO, fósforo, nitrogênio amoniacal e metais

Por meio da Tabela 9 podem ser verificados os valores médios obtidos a cada volume filtrado, nos diferentes tratamentos avaliados, para as seguintes variáveis: potencial hidrogeniônico (pH), demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (P_T), nitrogênio amoniacal ($N-NH_3$), cálcio total (Ca), magnésio total (Mg), manganês total (Mn), ferro total (Fe), cobre total (Cu), zinco total (Zn), potássio total (K) e sódio total (Na).

Tabela 9. Valores médios dos atributos químicos, após processo de filtração da ARS bruta empregando-se filtros orgânicos.

Volume Filtrado (L)	pH	-----mg/L-----												
		DBO*	DQO*	P_T *	$N-NH_3$ *	Ca*	Mg*	Mn*	Fe*	Cu*	Zn*	k*	Na*	
ARS filtrada – T1														
20	4,5	2196,2	4266,0	7,9	41,3	26,4	6,5	0,9	2,1	0,3	0,5	13,7	4,8	
40	5,5	432,4	1846,0	7,1	37,8	14,9	1,7	0,4	1,0	0,3	0,1	6,0	4,7	
60	5,6	383,3	746,0	7,2	43,3	8,4	1,7	0,4	1,1	0,4	0,1	4,5	4,5	
80	6,3	238,8	539,3	7,3	45,2	10,3	0,8	0,3	1,0	0,4	0,0	4,0	4,7	
100	6,3	228,4	517,3	7,3	52,7	14,4	1,9	0,4	0,7	0,4	0,1	4,0	5,0	
ARS filtrada – T2														
20	4,5	2243,2	4279,3	7,5	43,5	18,0	8,1	0,8	1,5	0,4	0,4	10,8	4,7	
40	6,4	335,6	2486,0	6,9	42,9	15,5	5,3	0,5	1,5	0,4	0,3	5,7	4,8	
60	6,3	368,1	412,7	6,8	37,4	14,8	3,2	0,5	0,8	0,5	0,5	4,0	5,2	
80	6,1	347,5	465,3	6,6	46,0	14,6	4,6	0,4	0,9	0,5	0,1	4,0	5,2	
100	6,4	228,6	362,3	6,3	37,4	18,9	7,3	0,5	1,1	0,5	0,0	4,0	5,2	

ARS filtrada – T3													
20	6,1	461,5	1859,3	24,9	67,3	29,5	17,4	0,8	1,3	0,5	0,3	59,3	5,0
40	6,7	429,8	739,3	23,7	38,9	4,8	3,6	0,5	0,8	0,5	0,1	23,2	4,5
60	7,0	332,7	572,7	21,0	44,2	11,2	6,0	0,5	1,0	0,6	0,5	20,8	4,8
80	6,9	196,1	467,3	11,7	50,7	2,2	5,2	0,4	0,9	0,5	0,8	6,0	4,5
100	7,0	191,7	328,7	10,9	56,1	10,8	10,8	0,5	0,9	0,5	0,3	5,8	4,5
ARS filtrada – T4													
20	7,3	742,4	2272,7	28,3	33,8	25,5	16,0	0,8	2,1	0,6	0,7	82,3	5,2
40	7,4	409,4	746,0	26,2	36,3	20,4	7,2	0,6	1,3	0,6	0,6	42,0	5,0
60	7,4	301,2	861,7	23,1	38,9	20,1	7,8	0,6	1,0	0,6	0,6	29,2	5,0
80	7,4	208,9	331,0	13,8	39,7	11,0	5,8	0,5	0,9	0,6	0,4	17,2	5,0
100	7,3	118,7	280,7	11,6	50,6	13,8	9,1	0,2	1,1	0,1	0,6	11,7	5,2

T1: 30% de SM + 70% BCA; T2: 70% de SM + 30% BCA; T3: 15% de SM + 55% BCA + 30% CO; T4: 55% de SM + 15% BCA + 30% CO.

Os modelos polinomiais de segunda e terceira ordem demonstraram-se plausíveis para explicar as variações das concentrações relativas de praticamente todos os parâmetros químicos avaliados, conforme Figuras 13,14 e 15, com exceção da DBO (para o tratamento T3), fósforo total (T2, T3 e T4) e cobre total (para os tratamentos T1 e T2) que foram ajustados pelo modelo linear simples.

O comportamento da variável pH, para cada tratamento avaliado, está apresentado na Figura 13. Observa-se que, inicialmente e, ao longo de todo processo de filtração, os tratamentos com adição de 30% de composto (T3 e T4) evidenciaram uma tendência de manter o pH próximo ao da ARS bruta (6,8), com valores médios de 6,7 e 7,4, respectivamente. Ao contrário do verificado para T3 e T4, atestou-se em T1 e T2 um decréscimo no valor de pH nos primeiros 20 L. Após esse volume, foi verificado um aumento no valor de pH, chegando a atingir valores próximos ao da ARS bruta nos 100 L filtrados. Sendo esses resultados similares aos observados por Lo Monaco et al. (2009) ao tratarem a ARS em filtro preenchido com fibra de coco e por Oliveira et al. (2017c) utilizando palha de feijão como meio filtrante no tratamento da ARS. Esse fato deve-se, certamente, à solubilização dos ácidos orgânicos presentes nos resíduos utilizados, conforme Oliveira et al. (2017a).

Cabe ressaltar que mesmo com aumento, o valor médio obtido para T1 e T2 foram de 5,6 e 5,9 nesta ordem. Sendo assim, a incorporação do composto contribuiu para elevação do pH do efluente filtrado, o que pode ser considerado um fator positivo, uma vez que o pH mais elevado desempenha um papel importante podendo contribuir na retenção de metais devido a menor solubilidade desses elementos (MOHAN e SINGH, 2002; SADEEK, 2015). Esse comportamento apresentado pelo composto é o contrário do observado na literatura, pois grande parte dos resíduos orgânicos utilizados como meio filtrante contribuem para a redução do pH do filtrado. O valor de pH do composto, quando estabilizado, é neutro ou próximo ao neutro (INÁCIO e MILER, 2009). Todos os valores de pH observados encontram-se dentro dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA no 430/2011 (BRASIL, 2011) e na Norma NT 202/1986 (FEEMA, 1986) e na Diretriz DZ 215/2007 (FEEMA, 2007) que é entre 5 e 9.

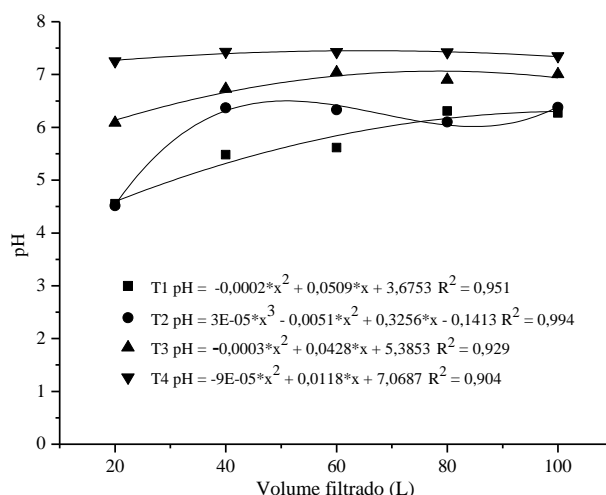


Figura 13. Valores de pH em função do volume filtrado nos tratamentos avaliados.

Nas Figuras 14A e 14B pode ser observado o comportamento das variáveis demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Verifica-se que as mesmas exibiram comportamento similar durante o processo de filtração, com aumento da concentração relativa nos primeiros 20 litros filtrados principalmente, nos filtros constituídos por 30% de serragem e 70% bagaço de cana (T1) e 70% de serragem e 30% bagaço (T2). As elevadas concentrações relativas ($C/C_0 > 1$) de DBO e DQO observados nos primeiros litros filtrados dos efluentes dos tratamentos avaliados, com exceção da C/C_0 de DQO no T3 na qual se obteve remoção aos 20 L de 0,9%, evidenciam que a ARS foi capaz de solubilizar e transportar grande quantidade de sólidos e solutos, pertencentes aos materiais filtrantes, que podem ser oxidados por microrganismos e também quimicamente (LO MONACO et al., 2011a).

Outro destaque com relação a esses parâmetros foi que a remoção tanto da DBO quanto da DQO foi fortemente influenciada pela adição do composto orgânico, de modo que os tratamentos contendo esse material apresentaram concentração aos 20 L filtrados bem menor (461,5 e 1859,3 mg/L (T3) e 742,4 e 2272,7 mg/L (T4)) que a as averiguadas para T1 (2196,2 e 4266,0 mg/L) e T2 (2243,2 e 4279,3 mg/L) respectivamente. Aos 100 L foram atestadas as melhores eficiências de remoção de DBO e DQO de 34 e 72% (T1), 34 e 81% (T2), 45 e 82% (T3) e 66 e 85% (T4), assim os efluentes apresentaram nesse volume concentração de (228,4 e 517,3 mg/L), (228,6 e 362,3 mg/L), (191,7 e 328,7 mg/L); (118,7 e 280,7 mg/L) nesta sequência. Com base nesses resultados, verifica-se que o efluente oriundo do tratamento T4, coletado aos 100 L, foi o único que atingiu às condições e padrões previstos na Resolução CONAMA 430/2011, que estabelecem remoção mínima de 60% de DBO e nas normas da FEEMA (DZ. 215.R-1) que estabelece a concentração máxima de 180 mg/L. Cabe destacar que o processo de filtração se configura em um tratamento primário, sendo assim, pode-se considerar que os resultados observados para todos os tratamentos, em especial os contendo composto orgânico, foram positivos.

Ao se averiguar a relação DBO_5/DQO_{total} , que é indicativo da degradabilidade da matéria orgânica presente na água residual, dos efluentes filtrados e da ARS bruta atestou-se que a relação média nos efluentes estudados foram de 0,4 e da ARS foi de 0,2. Valores da relação DBO_5/DQO_{total} maiores que 0,3 indicam que o efluente pode ser considerado facilmente biodegradável, logo facilmente tratável por meios biológicos. Já valores baixos (inferiores a 0,3) podem apontar algum componente tóxico ou compostos refratários de baixa biodegradabilidade (METCALF e EDDY, 2015).

A relação da ARS bruta foi inferior à dos efluentes estudados, esse fato pode ser causado devido à presença de metais provenientes da ração dos suínos, de alguns materiais tóxicos decorrentes de antibióticos injetados e de desinfetantes e/ou detergentes utilizados na higienização das instalações da suinocultura (PEREIRA et al., 2010). A percolação na coluna contendo combinações entre serragem, bagaço de cana e composto, culminou no aumento de compostos biodegradáveis evidenciado pelo aumento da relação DBO_5/DQO_{total} . Como a relação entre os parâmetros em questão é importante para definição do tipo de tratamento, pode-se aferir que antes do processo de filtração seria apropriado o tratamento físico-químico para ARS bruta e após filtração poderia se verificar a aplicabilidade do tratamento biológico (VON SPERLING, 2014).

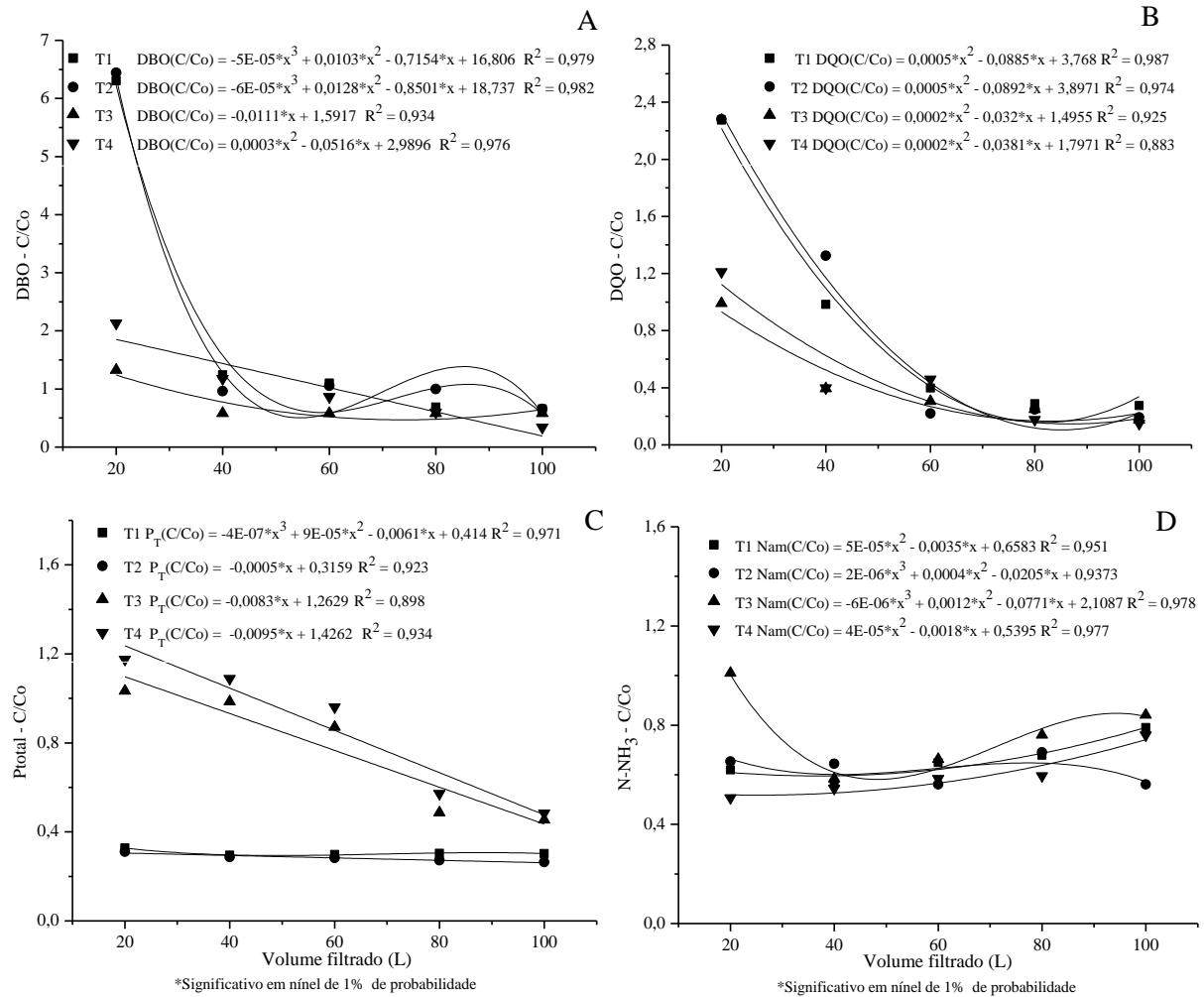


Figura 14. Concentração relativa (C/C₀) de DBO (A), DQO (B), fósforo total (C) e nitrogênio amoniacal total (D) nos efluentes dos filtros, sob diferentes tratamentos, em função do volume filtrado de ARS bruta.

Para o fósforo total (P_{total}), Figura 14C, verifica-se que T1 e T2 apresentaram desempenho similar, assim como T3 e T4. As concentrações de P_{total} dos efluentes de T3 e T4 mantiveram-se, até os 40 L, acima da ARS bruta ($P_{total}C/C_0 > 1$). Aos 100 L de ARS filtradas foram obtidas remoções, em torno de 70% ($C/C_0 = 0,3$), 74% ($C/C_0 = 0,26$), 55% ($C/C_0 = 0,45$) e 52% ($C/C_0 = 0,48$) para T1, T2, T3 e T4, nessa ordem.

Com relação ao N-amoniacal ($N-NH_3$), observa-se uma tendência de redução da eficiência de remoção, logo tem-se o aumento deste nos efluentes avaliados, com exceção do

tratamento T2, conforme Figura 14D. O aumento observado em T1, T3 e T4 podem ser explicados pela liberação ou solubilização do nitrogênio orgânico (na forma de proteínas e aminoácidos), principalmente nos tratamentos T3 e T4 que contém composto. O teor médio de N-amoniacoal para cada tratamento foi de 44,0 mg/L para T1, 41,5 mg/L para T2, 51,4 mg/L para T3 e 39,9 mg/L para T4. Dessa forma, nenhum tratamento investigado removeu N-amoniacoal ao ponto de atender os limites estabelecidos na legislação ambiental vigente que é de 5 e 20 mg/L para lançamento de efluentes nos corpos hídricos (BRASIL, 2011; FEEMA, 2007; FEEMA, 1986), indicando a necessidade de outra etapa de tratamento para os efluentes obtidos pós filtração da ARS bruta, caso o objetivo seja a disposição em corpos d'água.

O nitrogênio orgânico e amoniacoal são as formas de N predominantemente encontradas nas águas residuárias brutas (METCALF e EDDY, 2015). Mesmo que não tenha sido determinado o N-orgânico, nem as demais formas químicas do nitrogênio, segundo Lo Monaco e colaboradores (2011a) a maior parte do N retido no material filtrante corresponde ao N-orgânico e que as formas químicas minerais, em especial a de N-NH₃, possivelmente, são retidas em menor proporção. Dessa forma, pode-se considerar que tenha ocorrido uma remoção também de N-orgânico já que o nitrogênio amoniacoal, que é removido numa menor proporção, foi retido em todos os tratamentos.

O fósforo e nitrogênio são dois importantes constituintes da ARS, assim os efluentes contendo esses elementos detém grande potencial para serem utilizados na agricultura, com o objetivo básico de serem reciclados e disponibilizados como nutrientes para o desenvolvimento e à produção das plantas e a melhoria das propriedades físicas e as características químicas e biológicas do solo (SCHERER et al., 2007; MATOS e MATOS, 2017).

Na Figura 15 encontram-se os valores das concentrações relativas dos teores totais de cálcio, magnésio, manganês, ferro, cobre e zinco quantificados após o tratamento da ARS com filtros orgânicos.

Para os teores de cálcio total, a filtração empregando-se camadas duplas (T1 e T2) e triplas (T3 e T4) conferiu uma redução considerável nos teores desse elemento ao longo de todo processo de filtração (Figura 15A), sendo alcançado aos 100 L remoções de 71% (T1), 61% (T2) 78% (T3) e 72% (T4). Entretanto, as melhores eficiências de remoção foram obtidas no filtrado proveniente de T3 aos 40 e 80 L filtrados, 90 e 96%, nesta ordem. O cálcio foi o elemento químico em maior concentração na ARS bruta (49,7 mg/L), logo após a filtração os valores médios observados para esse elemento foram de 15,0, 15,7, 11,9 e 19,26 mg/L nos efluentes de T1, T2, T3 e T4.

Na Figura 15B verifica-se o comportamento do magnésio, observa-se que o mesmo foi removido de modo satisfatório apenas do tratamento T1, a partir dos 40 L de ARS filtrada. A maior remoção (73%) foi verificada aos 80 L, pois mesmo que se observe remoção em T2 entre 60 e 80 L de 42% ($C/C_0 = 0,6$) e 16% ($C/C_0 = 0,8$), nesta ordem, aos 100 L não se verificou redução e sim aumento deste elemento em 33%. Cabe destacar que embora T1 (em que a coluna filtrante é constituída por 70% de bagaço de cana,) tenha sido o tratamento que apresentou maior remoção de Mg, o mesmo não foi observado em T3 que também apresenta coluna filtrante preenchida em sua maior parte de bagaço de cana (55%). Além de não ter removido, foi observado um aumento considerável na concentração deste, principalmente, nos 20 primeiros L filtrados, podendo esse fato ser atribuído à inserção do composto orgânico, com a liberação deste nutriente para o efluente. Os tratamentos que continham o composto orgânico apresentaram aumento da relação C/C_0 no efluente da ARS. Remoções deste metal na ordem de 74,3% também foram observados por Neto e colaboradores (2011), utilizando bagaço de cana-de-açúcar na filtração da ARS e por Oliveira et al, (2017a) que foram reportados redução de 61% de Mg nos últimos 50 L de ARS, também usando bagaço de cana

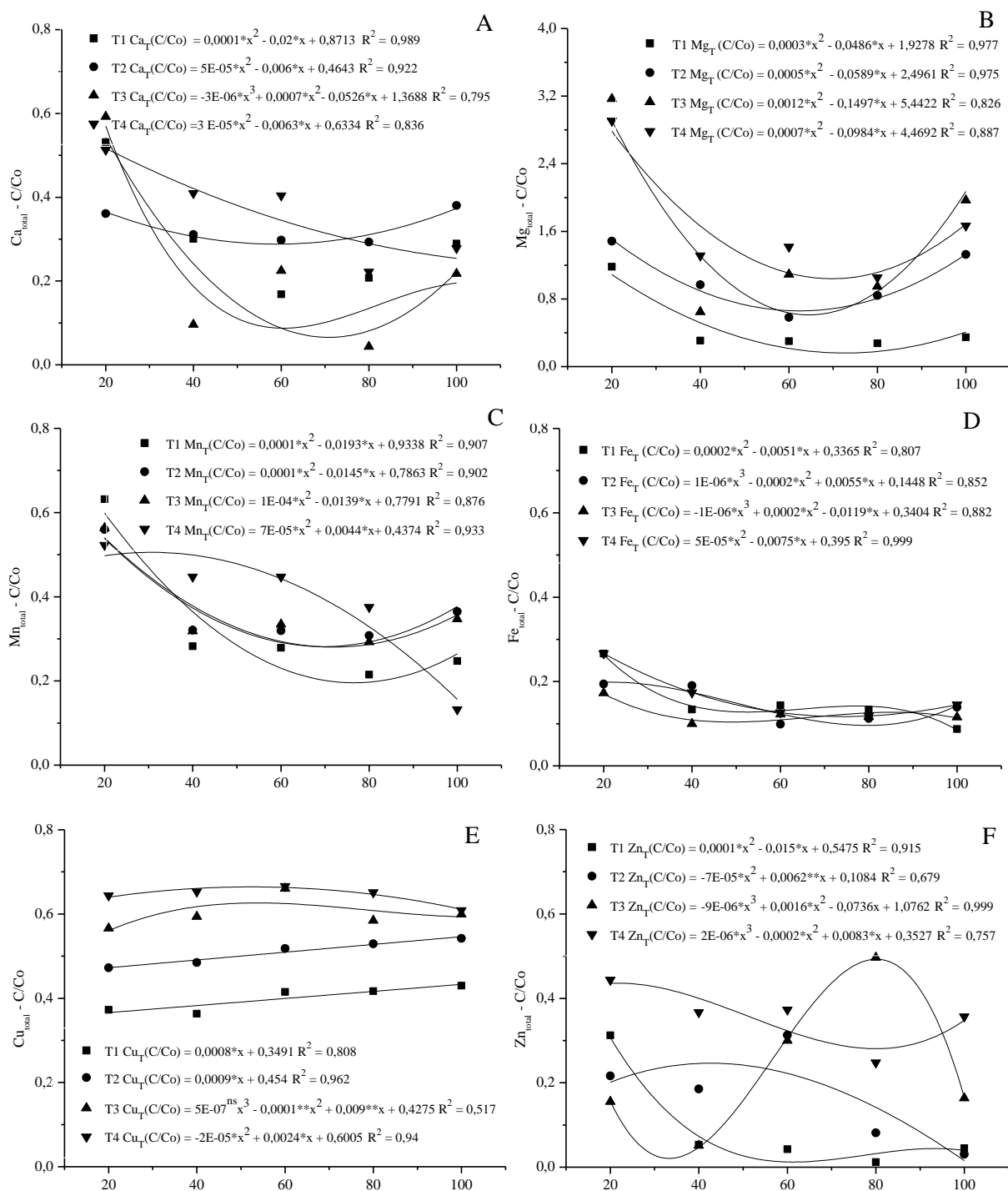


Figura 15. Concentração relativa (C/C₀) dos teores totais de cálcio (A), magnésio (B), manganês (C), ferro (D), cobre (E) e zinco (F) do efluente em relação ao afluente.

Com relação aos teores de manganês (Figuras 15C) verifica-se que o processo de filtração foi eficiente na remoção deste metal. A remoção da concentração de Mn foi aumentando após os primeiros 20 L de ARS filtrada, isso para todos os tratamentos. No início (20 litros coletados) obteve-se remoções de 37%, 44%, 44%, 48% e, posteriormente aos 100 L de 75%, 64%, 65% e 87% para T1, T2, T3 e T4, nesta ordem. Já no que se refere aos teores de Fe total percebe-se que o mesmo apresentou eficiência de remoção expressiva (>70%), logo nos primeiros 20 L de ARS filtrada, para todos os tratamentos avaliados (T1, T2, T3 e T4) e

manteve esse comportamento ao longo de todo processo de filtração da ARS bruta, obtendo-se aos 100 L remoções cerca de 91% ($C/C_0 = 0,09$) e 86% ($C/C_0 = 0,14$) utilizando filtros constituídos de dupla camada, T1 e T2 e de 88% ($C/C_0 = 0,12$) e 85% ($C/C_0 = 0,15$) empregando-se o composto na tripla camada, T3 e T4, nesta sequência. A ARS bruta já apresentava concentração de Fe de 7,5 mg/L e, após processo de filtração os efluentes tratados resultantes dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 detinham, respectivamente, os valores médios de 1,9; 1,1; 0,9 e 1,3 mg/L. As pesquisas realizadas por Markovic et al., (2011) obtiveram remoção de aproximadamente 99% de Fe ao se empregar serragem de madeira como meio filtrante no tratamento de efluente proveniente de jazidas de cobre.

Por meio da Figura 15E observa-se a concentração relativa de cobre em função do volume de ARS filtrada. Nota-se que os tratamentos T1 e T2 apresentaram comportamento similar, da mesma forma que o T3 e T4. Os tratamentos que apresentaram o melhor desempenho foram T1 e T2 e o menor foi T3 e T4. As melhores remoções ocorreram entre 20 e 40 L, sendo 63 e 64% (T1), 53 e 51% (T2) 43 e 42% (T3) e 36 e 35% (T4), nesta sequência. Já para o Zn, verifica-se que todos os tratamentos foram altamente eficientes na remoção deste parâmetro desde os primeiros 20 litros filtrados de ARS (Figura 15F). Assim como para Cu, T1 e T2 foram os mais eficientes, chegando aos 100 L com 96% e 97% de remoção, nesta ordem, seguido de T3 com 84% e T4 com 64%.

O Cu e Zn são aditivos alimentares comumente usados em ração para suínos para minimizar o risco de doenças e melhorar a taxa de conversão de grãos e ração (LI et al., 2007; UNTEA et al., 2011). No entanto, esta prática resulta em quantidades excessivas de Cu e Zn sendo quase completamente excretados nas fezes e urina, resultando em altas concentrações desses elementos nos esterco ou águas residuárias (TIQUIA, 2010). Dessa forma, aplicações frequentes de tal água residuária nos solos agrícolas ou o lançamento desta em corpos d'água, sem prévio tratamento, podem resultar na acumulação destes no ambiente (LEGROS et al., 2013; XU et al., 2013).

A eficiência na remoção de parâmetros como Mn, Cu e Zn, podem ser explicados pelo fato das concentrações destes, nos dejetos suínos, estarem fortemente associados a fração sólida (LO MONACO et al., 2009; VANOTTI et al., 2009). Logo, a retenção de sólidos totais pode acarretar a retenção desses metais. Cabe salientar que antes do processo de filtração, esses elementos estavam acima dos limites estabelecidos na NT 202/1986. O teor de Mn (1,0 mg/L), Cu (0,5 mg/L) e Zn (1,0 mg/L) na ARS bruta estava acima do permitido pela legislação (FEEMA, 1986). Após o processo empregando-se os diferentes filtros orgânicos, os mesmos enquadraram-se aos limites mais restritivos instituídos na referida norma.

Observa-se na Figura 16A que não houve remoção de potássio total (K_{total}) por nenhum dos tratamentos avaliados, sendo sua concentração significativamente maior do que a observada na ARS bruta, sobretudo em T3 e T4, que apresentaram um acréscimo de 16% e de 23% aos 20 L filtrados, na devida ordem. Logo, ao invés de reter potássio, os materiais usados como meio filtrante liberaram-no resultando na obtenção de efluentes ricos neste elemento. Verificou-se que somente aos 100 L, a concentração relativa do K_{total} foi diminuindo no meio filtrante, motivo pelo qual os efluentes passaram a apresentar valores próximos ao da ARS afluenta (3,5 mg/L), sendo estes valores de 4,0 mg/L ($C/C_0 = 1,14$) em T1 e T2, 5,8 mg/L ($C/C_0 = 1,67$) em T3 e 11,7 mg/L ($C/C_0 = 3,33$) em T4.

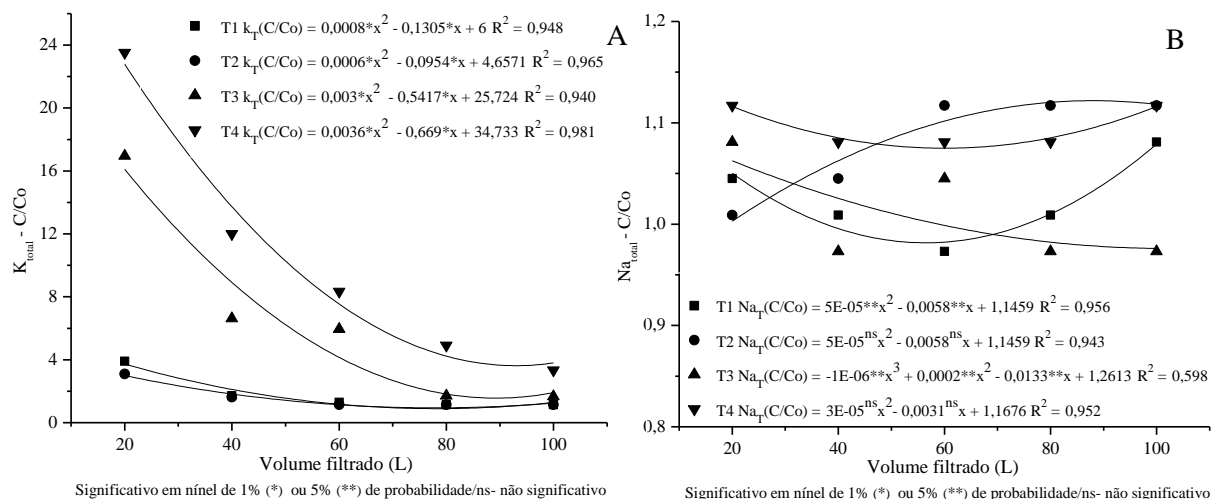


Figura 16. Valores de concentração relativa de K-total (A) e Na-total (B) no efluente dos filtros compostos por diferentes combinações e proporções de serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e composto orgânico em função do volume filtrado.

De forma semelhante a k_{total} , a concentração relativa de sódio total (Figura 16B) apresentou-se acima da encontrada para água residuária da suíno bruta, não sendo obtidas remoções significativas deste elemento por nenhum dos tratamentos utilizados, a não ser T1 e T3 (tratamentos com maior proporção de bagaço de cana) em que se obteve remoção sutil de 3% ($C/C_0 = 0,97$) aos 60L e a partir dos 100L ($3\% C/C_0 = 0,97$), respectivamente.

O aumento das concentrações de potássio e sódio observadas nesta pesquisa, também já foram reportados e comprovados por diversos autores Lo Monaco et al. (2004); Lo Monaco et al. (2009); Lo Monaco et al. (2011a); Lo Monaco et al. (2011b), os quais não alcançaram remoções desses elementos químicos, ao utilizarem, respectivamente, filtros de serragem de madeira, fibra de coco, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho, e pergaminho de grãos de café no tratamento da ARS. Tanto o potássio quanto o sódio estão entre os primeiros elementos a serem liberados da matéria orgânica, sendo os mais móveis e os mais facilmente perdidos por lixiviação o que explica o possível aumento destes no meio (MATOS et al., 2010). Esses resultados explicam o aumento da CE do efluente nos diferentes tratamentos avaliados.

É importante destacar que a remoção ou aumento no efluente do parâmetro investigado está relacionado a características físico-químicas de cada material utilizado como meio filtrante, a granulometria, porosidade, a forma como os materiais estão dispostos na coluna (camada única, dupla, tripla) bem como, as características das águas residuárias brutas utilizadas, dado que estas apresentam grande variação com relação aos aspectos físicos, químicos e biológicos, como é caso da ARS.

5.4 Análise de Componentes Principais (ACP) das Variáveis Físico-Químicas da ARS Bruta e Filtrada

A análise de componentes principais permitiu a interpretação dos dados por meio do conjunto de variáveis que se correlacionaram e agruparam os tratamentos. Conforme apresentado na Figura 17, observa-se que as duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2) foram responsáveis por explicar respectivamente 57,73% e 32,88% da variabilidade dos dados, somando 90,67% da variação total das 18 variáveis avaliadas neste estudo.

A partir dos coeficientes de correlação de Pearson gerados na análise, foi possível verificar que a componente principal (CP1) se correlacionou significativamente ($P < 0,05$) com a maioria das variáveis cor aparente, sólidos totais, sólidos suspensos totais, sólidos

sedimentáveis, DQO, fósforo total, nitrogênio amoniacal, teores totais de cálcio, manganês, ferro, cobre e zinco. A CP2 apresentou correlação com algumas variáveis que não foram explicadas por CP1 como condutividade elétrica, pH, DBO, magnésio, potássio e sódio totais, com variáveis também correlacionadas com CP1 como a cor aparente, os sólidos totais, o fósforo total. Observa-se que os parâmetros físicos e químicos investigados agruparam-se entre as componentes principais 1 e 2, evidenciando que algumas variáveis se comportaram de forma similar ao longo da filtração da ARS bruta.

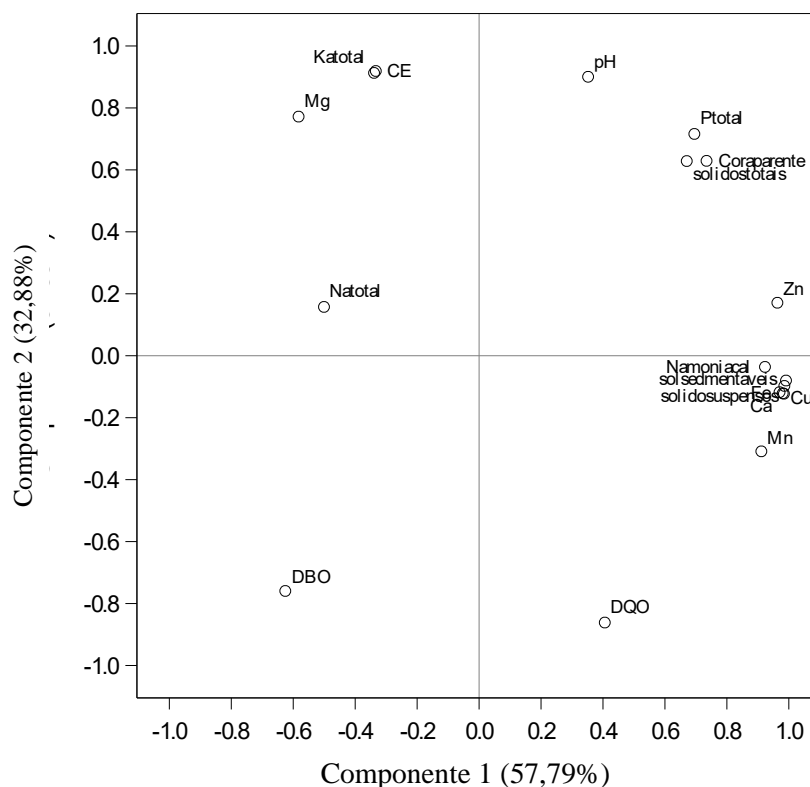


Figura 17. Análise de componentes principais (ACP1 e ACP2) dos efluentes resultantes dos tratamentos T1 (30% de SM + 70% BCA); T2 (70% de SM + 30% BCA); T3 (15% de SM + 55% BCA + 30% CO); T4 (55% de SM + 15% BCA + 30% CO) após filtração de ARS bruta.

As altas correlações atestadas ao se analisar a Figura 17 foram entre: (i) fósforo total, cor aparente e sólidos totais. Essa correlação deu-se provavelmente devido ao fato das concentrações relativas (C/C_0) destes parâmetros terem sido superiores nos efluentes resultantes dos tratamentos T3 e T4 em comparação aos observados em T1 e T2, durante praticamente todo processo de filtração; (ii) o potássio total, a CE e o magnésio total foram as variáveis em que se verificaram um aumento significativo nos efluentes filtrados nos 20 primeiros litros coletados, principalmente, nos tratamentos T3 e T4. Juntamente com sódio total, esses parâmetros foram os que não se obtiveram remoção ou essa foi de forma sutil; (iii) sólidos suspensos e sedimentáveis, N-amoniacal, metais (cálcio, cobre, ferro, manganês e zinco) se associaram de maneira expressiva, podendo ser explicado pelo fato destes terem forte relação com a fração sólida particulada e também por terem sido alcançados as melhores eficiências de remoção, com exceção do N-amoniacal. A baixa correlação e/ou separação observada entre a DQO e DBO das demais variáveis avaliadas pode ser explicada pelo fato dessas terem sido, dentre todos os parâmetros, as que mais sofreram influência da adição do composto orgânico. Ainda se observa que, embora a DBO e DQO sejam duas variáveis que comumente apresentam

relação, a não associação entre ambas (Figura 17) deve-se, possivelmente, a maior eficiência de remoção de DQO do que DBO.

Por meio da Figura 18A nota-se que nenhuma variável (físicas e/ou química) avaliada nos diferentes efluentes (T1, T2, T3 e T4) nessa pesquisa apresentou correlação com as variáveis avaliadas da ARS bruta. Uma alta correlação foi observada entre os tratamentos T1 e T2, assim como, entre os tratamentos T3 e T4, ou seja, as colunas que continham dupla camada de resíduos apresentaram um desempenho similar no processo de filtração, tal como as compostas por camadas triplas, respectivamente. Com base na ACP pode dizer então que T1 e T2 não diferiram entre si, bem como T3 e T4. Entretanto, T1 e T2 diferiram de T3 e T4.

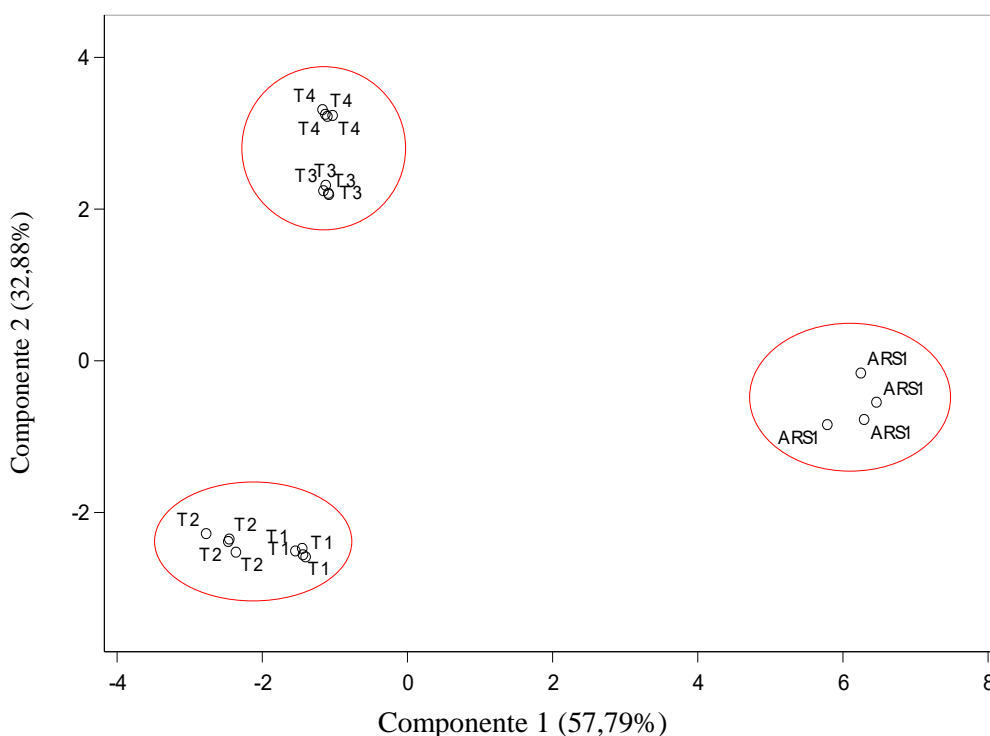


Figura 18. Análise de componentes principais (ACP1, ACP2) da ARS bruta e dos tratamentos (T1, T2, T3 e T4) ao final do processo de filtração. T1: 30% de SM + 70% BCA; T2: 70% de SM + 30% BCA; T3: 15% de SM + 55% BCA + 30% CO; T4: 55% de SM + 15% BCA + 30% CO.

Pode-se aferir ainda que, a separação entre (T1 e T2) de (T3 e T4) ocorreram provavelmente devido as variáveis que estão mais correlacionados com CP2. Já a em relação a ARS, a mesma se distinguiu dos tratamentos devido os parâmetros associados a CP1.

6 CONCLUSÕES

A ARS bruta produzida no Setor da Suinocultura da UFRRJ apresentou elevada diluição, mesmo tendo sido coletada no inverno, devido, principalmente, ao manejo inadequado da água. Apesar dessa diluição, a ARS ainda apresentou alto potencial poluidor evidenciada pelos teores de sólidos suspensos totais, sólidos sedimentáveis totais, demanda biológica de oxigênio, N-amoniaco, manganês, cobre e zinco, que impossibilitam a disposição em corpos hídricos, mediante os valores especificados na legislação estadual do RJ (Norma NT 202/1986 e na Diretriz DZ 215/2007) e na nacional (Resolução CONAMA 430/2011) e no solo, em razão de recomendações observadas na literatura.

Considerando que o uso de filtros orgânicos se constitui em um tratamento primário, cujo objetivo é a retenção de sólidos suspensos, pode-se constatar que todos os tratamentos foram capazes de atingir esse nível de tratamento, com satisfatória remoção de SST.

A filtração da ARS bruta através da coluna contendo combinações entre serragem, bagaço de cana e composto, culminou no aumento de compostos biodegradáveis, evidenciado pelo aumento da relação DBO_5/DQO_{total} . Com base nos valores da relação DBO_5/DQO_{total} , antes do processo de filtração seria apropriado o tratamento físico-químico para ARS bruta e após filtração a aplicabilidade do tratamento biológico.

Todos os tratamentos foram capazes de reter os metais Ca, Mn, Fe, Cu e Zn, assim como, o nitrogênio amoniacal, sendo esse fato positivo, dado que, posteriormente, os meios filtrantes podem ser submetidos a processos de estabilização, como a compostagem, e o composto orgânico obtido ficar rico em macros e micronutrientes.

A inserção do composto orgânico na coluna filtrante influenciou de forma significativa as variáveis DBO, DQO, fósforo, potássio, magnésio totais, CE e pH. Dessa forma, recomenda-se a adição do composto, como meio filtrante, quando se deseja remover DBO e DQO. Dependendo da composição química do composto, o mesmo pode enriquecer o efluente com determinado elemento químico. Nesse estudo, observou-se que a adição do composto promoveu um aumento no teor dos nutrientes P_{total} , K_{total} e Mg_{total} , assim como, do pH e da CE do efluente filtrado.

A análise de componente principal permitiu verificar que os efluentes provenientes dos tratamentos (T1, T2, T3 e T4) apresentaram características físico-químicas diferentes da ARS bruta.

Todos os filtros orgânicos avaliados (constituídos de dupla e tripla camadas e em diferentes proporções de materiais) foram eficientes e apresentaram potencial para serem instalados em propriedades rurais e fazer parte de uma unidade de tratamento de efluentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de filtros constituídos de resíduos orgânicos é uma técnica que apresenta potencial para ser utilizada, em especial, em pequenas propriedades rurais tendo em vista a disponibilidade dos resíduos, o custo de implementação e operação, e pelo fato de algumas localidades não disporem de nenhum sistema de tratamento de efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIB, M. R. M.; WAN SURAYA, R. W. S.; RAFIDAH, H. Optimization of Sugarcane Bagasse in Removing Contaminants from Kitchen Wastewater. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Special, 264p., 2014.

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEINA ANIMAL. **História da Suinocultura no Brasil**. Disponível < <http://abpa-br.com.br/setores/suinocultura/a-suinocultura-brasileira>> Acesso em: 10 out 2018.

AHMAD, M., RAJAPAKSHA, A.U., LIM, J.E., ZHANG, M., BOLAN, N., MOHAN, D., VITHANAGE, M., LEE, S.S., OK, Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. **Chemosphere**, v. 99, 19–33p., march 2014.

ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y.; TAVARES, M. I. B. Caracterização de fibras de bananeira e de coco por ressonância magnética nuclear de alta resolução no estado sólido. **Polímeros**, v.22, p.460-466, 2012.

APHA - **American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21.ed. Washington APHA, 2005. 1600p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT. NBR 9898: **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1987.

BATISTA, A. S. **Identificação da qualidade e origem de amêndoas de cacau produzidas no estado da bahia usando quimiometria** 75 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2018.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M.; WITEK-KROWIAK, A. Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification - a review. **Chem. Eng. J.**, v.270, 244–271p., 2015.

BRANDÃO VS, MATOS AT, MARTINEZ MA, FONTES MPP. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4 n. 3: p.327-333, 2000.

BRANDÃO, V.S.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A.; FONTES, M. P. P.; MARTINEZ, M. A. Retenção de poluentes em filtros orgânicos operando em filtros orgânicos operando com águas residuárias da suinocultura com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, 329-334p., 2003.

BRASIL. Conselho Nacional Do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430, 13 de março de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Publicado no Diário Oficial da União – DOU nº 092, de 16.05.2011, pág. 89.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos**

resíduos da produção de suínos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. – Brasília: MAPA, 100 p., 2016.

BRASIL. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC 46 (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. MAPA/ACS. 173 p. 2012. ISBN 978-85-7991-062-0

BÜHRING, G. M. B.; SILVEIRA, V. C. P. O biogás e a produção de suínos no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.5, n.2, 222-237p., 2016.

CABRAL, J. R.; PAULO S. L. FREITAS; ROBERTO REZENDE; ANTONIO S. MUNIZ; ALTAIR BERTONHA. Changes in chemical properties of dystrophic Red Latosol as result of swine wastewater application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2, p.210–216, 2014.

CANCELIER, A.; DAL' SOTO, U.P.; MURILO CESAR COSTELLI; LOPES, T. J.; SILVA, A. Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície de resposta. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.2, abr/jun, p.209-217.,2015.

CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G. C.; SILVA, C. M. **Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil.** Desenvolvimento em Questão. Editora Unijuí. n. 32, 145 p. out./dez., 2015.

CARVALHO, D.F.; SILVA, D.G; SOUZA, A.P., GOMES D.P.; ROCHA, H.S. Coeficientes da equação de Angström-Prezcott e sua influência na evapotranspiração de referência em Seropédica, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.15, v.8, p.108-116, 2011.

CROZARIOLLO NETO, V. S.; FREITAS, P. S. L., REZENDE, R.; DOLL, M. M. R.; BRANDÃO, D. Retenção da carga orgânica e de cátions em filtros operando com águas residuárias da suinocultura. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 134-144, abril-junho, 2011.

CUARTERO, J.; FERNANDEZ-MUNAOZ, R. Tomato and salinity. **Scientia Horti**, v.78, p.83-125, 1999.

DAI, Y. et al. Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. **Chemosphere**, v. 211 p.235-253, 2018.

DIAS, C. P.; LEITÃO, F. O.; COSER, F.; SILVA, W. H.; OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o tratamento de dejetos suínos com vistas à sustentabilidade.** Feira da Industria Latino-Americana de Aves e Suínos, Florianópolis-SC, 6p. 2016.

EL NADI, M.H., 2ELAZIZY, I. M.; ABDALLA, M.A.F. Use of agricultural wastes as bio filter media in aerobic sewage treatment. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, 6p.,2014,

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECURIA. 2018. **Maiores produtores e exportadores.** Disponível em< <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/brasil>> Acesso em: 10 out 2018.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. ed. EartScan, 715–733p., 2017.

FÁVERO, J. A.; FIGUEIREDO, E. A. P. Evolução do melhoramento genético de suínos no Brasil. **Revista Ceres**. v.56, n.4, p.420-427, jul/ago 2009.

FEBRER, M. C. A. et al. Dinâmica da decomposição mesofílica de resíduos orgânicos misturados com águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 10, n. 1/4, p. 18-30, jan./dez. 2002.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos. NT 202.R-10 de 1986. Rio de Janeiro: FEEMA.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária. DZ 215.R-4 de 2007. Rio de Janeiro: FEEMA.

FERREIRA FILHO, SIDNEY SECKLE. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento - um guia prático para alunos e profissionais**. Ed: Elsevier. 2017, 465p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, n.9, 109-112. Mar./Apr, 2014.

FRANCISCO, J. P.; SILVA, J. G. B.; NASCENTES, A. L.; SILVA, L. D. B.; Folegatti, M. V. Desempenho de filtros orgânicos com o uso de extrato de sementes de *Moringa oleifera* LAM. **Revista Irriga**, v. 19, n.4, p. 705-713, 2014.

FURUKAWA, T., MATSUMOTO, K., SONOKI, T., BASTIDA, F. Biochar influences the microbial community structure during manure composting with agricultural wastes. **Science of The Total Environment**, v. 416, , p.476-481, feb. 2012.

GISI, S.; LOFRANO, G.; GRASSI, M.; NOTARNICOLA. Characteristic and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. **Subsustainable Materials and Technologies**. V. 9, p. 10 – 40, 2016.

GHAZY, M R.; BASIOUNY, M.A.; BADAWY, M. H. Performance of agricultural wastes as a biofilter media for low-cost wastewater treatment technology. **Advances in Research** v.7, n 6,1-13p, 2016.

GOMES, L. P.; PERUZATTO, M.; SANTOS, V. S.; SELBITTO, M. A. Indicadores de sustentabilidade na avaliação de granjas suínícolas. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19, n.2, p.143-154. 2014.

GUILANE S; HAMDAR O. Regeneration of exhausted granular activated carbon by lowfrequency ultrasound in batch reactor. **Desalination and Water Treatment**. v.57, n.34, 15826-15834 p., 2016.

GUIMARÃES, D; GISELE AMARAL; GUILHERME MAIA; MÁRIO LEMOS; MINORU ITO STEPHANIE CUSTODIO. 2017. **Suinocultura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES**. Disponível em<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/11794/1/BS%2045%20Suinocultura%20%20estrutura%20da%20cadeia%20produtiva%2C%20panorama%20do%20setor%20no%20Brasil%5B...%5D_P.pdf> Acesso em: 10 out 2018.

GUPTA, V.K.; SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. **Journal of Environmental Management**. v. 90, 2313-2342p, 2009.

HACHMANN, T. L.; LAURETH, J. C. U.; PARIZOTTO, A. A.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Resíduos de aves e suínos: Potencialidades. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 59 - 65, (Edição Especial) dez. 2013.

HUANG, H. XIAO, DEAN; PANG, R.; HAN, C.; DING, L. Simultaneous removal of nutrients from simulated swine wastewater by adsorption of modified zeolite combined with struvite crystallization. **Chemical Engineering Journal**, v.256 p.431–438, 2014.

INSAM, H.; GOMEZ-BRANDON, M; ASCHER, J. Manure-based biogas fermentation residues e Friend or foe of soil fertility? **Soil Biology & Biochemistry**, v. 84, 1-14p, 2015.

ISLAMUDDIN; AHMAD, I.; ALI, N.; MUMTAZ, N. Domestic Wastewater Treatment by Low-Cost Natural Adsorbents. **International Journal for Scientific Research & Development**. v. 4, p.1768-1771, 2016.

KIEHL, E.J. **Novos Fertilizantes Orgânicos**. Agronômica. Ceres – Ltda, Piracicaba. 2010. 248p.

KUMAR, ANIL; NITIN KUMAR; PRASHANT BARENDAR; ASHISH SHUKLA. A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 4, p.530–539, 2015.

LEAL, F. C. T.; LIBÂNIO, M. Estudo da remoção da cor por coagulação química no tratamento convencional de águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.7, n.3, p.117-128, 2002.

LEGROS, S., DOELSCH, E., FEDER, F., MOUSSARD, G., SANSOULET, J., GAUDET, J.P., RIGAUD, S., BASILE DOELSCH, I., SAINT MACARY, H., BOTTERO, J.Y. Fate and behaviour of Cu and Zn from pig slurry spreading in a tropical water-soil-plant system. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.164, p.70-79, 2013.

LEHMANN, J., JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation**. Taylor & Francis, 907p., 2015.

LI, Y., LI, W., WU, J., XU, L., SU, Q., XIONG, X. Contribution of additives Cu to its accumulation in pig feces: study in Beijing and Fuxin of China. **J. Environ. Sci**. v.19, n. 5, p.610-615, 2007.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; BRANDÃO, V. S. Influência da granulometria dos sólidos triturados de sabugo de milho e bagaço de cana-de-açúcar como materiais filtrantes no Tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.5, p.974-984, 2011a.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; BATISTA, A. P. S.; MIRANDA, S.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V. Tratamento de esgoto sanitário utilizando coagulante natural seguido de filtro orgânico. **Revista Caatinga (Online)**, v. 27, p. 28-40, 2014.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; SARMENTO, A. P.; JÚNIOR, A. V. L.; LIMA, J. T. Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Engenharia na Agricultura**, volume da ARS filtrada, v.17, n.6, 473-480p., 2009.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A.T.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; SARMENTO, A. P.; MOREIRA, R. M. G. Desempenho de filtros constituídos por pergaminho de grãos de café (*Coffeasp.*) no tratamento de águas residuárias. **Coffe Science**, Lavras, v.6, n.2, p.120-127, 2011b.

LO MONACO, P. A.V.; MATOS, A. T.; JORDÃO, C. P.; CECON, P. R.; MARTINEZ, M. A. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.116-119, 2004.

LOPEZ-SOTELO, J.B.; QUINA, M. J.; GANDO-FERREIRA, L.; SANCHEZ- BASCONES, M.; NAVAS-GRACIA, L. M. Compost from Poultry Hatchery Waste as a Biosorbent for Removal of Cd (II) and Pb (II) from Aqueous Solutions. **The canadian journal of chemical engineering**. v. 95, 839-848p., may, 2017.

MARQUES, A. S. **Avaliação do desempenho de filtros orgânicos no tratamento da água residuária da bovinocultura leiteira**. 51 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

MAGALHÃES, M.A.; LO MONACO, P.A.V.; MATOS, AT. Uso de filtros orgânicos na remoção de óleos e graxas presentes na água residuária de suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v.21 n.4, p. 387-395, 2013.

MAGALHÃES, M.A.; MATOS, A.T.; DENICULI, W.; TINOCO, I.F.F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v.10, n.2, p.472–478, 2006a.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 466–471, 2006b.

MARKOVIC, R.; STEVANOVIC, J.; STEVANOVIC, Z.; BUGARIN, M.; NEDELJKOVIC, D.; GRUJIC, A.; STAJICTROSIC, J. Using the low-cost waste materials for heavy metals removal from the mine wastewater. **Materials Transactions**, v. 52, p.1849. 2011.

MAKARA, A. e KOWALSKI, Z. Selection of pig manure management strategies: Case study of Polish farms. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 187-195, 2017.

MATOS, A. T.; FREITAS, W. S.; LO MONACO, P. A. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. **Revista Ambiente e Água**, v. 5, n. 2, p.1-235, agosto.2010.

MATOS, A. T.; MAGALHAES, M. A. SARMENTO, A. P. Perda de carga em filtros orgânicos utilizados no tratamento de água residuária de suinocultura. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.527-537, 2010.

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

MENDES, F. B.; CHAUX, A. M.; THOMEIO, J. C. Efeito da umidade nas propriedades físicas e estruturais do bagaço de cana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 20, 2014, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: ABEQ, 2014, 8p.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5ª Ed., p. 2008, 2015.

MÜLLER, L. C. **Tratamento de água para abastecimento utilizando elementos filtrantes de madeira**. 141 fls. Dissertação (mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

OGILVIE, D.; MITCHELL, R.; MUTRIE, N.; PETTICREW, M.; PLATT, S. Perceived characteristics of the environment associated with active travel: development and testing of a new scale. **International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity**, v. 5, n. 32, p. 1-10, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; GOIS, G.; LANNES, A.; DIAS, F. O.; SOUZA, J. C.; SOUZA, M. Análise da Precipitação e sua Relação com Sistemas Meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n.2, p.140-149, 2014.

OLIVEIRA, A. P. S. **Tratamento da água residuária da suinocultura utilizando filtro orgânico e digestão aeróbia**. 69 fls. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

OLIVEIRA, A. P. S.; AGUIAR, T. C.; ARAÚJO, S. C., PINHEIRO, E. F. M. Avaliação do potencial dos resíduos orgânicos a serem utilizados na filtração de águas residuárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, 30, 2017, Fortaleza-CE. **Anais...**Fortaleza: AEAC, 2017b, 6p.

OLIVEIRA, A. P. S.; PINHEIRO, É. F. M.; ARAÚJO, S. C. Desempenho da palha de feijão como meio filtrante no tratamento da água residuária da suinocultura. **Diversidade e Gestão** v.1, n. 2,198-206p. 2017c.

OLIVEIRA, A. P. S.; PINHEIRO, E. F. M.; CAMPOS, D. V. B. Avaliação do tratamento da água residuária da suinocultura utilizando filtro orgânico constituído de bagaço de cana-de-açúcar. **Revista Virtual Química**, v. 9, n. 5, p. 1-15, 2017a.

OMO-OKORO, P. N.; DASO, A. P.; OKONKWO, J. O. A review of the application of agricultural wastes as precursor materials for the adsorption of per- and polyfluoroalkyl substances: A focus on current approaches and methodologies, **Environmental Technology & Innovation**, v. 9, p.100–114, 2018.

PATWARDHAN, A. D. **Industrial Solid Wastes**. The Energy and Resources Institute, 2013, 198p. Disponível em:<https://www.kopykitab.com/ebooks/2016/03/6124/sample/sample_6124.pdf> Acesso em 09 nov. 2018.

PEREIRA, E. L.; CLÁUDIO MILTON MONTENEGRO CAMPOS; FABRÍCIO MOTERANI. Avaliação do desempenho físico-químico de um reator UASB construído em escala piloto na remoção de poluentes de efluentes de suinocultura. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 5, n. 1, p.80-88, 2010.

PINTO, L. P.; CABRAL, A. C.; SCHNEIDER, L. T.; AZEVEDO, K. D.; FRIGO, J. P. FRIG, E. P. Levantamento de dados sobre os dejetos suínos e suas características. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 179-187, 2014.

REDDY, D. H. K.; VIJAYARAGHAVAN, A, K.; KIM, J. A.; YUN, Y-SANG. Valorisation of post-sorption materials: Opportunities, strategies, and challenges. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 242, p. 35–58, 2017.

RIZZONI, L.B.; ANTÔNIO CARLOS TURCATI TOBIAS; MARGARETE DEL BIANCHI; JOSÉ ANTÔNIO DIAS GARCIA. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, n.18, p.20, 2012.

RUBIM, C. **Uso de filtros multimídia**. 2012. Disponível em<<http://www.meiofiltrante.com.br/internas.asp?id=13914&link=noticias>>Acesso em: 3 out. 2018.

SADEEK, A.; NEGM, N. A.; HEFNI, H. H.H.; WAHAB, M. M. A. Metal adsorption by agricultural biosorbents: Adsorption isotherm,kinetic and biosorbents chemical structuresSadeek **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 81, p.400–409, 2015.

SANTOS, R. C. **Cobre, zinco, manganês e sódio em rações, dejetos líquidos de suínos e solos de áreas de uso agrícola**. 2014. 146 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SEIDEL, E. P.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; VANIN, J. P.; STREY, L; SCHWANTES, D.; HERBERT, N. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 123-131, 2007.

SILVA FILHO, S. B., CAVALCANTE, L. F., OLIVEIRA, F. A.; LIMA, ELY, M.; COSTA, J. R. M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, v.5, n.2, p.101-109, 2000.

SIMANTIRAKI, F.; GIDARAKOS, E. Comparative assessment of compost and zeolite utilisation for the simultaneous removal of BTEX, Cd and Zn from the aqueous phase: Batch and continuous flow study. **Journal of Environmental Management**, v. 159, 218 – 226 p., 2015.

SMANHOTTO, A.; SOUSA, A. P.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H. P.; PRIOR, M. Cobre e zinco no material percolado e no solo com a aplicação de água residual de suinocultura em solo cultivado com soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.346-357, mar.-abr. 2010.

SOHI, S.P., MCDONAGH, J., NOVAK, J.M., WU, W., MIU, L.M. Biochars systems and system fit. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation**, second ed. Earthscan, 739–761p., 2015.

SILVA, J.S. **Secagem e armazenagem de café - Tecnologias e Custos**. Viçosa: UFV, CBP&D-café, 162p., 2001.

SOUZA, J.A.R.; MOREIRA, D.A.; FERREIRA, P.A.; MATOS, A.T. Variação do nitrogênio e fósforo em solo fertirrigado com efluente do tratamento primário da água residual da suinocultura. **Revista Ambiente e Água**, v. 4, n. 3, p. 111-122, 2009.

STEINER, C., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., KAMMANN, C. Biochar as an additive to compost and growing media. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation**, ed. Earthscan, pp. 715–733p., 2015.

TAN, X.F., LIU, Y.G., ZENG, G., WANG, X., HU, X., GU, Y., YANG, Z. Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. **Chemosphere**, v. 125, 70–85p., 2015.

TEIXEIRA, D. L.; MATOS, A. T.; LO MONACO, P. A. V.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; BAKER, S. A. A. Filtration rates in inorganic filters submitted to different pore periods. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 35, n. 2, 2013, p. 221-225, 2013.

TIEN, C. **Principles of Filtration**. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/book/9780444563668>> Acesso em: 11 jun. 2018.

TIQUIA, S. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. **Chemosphere**, v. 79, p.506-512, 2010.

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

TRAN, V.S.; NGO, H.H.; GUO, W.; ZHANG, J.; LIANG, S.; TON-THAT, C.; ZHANG, X. Typical low cost biosorbents for adsorptive removal of specific organic pollutants from water. **Bioresour Technol.** v. 182, p.353–363, 2015.

USEPA -UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY **Acid digestion of aqueous samples and extracts for total metals for analysis by flaa or icp spectroscopy-method 3010A.** Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3010a.pdf>. Acesso em jun. de 2018.

USDA- United States Department of Agriculture, 2017. **Agricultural Statistics Annual** Disponível em:<https://www.nass.usda.gov/Publications/Ag_Statistics/2017/index.php> Acesso em: 10 set 2018.

UNTEA, A., CRISTE, R., PANAITTE, T., COSTACHE, I. Effect of the dietary oregano (*Origanum vulgare*) on Cu and Zn balance in weaned piglets. **J. Trace Elem. Med. Biol.** v.25, p.35-40, 2011.

VANOTTI, M. B.; RICE, J. M.; ELLISON, A. Q., HUNT, P. G.; HUMENIK, F. J.; BAIRD C. L. Solid liquid separation of swine manure with Polymer treatmentands and filtration. **American Societyof Agricultural Engineers**, v. 48, p. 1-9p., 2005.

VANOTTI, M.B., SZOGI, A.A., MILLNER, P.D., LOUGHRIN, J.H. Development of a second-generation environmentally superior technology for treatment of swine manure in the USA. **Bioresource Technology.** 100, 5406–5416p., 2009.

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. **Introdução a Engenharia Ambiental.** Tradução da 2ª ed. Norte – Americana. Editora: Cengage Learning Nacional, 2015. 456p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos** (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias). v. 1. 4ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472p.

ZHANG, M. Adsorption studyof Pb (II), Cu (II) and Zn (II) from simulatedacid mine drainageusingdairymanurecompost. **Chemical Engineering Journal**, v.172, p.361–368, 2011.

XU, Y., YU, W., MA, Q., ZHOU, H. Accumulation of copper and zinc in soil and plant within ten-year application of different pig manure rates. **Plant Soil Environ.** 11, p.492-499, 2013.