

AREIA BRANCA DE CAMPINARANA COMO ELEMENTO FILTRANTE PARA FILTRO DE AREIA EM SISTEMAS DE MICROIRRIGAÇÃO¹

JOELTON DE LIMA BARATA² E LEONARNO PAULA DE SOUZA³

¹ Artigo extraído da Dissertação do primeiro autor

² Eng. Agrônomo, Mestre, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, Rodovia BR 364, Km 04 - Distrito Industrial, CEP. 69920-900, Rio Branco, Acre, Brasil, joelton.barata@ufac.br

³ Eng. Agrícola, Doutor, Professor adjunto do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rodovia BR 364, Km 04 - Distrito Industrial, CEP. 69920-900, Rio Branco, Acre, Brasil, Laboratório de Mecanização, leonardo.souza@ufac.br

1 RESUMO

Em sistemas de microirrigação é fundamental que a água seja corretamente filtrada para a retirada de impurezas que possam comprometer o funcionamento e o manejo do sistema. Nesse sentido, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a qualidade da areia branca de Campinarana (ABC) da região de Mâncio Lima, Acre, localizada na Amazônia Ocidental brasileira como elemento filtrante para filtro de areia. Avaliou-se o coeficiente de uniformidade, massa específica, diâmetro equivalente, porosidade, esfericidade e eficiência de remoção de sólidos em suspensão por um sistema de filtragem e retrolavagem construído a partir de tubos e conexões em PVC rígido. Os parâmetros avaliados demonstraram que a ABC com diâmetro médio das partículas de 0,6 mm ou 1,2 mm podem ser utilizadas como elemento filtrante do filtro de areia em sistemas de microirrigação. Entretanto, partículas da ABC com diâmetro médio de 0,6 mm retiveram até 12% a mais de sólidos em suspensão em relação às partículas com diâmetro médio de 1,2 mm.

Palavras-chave: filtro alternativo, irrigação localizada, Amazônia Ocidental.

BARATA, J. L.; SOUZA, L. P.

WHITE SAND OF CAMPINARANA AS A FILTERING ELEMENT FOR SAND FILTER IN MICROIRRIGATION SYSTEMS

2 ABSTRACT

In microirrigation systems, it is essential that the water is correctly filtered to remove impurities that may compromise the functioning and management of the system. In this sense, the general objective of this research was to evaluate the quality of the white sand of Campinarana (WSC) from the region of Mâncio Lima, Acre, located in the Western Brazilian Amazon as a filtering element for sand filter. The uniformity coefficient, specific mass, equivalent diameter, porosity, sphericity, and removal efficiency of suspended solids were evaluated by a filtration and backwash system built from pipes and connections of rigid PVC. The evaluated parameters demonstrated that the WSC with average particle diameter of 0.6 mm or 1.2 mm can be used as a filtering element of sand filter in microirrigation systems. However, WSC particles with an average diameter of 0.6 mm retained up to 12% more suspended solids than particles with an

average diameter of 1.2 mm.

Keywords: alternative filter, localized irrigation, Western Amazon.

3 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos no estado do Acre, tem ocorrido um aumento de cultivos irrigados por microirrigação (gotejamento e microaspersão), dentre esses estão o maracujazeiro, mamoeiro, hortícolas, café Canéfora e o açaizeiro em área de terra firme.

Geralmente, na irrigação dessas culturas são utilizadas fontes de água bruta com grandes concentrações de partículas em suspensão (SERRANO *et al.*, 2018b). Além disso, a água utilizada na irrigação pode apresentar materiais biológicos suspensos, fruto da decomposição vegetal da floresta, obrigando os irrigantes a filtrarem a água em seu sistema de irrigação para evitar a obstrução dos emissores.

Essa elevada concentração de partículas é comum em rios de bacias sedimentares, a exemplo da bacia hidrográfica do Rio Acre, na qual as concentrações de partículas suspensas podem chegar a 840 mg L⁻¹, o que além do entupimento de emissores em sistemas de irrigação, pode provocar também a corrosão por abrasão nos rotores das bombas de sucção (SERRANO *et al.*, 2018a).

Os parâmetros operacionais estabelecidos para a utilização correta dos filtros em muitos casos não são alcançados, uma vez que há poucas referências sobre o

tema; e as informações técnicas sobre a operação do equipamento para as condições brasileiras usualmente são dispersas e/ou insuficientes. Esse fator aliado à assistência técnica limitada, são problemas com os quais os agricultores precisam lidar e que conseqüentemente podem levar à sua insatisfação, visto que resultam em baixos desempenhos dos sistemas de irrigação, acarretando em aumento de custos de manutenção do sistema (TESTEZLAF, 2008).

Nesse sentido, o objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a qualidade da areia branca de Campinarana da região de Mâncio Lima, Acre, localizada na Amazônia Ocidental brasileira, como elemento filtrante para filtro de areia em sistemas de microirrigação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Mecanização da Universidade Federal do Acre em Rio Branco, durante os meses de março a junho do ano de 2020. Inicialmente, avaliou-se as características granulométricas da areia branca de Campinarana (ABC) (Figura 1) e, posteriormente, a remoção dos sólidos em suspensão na água de irrigação.

Figura 1. Imagem da areia branca de Campinarana em diferentes diâmetros de peneiras durante o processo de determinação granulométrica.



Fonte: Autores (2020).

Foram coletadas duas amostras de 50 Kg da ABC na região de Mâncio Lima, Acre, para a caracterização física do material e remoção de sólidos em suspensão. Para a caracterização granulométrica da ABC, adotou-se o método descrito pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 11799 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2016). A ABC foi seca a 105°C em estufa por 3 horas e, após esse período, retirou-se 100g para peneiramento por agitação. As peneiras utilizadas apresentavam aberturas de 2,36 mm; 2,00 mm; 1,70 mm; 1,40 mm; 1,18 mm; 1,00 mm; 0,85 mm; 0,71 mm; 0,60 mm; 0,50 mm e 0,42 mm.

Esse procedimento foi realizado em triplicatas e com os valores computados para cada granulometria, foram calculadas suas respectivas médias. Após o peneiramento, as massas retidas foram determinadas e convertidas em valores de porcentagem para traçar-se a curva granulométrica a fim de estimar-se o diâmetro efetivo dos grãos que permitiram a passagem de 10% e 60% do material, D_{10} e D_{60} , respectivamente, e com esses dados, calculou-se o coeficiente de uniformidade (CU) conforme a Equação 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995).

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Em que, CU é o coeficiente de uniformidade da areia (adimensional); D_{60} é o diâmetro, em mm, de peneira que permite a passagem de 60% do material; e D_{10} é o diâmetro, em mm, de peneira que permite a passagem de 10% do material.

A massa específica (ρ_s) foi quantificada a partir de 20g da amostra seca, a qual foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL e, posteriormente, com o auxílio de uma bureta, foi preenchida com etanol absoluto até cobrir a amostra, em seguida, homogeneizou-se o material para retirar as bolhas, tomando-se o cuidado de não deixar grânulos acima do menisco da vidraria. O material permaneceu em repouso por 15 minutos, agitando-se novamente após esse período, em seguida, deixou-se a amostra em repouso por 24h. Após decorrido esse período, completou-se o volume para 50 mL, utilizando-se álcool, anotando-se o volume total gasto. Com essas informações, a massa específica foi calculada pela Equação 2 (AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL, 2007).

$$\rho_s = \frac{m_g}{V_b - V_a} \quad (2)$$

Em que, ρ_s é a massa específica (g cm^3); m_g é a massa dos grãos (gramas); V_b é o volume de álcool (cm^3); e V_a é o volume

ocupado pela areia (cm³).

Para determinar o diâmetro equivalente (D_{eq}) da areia, utilizou-se o método de Cleasby e Fan (1981), onde para tal, foi mensurada a massa de 200 grãos para amostras com menos de 1,0 mm e 150 grãos para diâmetros maiores, o diâmetro equivalente foi então calculado conforme a Equação 3.

$$D_{eq} = \left[\frac{6}{\pi} * \frac{m}{\rho_s} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

Em que, D_{eq} é o diâmetro equivalente (mm) e m é a massa média dos grãos (g).

A porosidade (\mathcal{E}) foi calculada segundo o método descrito pela American Water Works Association (1999), pelo qual a porosidade pode ser determinada ao medir-se o volume de 200 cm³ da amostra com auxílio de proveta e funil, tendo-se o cuidado de manter a uniformidade de queda do material, determinando-se posteriormente a sua massa. O procedimento foi repetido cinco vezes, sendo utilizada a média dessas repetições no cálculo dessa variável, aplicando-se a Equação 4.

$$\varepsilon = \left(\frac{V_t - \frac{m_g}{\rho_s}}{V_t} \right) * 100 \quad (4)$$

Em que, ε é a porosidade (%); V_t é o volume total (cm³); m_g é a massa dos 200 cm³ da amostra (g).

A esfericidade foi determinada de acordo com a metodologia de Di Bernardo e Dantas (2005). Primeiro, retirou-se 23 grãos de areia das amostras previamente secas, e colocando-os sobre um papel milimetrado e, em seguida, com o auxílio de um microscópio estereoscópico foi realizada a classificação visual.

Para realizar os testes de remoção dos sólidos em suspensão na água, foram montados dois filtros de areia, construídos a partir de tubos e conexões em PVC rígido (Figura 2). O diâmetro dos filtros foi de 75 mm e a pressão nominal de 80 mca. Os filtros foram instalados em sequência para possibilitar a retrolavagem. A pressurização foi realizada por um conjunto motobomba de 0,5 CV, com altura manométrica total de 28 mca e vazão máxima de 1.800 L h⁻¹, que foi conectado a um reservatório com capacidade de 1.000 L.

Figura 2. Imagem dos filtros de areia construídos em material de PVC rígido para avaliar a eficiência de remoção dos sólidos em suspensão presentes na água.



Fonte: Autores (2020).

Na saída da bomba foi instalado um manômetro para verificar a pressão de funcionamento. A vazão do sistema foi calculada cronometrando-se o tempo gasto para encher um reservatório de 20 litros (SALCEDO, 2010), sendo controlada por meio da abertura de um registro instalado entre a bomba e o reservatório. A vazão ajustada para os testes de filtração foi de 760 L h^{-1} . A eficiência de remoção, para o caso específico de sólidos suspensos totais, foi calculada pela Equação 5 (AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, 1994).

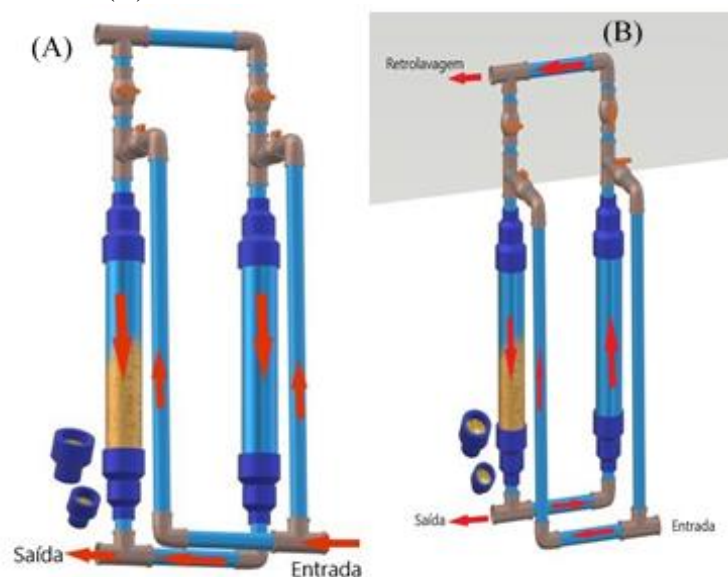
$$E_r = \left(1 - \frac{SST_2}{SST_1}\right) * 100 \quad (5)$$

Em que, E_r é a eficiência de remoção (%); SST_2 é a concentração de sólidos suspensos totais no afluente do filtro (g L^{-1}) e SST_1 é a concentração de sólidos suspensos totais no efluente do filtro (g L^{-1}).

Durante o tempo de 60 minutos, a cada 10 minutos na vazão efluente, coletava-se em recipiente plástico, três amostras de água, que na sequência, foram secas em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ (BAIRD; EATON; RICE, 2017).

A eficiência de remoção do sistema de filtração foi realizada em duas granulometrias da ABC, 0,6 mm e 1,2 mm para uma coluna de areia de 25 cm. Para a areia com diâmetro de 0,6 mm, utilizou-se uma composição de material de suspensão de 2,5; 3,5 e $5,0 \text{ g L}^{-1}$ e para a areia com diâmetro de 1,2 mm a composição de 2,5; 5,0 e $10,0 \text{ g L}^{-1}$, sob agitação manual constante no reservatório. Após cada avaliação, foi realizada a retrolavagem do sistema de filtração com água limpa, para a retirada do material retido na coluna de areia, esse processo foi realizado invertendo o fluxo da água no sistema (Figura 3).

Figura 3. Fluxo da água no filtro durante os testes de remoção dos sólidos em suspensão (A) e fluxo da água durante a retrolavagem do sistema para remoção dos sólidos retidos na camada de areia (B).



Fonte: Autores (2020).

Foi realizada a análise descritiva dos dados e os resultados da eficiência de remoção dos sólidos em suspensão presentes na água em função do tempo de funcionamento foram analisados graficamente e pelo teste t de Student para a comparação das médias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os filtros de areia não foram avaliados quanto as pressões de funcionamento e perda de carga. O sistema de retrolavagem funcionou adequadamente, possibilitando remover o material retido pela coluna de areia (Figura 4).

Figura 4. Camada de areia do elemento filtrante após a filtração da água (A) e depois da retrolavagem (B).

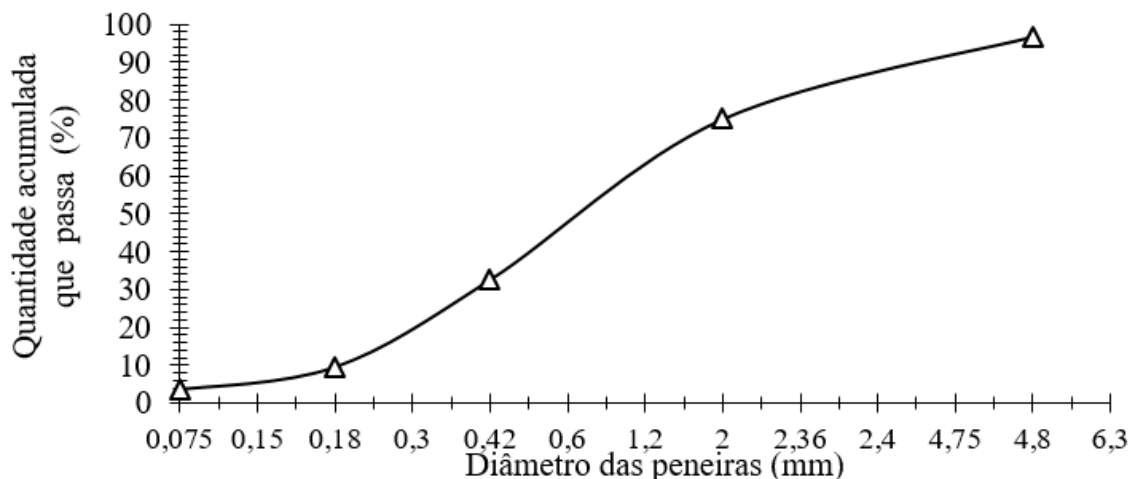


Fonte: Autores (2020).

A ABC em sua composição apresentou 28% de pedregulho, sendo que desses, apenas 3,2% foram classificados como médios, e o restante foi classificado como fino. Já a fração areia que representou 71,4% da composição da ABC, constituiu-se

por 28,6% de areia grossa, 28,4% de areia média e 14,4% de areia fina. Os 0,6% que não ficaram retidos nas peneiras pertencem à fração que pode ser classificada como silte conforme a curva granulométrica (Figura 5).

Figura 5. Curva granulométrica da areia branca de Campinarana da região de Mâncio Lima, Acre.



Dentre as frações analisadas da ABC, constatou-se que os diâmetros dos grãos compreendidos no intervalo de 0,42 mm a 4,8 mm podem ser utilizados como elemento filtrante para filtros de areia, o que converte em um aproveitamento estimado de 60% do perfil granulométrico, tendo o coeficiente de variação da distribuição das frações nas amostras variando no intervalo de 6,76 a 15,87. Isso mostra que o material está distribuído uniformemente pela mina, com exceção dos diâmetros acima de 2,4 mm, que estão presentes em quantidades menores e, portanto, a simples ocorrência desses fragmentos na amostra já aumenta a variabilidade.

Esse perfil granulométrico apresentou coeficiente de uniformidade de 7,22, classificado pela ABNT NBR 6502/95 como medianamente uniforme, não sendo adequado para uso em filtros, por isso foi

necessário separar a amostra em faixas granulométricas, dentre as quais foram selecionadas duas. A primeira faixa foi definida como os grãos que passaram pela peneira de 1,2 mm e ficaram retidos na de 0,6 mm, a segunda faixa foi dos grãos que passam na peneira de 2,4 mm e ficaram retidos na peneira de 1,2 mm, sendo nomeadas como “areia 0,6” e “areia 1,2”.

Com essa separação, as amostras se tornaram uniformes (Tabela 1), estando inclusive de acordo com o que preconizam Testezlaf, Deus e Mesquita (2014), que afirmam que o resultado do coeficiente de uniformidade deve estar entre 1,4 e 1,6 para que o material possa ser usado em filtros de areia, uma vez que esses valores melhoram a permeabilidade da água, pois reduzem a compactação do leito filtrante.

Tabela 1. Parâmetros da areia branca de Campinarana separada para utilização como elemento filtrante para os filtros de areia em sistemas de microirrigação.

Parâmetros	Areia 0,6	Areia 1,2
Coefficiente de uniformidade	1,43	1,44
Massa específica (g cm ⁻³)	2,60	2,60
Diâmetro equivalente (mm)	0,53	0,84
Porosidade (%)	14,83	18,00
Esfericidade	0,85	0,85

A massa específica manteve-se a mesma para as duas granulometrias da areia. Essa característica identificada demonstra que as granulometrias possuem a mesma origem geológica e sofreram desgastes semelhantes por estarem depositadas em locais próximos, sofrendo assim, processos idênticos de formação, e possuindo concentrações idênticas dos minerais formadores (MESQUITA, 2014).

A porosidade média das areias 0,6 e 1,2 foi de 37% e 38%, respectivamente, esse valor difere dos resultados obtidos por Chang *et al.* (1999) em seus estudos, que avaliaram areia com diâmetro entre 0,5 e 1,5 mm, encontrando valores de porosidade entre 40% e 43%. Essa diferença de porosidade é devido às partículas da areia apresentarem pontos de arredondamento, o que permite melhor encaixe entre os grãos, reduzindo os espaços vazios (MESQUITA, 2014).

O valor médio da esfericidade das duas granulometrias da ABC foi de 0,85, esse resultado corrobora com o resultado obtido por Mesquita (2014) que obteve uma esfericidade de 0,82, ainda segundo esse autor, o valor encontrado está em conformidade com os valores verificados para a areia de sílica que é comumente

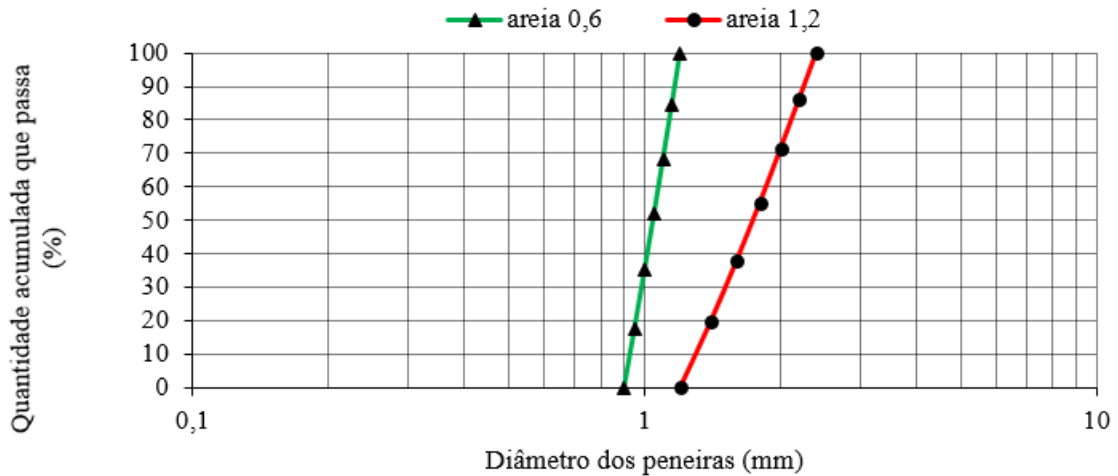
utilizada em filtros de água para irrigação. Diante desse resultado, infere-se que areias com essa esfericidade são caracterizadas como de formato esférico (FAIR; GEYER; OKUN, 1968; RITTENHOUSE, 1943).

Segundo Phillips (1995), são areias adequadas para utilização em filtros de irrigação àquelas que possuem arestas, contudo não são afiadas e angulares, o que pode reduzir a eficiência de filtração. Tal característica favorece a retrolavagem, pois as partículas de sujeira se desprendem com mais facilidade, aumentando a eficiência da limpeza do sistema de filtragem.

Desta forma, a ABC da região de Mâncio Lima, Acre, localizado na Amazônia Ocidental brasileira, atende aos requisitos necessários que a credenciam como elemento filtrante para filtros de areia em sistemas de microirrigação.

Ao se traçar a curva granulométrica das amostras (Figura 6), constatou-se a não apresentação da curva em “S”, característica para esse tipo de dados, em decorrência da redução da variabilidade do tamanho de grãos, porém observa-se uma reta com posição levemente inclinada (encurvada), atestando novamente a uniformidade das amostras.

Figura 6. Curvas granulométricas da areia branca de Campinarana selecionadas para utilização como elemento filtrante em filtro de areia para sistemas de microirrigação.



Após a caracterização e separação da granulometria da ABC, seguiu-se com os testes de remoção de sólidos em suspensão presentes na água para a areia com diâmetro das partículas de 0,6 mm e 1,2 mm. Nas Figuras 7 e 8 são demonstrados os resultados da eficiência de remoção dos sólidos em suspensão. Nota-se que a eficiência de remoção foi aumentando gradativamente à medida que o afluyente apresentou maior

quantidade de sólidos suspensos. O teor de sólidos suspensos totais menor do que 50 mg L^{-1} ($0,05 \text{ g L}^{-1}$) oferece baixo risco ao entupimento de gotejadores (BUCKS; NAKAYAMA; GILBERT, 1979). É possível constatar ainda que há um aumento da retenção dos sólidos em suspensão na ordem de 3,21% para cada $0,5 \text{ g L}^{-1}$ da carga sólida em suspensão presente na água.

Figura 7. Remoção de sólidos em suspensão na água pela areia branca de Campinarana com diâmetro de 0,6 mm e coluna de 25 cm, com vazão de filtragem de 760 L h^{-1} .

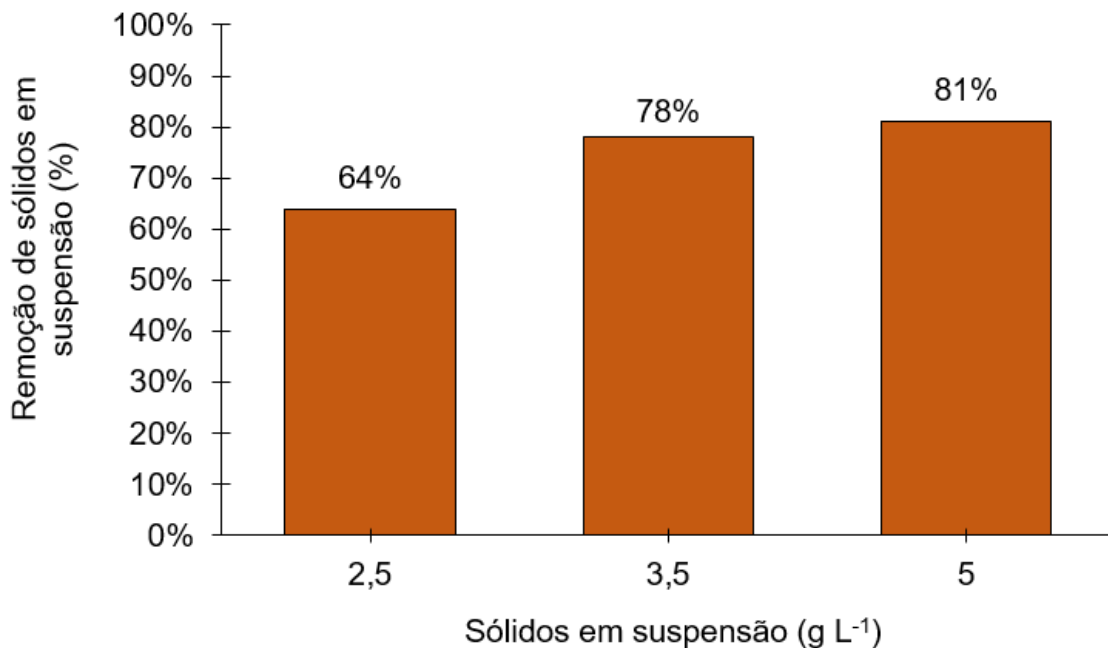
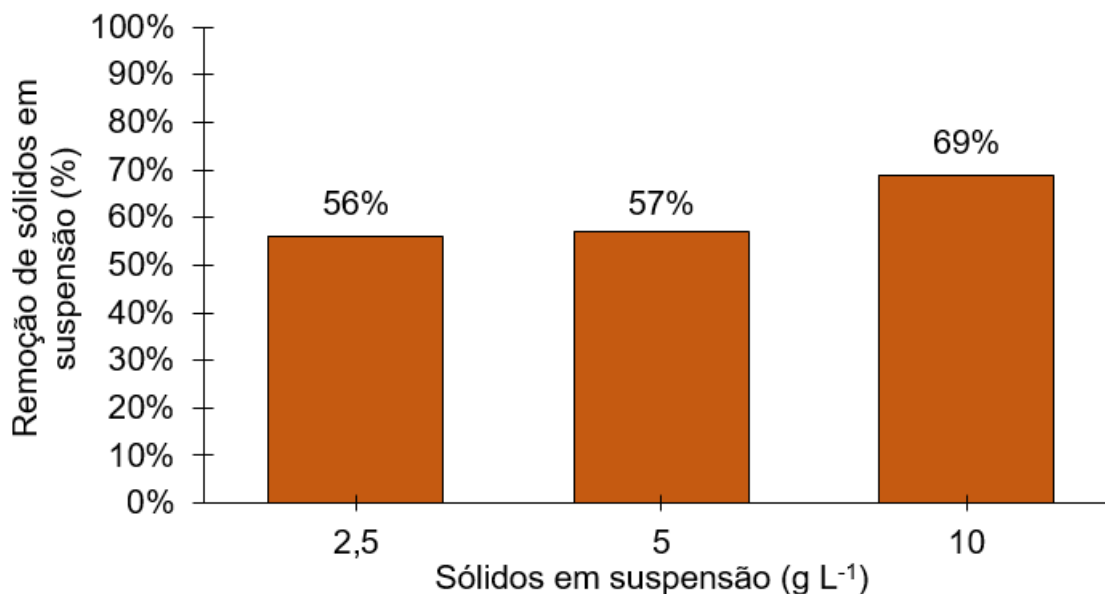


Figura 8. Remoção de sólidos em suspensão na água pela areia branca de Campinarana com diâmetro de 1,2 mm e coluna de 25 cm, com vazão de filtragem de 760 L h⁻¹.



Analisando os resultados na Figura 8, observa-se que o percentual de remoção dos sólidos em suspensão foi, em média, de 56,5% para as dosagens de 2,5 e 5 g L⁻¹ presentes na água da irrigação. Na medida em que a presença de material em suspensão aumentou para 10 g L⁻¹, aumentou também o percentual de material retido no elemento de filtragem. Para esses três testes, após uma hora de funcionamento, não foi observado aumento de pressão pelo manômetro instalado na entrada do sistema de filtragem.

A comparação de médias pelo teste “t”, demonstrou que a areia 0,6 mm é mais eficiente que a areia 1,2 mm, com intervalo de confiança variando de 68% a 80% e 51% a 71% respectivamente, essa diferença é atribuída a maior porosidade da areia 1,2 mm (Tabela 1), o que permite a passagem média dos sólidos em suspensão da ordem de 40% presentes na água bombeada. Contudo, para ambos os tratamentos, os sólidos não removidos foram identificados como do tipo argila, menor que 0,002 mm de diâmetro. Nesse caso, recomenda-se instalar no final das linhas laterais de irrigação, válvulas de descarga e realizar a limpeza do sistema com maior frequência, assim, o risco de obstrução dos emissores é reduzido.

Considerando os resultados obtidos (Figuras 7 e 8), os maiores valores de remoção dos sólidos em suspensão foram obtidos para a ABC com diâmetro médio das partículas de 0,6 mm, chegando a reter 81% do material após 1 hora de funcionamento do sistema de filtragem. O aumento na taxa de filtração, associado à diminuição da granulometria de areia, aumenta a eficiência de remoção, mas acentua a perda de pressão com o tempo, o que diminui a remoção das partículas menores ao longo dos ciclos de filtração (DEUS; TESTEZLAF; MESQUITA, 2015).

No entanto, poderá ser adotada qualquer uma das duas granulometrias (0,6 mm ou 1,2 mm) da ABC em filtro de areia para os sistemas de microirrigação. Destaca-se ainda que, não ocorreu aumento de pressão em nenhum dos testes em função da vazão de filtragem e tempo estudados, isso indica que a retrolavagem do elemento filtrante pode ser executada após um período maior de funcionamento.

6 CONCLUSÕES

Os parâmetros avaliados demonstraram que a areia branca de Campinarana com diâmetro médio das partículas de 0,6 mm ou 1,2 mm podem ser utilizadas como elemento filtrante do filtro de areia em sistemas de microirrigação. Entretanto, destaca-se que partículas da areia branca de Campinarana com diâmetro médio de 0,6 mm retiveram até 11% a mais de sólidos em suspensão em relação às partículas com diâmetro médio de 1,2 mm.

7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Acre pela concessão de auxílio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa, referente à outorga 011/2018 - Programa Primeiros Projetos, edital n. 003/2016 FAPAC/CNPq.

8 REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ANSI/ASAE S539**. Media filters for irrigation: testing and performance reporting. St. Joseph: ASABE, 1994.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL. **ASTM C128-07a**. Density, relative density (Specific Gravity), and absorption of fine Aggregate. Philadelphia: ASTM, 2007.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water quality and treatment**: Handbook of community water supplies. 5. ed. New York McGraw Hill Inc., 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11799**: Material Filtrante: Areia, antracito e pedregulho - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BAIRD, R. B.; EATON, A. D.; RICE, E. W. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.
- BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam: v. 2, n. 2, p. 149-162, 1979.
- CHANG, M.; TRUSSELL, R.; GUZMAN, V.; MARTINEZ, J.; DELANEY, C. Laboratory studies on the clean bed head loss of filter media. **Journal of Water Supply: Research and Technology - aqua**, Oxford, v. 48, n. 4, p. 137-145, 1999.
- CLEASBY, J. L.; FAN, K. S. Predicting fluidization and expansion of the filter media. **Journal environmental engineering**, New York, v. 107, n. 3, p. 455-471, jun. 1981.
- DEUS, F. P.; TESTEZLAF, R.; MESQUITA, M. Eficiência de filtros de areia pressurizados na remoção de diferentes tamanhos de partículas da água de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 10, p. 939-948, out. 2015.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 3. ed. São Carlos: LDiBe Editora, 2005.

FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUN, D. A. **Water and Wastewater Engineering**. New York: John Willey & Sons Inc., 1968.

MESQUITA, M. **Desenvolvimento tecnológico de um filtro de areia para irrigação localizada**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

PHILLIPS, K. P. Long-term operation of microirrigation filtration systems: successes, failures and operational solutions. *In*: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 15., Orlando, 1995. **Proceeding** [...]. Orlando: ASAE, 1995. p. 579-585.

RITTENHOUSE, G. A visual method of estimating two-dimensional sphericity. **Journal Sedimentary Petrology**, Mclean, v. 13, n. 2, p. 79-81, ago. 1943.

SALCEDO, J. C. R. **Efeito das características granulométricas e da altura da camada filtrante no processo de retrolavagem em filtros de areia**. 2010. Tese (Mestrado em Água e Solo) –

Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

SERRANO, R. O. P.; SANTOS, L. P.; VIANA, E. M. F.; PINTO, M. A.; MARTINEZ, C. B. Case study: Effects of sediment concentration on the wear of fluvial water pump impellers on Brazil's Acre River. **Wear**, Lausanne, v. 408-409, p. 131-137, maio 2018a.

SERRANO, R. O. P.; SANTOS, L. P.; RICO, E. A. M.; PINTO, M. A.; VIANA, E. M. F.; MARTINEZ, C. B. Abrasive effects of sediments on impellers of pumps used for catching raw water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 9, p. 591-596, set. 2018b.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 604-613, jul./set. 2008.

TESTEZLAF, R.; DEUS, F. P.; MESQUITA, M. **Filtros de areia na irrigação localizada**. Campinas: Unicamp, 2014.