

## IV-084 - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DEPOSIÇÃO SECA E DA MODIFICAÇÃO EM DISPOSITIVO AUTOMÁTICO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

**Selma Thaís Bruno** <sup>(1)</sup>

Doutora em Engenharia Civil. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN.

**Luttemberg Ferreira de Araújo** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Civil. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Doutorando em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – UFPE.

**Thais Tainan Santos da Silva** <sup>(3)</sup>

Engenheira Civil. Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGCAM) – UFPE.

**Sylvana Melo dos Santos** <sup>(4)</sup>

Doutora em Engenharia Civil. Professora da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

**Savia Gavazza** <sup>(5)</sup>

Doutora em Engenharia Civil, Hidráulica e Saneamento. Professora da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Laboratório de Saneamento Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco. Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária, CEP 50740-530 Recife, PE. E-mail: savia@ufpe.br

### RESUMO

A captação e aproveitamento de água de chuva é cada vez mais crescente, mesmo em regiões com abundância hídrica. No semiárido brasileiro o armazenamento da chuva historicamente se dá por meio de cisternas e o aproveitamento é observado inclusive para fins de consumo humano. Qualidade do ar atmosférico, deposição seca e manejo são importantes fatores que contribuem para afetar a qualidade da água de chuva. As barreiras sanitárias contribuem para barrar ou minimizar a entrada de poluentes em cisternas e são fundamentais para manutenção da qualidade da água de chuva, possibilitando a ampliação de uso desta inclusive para fins restritivos como o consumo humano. Nesta pesquisa avaliou-se o desempenho do dispositivo de desvio dos primeiros milímetros de água de chuva, denominado DesviUFPE, na retenção de poluentes após intervalo de seca de quinze dias, assim como, realizou-se modificação em sua configuração original a fim de observar em qual situação era mais eficiente a retenção de sólidos flutuantes em seu interior. Observou-se que a contaminação da água de chuva aumentou ao longo dos dias de deposição seca. A maior eficiência na retenção de cor verdadeira, no interior do DesviUFPE, foi de 66,6%. Aumento acentuado da cor verdadeira a partir do sexto dia de veranico foi observado e indica que cinco dias sem precipitação são suficientes para requerer o uso do desvio num evento sequente. O DesviUFPE apresentou robustez em reter turbidez em seu interior ao longo de todo o experimento. A eficiência na retenção desta foi sempre crescente e já a partir do terceiro dia de deposição seca o DesviUFPE demonstrou eficiência acima de 90%. Considerando que após cinco dias sem precipitação é necessário novo descarte pelo parâmetro cor verdadeira, o mesmo período de veranico pode ser utilizado para a turbidez, pois não houve perda de qualidade na água de chuva analisada. Na segunda etapa do estudo, observou-se que a mudança na estrutura do DesviUFPE melhorou a qualidade da água de chuva no que diz respeito a remoção de materiais flutuantes. A retenção de turbidez e sólidos suspensos totais aumentou quatro e sete vezes, entre as amostras coletadas no DesviUFPE em sua estrutura original e após modificação, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água de chuva, barreira sanitária, deposição seca.

### INTRODUÇÃO

A escassez de água é um problema em escala macro que afeta boa parte da população mundial. Segundo Gohari *et al.* (2013) a disponibilidade hídrica pode contribuir para o crescimento econômico e populacional e, crises hídricas são obstáculos para o desenvolvimento sustentável, sendo esta uma das maiores ameaças para as

sociedades humanas. Diante disto, em regiões de climas áridos e semiáridos, que possuem baixos índices pluviométricos e heterogeneidade de chuvas durante os meses do ano, há uma busca por fontes alternativas de água. Logo, fazer uso de cisternas para armazenamento de água de chuva para suprir o abastecimento humano nas épocas de seca é uma das soluções mais adotadas nessas regiões para minimizar tal problemática.

Apesar de, em geral, a água de chuva ser considerada de boa qualidade, esta pode ser alterada a depender de fatores como qualidade do ar atmosférico, impurezas depositadas sobre a superfície de captação e dutos de condução até as cisternas e, manejo da água para posterior uso (McBEAN *et al.*, 2013). Outro fator importante a se considerar é a deposição seca, que em regiões como o Nordeste brasileiro atua sobre um período prolongado, de cerca de oito meses anuais, e a deposição úmida, que ocorre nos quatro meses restantes, contribui para carrear poluentes acumulados em uma superfície de captação para o interior de cisternas.

Dispositivos de desvio automático de água de chuva são necessários para melhorar a qualidade sanitária da água armazenada em cisternas que é usada principalmente para fins de abastecimento humano. O DesviUFPE tem se mostrado eficiente na retenção de poluentes incorporados a água de chuva, resultando em melhoria da qualidade da água acumulada em cisternas, através do desvio prévio de 1mm de chuva precipitada (CARVALHO *et al.*, 2018).

Entretanto, apesar do DesviUFPE ser uma tecnologia já desenvolvida, com reconhecido potencial para proteção sanitária de cisternas (SILVA *et al.*, 2017), o presente dispositivo pode ser melhorado, principalmente quanto a remoção de materiais flutuantes. Outra importante consideração é em relação ao intervalo de dias sem precipitação durante o período chuvoso, o veranico, que pode exercer influência sobre a qualidade de água de chuva direcionada à cisterna, requerendo, portanto, avaliação da duração do veranico que requer novo desvio das primeiras águas de chuva.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GERAL**

Analisar a influência da deposição seca de contaminantes e de alteração no DesviUFPE para retenção de materiais flutuantes sobre a qualidade da água de chuva encaminhada a cisternas.

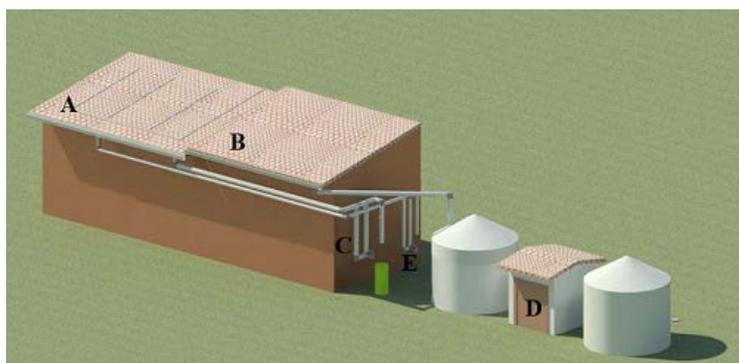
### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar quantos dias de deposição seca são suficientes para contaminação da água de chuva encaminhada a cisternas;

Analisar a capacidade de retenção de sólidos flutuantes em dispositivo de desvio dos primeiros milímetros (DesviUFPE) após modificação em sua estrutura original.

## **METODOLOGIA UTILIZADA**

A pesquisa foi realizada no semiárido pernambucano, no município de Caruaru, localizado cerca de 140 km da capital do Estado, Recife. O trabalho foi realizado na Instalação Experimental de Cisternas (IEC) (Figura 1), localizada no Centro Acadêmico do Agreste (CAA)/UFPE, que oferece condições para realizar simulações de chuva.



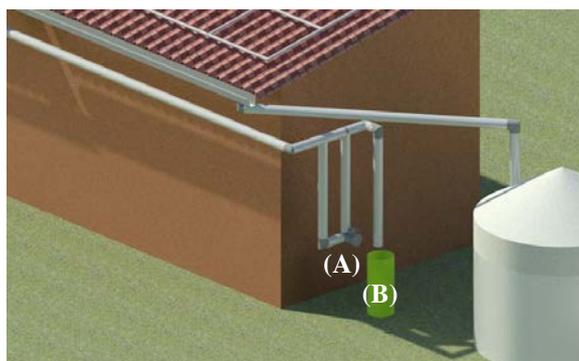
**Figura 1: Instalação Experimental de Cisternas: (A) telhado de 50m<sup>2</sup>; (B) telhado de 59m<sup>2</sup>; (C) DesviUFPE utilizado na primeira etapa, em sua configuração original; (D) Casa de bomba e tanque de armazenamento; (E) DesviUFPE utilizado na segunda etapa, em sua configuração modificada.**

Fonte: Os autores (2019).

A IEC é composta por uma edificação térrea com dois telhados independentes de áreas de 50 m<sup>2</sup> e 59 m<sup>2</sup>, ambos cobertos com telhas cerâmicas, sobre os quais estão dispostos aspersores que, uma vez acionados, vertem água por toda a superfície. Constituem complementos importantes para o adequado funcionamento da IEC tanque de armazenamento da água a ser aspergida, bomba, manômetros, dutos e cisternas. Para as etapas deste trabalho foi usado apenas a metade do telhado de 50 m<sup>2</sup> com os aspersores devidamente posicionados e com o dispositivo de desvio automático, chamado DesviUFPE, conectado ao telhado.

#### PRIMEIRA ETAPA: DEPOSIÇÃO SECA

No presente estudo foi analisada a interferência da deposição seca (veranico) na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas, com simulações pluviométricas que interromperam distintos intervalos de estiagem. A simulação de chuva se deu através da aspersão de água fornecida pelo sistema público de abastecimento e os períodos de estiagem realizados foram: 1 dia, 2 dias, 3 dias, 4 dias, 5 dias, 6 dias, 7 dias e 15 dias. Para garantir eficiência na simulação de chuva foi instalado um medidor de pressão (manômetro) com a finalidade de monitorar e controlar a intensidade da chuva simulada. Lima (2012) propôs uma curva para estabelecer a intensidade pluviométrica do sistema da instalação experimental a partir da pressão no barrilete. Para a realização deste experimento, utilizou-se a pressão de 5 mca, que corresponde a precipitação típica aproximada da área de estudo, que é 23 mm/h (APAC, 2019).



**Figura 2: DesviUFPE instalado na IEC: (A) Ponto de coleta no interior do desvio (registro); (B) Ponto de coleta da água de chuva excedente ao primeiro milímetro e armazenada em balde plástico.**

Fonte: Os autores (2019).

Durante o processo de simulação, o primeiro milímetro da água que lavou o telhado após cada período sem chuva considerado, foi direcionado através da calha para o DesviUFPE que exerceu a função de barrar os poluentes, enquanto que o segundo milímetro de precipitação seguiu em direção ao balde de plástico (Figura 2). Dessa forma, os pontos de coleta realizados se deram no interior do DesviUFPE e no balde plástico. A fim de evitar a sedimentação dos sólidos no fundo do balde, foi necessária a agitação constante da amostra para a

devida homogeneização. Os parâmetros analisados foram cor verdadeira, turbidez, condutividade elétrica e pH sendo realizados de acordo com APHA (2017).

Para o dimensionamento do desvio levou-se em consideração a área de captação (25 m<sup>2</sup>), a altura de precipitação (1 L/m<sup>2</sup>) e a capacidade de acúmulo de água em 1 m de tubo de PVC equivalente a 7,854 L/m (Lima, 2012). A quantidade de tubos (em metros) se deu conforme Equação (1) e (2).

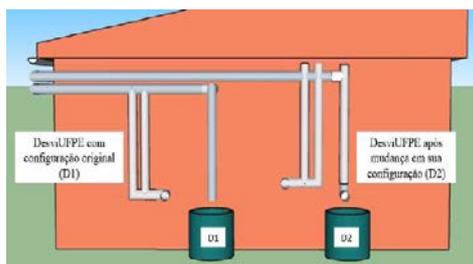
$$\text{Volume descartado em cada dispositivo de desvio} = 25 \text{ m}^2 * 1 \text{ L/m}^2 = 25 \text{ L} \quad \text{equação 1}$$

$$\text{Quantidade metros tubo} = 25 \text{ L} / 7,854 \text{ L/m} = 3,18 \text{ m} \quad \text{equação 2}$$

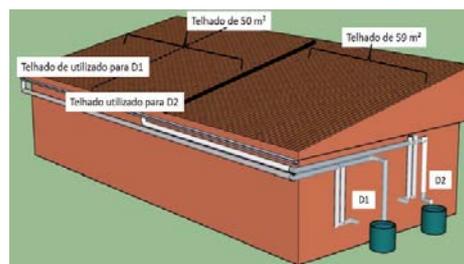
Para facilitar a instalação do dispositivo, optou-se por dividir o tubo em dois seguimentos de 1,6 m de comprimento cada.

## SEGUNDA ETAPA: DESVIUFPE MODIFICADO PARA REMOÇÃO DE MATERIAIS FLOTANTES

Essa etapa do estudo baseou-se em executar modificação no DesviUFPE com o propósito de reter sólidos flutuantes e avaliar a melhoria na qualidade da água de chuva. A modificação foi testada em paralelo com o DesviUFPE em sua configuração original (Figura 3). Os testes foram realizados em escala laboratorial na IEC. O telhado utilizado como superfície de captação possuía 50 m<sup>2</sup> de área, sendo que cada desvio teve área de influência de 25 m<sup>2</sup> (Figura 4) e capacidade de armazenamento de 1mm de água de chuva.



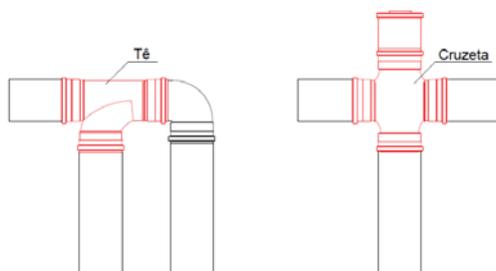
**Figura 3: Configuração dos dispositivos utilizados no estudo.**



**Figura 4: Divisão do telhado utilizado para o estudo.**

Fonte: Os autores (2019).

O DesviUFPE modificado difere na geometria da configuração do original, como mostra a Figura 5, no que diz respeito a uma cruzeta rosqueável que foi utilizada na parte superior de cada tubo, onde os “braços” da cruzeta estão na mesma cota da calha. Essa modificação contribui para que os sólidos leves possam flotar, depositando-se na porção superior da cruzeta.



**Figura 5: Modificação do DesviUFPE.**

Fonte: Os autores (2019).

Por seguinte, foi realizada uma contaminação artificial no telhado (folhas e outros materiais leves encontrados no entorno da cisterna) para avaliar a eficiência dos dispositivos na retenção de materiais flutuantes naturais. Vale ressaltar ainda que a simulação de chuva no telhado da IEC se deu por aspersão de água fornecida pelo sistema público de abastecimento, semelhante ao que foi realizado no experimento do veranico, descrito

anteriormente. A intensidade pluviométrica utilizada foi igual a 39,81 mm/h o que corresponde a uma pressão no barrilete de 10 mca (LIMA, 2012).

Foram coletadas amostras em dois pontos: no interior de cada desvio, que armazenou o primeiro milímetro de precipitação e em balde de plástico, que armazenou o segundo milímetro de precipitação. Os parâmetros analisados foram turbidez e sólidos suspensos totais, de acordo com APHA (2017).

## RESULTADOS OBTIDOS

### PRIMEIRA ETAPA: DEPOSIÇÃO SECA

Os parâmetros foram analisados para observar a influência de deposição seca em amostras de água de chuva, em cenário com até quinze dias seguidos sem precipitação. A interrupção deste intervalo se deu por meio de precipitação artificial, que foi realizada através da água fornecida pelo sistema público.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos no interior do DesviUFPE e no após desvio (balde plástico) ao fim da simulação da chuva para cada período de estiagem.

**Tabela 1: Resultados dos parâmetros físico-químicos. D representa análise no interior do desvio e A representa análise no após desvio (balde plástico).**

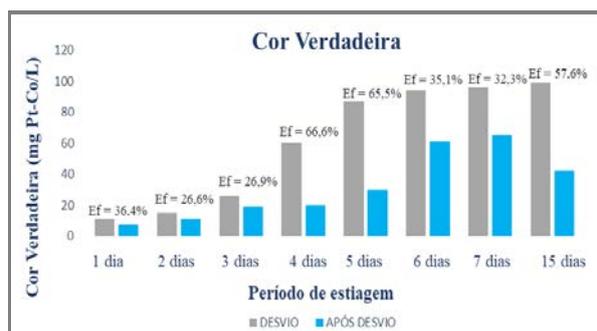
PARÂMETRO	PONTOS DE COLETA															
	D1*	A1**	D2	A2	D3	A3	D4	A4	D5	A5	D6	A6	D7	A7	D15	A15
Cor verdadeira (mg Pt-Co/L)	11	7	15	11	26	19	60	20	87	30	94	61	96	65	99	42
Turbidez (UT)	47,8	15,9	185,7	19,5	189,7	13,9	259,7	16,15	355,7	8,4	436	34	400	22	517	8,1
Condutividade elétrica (µS/cm)	194,5	191,1	222,9	207,7	214,5	198,4	224,9	201,3	236,8	217,4	247,4	240,0	333,0	288,1	266,4	246,5
pH	6,71	6,9	7,0	6,9	7,15	6,9	7	7,96	6,8	6,9	7,0	7,0	6,7	7,5	5,8	6

\*Dn: Interior do DesviUFPE, onde n corresponde ao número de dias sem precipitação;

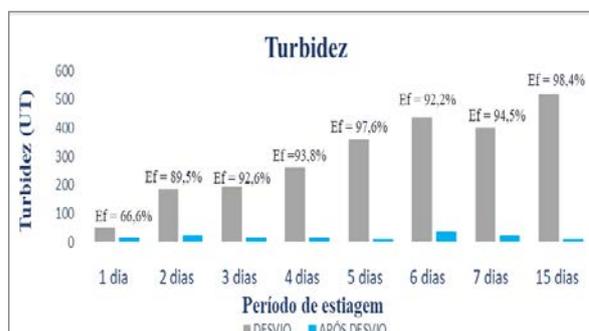
\*\*An: Após DesviUFPE, onde n corresponde ao número de dias sem precipitação.

Fonte: Os autores (2019).

Os gráficos 6a e 6b mostram a variação das concentrações de cor verdadeira e turbidez nas amostras coletadas do interior do dispositivo de desvio e após tal dispositivo, para o período de veranico de até quinze dias.



**Figura 6a: Resultado de cor verdadeira para as amostras no interior do DesviUFPE e no após desvio.**



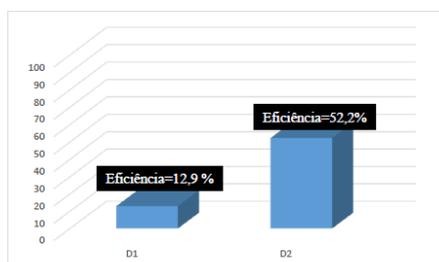
**Figura 6b: Resultado de turbidez para as amostras no interior do DesviUFPE e no após desvio.**

Fonte: Os autores (2019).

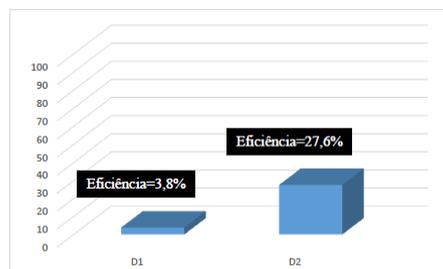
### SEGUNDA ETAPA: MODIFICAÇÃO DO DESVIUFPE PARA REMOÇÃO DE MATERIAIS FLOTANTES

Os resultados dos parâmetros utilizados para avaliação da modificação do DesviUFPE quanto a remoção de flutuantes são aqui apresentados e discutidos com base nos valores médios de sólidos suspensos totais (SST) e turbidez. Tais parâmetros são importantes pois podem servir de abrigo para patógenos ou diminuir a eficiência da desinfecção.

As Figuras 7 e 8 mostram as eficiências na retenção de turbidez e sólidos suspensos totais no DesviUFPE em sua estrutura original (D1) e após modificação em sua estrutura (D2), respectivamente.



**Figura 7: Eficiência na remoção de turbidez.**



**Figura 8: Eficiência na remoção de SST.**

Fonte: Os autores (2019).

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### PRIMEIRA ETAPA: DEPOSIÇÃO SECA

Os resultados obtidos nesta etapa do trabalho demonstram a deterioração da qualidade da água de chuva e o aumento da concentração de poluentes no decorrer dos dias sem precipitação.

É possível perceber que há um aumento gradativo no teor de impurezas incorporadas na água antes de passar pelo DesviUFPE, refletida nos parâmetros cor verdadeira (Figura 6a) e turbidez (Figura 6b). Melhores eficiências em remover a cor verdadeira se deram nos primeiros 4 e 5 dias, com eficiências de 66,6% e 65,5%, respectivamente. Observa-se que há aumento gradativo na concentração de cor verdadeira na amostra coletada após o desvio a partir do sexto dia, indicando que cinco dias sem precipitação são suficientes para requerer o uso do desvio num evento sequente. Ademais, percebe-se que no primeiro, segundo e terceiro dia o aumento da contaminação não é tão importante, justificando os baixos valores de eficiência do desvio.

Tais resultados confirmam a importância do uso da barreira sanitária no controle da qualidade da água de chuva, principalmente no decorrer dos dias sem precipitação. Ressalta-se ainda que o desvio de 1mm de água de chuva não foi suficiente para que as amostras atendessem ao padrão brasileiro de potabilidade de água, que é de 15 mgPt-Co/L, em nenhum dos dias analisados. Entretanto, é preciso pontuar que a água usada na aspersão possuía valor médio de cor verdadeira de 39,5 mgPt-Co/L, portanto, superior ao padrão brasileiro de potabilidade.

Para turbidez (Figura 6b) se observa robustez do DesviUFPE em reter materiais no interior do desvio, mesmo após quinze dias sem ocorrência de precipitação. Eficiência de remoção superior a 90% foi obtida a partir do terceiro dia de veranico, permanecendo com essa eficiência até o fim do experimento. Considerando que cinco dias sem chuva já requer novo descarte pelo parâmetro cor verdadeira, o mesmo período de veranico pode ser utilizado sem prejuízo de perda de qualidade, para turbidez.

### SEGUNDA ETAPA: MODIFICAÇÃO DO DESVIUFPE PARA REMOÇÃO DE MATERIAIS FLOTANTES

Em relação à turbidez, quando comparados os dois dispositivos de desvio automático das primeiras águas de chuva, pode-se constatar uma eficiência maior quando há modificação do desvio, conforme Figura 7. O desvio D1 (DesviUFPE mantendo sua estrutura original) apresentou eficiência média de remoção de turbidez de 12,9%, enquanto que em D2 (DesviUFPE com estrutura modificada) tal eficiência foi de 52,2%. Esse resultado ratifica a importância da alteração da estrutura do DesviUFPE, pois contribuiu para que sólidos mais leves permanecem na porção superior do dispositivo, melhorando a qualidade da água de chuva. Vale destacar que a eficiência de remoção de turbidez neste experimento pelo DesviUFPE original foi bem inferior à obtida no veranico. Tal fato se justifica pela natureza dos poluentes lançados no telhado para este teste, que se tratavam de materiais leves, potencialmente com baixa retenção pelo DesviUFPE, uma vez que o objetivo do teste era melhorar a remoção destes poluentes alvo.

Em relação aos sólidos suspensos totais (SST) ocorreu maior eficiência no ponto D2 (DesviUFPE com sua estrutura modificada), chegando a uma média de 27,6% de remoção. Já o ponto D1 (DesviUFPE mantendo sua estrutura original), apresentou eficiência de 3,8% na remoção de sólidos suspensos totais (Figura 8).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que cinco dias sem precipitação já são suficientes para requerer o uso do desvio em evento chuvoso subsequente. Tal determinação foi estabelecida com base no comportamento de cor verdadeira, cuja eficiência de remoção diminuiu de 65,5% para 35,1%, do quinto para o sexto dia sem precipitação, respectivamente. Enquanto que a partir do terceiro dia de veranico a eficiência de remoção de turbidez no DesviUFPE foi sempre superior a 90%. Observou-se que a modificação proposta no DesviUFPE contribuiu para a melhoria em sua eficiência na retenção de materiais flotantes. Após a modificação na estrutura do DesviUFPE a eficiência da retenção de turbidez aumentou quatro vezes e de sólidos suspensos totais aumentou sete vezes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APAC - Boletins Pluviométricos anteriores. Disponível em:<[http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/boletins\\_pluviometricos\\_old.php](http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/boletins_pluviometricos_old.php)>. Acesso em: 13 de dezembro de 2018.
2. APHA - American Public Health Assotiation. Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 21th ed., Washington DC, 2017.
3. CARVALHO, J. R. S.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. A PVC-pipe device as a sanitary barrier for improving rainwater quality for drinking purposes in the Brazilian semiarid region. Journal of Water and Health, v. 16, p. 391-402, 2018.
4. GOHARI A., ESLAMIAN S., MIRCHI A., ABEDI-KOUPAEI J., BAVANI A.M., MADANI K. Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire. Journal of Hydrology, v. 491, p. 23–39. 2013.
5. LIMA, J. C. A. L. Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal de Pernambuco, 2012.
6. MCBEAN, E. A., RAJIB, M. A., RAHMAN, MD. M. Improved Sustainability of Water Supply Options in Areas with Arsenic-Impacted Groundwater. Water Resource, v. 5, p. 1941-1951, 2013.
7. SILVA, S. T. B.; ARAÚJO, L. F.; ALMEIDA, A. J. G. A. GAVAZZA, S.; SANTOS, S. M. Comportamento de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva como barreiras sanitárias para proteção de cisternas. Águas Subterrâneas, v.31, n.2, p.1-11, 2017.
8. SOUZA, S. H. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, S. M.; PESSOA, S. G. S. Avaliação da Qualidade da Água e da Eficácia de Barreiras Sanitárias em Sistemas para Aproveitamento de Águas de Chuva. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, p. 81-93, 2011.