UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THAIS TAINAN SANTOS DA SILVA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DEPOSIÇÃO SECA E DISPOSITIVO DE DESVIO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

Caruaru/PE

2018

THAIS TAINAN SANTOS DA SILVA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DEPOSIÇÃO SECA E DISPOSITIVO DE DESVIO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste-CAA, da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra Sávia Gavazza dos Santos Pessoa.

Caruaru/PE

2018

Catalogação na fonte:
Bibliotecária – Simone Xavier CRB

S586a Silva, Thais Tainan Santos da.
Análise da influência da deposição seca e dispositivo de desvio sobre a qualidade da água e da chuva. / Thais Tainan Santos da Silva. – 2018.
48f. ; il. : 30 cm.

Orientadora: Sávia Gavazza dos Santos Pessoa.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2018.
Inclui Referências.

1. Controle de qualidade da água. 2. Desvios de águas. 3. Água - Captação. I. Pessoa, Sávia Gavazza dos Santos (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2018-110)

THAIS TAINAN SANTOS DA SILVA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DEPOSIÇÃO SECA E DISPOSITIVO DE DESVIO SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste-CAA, da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

A banca examinadora, composta pelas professoras abaixo, considera a candidata **APROVADA** com nota _____.

Caruaru, 23 de julho de 2018.

Banca examinadora:

Profa. Dra Sávia Gavazza dos Santos Pessoa: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Profa. Dra Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Profa. Dra Selma Thaís Bruno da Silva: _____
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN (Avaliadora)

Profº Dr. Elder Alpes de Vasconcelos: _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina de TCC)

“Já se pode ver ao longe
A senhora com a lata na cabeça
Equilibrando a lata vesga
Mais do que o corpo dita
Que faz o equilíbrio cego
A lata não mostra
O corpo que entorta
Pra lata ficar reta

Pra cada braço uma força
De força não geme uma nota
A lata só cerca não leva
A água na estrada morta
E a força nunca seca
Pra água que é tão pouca”

(Chico Cesar e Vanessa da Mata)

AGRADECIMENTO

Agradeço imensamente ao meu Deus por todo conforto, apoio e consolo nas horas difíceis, por sempre ser o meu melhor refúgio, me dando forças a seguir com as minhas escolhas pessoais e profissionais.

À minha família, em especial a minha mãe Genilda Silva e irmãos (Jaqueline, Gessyca e Lucas) que sempre apoiam as minhas escolhas, me dando amor, compreensão e inspiração. A vocês todo o meu amor!

À professora Sávia Gavazza pelo apoio intelectual, por ter me dado a oportunidade e confiança de realizar este trabalho. Um exemplo pessoal e profissional, que Deus ilumine sempre o seu caminho, obrigada!

Às professoras Elizabeth Pastich, Kenia Barros e Simone Machado pelo apoio, conversas e motivação durante toda a minha jornada na UFPE.

À equipe do Laboratório de Engenharia Ambiental LEA/UFPE pelo apoio técnico, por me possibilitar realizar as análises, pelas conversas e pela amizade que tornou tudo mais leve.

À agência de fomento CNPq, pelo apoio financeiro.

À Jullyana Benevides (in memoriam) por todo carinho e incentivo. Seus conselhos foram valorosos.

Aos meus grandes amigos que direta ou indiretamente foram fortalezas nos momentos difíceis, essenciais nos momentos de alegria e indispensáveis nos momentos de vitória. Agradeço imensamente a Alanna Maria (minha amiga e parceira profissional, minha gemia!), a Raiane Alice por ser sempre uma ótima conselheira, Sofia e Andréa que me incentivaram, apoiaram e me deram ânimo para concluir este trabalho.

Um agradecimento mais que especial a Thais Bruno e a Luttemberg que compartilharam desta pesquisa. Obrigada pela amizade, dedicação e contribuição, vocês são demais!

A Alyson Campos, meu amigo, meu grande incentivador, meu namorado. Obrigada pela paciência, compreensão e pelo apoio indispensável durante a pesquisa.

RESUMO

A água de chuva será, em breve, valorizada como a água mais segura que se obterá para consumo humano e com boa qualidade para diversos fins, necessitando, em muitos casos, apenas de tratamento simplificado para purificação. No Brasil, em especial no Nordeste, a disponibilidade de água representa um grande entrave para o desenvolvimento. Para atender as necessidades hídricas, a população é induzida a buscar meios alternativos de abastecimento de água como tecnologias para a captação da água de chuva e o uso de cisternas para armazenamento. Diante da problemática, o governo federal brasileiro disseminou, no semiárido brasileiro, por meio da ONG articulação no semiárido brasileiro (ASA Brasil), a instalação de cisternas rurais para aproveitamento de água de chuva, entretanto, o programa possui maior prioridade em aumentar a quantidade de água ofertada. Posto em questionamento a qualidade da água de chuva, o presente trabalho avaliou a interferência da deposição seca sobre a qualidade de águas de chuva armazenada em cisternas, bem como a influência da modificação do dispositivo de desvio dos primeiros milímetros precipitados sobre a capacidade de retenção de sólidos flotantes. O presente estudo foi dividido em duas etapas. A primeira foi realizada na zona rural de Caruaru com a instalação de dois desvios automáticos que avaliaram a capacidade de retenção de sólidos, em duas configurações distintas do DesviUFPE, sendo um o dispositivo convencional e o outro o modificado. Nesta etapa, percebeu-se que ambos os dispositivos de desvios resultaram em melhoria na qualidade de água de chuva armazenada, tendo o DesviUFPE modificado produzido resultados melhores, com eficiência de 81,8% e 64,6% para remoção de turbidez e de cor verdadeira, respectivamente, valores que são cerca de 11% superiores aos obtidos com o dispositivo convencional. A segunda etapa visou determinar quantos dias sem precipitação seriam suficientes para contaminar uma superfície de captação ao ponto de demandar novo desvio das primeiras águas de chuva, no evento chuvoso seguinte. Para tal determinação, utilizou-se da instalação do dispositivo automático, DesviUFPE, para simulação do veranico realizada na Instalação Experimental de Cisternas na UFPE/CAA. Através dos resultados observou-se que cinco dias sem precipitação é suficiente para a ocorrência de deposição seca, que justifique o desvio das primeiras águas da próxima precipitação, especialmente ao se avaliar o comportamento da turbidez.

Palavras-chave: Deposição seca. Qualidade de água. Dispositivos de desvio dos primeiros milímetros.

ABSTRACT

Rainwater will soon be valued as the safest water to be obtained for human consumption and of good quality for various purposes, requiring in many cases only simplified treatment for purification. In Brazil, especially in the Northeast, the availability of water represents a major obstacle to its development. To meet water needs, the population is induced to seek alternative means of water supply as technologies for collecting rainwater and the use of cisterns for storage. In view of the problem, the Brazilian federal government disseminated, in the Brazilian semi-arid, through the articulation in the Brazilian semi-arid region (ASA Brasil), the installation of rural cisterns for the use of rainwater, however, the program has a higher priority in increasing the quantity of water supplied. The present work evaluated the interference of dry deposition on the quality of rainwater stored in cisterns, as well as the influence of the modification of the deviation device of precipitated first millimeters on the retention capacity of floating solids. The present study was divided into two stages. The first one was carried out in the rural area of Caruaru with the installation of two automatic deviations that evaluated the solid retention capacity in two different configurations of the DeviUFPE, one being the conventional one and the other the modified one. At this stage, it was found that both deviation devices resulted in improved rainwater quality stored, with the modified DeviUFPE produced better results, with 81.8% and 64.6% efficiency for turbidity and color removal true, respectively, values which are about 11% higher than those obtained with the conventional device. The second step was to determine how many days without precipitation would suffice to contaminate a catchment surface to the point of requiring further diversion of the first rainwater in the next rainy season. For this determination, the installation of the automatic device, DesviUFPE, was used for the simulation of the summer performed in the Experimental Installation of Cisterns. From the results it was observed that five days without precipitation is sufficient for the occurrence of dry deposition, justifying the deviation of the first waters of the next precipitation, especially when evaluating the turbidity behavior.

Keywords: Dry deposition. Water quality. Deviating devices of the first millimeters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Delimitação do semiárido brasileiro. 17
Figura 2 – Diagrama do processo de sistemas domésticos de aproveitamento de água de chuva. 18
Figura 3 – Cisterna construída através do P1MC. 19
Figura 4 - Ilustração do dispositivo de desvio das primeiras águas desenvolvido pelos pesquisadores da UFPE, com detalhe para o telhado (A), para o dispositivo de desvio em PVC (B) e para a cisterna (C). 22
Figura 5 - Sistema do dispositivo automático instalado no Campus do Agreste da UFPE. 23
Figura 6 – Localização do Estado de Pernambuco, com destaque ao município de Caruaru. 27
Figura 7 – Fotografia dos dispositivos DesviUFPE na zona rural de Caruaru: (A) telhado utilizado para instalação dos DesviUFPE; (B) DesviUFPE modificado (destaque em círculo); (C) DesviUFPE no formato original. 29
Figura 8 – Modificação do DesviUFPE. 29
Figura 9 – Característica da instalação experimental de cisternas (IEC). 31
Figura 10 - Instalação Experimental de Cisternas: (A) telhado de 50m²; (B) telhado de 59m²; (C) DesviUFPE utilizado na segunda etapa; (D) Casa de bomba e tanque de armazenamento. 32
Figura 11 – DesviUFPE instalado na IEC: (A) Ponto de coleta no interior do desvio; (B) Ponto de coleta da água de chuva desviada no balde de plástico. 33
Figura 12 - Média dos valores obtidos para coliformes totais e *E.Coli*. 36
Figura 13- Resultado de cor aparente para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO). 39
Figura 14 - Resultado de cor verdadeira para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO). 40
Figura 15 - Resultado de turbidez para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO). 40
Figura 16 - Resultado de condutividade elétrica para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO). 41
Figura 17 - Resultado de pH para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO). 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esquema das atividades realizadas. 28
Tabela 2 – Métodos e análises realizados na primeira etapa. 30
Tabela 3 – Métodos e análises realizados na segunda etapa. 33
Tabela 4 – Média dos Resultados dos parâmetros físico-químicos da primeira etapa. 34
Tabela 5 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da segunda etapa. D representa análise no interior do desvio e A representa análise no Após desvio. 38
Tabela 6 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da água disponibilizada pela Compesa. 38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	Instalação Experimental de Cisternas
MDS	Ministério de Desenvolvimento Social
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OMS	Organização Mundial da Saúde
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
PVC	Policloreto de vinil

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

2 JUSTIFICATIVA 13

3 MOTIVAÇÃO 14

4 OBJETIVOS 15

4.1 Objetivo Geral 15

4.2 Objetivos Específicos 15

5 REFERENCIAL TEÓRICO 16

5.1 Disponibilidade hídrica no semiárido 16

5.2 Sistema de captação de água de chuva 18

5.3 Qualidade da água de chuva 20

5.4 Barreiras sanitárias 21

5.5 Influência da deposição seca na qualidade da água de chuva 25

6 METODOLOGIA 27

6.1 Área de estudo 27

6.2 Materiais e métodos 28

6.3 Etapas da pesquisa 28

6.3.1 Primeira etapa: modificação no DesviUFPE 28

6.3.2 Segunda etapa: interferência de veranico na qualidade da água de chuva 31

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES 34

7.1 Primeira etapa: modificação no DesviUFPE 34

7.2 Segunda etapa: interferência de veranico na qualidade da água de chuva 37

8 CONCLUSÃO 43

REFERÊNCIAS 44

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água no Nordeste brasileiro, particularmente na região semiárida, representa um grande entrave para seu desenvolvimento. Mesmo diante dos esforços empreendidos em infraestruturas capazes de disponibilizar água para o abastecimento humano e animal e viabilizar a irrigação, ainda são insuficientes para resolver os problemas de escassez de água. O semiárido brasileiro possui solos rasos com rocha aflorante, temperaturas elevadas que acarretam em altas taxas de evaporação, tais características geram uma pressão excessiva sobre os recursos hídricos (CIRILO, 2008). A falta de acesso à água de boa qualidade e em quantidade suficiente, acarreta no aumento da pobreza, das doenças e do êxodo rural.

Para atender as necessidades hídricas, a população é induzida a buscar meios alternativos de abastecimento de água. No Brasil, o P1MC (Programa Um Milhão de Cisternas) promoveu a instalação de cisternas rurais para aproveitamento de água de chuva, entretanto, o programa possui maior prioridade em aumentar a quantidade de água ofertada. Em relação a qualidade de água é necessário um expressivo avanço, uma vez que as cisternas são instaladas sem qualquer medida de proteção sanitária. Outra importante consideração deve se dar em relação ao intervalo de dias sem precipitação, o veranico, que pode exercer influência sobre a qualidade de água de chuva direcionada à cisterna (MARENGO, 2008). Durante o veranico, ocorre a deposição de sedimentos sobre a superfície de captação, e a ausência de água de chuva contribui para o aumento da concentração de contaminantes. No semiárido brasileiro anualmente são cerca de oito meses sem chuva, onde há predominância da deposição seca em relação a deposição úmida. Tal fator reforça a necessidade de desvio do primeiro milímetro da água de chuva, para adequação de sua qualidade para fins mais restritivos, como por exemplo, o uso potável que é tradicionalmente dado às águas de chuva captadas no semiárido brasileiro.

Para o presente trabalho utilizou-se da tecnologia social denominada DesviUFPE (Lima, 2012), que desvia as primeiras águas de chuva no início de eventos de precipitação. Lima (2012) ao avaliar o desempenho do DesviUFPE, no semiárido pernambucano, verificou que o mesmo reduziu 62,4% de turbidez, 96,5% de coliformes totais e 100% de *E. Coli* na água coletada após o dispositivo. Nesse contexto, o escopo deste trabalho é aperfeiçoar tecnologia social para a proteção da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas e usada para o consumo humano, tanto em períodos chuvosos quanto em período de estiagem, além de identificar quantos dias sem precipitação são necessários para que a contaminação da superfície de captação seja grande o suficiente para requerer novo desvio do primeiro milímetro de água de chuva, através do DesviUFPE, na precipitação subsequente.

2 JUSTIFICATIVA

O aumento do desenvolvimento urbano, das atividades humanas e da industrialização tem provocado a deterioração de água superficial. Uma maneira de enfrentar as dificuldades relacionadas à disponibilidade do recurso é ampliar a busca por fontes alternativas de acesso à água.

No Nordeste brasileiro a irregularidade temporal e espacial das precipitações, em conjunto com a alta taxa de evapotranspiração e má gestão de recursos hídricos contribuem para um quadro de escassez hídrica persistente. As populações rurais sofrem com a irregularidade do abastecimento de água e ausência de acesso a água encanada, o que as levam a consumir o recurso de origem duvidosa.

É nesse contexto que o aproveitamento da água pluvial vem se tornado uma solução para minimizar a problemática da disponibilidade de água nas zonas rurais brasileiras. Dessa forma, o estudo e aperfeiçoamento do DesviUFPE constitui um modo de garantir a qualidade da água de chuva captada, com intuito de trazer para a população acesso não apenas a quantidade, mas também a qualidade do recurso, ocasionando melhoria a saúde dos usuários.

3 MOTIVAÇÃO

Este trabalho tem por motivação avaliar quantos dias sem precipitação são necessários para que a contaminação da superfície de captação seja grande o suficiente para requerer novo desvio do primeiro milímetro de água de chuva, na precipitação subsequente, além de aprimorar a eficiência do desvio para o aumento da qualidade da água de chuva armazenada em cisterna. Essa quantificação e qualificação, por meio do DesviUFPE, se faz importante para evitar descartes desnecessários de água de chuva e armazenamento de sólidos flotantes juntamente com a água de chuva, em cisternas, especialmente por considerar que a população rural usa a precipitação pluviométrica como fonte principal de água, inclusive para fins potáveis.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da deposição seca de contaminantes e do emprego de dispositivo de desvio sobre a qualidade da água de chuva captada.

4.2 Objetivos Específicos

- Analisar a capacidade de retenção de sólidos flotantes no dispositivo de desvio dos primeiros milímetros após modificação em sua estrutura original;
- Determinar quantos dias de deposição seca são suficientes para contaminação da água de chuva armazenada em cisternas.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Disponibilidade hídrica no semiárido

A expressão semiárido normalmente é usada para descrever o clima e as regiões onde ocorrem precipitações médias entre 250 e 500 mm, cuja vegetação é composta prioritariamente por arbustos que perdem suas folhas nos meses mais secos ou por pastagens que secam na época de estiagem (CIRILO, 2008). Os atributos que caracterizam o perfil semiárido são sempre de origem climática, hídrica e fitogeográficas: baixos níveis de umidade, escassez de chuvas anuais, irregularidades no ritmo de precipitações ao longo dos anos, prolongados períodos de carência hídrica, solos parcialmente salinos e ausência de rios perenes (AB' SABER, 1999). A reduzida oscilação térmica contrasta com a acentuada irregularidade pluviométrica, constituindo-se, então, a chuva como elemento determinante do mecanismo natural (PINTO,1999).

Mesmo diante desses conceitos é importante destacar que a visão do semiárido do ponto de vista climatológico sempre foi distorcida, propagou-se a imagem de um ambiente que não chove, com solo sempre calcinado, vegetação seca e uma rude relação entre homem e natureza. Há déficit hídrico, mas essa expressão não significa falta de chuva. O grande problema é a evaporação ser superior a precipitação, ou seja, a chuva que cai é menor do que a água que evapora. Outra característica é a variação da chuva, no tempo e no espaço. Não há período fixo nem lugar certo para chover. Dificultando, mas não impedindo a relação com o ambiente. A melhor forma de compreender os aspectos do semiárido é mudando primeiramente a visão de "acabar com a seca" tendo em vista que a seca é um fenômeno natural e cíclico, não sendo, portanto, um fato desconhecido. A maior questão não é a seca propriamente dita e sim adaptar-se de forma inteligente aos seus efeitos (MALVEZZI, 2007).

O semiárido brasileiro que atualmente abrange uma área total de 982.563 Km², ou seja, 11,53% de todo o território nacional, passou por uma redefinição proposta pelo Ministério da Integração (2005) em conjunto com instituições do Governo Federal, com o propósito de reavaliar os limites da região. Passou-se a considerar não somente o índice pluviométrico do município como critério de definição, mas também o índice de aridez e o déficit hídrico, levando em consideração tais limites:

I. Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
II. Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; e
III. Risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Com essa definição, a região do semiárido concentra 1135 municípios, distribuídos em oito Estados do Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe), além dos municípios da região norte de Minas Gerais. A Figura 1 apresenta o espaço geográfico do semiárido brasileiro.

Figura 1 – Delimitação do semiárido brasileiro.

Fonte: Ministério da Integração (2005)

Ainda nesse contexto, o Ministério da Integração (2017), propôs novamente uma nova configuração do semiárido brasileiro, levando em consideração a pior seca dos últimos anos. O novo mapa soma 54 novos municípios e a região passou a ter 1.189 cidades em nove Estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Juntos, esses municípios concentram uma população superior a 25 milhões de habitantes numa região marcada pela irregularidade de chuvas e alto índice de aridez. O sertão pernambucano ocupa 70% de todo o território do Estado e caracteriza-se como a área do território brasileiro que apresenta os mais baixos índices de nebulosidade, de mais intensa insolação e de mais elevadas taxas de evapotranspiração, segundo Andrade (1977).

De acordo com Cirilo (2008), o semiárido brasileiro apresenta situações mais difíceis de serem superadas do que outras regiões de semiaridez do mundo, devido as seguintes características: os solos dessa região em sua maior parte, são muito rasos com rocha aflorante, o que tende a comprometer assim a existência de aquíferos; as elevadas temperaturas que acarretam em altas taxas de evaporação; possui poucos rios perenes; além do maior número de

pessoas vivendo nessa região, quando comparado com as outras regiões semiáridas do mundo, o que vem a gerar grandes pressões sobre os recursos hídricos.

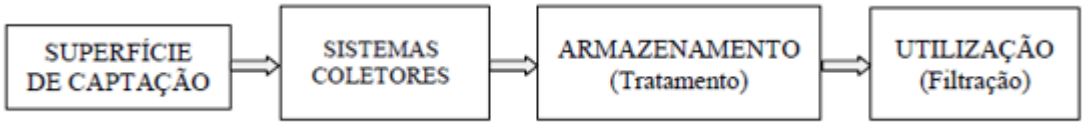
Para suprir a deficiência de água, utilizada para consumo humano, animal e produção agrícola, no meio rural, diferentes alternativas tecnológicas têm sido desenvolvidas e/ou adaptadas às condições semiáridas brasileiras visando o armazenamento e uso das águas de chuva. De acordo com Brito *et al.* (2005), o problema de escassez de água está, cada vez mais, ultrapassando as barreiras do semiárido, atingindo grandes metrópoles brasileiras como São Paulo, Fortaleza, Recife, entre outras, que vêm utilizando alternativas para armazenar água de chuva para uso doméstico e mitigação de problemas relacionados à drenagem urbana como forma de prevenção de alagamentos e inundações.

5.2 Sistema de captação de água de chuva

A coleta de água de chuva é uma técnica popular em muitas partes do mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas (que abrangem mais ou menos 30 % da superfície da terra), onde as chuvas ocorrem somente em poucos meses do ano e com bastante variabilidade interanual (GNADLINGER, 2006). Tem sido uma solução alternativa, segundo Silva, Heller & Carneiro (2012), na maior parte das vezes individual, de abastecimento em áreas rurais de regiões semiáridas, locais em que as fontes disponíveis como poços, rios e nascentes, dispõem de volume variável de água, sob efeito da sazonalidade, e o abastecimento de água ou acesso a água encanada ainda continua irregular ou ausente.

Lima (2012) descreve que o aproveitamento da água de chuva pode, do ponto de vista mais simplificado, ser dividido em quatro processos primários, além da desinfecção, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama do processo de sistemas domésticos de aproveitamento de água de chuva.



Fonte: Adaptado de Lima (2012)

O sistema de captação doméstico de água de chuva é constituído de componentes básicos como telhado, laje ou piso (área de captação), calhas, condutores verticais e horizontais (sistemas de condução de água), reservatório de limpeza, e desinfecção (unidade de tratamento) e reservatório de acumulação, e destinam-se as seguintes funções:

- Captação: inclui a superfície sobre a qual a chuva cai, isto é, a superfície de coleta;

- Transporte: constituído pelos componentes que encaminham a água do telhado para o local de armazenamento;
- Local de armazenamento: engloba um ou mais tanques de armazenamento, que também podem ser denominados de cisternas;
- Tratamento: apesar de particularmente relevante no caso dos sistemas potáveis, para os usos não potáveis esta etapa inclui normalmente apenas a remoção de sólidos;
- Distribuição: é o sistema de transporte da água de chuva para o seu uso final através de bombeamento ou gravidade.

No Brasil, políticas públicas com iniciativas de reservação de água de chuva têm envolvido diversas organizações não governamentais e o Governo Federal. Nesse âmbito, enquadra-se o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) que foi criado pelo Governo Federal, com o apoio do Ministério do Meio Ambiente (MMA), do Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS), da Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA) e da Agência Nacional das Águas (ANA), dentre outras entidades (PÁDUA, 2013).

O principal objetivo do P1MC é melhorar a vida das famílias que vivem na região semiárida do Brasil (Figura 3), garantindo o acesso através do armazenamento da água da chuva em cisternas construídas com placas de cimento ao lado de cada casa, com acessibilidade em alguns passos. A descentralização e democratização da água, diminuem a dependência das famílias aos grandes açudes, muitas vezes construídos em terras distantes e particulares (ASA, 2015). Segundo o Ministério do Desenvolvimento Social (2016), desde 2003 o Governo Federal instalou mais de um milhão de cisternas, beneficiando 1.330 municípios de todos os estados do semiárido brasileiro.

Figura 3 – Cisterna construída através do P1MC.

Fonte: ASA (2015)

Segundo Oliveira (2009) a grande dificuldade de abordar este assunto está na zona rural onde as águas armazenadas em cisternas são usadas para cozinhar e beber. A qualidade da água da chuva na atmosfera difere da qualidade da água armazenada após sua passagem pela área de captação. As substâncias contaminantes presentes na área de captação são carreadas durante a chuva, alterando suas características iniciais. Andrade Neto (2004), entretanto, afirma que em regiões rurais, onde a água da chuva é utilizada para consumo, as medidas sanitárias de captação combinadas ao manejo adequado dos sistemas permitem preservar a água com melhor qualidade.

5.3 Qualidade da água de chuva

De acordo com Gnadlinger (2007), a qualidade de qualquer água é determinada pela condição da fonte de água, pela exposição a contaminantes durante todo o processo de produção como captação, armazenamento e tratamento e pela forma como chega ao consumidor. Assim, a qualidade da água da chuva captada em cisternas depende da pureza da atmosfera, dos materiais usados para construir a área de captação e das impurezas depositadas na superfície do telhado.

Nessa circunstância, a água de chuva que escoa sobre a superfície de captação lava esta superfície carreando a sujeira (pequenos animais mortos, fezes de aves e roedores, folhas, detritos, poeira e microrganismos) acumulada no intervalo entre duas chuvas. Quanto maior o tempo desde a última chuva, maior a quantidade de sujeira acumulada, mas essa quantidade depende também do tipo de superfície de captação (telhados são geralmente muito mais limpos que locais com trânsito de pessoas ou animais) e das condições de exposição a sujeiras (locais remotos e isolados são mais seguros) (ANDRADE NETO, 2013).

Segundo Andrade Neto (2004), a água de chuva quase sempre possui boa qualidade físico-química, necessitando atenção maior aos indicadores microbiológicos, especialmente se for dado a esta, uma utilização potável. Entretanto, comparadas com as águas das tradicionais cisternas sem proteção sanitária, águas de chuva captadas e armazenadas com a devida segurança sanitária são consideravelmente melhores e podem ser usadas para beber, mesmo sem desinfecção ou outro tratamento.

5.4 Barreiras sanitárias

A segurança sanitária em sistemas de captação de água de chuva em cisternas rurais depende, como já mencionado, de um conjunto de fatores incluindo educação sanitária, participação social, hábitos corretos no manejo da água de consumo humano, e tais ações permitem preservá-la com melhor qualidade.

Nesse contexto, Pádua (2013) descreve que barreira de proteção sanitária é toda medida adotada com a finalidade de preservar ou melhorar a qualidade da água armazenada nas cisternas, incluindo medidas como desvio das primeiras águas de chuva, limpeza das cisternas, cuidados no manuseio da água, filtração e adoção de algum método de desinfecção. O uso do tubo de drenagem para remover água da cisterna (sistema de bomba manual), a limpeza do telhado, a proteção das entradas e saídas da água na cisterna como também aspectos estruturais do reservatório, como uso de tampas e acabamento interior liso para facilitar a limpeza são também fatores a considerar, segundo Xavier (2010).

Como o uso da água de chuva é comum na zona rural, principalmente para fins potáveis, o desvio dos primeiros milímetros de água é requerido não apenas para retenção de poluentes como pela influência da concentração dos contaminantes devido a deposição seca.

O desvio das primeiras águas de chuva pode ser realizado de forma manual ou automática. De acordo com Andrade Neto (2004) um dispositivo automático para desvio das primeiras águas de cada chuva é uma barreira física de proteção sanitária de cisternas de importância comparável à cobertura, tampa e tomada de água por tubulação. Tradicionalmente o desvio é realizado de forma manual, desconectando os tubos que transportam a água até a cisterna, conectando novamente após o descarte da água por um período de tempo. Por outro lado, alguns estudos apontam a praticidade e a segurança como vantagens do descarte realizado de forma automática, que é possível com a instalação de um dispositivo específico para este fim.

Lima (2012) desenvolveu um dispositivo de desvio automático de águas de chuva, apresentando tecnologia simples, baixo custo e fácil instalação e manutenção. O dispositivo chamado de DesviUFPE é um meio eficiente de retenção de sólidos e patogênicos, constituído por tubos de policloretos de vinil (PVC), consiste em um sistema de armazenamento da água de chuva que precede a entrada da cisterna e para o qual são desviadas automaticamente as primeiras águas de cada chuva (o primeiro milímetro). Após o enchimento deste pré-tanque, a água “limpa” abastece a cisterna propriamente dita (Figura 4).

O DesviUFPE tem-se mostrado eficiente para retenção de poluentes incorporados na água de chuva em seu percurso, resultando em melhoria da qualidade da água acumulada em cisternas, através do desvio prévio de 1mm de chuva precipitada (Alves et al., 2014).

Figura 4 - Ilustração do dispositivo de desvio das primeiras águas desenvolvido pelos pesquisadores da UFPE, com detalhe para o telhado (A), para o dispositivo de desvio em PVC (B) e para a cisterna (C).

Fonte: Lima (2012)

Os primeiros milímetros de água ainda contaminados são desviados e armazenados nos tubos de PVC, após o preenchimento de todos os tubos dimensionados, a água sem impurezas é direcionada a cisterna. Tal sistema baseia-se no princípio físico dos vasos comunicantes e do fecho hídrico, em que à medida que o telhado é lavado, processa-se o acúmulo de água em tubos verticais (tubos e conexões em PVC) e só após estes estarem completamente cheios, é que a água é direcionada para a cisterna.

O sistema (Figura 5) é dimensionado para desviar automaticamente 1 litro de água de chuva que cai por metro quadrado de uma superfície de captação, desconsiderando-se as perdas de água por evaporação, respingos fora da calha, ou absorção ocorrida na telha cerâmica. Em função do acúmulo de água no interior do dispositivo é importante adequá-lo para o recebimento de eventos chuvosos posteriores. Sendo assim, há necessidade de esvaziamento do dispositivo após intervalos sem precipitação, devendo este ser novamente fechado após o esvaziamento, para o recebimento automático das primeiras águas de chuva do próximo evento chuvoso.

Figura 5 - Sistema do dispositivo automático instalado no Campus do Agreste da UFPE.

Fonte: Autora

O DesviUFPE foi certificado como Tecnologia Social devido a simplicidade na instalação e manutenção, baixo custo, possibilidades de replicação e impacto social comprovado, pela Fundação Banco do Brasil, durante a premiação desta fundação em 2013, acessado em (http://www.fbb.org.br/tecnologiasocial/banco-de-tecnologias-sociais/pesquisar-tecnologias/detalhar-tecnologia-204.htm). Além disso, resultados de projetos de pesquisa já concluídos, utilizando o DesviUFPE, também foram objeto de alguns prêmios de âmbito nacional, a título de exemplo, finalista do prêmio da Agencia Nacional de Águas (ANA), Prêmio ANA 2012, na categoria Pesquisa e Inovação Tecnológica (http://premio.ana.gov.br); vencedor do prêmio Mandacaru em 2013, na categoria Pesquisa Aplicada (www.iabs.org.br/projetos/premiomandacaru2); vencedor do prêmio ANA 2014, na categoria Pesquisa e Inovação Tecnológica (http://premio.ana.gov.br).

As premiações e a certificação da fundação Banco do Brasil são importantes formas de reconhecimento do conhecimento científico gerado e contribui para que a tecnologia desenvolvida na UFPE atinja o público para o qual foi desenvolvido. A transferência de tecnologia é um gargalo considerável no Brasil.

Em relação ao dimensionamento do dispositivo, o comprimento dos tubos (em metro) que irão compor o DesviUFPE é calculado levando-se em consideração a área da superfície de captação (em m²), o volume de acumulação em seu interior (1 mm de água de chuva ou 1 litro/m²) e a capacidade de acumulação de água de chuva por metro de tubo de PVC, que tenha 100 mm de diâmetro.

Conexões, como joelho e “tê”, serão requeridas para montagem de configuração vertical típica, mas a quantidade variará em função do comprimento de tubos requeridos. Quanto maior o telhado, maior o DesviUFPE, e maior a quantidade de conexões. Por fim, para o esvaziamento da água de chuva acumulada em seu interior é requerido um registro, que deverá ser posicionado em sua porção inferior.

A geometria do dispositivo possibilita seu completo esvaziamento e limpeza por descarga hidráulica. Os materiais constituintes, todos em PVC, garantem estanqueidade, facilidade de montagem e desmontagem, além de serem facilmente disponíveis em todo território nacional e a baixo custo. Ademais, para sua instalação não é preciso dispor de mão de obra especializada (Lima, 2012).

O dimensionamento do DesviUFPE é realizado através das equações a seguir. Considerando que o cálculo do volume de acumulação da água de chuva em 1 metro de tubo de PVC de 100 mm de diâmetro, é feito por meio da área do tubo (Área_tubo) e comprimento do mesmo (L_tubo), conforme observa-se na equação (1)

$$Volume_{tubos} = Área_tubo * L_tubo \quad (1)$$

Ao substituir em (1) a fórmula da área do tubo, tem-se a equação (2).

$$Volume_{tubos} = \pi * \frac{D^2}{4} * L_tubo \quad (2)$$

Como o diâmetro do tubo é igual a 100 mm e seu comprimento é de 1 m, ao substituir tais dados na equação (2) tem-se:

$$Volume_{tubos} = \pi * \frac{0{,}1^2}{4} * 1$$

Logo, a capacidade de acúmulo em 1 m de tubo de PVC é de 0,007854 m^3 ou 7,854 litros de água de chuva.

O volume de descarte (em litros) de uma superfície de captação, equação 3, é calculado levando-se em consideração o tamanho do telhado (em m^2) e a altura de precipitação de 1 mm (1 L/m^2).

$$Volume_{Descarte} = Área_{telhado} * Altura_{precipitação} = X\ m^2 * 1\frac{l}{m^2} \quad (3)$$

$$Volume_{Descarte} = X\ l$$

Por fim, calcula-se a quantidade de tubos necessário para o DesviUFPE, conforme equação 4.

$$Quantidade_{metros\ tubo} = \frac{Volume_{Descarte}}{Volume_{tubos}} \quad (4)$$

$$Quantidade_{metros\ tubo} = \frac{X\ l}{7{,}854\ l/m} = Y\ m$$

Alves et al. (2012) realizaram pesquisa em sete cisternas instaladas no semiárido pernambucano, e em uma delas havia o dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva proposto pela UFPE. Observou-se que as amostras de água armazenadas nestas cisternas, apresentaram menores e mais estáveis concentrações (menor desvio padrão) de coliformes totais.

Considerações similares foram obtidas por Lima (2012) ao avaliar o sistema de desvio automático das primeiras águas proposto pela UFPE. Observou-se redução de 62,4% de turbidez, 96,5% de coliformes totais e 100% de *E. Coli* na água coletada após o dispositivo.

5.5 Influência da deposição seca na qualidade da água de chuva

As características da qualidade da água da chuva e a composição da atmosfera estão diretamente relacionadas às atividades predominantes na região. A chuva ao atravessar a atmosfera pode incorporar parcela do material particulado, carreando substâncias contaminantes (MAY, 2004). Segundo Pan e Wang (2015), embora a deposição, seca e úmida, seja um mecanismo natural de limpeza da atmosfera, o resultado da deposição resulta principalmente em preocupações quanto aos efeitos dos materiais depositados que entram nos ambientes terrestres e aquáticos.

Nesse contexto, a predominância de dias de chuva intercalados por alguns, ou vários, dias sem chuvas, normalmente com forte insolação e, consequentemente altas taxas de evapotranspiração, chamados de veranico, influenciam na aridez do ambiente e consequentemente na qualidade da água de chuva (SOARES & NÓBREGA, 2010).

Huston et al. (2012) evidenciaram que a deposição seca de metais pesados, na Austrália, contribuiu para a contaminação de tanques de armazenamento de água de chuva. Efeito similar foi observado por Thomas et al. (2014) nos Estados Unidos.

O veranico é entendido como um período seco, com forte insolação e evapotranspiração, durante uma estação chuvosa. É comumente associado ao efeito que pode causar a produção agrícola (SILVA e RAO, 2002).

De acordo com Fornaro (2006) a qualidade da água da chuva é influenciada pela localização geográfica, pelas fontes poluidoras e pelas estações do ano, sendo possível a incorporação dos poluentes atmosféricos na água de chuva através da deposição seca e a deposição úmida. É importante lembrar que fatores meteorológicos (ventos, temperatura, umidade relativa, intensidade da radiação solar, percurso e altitude das nuvens, intensidade da chuva, tamanho das gotas, etc.) são também muito importantes nos processos de transformação, dispersão e remoção de poluentes atmosféricos.

A deposição úmida é aquela onde a chuva dissolve os gases solúveis e o arrasta junto com a água da chuva. Porém, fora dos eventos de chuva a atmosfera também sofre processo de limpeza resultante da deposição seca, que tende a predominar em relação à deposição úmida nas proximidades das fontes poluidoras, especialmente em regiões secas. A deposição seca corresponde à sedimentação gravitacional e à interceptação do material particulado ou absorção de gases por superfícies como solo, água e vegetação. Neste caso, o vento e os processos de difusão gasosa são responsáveis pelo transporte deste material para a superfície terrestre, resultando em uma atmosfera mais limpa (FORNARO, 2006).

Durante o veranico, ocorre a deposição seca, os sedimentos espalham-se sobre as superfícies de captação e a ausência de água de chuva contribui para o aumento da concentração de contaminantes. Tal fator reforça a necessidade de desvio do primeiro milímetro da água de chuva para adequação de sua qualidade para fins mais restritivos.

O acesso limitado à água de boa qualidade e em quantidade suficiente é problema histórico vivenciado pela população residente na região do semiárido brasileiro. Diante desse aspecto, o presente trabalho tem por finalidade ampliar e contribuir com os estudos vinculados a esse tema.

Levando em consideração a importância para a população rural ao acesso a água, o projeto traz modificações na estrutura original do DesviUFPE para avaliar possíveis aprimoramentos quanto a capacidade de retenção de sólidos flotantes, assim como a avaliação de quantos dias sem precipitação são necessários para que a contaminação da superfície de captação seja grande o suficiente para requerer novo desvio do primeiro milímetro de água de chuva, na precipitação subsequente.

6 METODOLOGIA

6.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no semiárido pernambucano, no município de Caruaru, localizado a aproximadamente 140 km da capital do Estado, Recife (Figura 6).

Figura 6 – Localização do Estado de Pernambuco, com destaque ao município de Caruaru.

Fonte: Autora

O município situa-se na mesorregião do agreste pernambucano, na microrregião do vale do Ipojuca. Com 314.912 habitantes, segundo o último censo do IBGE (2010), é considerada a maior cidade localizada no interior de Pernambuco. Apresenta área municipal de 928,1 km², clima tropical do tipo semiárido, com temperatura média anual de 27°C e índice pluviométrico médio de 484mm. As chuvas são mal distribuídas e escassas, com predominância de ocorrência entre os meses de maio a agosto.

Caruaru exerce um importante papel centralizador no Agreste e no interior pernambucano devido a polarização econômica regional, principalmente nas atividades secundárias e terciárias, sendo um importante polo de confecção de tecidos do Brasil, além das indústrias e o intenso microcomércio que representam a economia do local (IBGE, 2014). No entanto, tais atividades exercem grandes pressões sobre os recursos hídricos ao mesmo tempo em que a incidência de racionamento persiste sobre a cidade.

6.2 Materiais e métodos

O presente trabalho trata da continuidade de ações iniciadas em 2007 pela equipe de pesquisadores que atuam na temática proteção da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas, no campus de Caruaru da UFPE. O projeto surgiu da necessidade de melhorar a qualidade da água armazenada nas cisternas para consumo humano, tanto em períodos chuvosos, quanto em períodos de estiagem.

Para isso, utilizou-se da barreira sanitária DesviUFPE nas duas etapas submetidas no presente trabalho. Sendo a primeira etapa realizada na zona rural do município de Caruaru em escala real e a segunda etapa na Instalação Experimental de Cisternas, localizada na Universidade Federal de Pernambuco no Campus Acadêmico do Agreste, em escala laboratorial. Na Tabela 1, segue o esquema das etapas com seus respectivos objetivos.

Tabela 1 – Esquema das atividades realizadas.

Etapa	Escala	Objetivo	Local
1	Real	Analisar a capacidade de retenção de sólidos flotantes no DesviUFPE após modificação em sua estrutura original	Comunidade Lajedo do Cedro Zona Rural
2	Laboratorial	Determinar o intervalo de tempo sem precipitação necessário para que a contaminação da superfície de captação seja grande o suficiente para requerer novo desvio do primeiro milímetro de água de chuva, na precipitação subsequente	Instalação Experimental de Cisternas UFPE - CAA

Fonte: Autora

6.3 Etapas da pesquisa

6.3.1 Primeira etapa: modificação no DesviUFPE

A primeira etapa foi realizada na comunidade Lajedo do Cedro, zona rural do município de Caruaru. O ponto de coleta era localizado na coordenada 8°12’ 37.6” S 36°05’ 41.0” W e caracterizava-se por ruas não pavimentadas, pela presença de vegetação e animais.

Nesta etapa foram instalados dois DesviUFPE, cada um com a capacidade de acumulação de 1mm de água de chuva, conectados ao mesmo telhado, mas recebendo, cada desvio, água de chuva proveniente da metade da área do telhado (Figura 7).

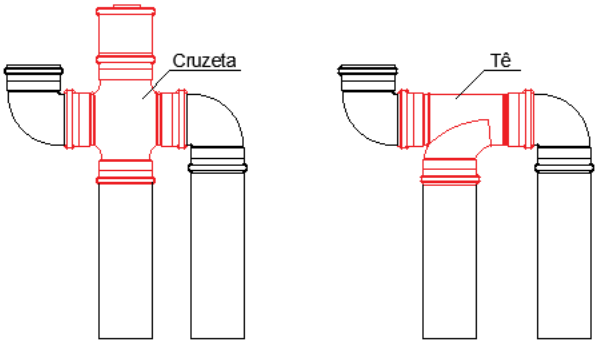
Figura 7 – Fotografia dos dispositivos DesviUFPE na zona rural de Caruaru: (A) telhado utilizado para instalação dos DesviUFPE; (B) DesviUFPE modificado (destaque em círculo); (C) DesviUFPE no formato original.

Fonte: Autora

A instalação dos desvios ocorreu com a modificação da estrutura física de um dos DesviUFPE para avaliar uma possível melhoria na eficiência em reter os materiais flotantes, carreados após a lavagem do telhado, quando comparado a eficiência do desvio na sua forma original.

A modificação do desvio difere na geometria da configuração original no que diz respeito a substituição do tê a uma cruzeta que foi posicionada na parte superior de cada tubo. Na parte de cima da cruzeta utilizou-se uma tampa rosqueável com furo no centro para equilíbrio da pressão atmosférica com a pressão no interior do tubo. Tal mudança tem como justificativa avaliar se os materiais flotantes juntamente com os materiais de volumes menores são retidos na região superior da cruzeta.

Figura 8 – Modificação do DesviUFPE.



Fonte: Autora

Dada a importância que para o dimensionamento de ambos os dispositivos foi necessário o conhecimento da área do telhado, igual a 16 m², da altura de precipitação, que é

de 1 litro/m², e da capacidade de acúmulo de água em 1 m de tubo de PVC, tem-se para cada DesviUFPE, que recebe a contribuição da metade da área do telhado, o comprimento de 1 m de tubo.

$$Volume_{Descarte} = 8\,m^2 * 1\frac{l}{m^2} = 8\,l$$

$$Quantidade_{metros\ tubo} = \frac{8\,l}{7{,}854\,\frac{l}{m}} = 1\,m$$

Em relação aos materiais de coleta, utilizou-se recipientes de polietileno com capacidade para 500 mL, todos esterilizados em autoclave a 121°C por 15 minutos. Foram realizadas três coletas com amostras em dois pontos distintos: no interior de cada desvio, onde é armazenado o primeiro milímetro de precipitação e em balde de plástico que armazena o volume do segundo milímetro precipitado. Após a coleta as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e encaminhadas para análise.

Os parâmetros analisados estão de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) e o valor máximo permitido (VMP) estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde N°2914/2011 encontra-se listado na Tabela 2. As análises bacteriológicas foram realizadas em capela de fluxo laminar fazendo-se uso de kits CHROMOCULT de membranas filtrantes para investigação de *E. coli* e coliformes totais. Após o tempo de incubação (24h a 35ºC) foi utilizado um contador manual de colônias para a contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC).

Tabela 2 – Métodos e análises realizados na primeira etapa.

	Parâmetros	**Unidade**	**Método de análise**	**Limites da Portaria do MS N° 2914/2011**	**Código Standard Methods**
Parâmetros Físico-Químicos	pH	*	pHmetro	6,0-9,5	4500 B
	Condutividade Elétrica	µS/cm	Condutivímetro	*	2510 B
	Turbidez	NTU	Nefelométrico	5	2123 B
	Cor Verdadeira	mg Pt-Co/L	Nefelométrico	*	2120 C
	Cor Aparente	mg Pt-Co/L	Nefelométrico	15	2120 C
Parâmetros Bacteriológicos	Coliformes totais e *E. coli*	UFC/100 mL	Membrana filtrante	Ausência em 100 mL	9223 B

Fonte: Autora.

Para avaliar a possível eficiência na modificação do desvio as coletas foram realizadas logo após as precipitações, respeitando um intervalo de no mínimo cinco dias entre uma coleta e outra, pois estima-se que seja um prazo suficiente para uma nova contaminação do telhado.

6.3.2 Segunda etapa: interferência de veranico na qualidade da água de chuva

A segunda etapa foi realizada na instalação experimental de cisternas (IEC) localizada no Centro Acadêmico do Agreste/UFPE, no município de Caruaru/PE, que oferece condições para realizar simulação de chuva. Posicionada entre um estacionamento da universidade e um terreno baldio, no qual há frequentemente presença de bovinos, as características da segunda etapa, como mostra a Figura 9, assemelham-se as características ambientais de zona rural da primeira etapa, com a presença de arborização, baixo fluxo de veículos e ausência de pavimentação.

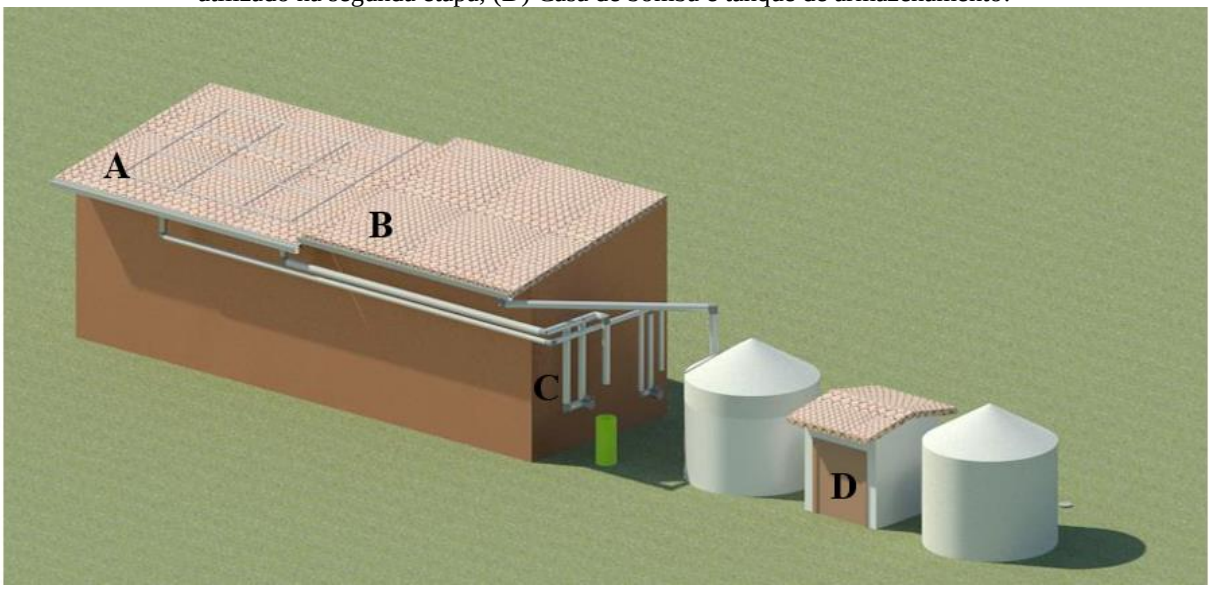
Figura 9 – Característica da instalação experimental de cisternas (IEC).

Fonte: Autora

A IEC é composta por uma edificação térrea com dois telhados independentes de áreas de 50 m² e 59 m², 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 este trabalho foi usado apenas a metade do telhado de 50 m² com os aspersores devidamente posicionados e com o DesviUFPE conectado como indica a Figura 10.

Figura 10 - Instalação Experimental de Cisternas: (A) telhado de 50m²; (B) telhado de 59m²; (C) DesviUFPE utilizado na segunda etapa; (D) Casa de bomba e tanque de armazenamento.



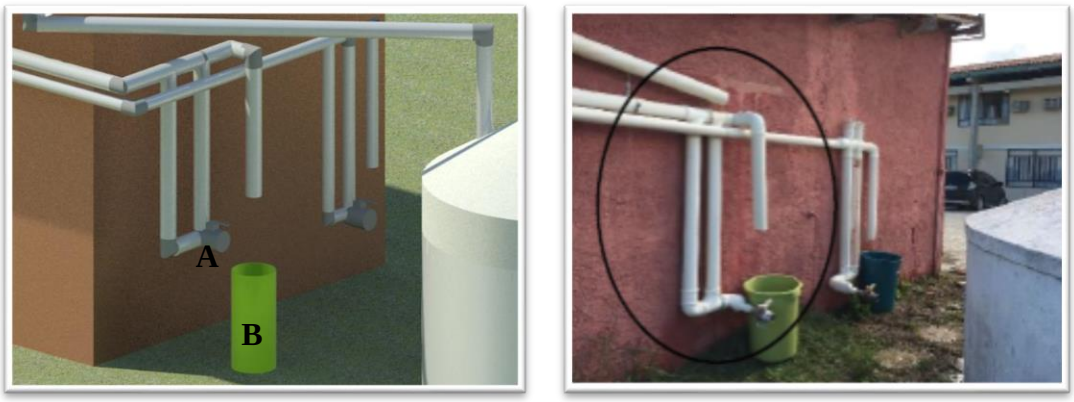
Fonte: Autora

Nessa fase do trabalho foi analisada a interferência de 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 pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) 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 uma aproximada precipitação típica da área de estudo, que é 23 mm/h.

O dimensionamento do desvio dessa etapa levou em consideração os mesmos critérios que o da etapa anterior. Sabendo que a área de captação é igual a 25 m² e que a altura de precipitação é de 1 litro/m², tem-se que o comprimento dos tubos do DesviUFPE é de 3,18 m. Para facilitar a instalação do dispositivo, optou-se por dividir o tubo em dois seguimentos de 1,6 m de comprimento cada (Figura 11).

Figura 11 – DesviUFPE instalado na IEC: (A) Ponto de coleta no interior do desvio; (B) Ponto de coleta da água de chuva desviada no balde de plástico.



Fonte: Autora

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. Dessa forma, os pontos de coleta realizados para avaliar a influência da deposição seca, em tempos pré-determinados, sobre a qualidade da água de chuva se deu no interior do DesviUFPE e no balde de plástico. Para evitar a sedimentação dos sólidos no fundo do balde, foi necessário a agitação constante da amostra para a devida homogeneização, em seguida foi armazenada em recipientes de polietileno com capacidade de 500 mL para as posteriores análises físico-químicas.

Os parâmetros analisados foram realizados de acordo com a APHA (2012) e estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Métodos e análises realizados na segunda etapa.

Parâmetros	Unidade	Método de análise	Código Standard Methods
Cor verdadeira	mg Pt-Co/L	Nefelométrico	2120 C
Cor aparente	mg Pt-Co/L	Nefelométrico	2120 C
Turbidez	NTU	Nefelométrico	2123 B
Condutividade elétrica	µS/cm	Condutivímetro	2510 B
pH	*	pHmetro	4500 B

Fonte: Autora

As chuvas simuladas em toda a segunda etapa procediam da água de abastecimento da COMPESA, portanto, em caso de precipitações naturais entre os intervalos pré-determinados, a contagem dos dias de deposição seca passou a ser retomada a partir da precipitação natural ocorrida. As chuvas naturais foram acompanhadas por meio dos dados coletados na estação climatológica LAMTESA.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Primeira etapa: modificação no DesviUFPE

Os resultados obtidos referentes a média das três coletas realizadas estão listados na Tabela 4 e na Figura 12. São comparados os valores dos parâmetros cor aparente, cor verdadeira, turbidez, pH, condutividade elétrica, coliformes totais e *E. Coli* do dispositivo de desvio dos primeiros milímetros de água na sua estrutura original (DesviUFPE) com o modificado (DesviUFPE modificado). As coletas foram efetuadas em dois pontos, no interior do DesviUFPE e seu excedente no balde de plástico para cada desvio analisado.

Através dos resultados foi possível observar que o DesviUFPE modificado obteve resultados melhores no após desvio em relação ao desvio. Araújo (2017) realizou experimento semelhante, porém em situação experimental, utilizando bolas de isopor. Tal análise resultou em 73,3% de retenção no interior do DesviUFPE modificado do material usado (bolas de isopor).

Tabela 4 – Média dos Resultados dos parâmetros físico-químicos da primeira etapa.

	DesviUFPE original		**Eficiência DesviUFPE original**	**DesviUFPE modificado**		**Eficiência DesviUFPE modificado**	**Limites da Portaria do MS N° 2914/2011**
	Desvio	Após desvio		Desvio	Após desvio		
Cor verdadeira (mg Pt-Co/L)	59	25	57,1%	56,3	19,3	64,6%	*
Cor aparente (mg Pt-Co/L)	189,3	34	77,8%	170,3	29,7	77,7%	15
Turbidez (UT)	117,3	35,3	72,7%	151,3	30,7	81,8%	5
Condutividade elétrica (µS/cm)	43,6	15,7	49,0%	47,4	19,4	51,9%	*
pH	6,3	6,2	1,4%	6,8	6,2	8,3%	6,0-9,5

Fonte: Autora

Para o parâmetro cor verdadeira foi avaliado os resultados no desvio na sua estrutura original e modificada através das análises no interior de ambos os desvios e também nos seus excedentes (após desvio). Observa-se a eficiência em cada dispositivo, tendo o modificado eficiência superior ao original com valor de 64,6%. No que diz respeito a eficiência de um dispositivo em relação ao outro, tem-se um valor de aproximadamente 12% de eficiência do modificado maior do que o original.

Vale ressaltar que a presença de cor esteve associada principalmente à deposição de sólidos em suspenção, restos de plantas e excreções de animais presentes nos telhados e calhas e que ambos os desvios promoveram a retenção dos poluentes incorporados na água de chuva.

Para o parâmetro cor aparente não se observou diferença entre o comportamento do dispositivo modificado e do original, tendo ambos valores aproximados de 78% de remoção. O resultado da eficiência demonstra a importância no uso do dispositivo como barreira sanitária, ainda que as amostras não atendam ao padrão brasileiro de potabilidade de água que é de 15 mgPt-Co/L.

No que diz respeito ao parâmetro turbidez, Von Sperling (2014) define como uma propriedade física que representa a redução de transparência devido à presença de materiais em suspensão. A importância da remoção do parâmetro se dá principalmente porque os sólidos em suspenção podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos e também porque diminuem a eficiência da desinfecção.

Os resultados de turbidez indicam boa eficiência de remoção tanto no dispositivo modificado quanto no original, tendo uma remoção de aproximadamente 82% e 73% respectivamente. E entre os dois desvios, observou-se que o modificado apresentou melhor desempenho, sendo 11% mais eficiente que o dispositivo original.

O parâmetro de condutividade elétrica representa a facilidade ou dificuldade de passagem da eletricidade através da água, sendo os compostos orgânicos e inorgânicos os interferentes na condutividade, de acordo com sua concentração na amostra.

Segundo Figueiras (2013), durante o período de estiagem ocorre a deposição de sólidos em suspensão e de matéria orgânica, tanto de origem animal como vegetal, nas calhas e telhado, contribuindo assim para o aumento dos valores de sólidos, turbidez, condutividade, além da contaminação bacteriológica.

A Portaria do Ministério da Saúde não estabelece valor de referência para condutividade. Os valores encontrados no presente trabalho variam entre 47,4 μS/cm e 15,7 μS/cm, como visto na Tabela 4. Observa-se também que os dispositivos foram eficientes na remoção de condutividade elétrica, 51,9% e 49%, para o dispositivo modificado e dispositivo original, respectivamente. Mas o DesviUFPE modificado apresentou melhor desempenho (5,6%) comparado ao dispositivo original.

Em relação ao pH, a média das amostras coletadas em ambos os DesviUFPE estavam em total acordo com a Portaria N° 2914/2011 que recomenda, para o sistema de distribuição, pH na faixa de 6,0 a 9,5.

Neste trabalho o pH variou de 6,2 a 6,8. Cabe destacar também que o pH possui amplo intervalo recomendado na Portaria, e sua recomendação possui preocupação associada à ocorrência de corrosão ou incrustação em tubulações de sistemas de abastecimento de água.

Para os parâmetros microbiológicos utilizou-se dois indicadores microbiológicos, coliformes totais e *E. Coli*, cujos resultados estão apresentados na Figura 11.

Observa-se que os maiores valores se deram no interior de ambos os desvios tanto para coliformes totais como para *E. Coli.* Além disso, é possível avaliar que os dispositivos apresentaram um bom desempenho, já que a remoção dos indicadores microbiológicos foi evidente.

No que se refere à eficiência dos DesviUFPE, nota-se que os dois foram eficazes em diminuir a quantidade de microrganismos patogênicos encaminhados para os reservatórios de armazenamento. Através da Figura 12, observa-se que a eficiência do DesviUFPE original chegou a 86,6% e 83,3% para coliforme total e *E. Coli*, respectivamente, enquanto o desvio modificado atingiu percentuais de remoção de 95,1% para coliforme total e 94,4% para *E. Coli.*

Figura 12 - Média dos valores obtidos para coliformes totais e *E.Coli*.

Fonte: Autora

Outra importante consideração é a eficiência do desvio modificado em relação ao original. Para o parâmetro coliformes totais o desvio modificado apresentou eficiência de aproximadamente 9% em relação ao DesviUFPE original, já para o parâmetro *E. Coli* o DesviUFPE modificado apresentou um desempenho superior de 12% quando comparado ao original.

Os indicadores microbiológicos são importantes parâmetros que devem ser analisados para águas que se destinam ao consumo humano, em função de sua relação com a incidência de doenças gastrointestinais. Portanto, o uso do dispositivo de desvio dos primeiros milímetros de água é indispensável, especialmente por considerar que a população rural utiliza a chuva como fonte principal de água, inclusive para fins potáveis.

7.2 Segunda etapa: interferência de veranico na qualidade da água de chuva

Os parâmetros analisados de cor verdadeira, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica e pH foram realizados 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 pela Compesa, simulada na IEC, com pressão de 5 mca, que corresponde a intensidade de 23mm/h.

O dispositivo de desvio testado foi o DesviUFPE, o volume de água retido em seu interior foi o correspondente a 1 mm de chuva ou 1 litro/m² e os períodos de estiagem foram 1dia, 2 dias, 3 dias, 4 dias, 5 dias, 6 dias, 7 dias e 15 dias.

Silva (2017) realizou trabalho semelhante, no mesmo local, utilizando o dispositivo DesviUFPE, nas mesmas condições experimentais, considerando a mesma precipitação típica da área de estudo, que é 23 mm/h, porém com período de estiagem de até cinco dias, constatando deterioração da qualidade da água de chuva logo nos primeiros dias sem precipitação. Também evidenciou que, com o aumento dos dias sem precipitação houve também o aumento na concentração de turbidez e cor verdadeira. Tal aumento na concentração levou a realização deste trabalho em avaliar o comportamento do dispositivo de desvio diante da deposição seca em período de estiagem maior.

Egodawatta, Thomas e Goonetilleke (2009) relatam que 80% do total das partículas presentes na atmosfera são depositadas no telhado durante os sete primeiros dias sem chuva. É possível que com o passar dos dias sem precipitação, e em função da velocidade e direção de vento, alguns sedimentos sejam transportados para outros pontos de deposição.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram a deterioração da qualidade da água de chuva e o aumento da concentração de poluentes no decorrer dos dias sem precipitação. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos no interior do DesviUFPE e no após desvio ao fim da simulação da chuva, enquanto a Tabela 6 apresenta os resultados da água da Compesa antes da simulação.

Tabela 5 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da segunda etapa. D representa análise no interior do desvio e A representa análise no Após desvio.

Pontos de análise	**Parâmetros**				
	Cor verdadeira (mg Pt-Co/L)	Cor aparente (mg Pt-Co/L)	Turbidez UT	Condutividade elétrica (µS/cm)	pH
D1	11	104	47,8	194,5	6,71
A1	7	53	15,94	191,1	6,84
D2	15	141	185,7	222,93	7,02
A2	11	61	19,51	207,7	6,94
D3	26	221	189,7	214,5	7,15
A3	19	68	13,99	198,4	6,98
D4	60	321	259,7	224,9	7,00
A4	20	46	16,15	201,3	7,96
D5	87	474	355,7	236,8	6,82
A5	30	57	8,4	217,4	6,98
D6	94	300	436	247,4	7,03
A6	61	47	34	240	7,05
D7	96	290	400	333	6,66
A7	65	75	22	288,1	7,55
D15	99	215	517	266,4	5,83
A15	42	44	8,07	246,5	6,00

D1: Interior do DesviUFPE – 1 dia; A1: Após DesviUFPE – 1 dia; D2: Interior do DesviUFPE – 2 dias; A2: Após DesviUFPE – 2 dias; D3: Interior do DesviUFPE – 3 dias; A3: Após DesviUFPE – 3 dias; D4: Interior do DesviUFPE – 4dias; A4: Após DesviUFPE – 4 dias; D5: Interior do DesviUFPE – 5 dias; A5: Após DesviUFPE – 5 dias; D6: Interior do DesviUFPE – 6 dias; A6: Após DesviUFPE – 6 dias; D7: Interior do DesviUFPE – 7 dias; A7: Após DesviUFPE – 7 dias; D15: Interior do DesviUFPE – 15 dias; A15: Após DesviUFPE – 15 dias.

Fonte: Autora

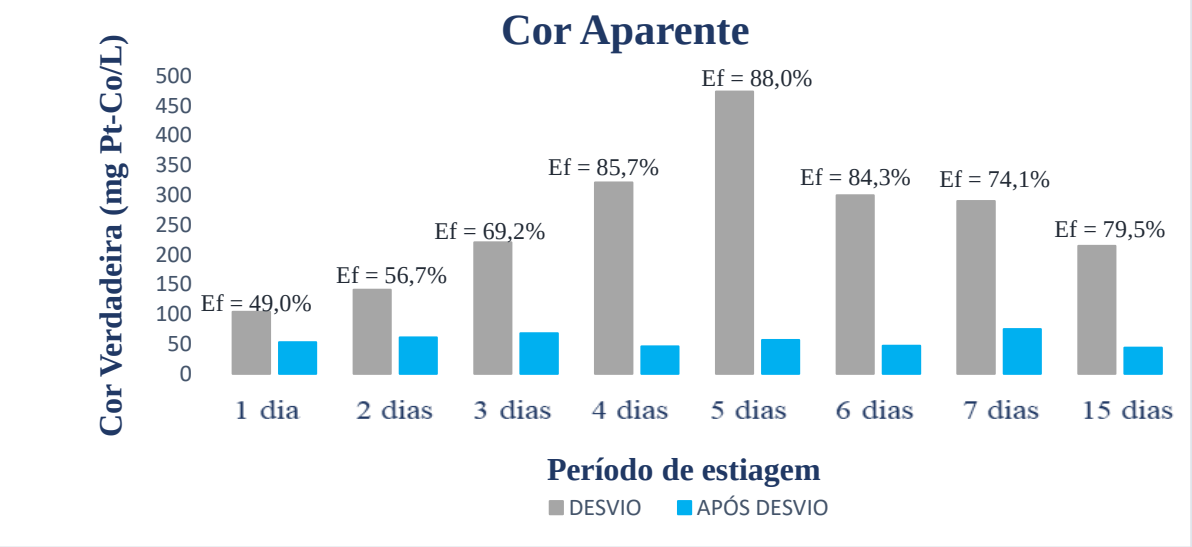
Tabela 6 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da água disponibilizada pela Compesa.

Período de estiagem	**Cor Verdadeira (mg Pt-Co/L)**	**Cor Aparente (mg Pt-Co/L)**	**Turbidez UT**	**pH**	**Condutividade Elétrica µS/cm**
1	30	54	4,64	6,82	189,7
2	35	21	3,18	6,89	185,9
3	33	64	6,16	6,84	184,7
4	84	67	9,56	6,65	184
5	38	50	9,68	6,60	188
6	34	18	2,91	6,86	188,2
7	30	47	2,69	6,95	195,4
15	32	60	4,20	6,78	195

Fonte: Autora

A Figura 13 apresenta os valores obtidos para cor aparente em dois pontos de coleta, no interior do DesviUFPE e seu excedente no balde de plástico. Observa-se a eficiência em cada um dos dias de deposição seca considerados, tendo o quinto dia sem precipitação a maior eficiência, com 88,0%. A situação mais crítica se deu entre o terceiro e quarto dia, com a maior variação de eficiência. Também é possível avaliar que há aumento de concentração de poluentes no decorrer dos dias sem precipitação e que o uso do desvio como proteção sanitária foi necessário para evitar ou minimizar a contaminação da água de chuva. Quanto maior for a exposição da água a agentes contaminantes, maiores serão os cuidados necessários. Vale ressaltar 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.

Figura 13- Resultado de cor aparente para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO).

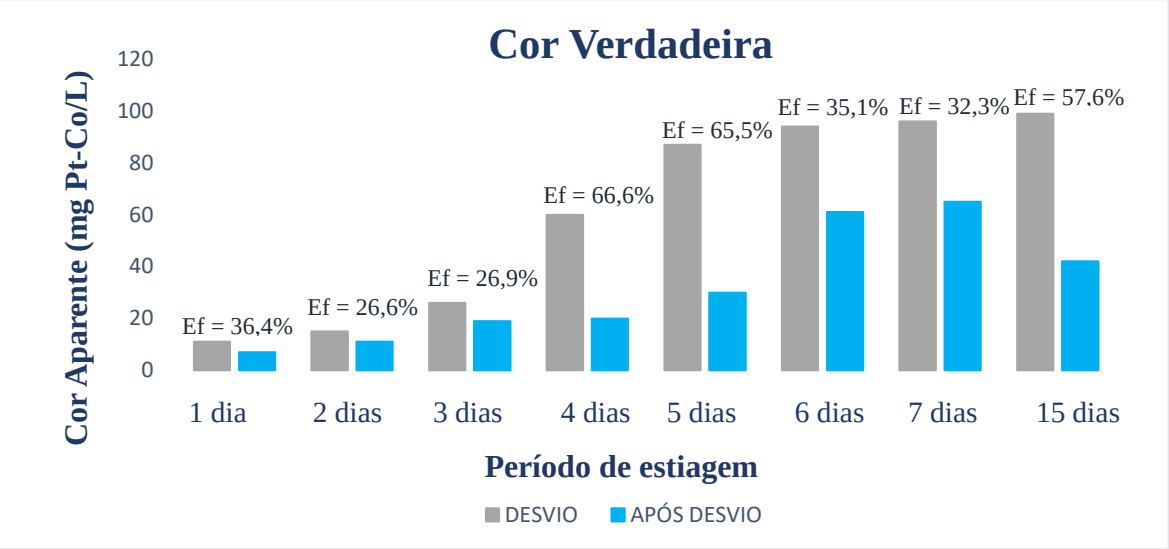


Fonte – Autora

O parâmetro cor verdadeira (Figura 14) resultou em eficiências maiores nos primeiros 4 e 5 dias, com eficiências de 66,6% e 65,5%, respectivamente. É possível perceber que há um aumento de concentração de cor verdadeira no após 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 a contaminação é baixa, justificando os baixos valores de eficiência.

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.

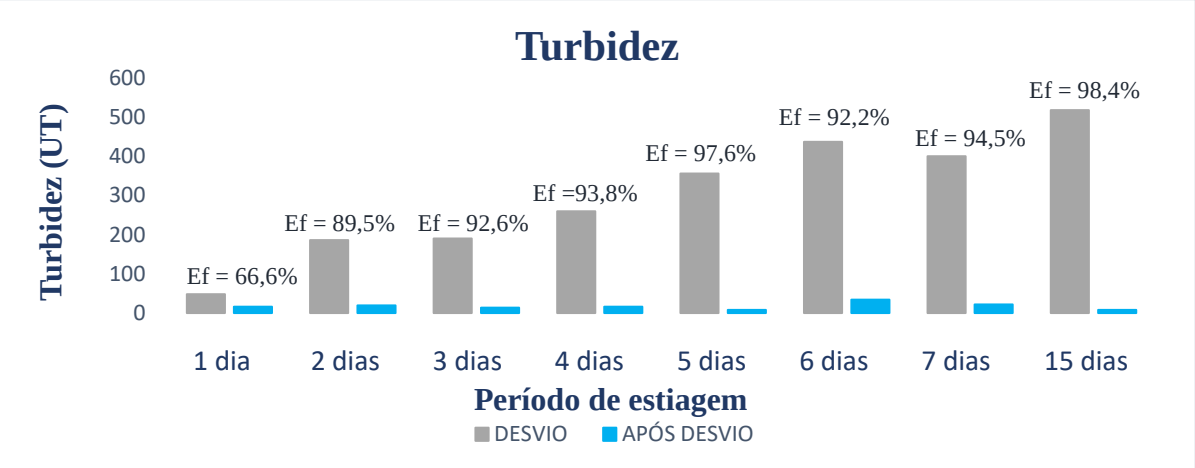
Figura 14 - Resultado de cor verdadeira para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO).



Fonte – Autora

Já para o parâmetro de turbidez (Figura 15) é apresentado logo no terceiro dia uma eficiência superior a 90%, permanecendo com esse padrão de eficiência nos seguintes dias sem precipitação. Ao se considerar a importância sanitária do parâmetro turbidez recomenda-se que o desvio da água de chuva, por meio do DesviUFPE, se dê já a partir do quinto dia sem precipitação, pois a turbidez no após desvio não aumenta quando comparado aos dias anteriores. Também é importante analisar que a escolha do dia não deve ser feita levando em consideração apenas a maior eficiência do dispositivo, pois é possível que haja ao mesmo tempo o aumento na concentração de turbidez no decorrer dos dias sem precipitação e consequentemente o aumento nos riscos sanitários. No décimo quinto dia é possível avaliar tal situação, afinal a eficiência foi consideravelmente alta, porém houve o aumento da concentração de poluentes.

Figura 15 - Resultado de turbidez para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO).



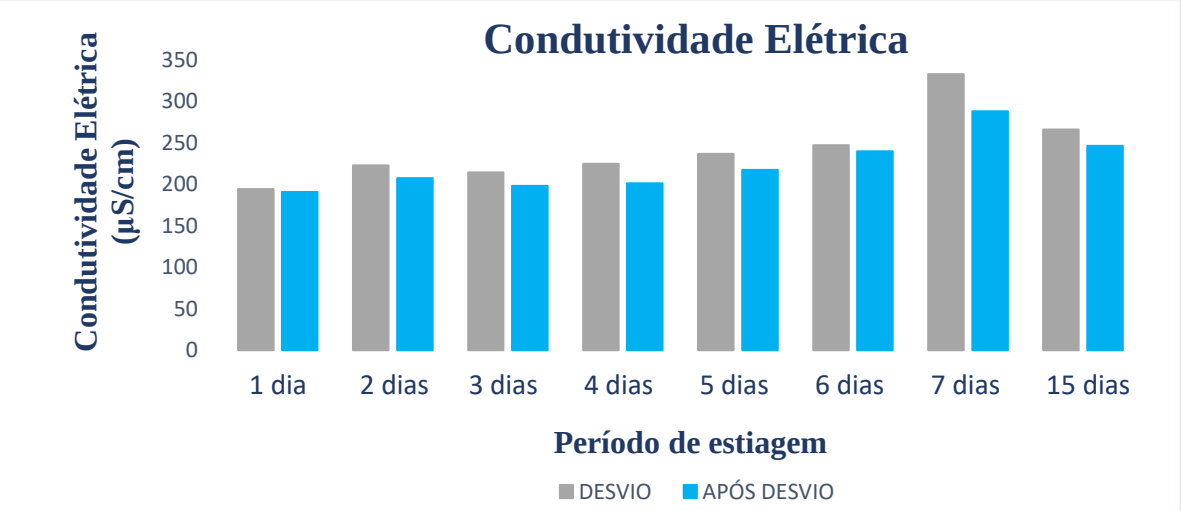
Fonte – Autora

Uma importante consideração a respeito da deposição seca é a associação com o volume de água não direcionada a cisterna. Durante o mês de janeiro de 2018 foi registrado 8 dias com precipitação pluviométrica (APAC, 2018). Caso o DesviUFPE fosse utilizado todos os dias, o volume de água que não seria destinado a cisterna nas condições testadas (25 m² de telhado) seria de 200 L, porém ao considerar os cinco dias de deposição seca como o período máximo para requerer um novo desvio, tem-se para o mês de janeiro, 6 eventos chuvosos com intervalo entre um evento e outro inferior a cinco dias, com descarte total de apenas 50 L, gerando uma economia de água descartada de 75%.

Vale ressaltar que toda a água que não é direcionada às cisternas, ou seja, que segue para o interior do DesviUFPE não deve ser desperdiçada. O uso do desvio se faz necessário para melhorar a qualidade da água destinada a consumo humano, mas a água desviada pode ser usada em fins domésticos que não necessitem de elevado padrão de qualidade, tais como lavagem de roupas, pisos, descargas e outros.

A Figura 16 apresenta os resultados encontrados para a análise de condutividade elétrica. É possível perceber que os valores do parâmetro exibiram comportamento semelhante no decorrer dos dias, variando, de acordo com a Tabela 5, de 194,5 a 333 µS/cm. A condutividade elétrica em todas as amostras foi elevada, em função da água aspergida ser fornecida pela COMPESA, e esta possuía alto valor de condutividade elétrica.

Figura 16 - Resultado de condutividade elétrica para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO).

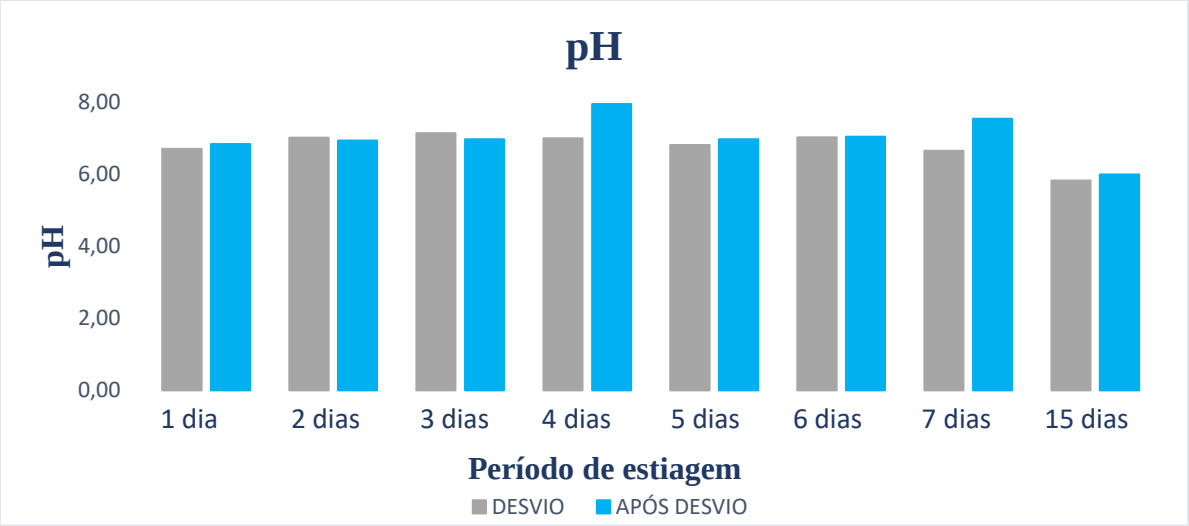


Fonte – Autora

Em relação ao pH (Figura 17), foi constatado que alguns dias de estiagem apresentaram valores maiores no após desvio, mas a diferença entre os dois pontos de coleta não foi acentuada. Segundo Souza et al. (2011), esta variação pode estar associada ao contato da água

com matéria orgânica, restos de animais e poeira, e a dissolução destas substâncias ocasiona as reações químicas que alteram o pH.

Figura 17 - Resultado de pH para as amostras no interior do DesviUFPE (DESVIO) e seu excedente (APÓS DESVIO).



Fonte – Autora

As amostras de todos os dias de estiagem estavam de acordo com a Portaria N° 2914/2011 que recomenda para o sistema de distribuição pH na faixa de 6,0 a 9,5, com exceção ao ponto de coleta D15, o qual obteve pH de 5, 83. Para este trabalho o pH variou de 5,83 a 7,96.

8 CONCLUSÃO

Na primeira etapa deste trabalho pôde-se concluir que a modificação na estrutura física do dispositivo de desvio dos primeiros milímetros de água foi eficiente em remover sólidos flotantes. O desvio modificado foi capaz de remover cerca de 12% de cor verdadeira e aproximadamente 11% do parâmetro turbidez quando comparado ao desvio na sua estrutura original, indicando maior eficiência em controlar que sólidos flotantes sejam direcionadas às cisternas.

Outra importante consideração é relacionada aos indicadores microbiológicos que são importantes parâmetros para análise de águas que se destinam ao consumo humano. No que se refere a eficiência dos desvios, observa-se que o DesviUFPE e o DesviUFPE modificado foram eficazes na remoção de patógenos. Foi observado remoção de 86,6% e 83,3% para o DesviUFPE e 95,1% e 94,4% para o DesviUFPE modificado no que diz respeito ao coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente. Esses resultados confirmam a importância do desvio das primeiras águas de chuvas como barreira sanitária na melhoria da qualidade da água armazenada em cisternas.

Na segunda etapa da pesquisa foi constatado a influência da deposição seca sobre a qualidade da água de chuva. Por meio do comportamento da turbidez, cuja eficiência de remoção no DesviUFPE foi sempre superior a 90%, foi possível indicar que cinco dias sem precipitação já é suficiente para requerer o uso do desvio num evento sequente.

Outro fator analisado foi a associação entre a deposição seca e o volume de água não direcionada a cisterna. Visto que o descarte mínimo da água desviada representa principalmente para a população rural maior volume de água destinada ao consumo humano, foi possível verificar que ao utilizar o período máximo de cinco dias para requerer o uso do desvio no evento chuvoso seguinte, ou seja, não esvaziar o desvio a cada dia, haverá diminuição do volume de água descartada. Tal economia se faz importante para evitar descartes desnecessários de água de chuva, beneficiando a população rural que usa a precipitação pluviométrica como fonte principal de água, inclusive para fins potáveis.

Essa etapa também evidenciou que, com o aumento dos dias sem precipitação, há também aumento na concentração de turbidez e cor verdadeira, tendo dias sem precipitação com concentrações menores devido a ação do vento, transportando alguns sedimentos para outros pontos de deposição.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 13, n. 36, Mai/Ago. 1999.

AÇÕES - P1MC. **Articulação semiarido brasileiro - ASA**. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>. Acesso em: 28 de outubro de 2017.

ALVES, F.; KOCHLING, T.; LUZ, J.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil. **Journal of Water and Health**, v. 12, n. 3, p. 513-525, 2014.

ALVES, F.; LUZ, J.; FIGUEIRAS, M. L.; MEDEIROS, L. L.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. Qualidade de água em cisternas do semiárido pernambucano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., 2012, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, 2012.

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA),** v. 1, n. 1, p. 73-86, 2013.

ANDRADE NETO, C. O. Proteção sanitária das cisternas rurais. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11., 2004, Natal. **Anais...** Natal: ABES /APESB/APRH, 2004.

ANDRADE, G.O. de. Alguns aspectos do quadro natural do Nordeste**. Estudos Regionais, 2**, Recife: SUDENE, 1977.

APAC. **Boletins Pluviométricos anteriores.** Disponível em**:**< http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/boletins_pluviometricos_old.php>. Acesso em: 13 de junho de 2018.

APHA, American Public Health Assotiation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22. ed. Washington DC: Centennial Edition, 2012.

ARAÚJO, L. F. **Avaliação da qualidade de água a partir do desvio dos primeiros milímetros de água de chuva, utilizando como barreira sanitária o DesviUFPE.** Caruaru: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

BRASIL, Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, 2011. Disponível em <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/kit_arsesp_portaria2914.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2017.

BRITO, L. T. L.; PORTO, E. R.; SILVA, A. S.; SILVA, M. S. L.; HERMES, L. C; MARTINS, S.S. Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas de cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5., 2005, Teresina - PI. **Anais...** Teresina-PI, 2005.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 61-82, jul. 2008.

COMUNICAÇÃO, A. Delimitação do semiárido mantém formação atual e inclui 54 novos municípios. **Ministério da Integração Nacional**, 2017. Disponivel em: <https://tinyurl.com/ya5tno8w>. Acesso em: 17 de outubro de 2017.

EGODAWATTA, P.; THOMAS, E.; GOONETILLEKE, A. Understanding the physical processes of pollutant build-up and washoff on roof surfaces. **Science of the Total Environment,** v. 407, n. 6, p. 1834-1841, 2009.

FORNARO, A. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?. **Revista USP**, São Paulo, n.70, p. 78-87, jun/ago. 2006.

GNADLINGER, J. Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no semi-árido brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.

GNADLINGER, J. Tecnologias de captação e manejo de água de chuva em regiões. In: ANGELA KÜSTER, J. F. M. I. M.- **Tecnologias Apropriadas para Terras Secas:** Manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas no Nordeste do Brasil. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2006. p. 103-122.

HUSTON, R.; CHAN, Y. C.; CHAPMAN, H.; GARDNER, T.; SHAW, G. Source apportionment of heavy metals and ionic contaminants in rainwater tanks in a subtropical urban area in Australia. **Water Research,** v. 46, p. 1121-1132, 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 14 de janeiro de 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2980/momun_ne_pe_caruaru.pdf>. Acesso em: 14 de janeiro de 2018.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Semiárido brasileiro e políticas regionais: o caso do Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste (FNE).** Brasília, DF, 2015.

LIMA, J. C. A. L. **Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano.** Recife: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

MALVEZZI, R. **Semi-árido uma visão holística**. 1ª. ed. Brasília: Confea, 2007.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias estratégicas.** Brasília, DF, n. 27, dez. 2008.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** São Paulo: Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

MDS - Ministério do Desenvolvimento Social (2016). **Programa Cisternas entrega 54 mil tecnologias de acesso à água para famílias do Semiárido.** Disponível em: <http://www.mds.gov.br/>. Acesso em: 16 de novembro de 2017.

MI - Ministério da Integração Nacional (2005). **Nova delimitação do semiárido Brasileiro**. Disponível em: <www.mi.gov.br>. Acesso em: 07 novembros de 2017.

OLIVEIRA, L. A. **Estratégias de educação ambiental para promoção do manejo sustentável dos sistemas de captação de água de chuva em comunidades rurais do cariri-PB.** Campina Grande: Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, 2009.

OMS, Organização Mundial de Saúde. Diretrizes para a qualidade de água potável, 4ed. Geneva, 2011. Disponível em <http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf>. Acesso em: 18 de março de 2018.

PÁDUA, V. L. de. (coord.). Proteção Sanitária das Cisternas Utilizadas na Reservação de Águas Pluviais para Uso Domiciliar: Aspectos Técnicos e Educacionais. **5º Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública**. Fundação Nacional de Saúde. Brasília: FUNASA, 2013.

PAN, Y. P.; WANG, Y. S. Atmospheric wet and dry deposition of trace elements at 10 sites in Northern China. **Atmos. Chem. Phys.,** v. 15, p. 951–972, 2015.

PINTO, J. E. S. S. **Os reflexos da seca no Estado de Sergipe.** São Cristóvão: NPGEO/UFS, 1999. 179 p.

SILVA, C. V. D.; HELLER, L.; CARNEIRO, M. Cisternas para armazenamento de água de chuva e efeito na diarreia infantil: um estudo na área rural do semiárido de Minas Gerais. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 393-400, out/dez. 2012.

SILVA, F. A. S.; RAO, T. V. R. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 6 n. 3, p. 453-459, 2002.

SILVA, S. T. B. **Influência das condições de ocupação do solo, da deposição seca e de dispositivos de desvio, sobre a qualidade da água de chuva**. Recife: Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S. Análise espacial e climatológica da ocorrência de veranicos no sertão de pernambuco. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 1, p. 95-106, jan/mar. 2010.

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.

THOMAS, R. B.; KIRISITS, M. J.; LYE, D. J.; KINNEY, K. A. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **Journal of Cleaner Production,** v. 75, p. 166-173, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed Belo Horizonte: UFMG, 2014. 470 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1). ISBN 9788542300536.

XAVIER, R. P. **Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano.** Campina Grande: Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, 2010.