

Otimização de um sistema piloto para o tratamento de águas residuais contendo esferas de poliestireno

A agricultura corresponde ao setor da economia com maior consumo de água, em sua grande maioria, potável. A utilização de águas cinzas, ou residuárias, vem ganhando cada vez mais importância no cenário mundial à medida que as fontes de águas naturais vêm sofrendo ações antrópicas, possibilitando sua redução tanto na qualidade como quantidade. Nessa perspectiva, o emprego de tecnologias simples e de baixo custo para tratar os efluentes viabilizam o reúso dessas águas, minimizando os impactos sobre os recursos hídricos. Diante disso, este trabalho tem o objetivo de otimizar um sistema piloto de tratamento de efluentes, utilizando poliestireno como material filtrante. Este material foi escolhido por ter baixa massa específica, baixo custo e ocupar pouca área. O estudo foi desenvolvido no ano de 2019, entre os meses de março a dezembro, na Universidade Federal de Campina Grande, Campus I. Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES) pertencente ao Departamento de Engenharia Química. Foi construído e testado um sistema de tratamento de águas residuárias, contendo esferas de poliestireno para remover a cor e a turbidez. Para se alcançar esse objetivo, foram testadas algumas variáveis de entrada como: vazão, diâmetro das esferas de poliestireno e configuração do reator, sendo está em série ou paralelo. Diante disto, o estudo apresentou a configuração em série como mais significativa, assim como a vazão de 0,5 L/min, e a esfera com 2 mm para a melhor remoção de cor e turbidez dessas águas.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes; Poliestireno; Reúso.

Optimization of a pilot system for wastewater treatment containing polystyrene spheres

Agriculture corresponds to the sector of the economy with the largest consumption of water, most of which is potable. The use of gray, or wastewater, has been gaining more and more importance on the world stage as natural water sources have been suffering anthropic actions, making it possible to reduce both quality and quantity. In this perspective, the use of simple and low-cost technologies to treat effluents enables the reuse of these waters, minimizing the impacts on water resources. Therefore, this work aims to optimize a pilot effluent treatment system, using polystyrene as a filter material. This material was chosen because it has low specific mass, low cost and occupies little area. The study was carried out in 2019, from March to December, at the Federal University of Campina Grande, Campus I. The experimental procedures were carried out at the Desalination Reference Laboratory (LABDES) belonging to the Chemical Engineering Department. A wastewater treatment system was constructed and tested, containing polystyrene spheres to remove color and turbidity. To achieve this objective, some input variables were tested, such as flow, diameter of polystyrene balls and reactor configuration, being this in series or parallel. In view of this, the study presented the series configuration as the most significant, as well as the flow rate of 0,5 L/min, and the sphere with 2 mm for the best removal of color and turbidity from these waters.


Keywords: Effluent treatment; Polystyrene; Reuse.


Topic: Engenharia Sanitária

Received: 03/01/2021


Approved: 25/01/2021

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Lazaro Ramom dos Santos Andrade 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0831456683175856>
<http://orcid.org/0000-0001-8228-4470>
vasmeiras@hotmail.com

Sérgio Murilo Santos de Araújo 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6693832655779279>
<http://orcid.org/0000-0001-9599-4383>
sergiomurilosa.ufcg@gmail.com

Kepler Borges França 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3620576114544758>
<http://orcid.org/0000-0001-5456-2066>
kepler123@gmail.com

Howard William Pearson 
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9063947672998261>
<http://orcid.org/0000-0002-1291-653X>
howard_william@uol.com.br



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0024

Referencing this:

ANDRADE, L. R. S.; ARAÚJO, S. M. S.; FRANÇA, K. B.; PEARSON, H. W..
Otimização de um sistema piloto para o tratamento de águas residuais contendo esferas de poliestireno. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.1, p.286-294, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0024>

INTRODUÇÃO

O aumento no volume das águas residuárias, proveniente da urbanização desenfreada, é um problema bastante discutido nos dias atuais, seja pela preocupação ambiental que envolve os mais diversos tipos de contaminação, seja pela carência de sistemas de tratamentos economicamente viáveis e eficazes, para tratar esses efluentes.

Esse cenário é ainda mais preocupante nas áreas periféricas das cidades, bem como nas regiões rurais, devido às condições de acessibilidade e à falta de planejamento por parte do poder público. O saneamento básico e o acesso à água de qualidade são apontados, segundo Barboni et al. (2014), como os principais desafios para se vencer a crise sanitária em que vive a humanidade.

A coleta e tratamento de esgoto a toda população é garantida pela Política Nacional de Saneamento Básico, Lei nº 11.445/2007. A referida lei deixa claro que esses serviços devem ser ofertados a todos os lugares e pessoas, independente da área em que estejam inseridos, garantindo saúde, segurança e o bem-estar da população. O investimento em tecnologias de baixo custo e boa eficiência para tratar águas residuárias é uma alternativa viável para mitigar os diversos problemas ambientais oriundos do seu lançamento no meio ambiente.

O lançamento de efluentes em corpos hídricos e no solo, além dos inúmeros impactos já conhecidos, também pode ser analisado pelo viés econômico, uma vez que sua correta utilização irá gerar renda e insumos para o produtor rural. Em virtude disso, o reúso dessas águas apresenta vantagens, do ponto de vista econômico, social e ambiental (ANDRADE et al., 2018), sendo imprescindível em regiões onde existe escassez hídrica, como na região semiárida. Desse modo as águas residuárias tratadas constitui uma fonte hídrica, possibilitando a redução da procura por novas retiradas dos corpos d'água (SANTOS, 2014).

A agricultura é a atividade que mais consome água (BEZERRA et al., 2019), em virtude disso a utilização de águas residuárias vem ganhando destaque, uma vez que diminui o consumo de água tratada. O aproveitamento agrícola de águas residuárias vem sendo estudado na produção de mudas, forragem e fruteiras como nos trabalhos de Batista et al. (2014), Costa (2014), Azevedo et al. (2019) e Bezerra et al. (2019).

O uso agrícola de efluente contribui para o saneamento ambiental, pois a deposição de águas residuárias de forma inadequada em corpos d'água propicia uma série de doenças de veiculação hídrica (ALVES et al., 2018).

Para garantir a segurança hídrica, bem como a qualidade dos produtos irrigados, deve-se escolher tecnologias baseadas nas características dos esgotos e de cada sistema, como: a eficiência de remoção de carga orgânica, a remoção de patógenos, custo de instalação e manutenção, a área necessária, bem como a complexidade de operação (BARBONI et al., 2014). A filtração em meio granular é amplamente utilizada em diferentes sistemas de tratamentos de água e esgoto, sendo a areia o leito filtrante mais comum.

Outra possibilidade é a utilização de filtros orgânicos pois proporcionam a retenção de sólidos em suspensão (OLIVEIRA, 2013). Este tipo de sistema consiste em uma opção barata, por se utilizar subprodutos

de atividades agroindustriais tais como: serragem de madeira, bagaço de cana de açúcar e casca de arroz. O estudo de produtos com poder de filtração vem crescendo devido ao grande número de efluentes descartados de forma incorreta, principalmente em áreas periféricas e rurais.

Esferas de poliestireno apresentam características granulométricas semelhantes à areia (SCHÖNTAG 2015). Sendo assim sua utilização como elemento filtrante merece ser estudada para serem elucidados os pontos mais significativos desse processo. O presente trabalho objetiva otimizar um sistema piloto de tratamento de efluentes utilizando esferas de poliestireno como material filtrante. Para isso foram analisadas duas granulometrias de esferas (2 e 5 mm), dois tipos de configurações (série e paralelo), e a consequente redução da turbidez e cor do efluente filtrado. Esse material, além de garantir o tratamento das águas residuárias, possui baixo custo, baixo peso, bem como resistência ao envelhecimento.

A filtração pode ser considerada um processo rápido e barato, quando utilizados materiais acessíveis e de fácil manipulação, como o poliestireno. Segundo Nikoonahad et al. (2017), este possui elevada capacidade de filtração, além de não precisar de grandes áreas para construção de estações de tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no ano de 2019, entre os meses de março e dezembro, na Universidade Federal de Campina Grande, Campus I. Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), pertencente ao Departamento de Engenharia Química.

No âmbito do LABDES foi construído um sistema de tratamento de águas residuárias. Para analisá-lo, utilizou-se as águas da lagoa da UFCG (figura 1), uma vez que a mesma recebe águas residuárias de fontes difusas, segundo estudo de Andrade et al. (2018). As águas dessa lagoa são utilizadas diariamente para irrigação das áreas verdes do campus, de forma semelhante ao que acontece em muitas cidades, que utilizam as águas de suas lagoas/açudes urbanos e periurbanos.



Figura 1: Lagoa da UFCG.

METODOLOGIA

O sistema de tratamento conta com três colunas de PVC, com 1,5 m de altura e 20 cm de diâmetro, possuindo então capacidade volumétrica total de 40 L (figura 2). Cada coluna foi preenchida com 490 gramas

de poliestireno perolado. Foram interconectadas para trabalharem em paralelo, de forma independente, porém possuem conexões que possibilitem sua operação em série, aumentando sua capacidade de filtração, de acordo com as características do meio filtrado.

Para otimizar o sistema, foi realizada a caracterização das esferas de poliestireno, antes e depois do processo de filtração. Como o reator tem um volume grande foram utilizadas duas provetas volumétricas contendo 1 g de poliestireno de 2 mm e 5 mm, respectivamente.

Fez-se a medição do diâmetro de 100 esferas com paquímetro, para se verificar o quanto elas absorveram de água e impurezas no processo de filtração. Esse mesmo procedimento foi realizado após a secagem desse material ao sol, para se observar se após a secagem as esferas retornariam as suas características iniciais.

Complementando o processo, foi verificado o peso seco antes e depois da filtração, bem como o peso das esferas após a secagem ao sol. A medição dos diâmetros, bem como a pesagem desse material, fora realizada durante seis meses, totalizando doze repetições.

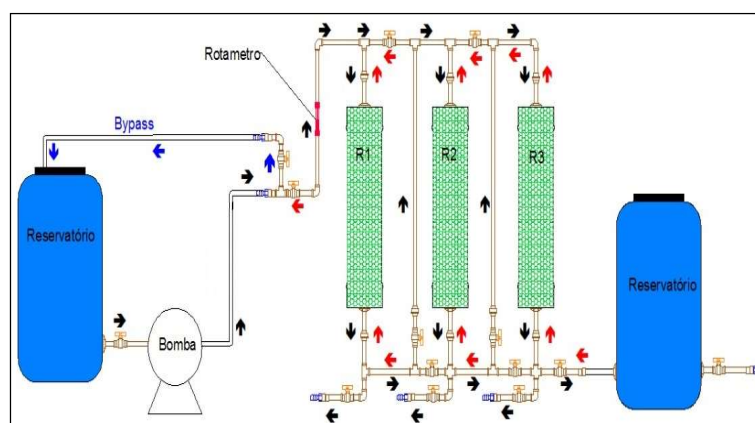


Figura 2: Sistema de tratamento utilizando.

Como o sistema tem a possibilidade de trabalhar em série ou paralelo, foram realizados oito experimentos, intercalando a configuração do reator, a vazão de entrada e a granulometria das esferas de poliestireno, conforme um planejamento fatorial com três fatores (23), afim de se investigar os efeitos estas variáveis de entrada sobre as variáveis de saída (parâmetros cor e turbidez) ao mesmo tempo. A tabela 1 apresenta a matriz do planejamento experimental. Esses dados foram tratados no software minitab 17.

Tabela 1: Matriz do planejamento experimental.

Experimentos	Tipo de configuração	Diâmetro das esferas de poliestireno	Vazão de entrada
Experimento 1	Série	2 mm	0,5 L/min
Experimento 2	Série	2 mm	1 L/min
Experimento 3	Série	5 mm	0,5 L/min
Experimento 4	Série	5 mm	1 L/min
Experimento 5	Paralelo	2 mm	0,5 L/min
Experimento 6	Paralelo	2 mm	1 L/min
Experimento 7	Paralelo	5 mm	0,5 L/min
Experimento 8	Paralelo	5 mm	1 L/min

Para se avaliar qual experimento apresentaria maior eficiência no tratamento das águas residuárias, foram analisados em triplicata, a análise dos parâmetros 'Cor', pelo método colorimétrico, e 'Turbidez', pelo

método nefolométrico, antes e depois dos tratamentos. Essa etapa do processo foi realizada três vezes por semana, durante quatro horas, avaliando-se a eficiência de remoção desses parâmetros, bem como o tempo de saturação do poliestireno, comparando-o a taxa de remoção inicial quando o material filtrante estava virgem, com o filtrado final.

Ao final do processo, foi analisada a retrolavagem do equipamento, por meio da análise do pH e condutividade elétrica (CE). Essa retrolavagem era efetuada ao final de cada batelada, injetando-se água na parte inferior do reator, drenando-se na parte superior, juntamente com as partículas que ficaram presas durante a filtração.

Para a retrolavagem utilizou-se água da torneira (controle), medindo-se os valores de pH e CE simultaneamente, a cada minuto, até que atingissem os valores da água controle. Estas medidas foram efetuadas nas saídas dos três reatores. Para realização desse procedimento os reatores foram operados em paralelo, para garantir que as impurezas do primeiro reator não entrassem no segundo e terceiro reator. O tempo de lavagem, bem como a quantidade de água utilizada, também foram analisadas durante o procedimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram pesadas e medidas 100 esferas com diâmetros de 2 mm e 5 mm, antes e após o processo de filtração, o valor das médias estão representados na figura 3. Observou-se que as esferas com diâmetro de 2mm aumentaram 1 mm, e também 2,5 vezes seu peso. Esta variação foi maior para este tipo de esfera, devido a maior agregação e aproximação entre elas, por terem um diâmetro menor favorecendo uma maior compactação, e menos espaço para a percolação da água.

Na figura 4 estão apresentados os resultados do peso e diâmetro das esferas, após a secagem ao sol, sendo observado que ambas as características iniciais foram praticamente reestabelecidas. Este resultado é justificado pelo fato do isopor não ser higroscópico.

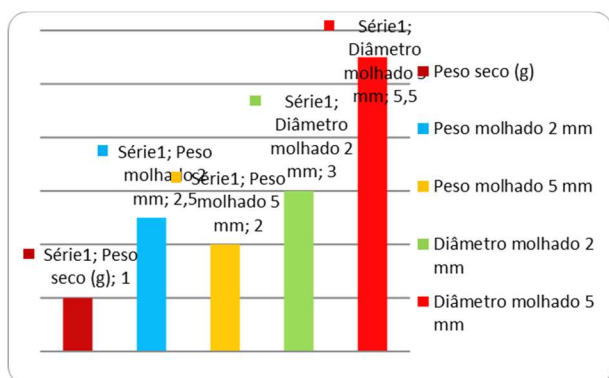


Figura 3: Peso e diâmetro das esferas após a filtração.

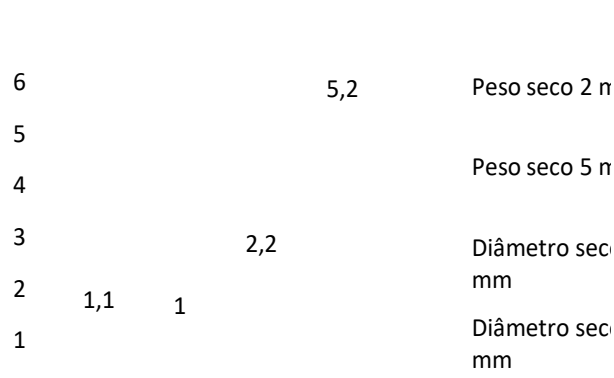


Figura 4: Peso e diâmetro das esferas após secagem ao sol.

Segundo Oliveira (2013), este material possui baixa absorção de água, garantindo manterá manutenção de sua característica térmica e resistência ao envelhecimento. Na tabela 2 está apresentada a estatística descritiva das análises dos resultados dos pesos e diâmetro das esferas de poliestireno.

Tabela 2: Estatística descritiva dos pesos e diâmetros das esferas após o processo de filtração.

Peso molhado 2 mm		Peso molhado 5 mm		Diâmetro molhado 2 mm		Diâmetro molhado 5 mm	
Média	2,508	Média	2,005	Média	3,001	Média	5,502
Erro padrão	0,03976395	Erro padrão	0,109575628	Erro padrão	0,097912505	Erro padrão	0,033574281
Mediana	2,4	Mediana	1,5	Mediana	2,7	Mediana	5,5
Desvio							
Desvio padrão	0,3976395	Desvio padrão	1,095756277	Desvio padrão	0,979125047	Desvio padrão	0,335742807
Variância	0,158117172	Variância	1,200681818	Variância	0,958685859	Variância	0,112723232
Mínimo	2	Mínimo	1	Mínimo	2	Mínimo	5
Máximo	4,2	Máximo	4,8	Máximo	5,7	Máximo	6,7
Contagem	100	Contagem	100	Contagem	100	Contagem	100

As variáveis de entrada (tipo de configuração, tamanho da esfera e vazão) foram analisadas para verificar qual delas apresentava maior significância para remoção de cor e turbidez. Por meio das figuras 5 e 6 consegue-se apresentara vazão como a variável mais significativa para o processo. Esta variável foi essencial para otimizar o sistema, pois de acordo com a qualidade da água, a configuração pode ser alterada, ou seja, caso a água apresente valores baixos de cor e turbidez, o reator pode trabalhar em paralelo, diminuindo-se assim o tempo de tratamento.

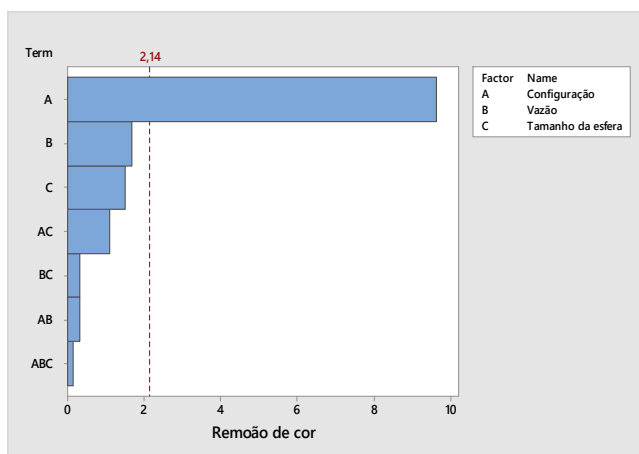


Figura 5: Gráfico de Pareto sobre remoção de cor.

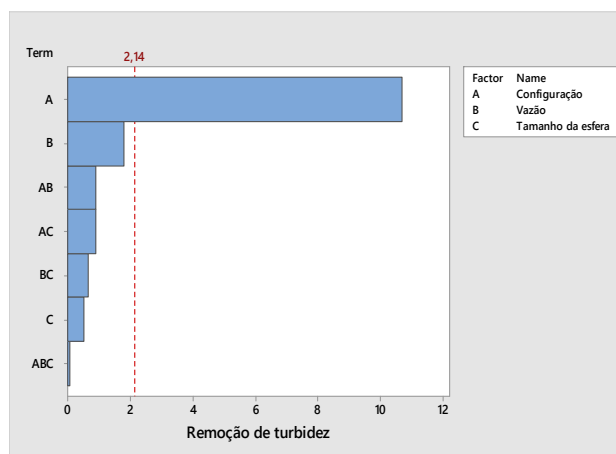


Figura 6: Gráfico de Pareto, remoção de turbidez.

Conforme apresentado na figura 8, a configuração em série proporcionou maior remoção de cor e turbidez, de modo que, associada à vazão mais baixa (0,5 L/min), bem como a esfera de menor diâmetro, obteve o resultado mais significativo. Estes resultados elucidam a simulação feita pelo gráfico de Pareto (figura 3 e 4), onde a variável configuração foi a mais significativa para a remoção desses parâmetros.

Devido à baixa vazão de entrada, a água passa através das esferas de poliestireno com baixa velocidade, de modo que, a aderência das partículas a superfície do leito filtrante por meio de atração eletrostática, retira a cor e a turbidez. Na figura 7 está apresentada a média das vazões na saída dos três reatores, relacionadas à configuração em série, uma vez que a mesma apresentou a maior eficiência no processo de tratamento das águas.

Conforme observado na figura 7, a vazão diminui a medida que a água passa para o reator seguinte, devido a redução da velocidade em consequência da agregação e aderência das partículas na superfície das esferas. A filtração é o resultado da ação de três mecanismos distintos: transporte, aderência e desprendimento.

Segundo Melo (2014), os mecanismos de transporte são responsáveis por conduzir as partículas suspensas para as proximidades das superfícies dos coletores (leito filtrante), quando essas partículas ficam aderidas removem as substâncias minerais, orgânicas e os sólidos em suspensão da água, diminuindo assim a cor e a turbidez.

Analisando os resultados apresentados na figura 8, podemos observar que, conforme a vazão e tamanho da esfera vão aumentando, a eficiência de remoção desses parâmetros não sofre grandes variações, porém quando se utiliza a configuração em paralelo, a eficiência cai mais de 50%, em todos os pontos analisados. A utilização desse material apresentou elevada capacidade de filtração, conforme também descrito por Nikoonahad et al. (2017).

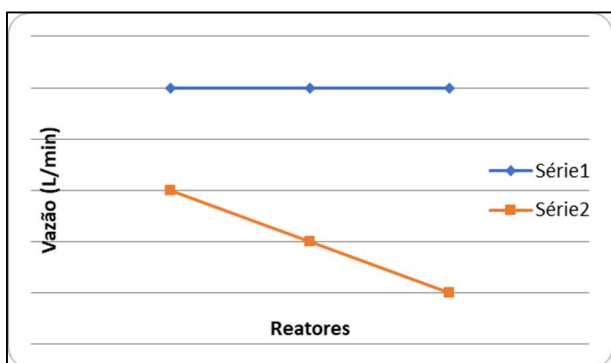


Figura 7: Média das vazões medidas na saída dos três reatores.

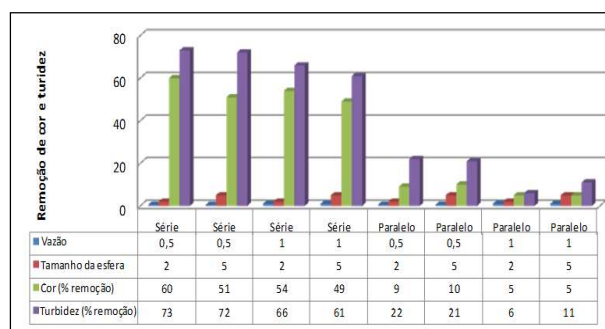


Figura 8: Remoção de cor e turbidez em função da vazão e tamanho das esferas de poliestireno.

Por meio do teste Anova (tabela 3), feito para analisar as variáveis vazão e tamanho da esfera, com base na remoção da cor e da turbidez, observa-se que há diferença significativa entre as médias, uma vez que o valor de P é menor que 0,05. Desse modo, a associação entre a configuração em série, com a vazão de 0,5 L/min e tamanho da esfera de 2mm, apresentou resultados mais propícios para realizar a remoção dos parâmetros citados.

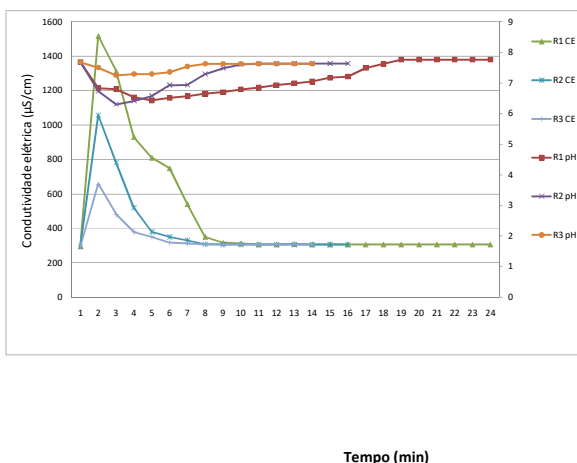
Tabela 3: Análise de variância das variáveis vazão e tamanho da esfera na remoção de cor e turbidez

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	9671,594	3	3223,865	8,780634	0,00029	2,946685
Dentro dos grupos	10280,38	28	367,1563			
Total	19951,97	31				

Após quatro horas de funcionamento o sistema começa a perder sua eficiência, havendo a necessidade da lavagem dos filtros. Esse procedimento foi realizado pela introdução de água no sentido ascensional, com vazão de entrada de 4L/min, para promover a fluidificação parcial do meio granular, com liberação das impurezas.

Na figura 9 estão apresentadas a variação do pH e da condutividade elétrica, durante o processo de retrolavagem dos reatores. Podemos observar que o primeiro reator apresentou maior pico de condutividade elétrica, quando a água entrou em contato com as esferas sujas. Esse resultado é explicado pelo fato desse reator absorver a maior carga de impurezas do efluente. O segundo reator obteve um pico menor, justamente por já receber a água vindo do reator 1, previamente tratada, sendo esse o mesmo

raciocínio aplicado, para o reator 3.



III

Figura 9: Variação do pH e Condutividade elétrica no momento da retrolavagem.

Considerando-se que a vazão utilizada para a retrolavagem foi de 4L/min, na tabela 4 estão apresentados os valores do consumo de água utilizada, para realização desse procedimento, nos três reatores. Vale ressaltar que, apesar do volume de água ser considerável, o mesmo retornava para o tanque de alimentação para ser diluído e assim passar pelo processo de filtração nos reatores.

Tabela 4: Tempo médio para normalização do pH, condutividade elétrica e volume de água utilizado para a retrolavagem.

Dados da lavagem			
Reator	pH	CE	volume de água
1	17 minuto	15 minuto	68 litros
2	14 minuto	11 minuto	56 litros
3	10 minuto	5 minuto	40 litros

Na tabela 4 também estão apresentados o tempo médio para que os valores de pH e condutividade elétrica retornem aos valores iniciais, da água utilizada para lavar o poliestireno. Conforme podemos observar, o primeiro reator demora mais tempo para estabilizar esses parâmetros em virtude de ser o primeiro a receber a carga orgânica do efluente. Em virtude disso ele precisa de uma maior demanda de água para desprender os sais e as impurezas que alteram o pH do isopor.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados, o sistema avaliado obteve resultados significativos quanto à utilização de esferas de poliestireno para remoção de cor e turbidez.

Ao serem analisadas as variáveis de entrada, a configuração em série apresentou maior significância, em relação à vazão e ao tamanho das esferas. As esferas apresentaram grande vida útil, uma vez que suas características como peso e tamanho retornam à normalidade após a lavagem e secagem. Essa característica é explicada pelo fato do material possuir grande poder de agregação das impurezas a sua superfície, sem a absorvê-los.

A retrolavagem garantiu o bom funcionamento do reator por 4 horas. O tempo médio para realização desse procedimento é de 17 minutos, sendo utilizado um volume d'água de 68 litros. Apesar da necessidade

do grande volume de água para lavar o material filtrante, vale ressaltar que essa água retornou para o tanque de alimentação, não proporcionando nenhum dano ao solo, ou águas superficiais.

Diante dos resultados promissores, novos testes como remoção de matéria orgânica e microrganismos estão sendo realizados, para conclusão de trabalho de tese. Outra questão que será avaliada é a redução do volume de água utilizada para lavar o reator.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. R. S.; ARAÚJO, S. M. S.; FRANÇA, K. B.; PEARSON, H. W.. Qualidade das águas superficiais da universidade federal de campina grande: riscos e benefícios para reuso. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.2, p.170-184, 2018. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.002.0015>

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; OLIVEIRA, P. M.. Fertirrigação do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.23, n.5, p.833-839, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018136152>

AZEVEDO, P. R. L.; JÚNIOR, E. B. P.; MOREIRA, J. N.; BEZERRA, D. E. L.; FILHO, P. L.. Reúso de água e efluente agroindustrial na produção de mudas de gravoileira. **Revista Verde**, v.14, n.1, p.05-11, 2019.

BATISTA, R. O.; MARTINEZ M. A.; PAIVA, H. N.; BATISTA, R. O.; CECON, P. R.. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, v.24, n.1, p 127-135, 2014.

BARBONI, J. T.; ROCHETTO, U. L.. Análise da eficiência de fossa séptica biodigestora para tratamento de esgotos domésticos em área rural. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 11. **Anais**. 2014.

BEZERRA, D. E. L.; FILHO, P. L.; JÚNIOR, E. B. P.; AZEVEDO, P. R. L.; SILVA, E. A.. Reúso de água na irrigação de mudas de mamoeiro no Semiárido brasileiro. **Revista Verde**, v.14, n.1, p.05-11, 2019.

BRASIL. **Lei 11.445, de 05 janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2007.

COSTA, F. G. B.. Desenvolvimento inicial de cultivares de melão fertirrigadas com distintas proporções de esgoto doméstico em Mossoró/RN. **Revista Caatinga**, v.27, n.2, p.116-123, 2014.

MELO, A. R. B.. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativado**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

NIKOONAHAD, A.; GHANEIAN, M. T.; MAHVI, A. H.; EHRAMPOUSH, M. H.; EBRAHIMI, A. A.; LOTFI, M. H.; SALAMEHNEJAD, S.. Aplicação do novo Modified Biological Aerated Filter (MBAF) como promissor pós-tratamento para reutilização de água: Modificação em processo de configuração e retrolavagem. **Journal of Environmental Management**, v.203, p.191-199, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.062>

SCHÖNTAG, J. M.. **Esferas de poliestireno como elemento filtrante em filtração rápida descendente**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SANTOS, E. A.. **Reúso de efluentes de filtros intermitentes tratando águas residuárias para produzir tomate cereja**. Monografia (Bacharelado em engenharia sanitária e ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, João Pessoa, 2014.

OLIVEIRA, L. S.. **Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido (isopor) em compósitos cimentícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João Del-Rei, São João Del Rei, 2013.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.