



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Selma Thaís Bruno da Silva

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE OCUPAÇÃO DO SOLO, DA DEPOSIÇÃO SECA
E DE DISPOSITIVOS DE DESVIO, SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

Recife

2017

Selma Thaís Bruno da Silva

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE OCUPAÇÃO DO SOLO, DA DEPOSIÇÃO SECA
E DE DISPOSITIVOS DE DESVIO, SOBRE A QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências
(CTG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE),
como requisito para obtenção do título de Doutor em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Sávia Gavazza, PhD.

Co-orientadora: Prof^a. Sylvana M. dos Santos, DSc.

Recife

2017

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicêa Alves, CRB-4 / 1260

S586i Silva, Selma Thaís Bruno da.
Influência das condições de ocupação do solo, da deposição seca e de dispositivos de desvio, sobre a qualidade da água de chuva / Selma Thaís Bruno da Silva. - 2017.
64folhas, Il. e Tabs.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Sália Gavazza dos Santos Pessoa.
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Sylvana Melo dos Santos.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2017.

Inclui Referências.

1. Engenharia Civil. 2. Água de chuva. 3. Deposição seca.
4. Dispositivos de desvio dos primeiros milímetros. 5. Ocupação do solo.
I. Pessoa, Sália Gavazza dos Santos.(Orientadora). II. Santos, Sylvana Melo dos(Coorientadora). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-24

Selma Thaís Bruno da Silva

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE OCUPAÇÃO DO SOLO, DA
DEPOSIÇÃO SECA E DE DISPOSITIVOS DE DESVIO, SOBRE A
QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e
Geociências (CTG) da Universidade Federal de
Pernambuco (UFPE), como requisito para obtenção
do título de Doutor em Engenharia Civil.

Aprovada em 1 de dezembro de 2017

BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dr.^a Sávia Gavazza dos Santos Pessôa – UFPE
(orientadora)

Prof. Dr. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva – UEFS
(examinador externo)

Prof. Dr. Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes – UFPA
(examinador externo)

Prof. Dr. Wanderli Rogério Moreira Leite – UFPE
(examinador externo)

Prof. Dr. Mario Takayuki Kato – UFPE
(examinador interno)

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

Ao meu bom Deus, que toda hora tem sido fortaleza em minha vida, e foi auxílio para amenizar as dificuldades relacionadas a vida de estudante e de profissional;

À minha família, por apoiar minhas escolhas e decisões, dando aula de suporte e compreensão;

À profa. Sávia Gavazza pelo apoio intelectual e metodológico, e por ser fonte de inspiração para mim;

À profa. Sylvana Melo pelo auxílio metodológico e dedicação para realização deste trabalho;

À UFPE, em especial o campus Agreste, por oferecer as condições necessárias a realização deste trabalho;

À equipe do Laboratório de Engenharia Ambiental, da UFPE/Campus Agreste, por me fornecer condições para execução dos experimentos;

Às agências de fomento FINEP, FACEPE e CNPq, pelo apoio financeiro;

Aos amigos que fiz durante o doutorado: Luttemberg, Thais, Shyrlane, Celinha e Tonho.

A pesquisa foi muito melhor por poder compartilhá-la com vocês.

“... experimente tomar banho de chuva

E conhecer a energia do céu

A energia dessa água sagrada

Nos abençoa da cabeça aos pés

Oh! chuva,

Eu peço que caia devagar

Só molhe esse povo de alegria

Para nunca mais chorar...”

(Luiz Carlinhos)

RESUMO

O presente trabalho avaliou a interferência de poluentes presentes em diferentes ocupações do solo e a deposição seca desses sobre a qualidade de águas de chuva, além de comparar a eficiência de três dispositivos de desvio dos primeiros milímetros precipitados, com o intuito de ampliar o uso de água de chuva em áreas urbanas e industriais, e fortalecer o uso já existente em áreas rurais. O presente trabalho foi dividido em três etapas. Na primeira etapa foi avaliada a influência de poluentes atmosféricos sobre a qualidade da água de chuva coletada em área rural, urbana e industrial. A segunda etapa visava determinar quantos dias sem precipitação seriam suficientes para contaminar uma superfície de captação, requerendo o desvio das primeiras águas de chuva no evento chuvoso seguinte. A última etapa avaliou a eficiência de três dispositivos de desvio de água de chuva. Para a avaliação da influência de poluentes atmosféricos instalou-se DesviUFPE nas cidades de Caruaru e Belo Jardim/PE. Na segunda etapa instalou-se DesviUFPE e simulou-se o veranico em Instalação Experimental de Cisternas. A terceira etapa comparou a eficiência de dispositivos baseados em fecho hídrico (Dispositivo A1), em vasos comunicantes (Dispositivo A2) e outro baseado em ambos os princípios físicos (DesviUFPE). Para a primeira etapa observou-se que na área rural os principais poluentes foram turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e indicadores microbiológicos, na área urbana os sólidos e alumínio (0,07mg/L) foram os maiores, e na área industrial o chumbo (0,06mg/L), o que está relacionado à presença de uma fábrica de baterias automotivas situada no entorno de pontos de coleta. Na segunda etapa observou-se que um dia sem precipitação é suficiente para a ocorrência de deposição seca, justificando o desvio das primeiras águas da próxima precipitação, especialmente ao se avaliar o comportamento da turbidez. Na terceira etapa, percebeu-se que todos os dispositivos de desvio estudados resultaram em melhoria na qualidade da água armazenada, ressaltando-se os resultados obtidos para cor real e aparente, turbidez, sólidos totais, coliformes totais e *E. Coli*. Dessa forma, sugere-se o uso de dispositivos de desvio de água de chuva com capacidade de 1mm para a área rural e urbana, e com 4 mm para a área industrial, assim como, para a área rural, deve-se esvaziar o dispositivo após um dia da ocorrência da chuva.

Palavras-chave: Água de chuva. Deposição seca. Dispositivos de desvio dos primeiros milímetros. Ocupação do solo.

ABSTRACT

This work assessed the interference of pollutants present in different soil occupations and dry deposition of it over the quality of rainwater, in addition to comparing the efficiency of three devices of the first flush, with the intention of to stimulate its use in the urban, industrial and rural area. The present work was divided into three phases. The first one aimed to evaluate the influence of atmospheric pollutants over the rainwater collected in rural, industrial and urban area. The second phase sought to determine how many days without precipitation would be enough to contaminate one surface of captation, which requires the first flush or rainwater close to the rain event. The last one, we assessed the efficiency of three devices in different areas. To the first phase were installed devices (DesviUFPE) at the Caruaru and Belo Jardim/PE cities. To the second phase, were installed (DesviUFPE) and simulated the dry period in Cistern Experimental. In the third phase, the efficiency was compared to three devices: one based on water sealing principle (Device A1); in communicating vessels (Device A1) and other based on both physical principles (DesviUFPE). To the first stage we observed at rural area the main pollutant were turbidity, electric conductivity, total dissolved solids and microbiological indicators. At the urban area the solids and aluminum (0.07 mg/L) were the higher pollutants. At the industrial area, the lead was the higher (0.06 mg/L) related to other areas and seems to be related to close to battery factory round. In the second stage, we showed one day without precipitation is enough to occur the dry deposition, which justifies deviation of the first flush, mainly to assess the pattern or turbidity. In the last stage, it was shown all devices results on better quality of water, highlighting the effects of real and apparent colour, turbidity, total solids, total coliforms and *E. Coli*. We suggested the use of a device with 1mm to improve the quality of rainwater of rural and urban area, and 4 mm to the industrial area. Besides this, the device must be empty after one day after rain.

Keywords: Rainwater. Dry deposition. First flush. Occupation of the soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dispositivo para desvio automático das primeiras águas de chuva.....	28
Figura 2 – Detalhe dos dois tanques que compõem a cisterna com sistema de boia.....	29
Figura 3 – Cisterna com sistema de boia antes do preenchimento do reservatório maior (A), e cisterna com sistema de boia após preenchimento do reservatório maior (B).....	29
Figura 4 – Esquema do DesviUFPE (A) e DesviUFPE instalado no semiárido pernambucano (B).....	30
Figura 5 – Mapa do Brasil com destaque para o Estado de Pernambuco, e para as cidades de Belo Jardim e Caruaru.....	33
Figura 6 – Detalhamento da Etapa 1.....	35
Figura 7 - Locais de coleta da F1 e F2.....	36
Figura 8 – Fotografia dos DesviUFPE instalados em residências situadas na área rural de Caruaru.....	37
Figura 9 – Fotografia dos DesviUFPE instalados área urbana de Caruaru.....	37
Figura 10 – Fotografia dos DesviUFPE instalados na área industrial de Belo Jardim.....	38
Figura 11 – Fotografia do DesviUFPE instalado na área urbana de Caruaru (A), e DesviUFPE instalado na área industrial de Belo Jardim, na Fase 2 da pesquisa.....	39

Figura 12 – Esquema dos telhados, calhas e dispositivos da IEC (A), e DesviUFPE usado na Etapa 2 (destaque em círculo) (B).....	41
Figura 13 – Esquema de direcionamento de água de chuva após dispositivos A1(A), A2 (B e C) e DesviUFPE (D)	42
Figura 14 – Esquema da IEC para a Etapa 3.....	43
Figura 15 – Resultados de chumbo nas amostras de água de chuva coletadas nas áreas urbana e industrial, F1.....	47
Figura 16 – Resultados de zinco (A) e chumbo (B) nas áreas urbana e industrial, respectivamente.....	49
Figura 17 – Resultados de cor aparente para amostras coletadas no interior do DesviUFPE e após esse, em até cinco dias sem precipitação.....	51
Figura 18 – Resultados de cor verdadeira para amostras coletadas no interior do DesviUFPE e após esse, em até cinco dias sem precipitação.....	51
Figura 19 – Resultados de turbidez para amostras coletadas no interior do DesviUFPE e após esse, em até cinco dias sem precipitação.....	52
Figura 20 – Resultados obtidos para coliformes totais e <i>E. Coli</i>	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características dos dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva.....	32
Tabela 2 – Etapas da pesquisa.....	34
Tabela 3 – Características dos sistemas de aproveitamento de água de chuva e dos pontos de coleta.....	34
Tabela 4 – Métodos de análise dos parâmetros investigados na Etapa 1, conforme APHA (2012).....	36
Tabela 5 – Métodos de análise dos parâmetros investigados na Etapa 2, conforme APHA (2012).....	40
Tabela 6 – Métodos de análise dos parâmetros investigados na Etapa 3, conforme APHA (2012).....	44
Tabela 7 – Resultados dos parâmetros analisados em F1, para o primeiro e segundo milímetro das amostras coletadas nas áreas rural, urbana e industrial.....	45
Tabela 8 – Resultados dos parâmetros analisados em F2, nas amostras de água de chuva coletadas na área urbana e industrial, para o primeiro e após o quarto milímetro.....	48
Tabela 9 – Resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos na Etapa 2.....	50
Tabela 10 – Resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos na Etapa 3.....	53
Tabela 11 – Resultados obtidos para coliformes totais e <i>E. Coli</i>	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
CEPFS	Centro de Educação Popular e Formação Social
EBTU	Empresa Brasileira de Transporte Urbano
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
IEC	Instalação Experimental de Cisterna
OMS	Organização Mundial de Saúde
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas Rurais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Importância e justificativa.....	15
1.2	Objetivos geral e específicos.....	16
1.2.1	Objetivo Geral.....	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	16
1.3	Hipóteses.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Aproveitamento de água de chuva.....	17
2.2	Cisternas e o P1MC.....	19
2.3	Fatores interferentes à qualidade de água de chuva armazenada em cisternas.....	23
2.4	Deposição seca e veranico.....	25
2.5	Medidas de proteção sanitária – sistemas de desvio automático das primeiras águas de chuva.....	26
3	METODOLOGIA.....	33
3.1	Área de estudo.....	33
3.2	Materiais e métodos.....	33
3.3	Etapas da pesquisa.....	34
3.3.1	Etapa 1.....	34
3.3.2	Etapa 2.....	39
3.3.3	Etapa 3.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
4.1	Etapa 1.....	45
4.1.1	Fase 1 (F1).....	45
4.1.2	Fase 2 (F1).....	48
4.2	Etapa 2.....	49
4.3	Etapa 3.....	53
5	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro sempre enfrentou problemas relacionados à disponibilidade hídrica, uma vez que na região há irregularidade temporal e espacial das precipitações (Ministério da Integração Nacional, 2005). Sendo assim, soluções alternativas de abastecimento de água são adotadas na região, tanto de forma coletiva quanto individual. A cisterna é o dispositivo mais usado na reserva de água de chuva para fins de abastecimento alternativo individual, inclusive para consumo humano.

Algumas das vantagens da utilização da água de chuva relacionam-se com o armazenamento e uso no local da precipitação, o que diminui custos relacionados ao transporte. Além disso, a água de chuva, em muitos casos, apresenta melhor qualidade que as de mananciais de superfície, principalmente em relação aos parâmetros físico-químicos (Sánchez, Cohim e Kalid, 2015).

No nordeste brasileiro a deposição seca de poluentes atua sobre um prolongado período, 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. Dependendo do nível e tipo de contaminação atmosférica, podem ser incorporados diferentes compostos na água da chuva, como sulfato e ácidos em áreas industriais (Vieira-Filho et al., 2015), amônia, enxofre e zinco em áreas urbanas (Ouyang et al., 2015) e sólidos em suspensão em áreas rurais (Alves et al., 2014).

A remoção de grande parte dos contaminantes atmosféricos e da superfície de contaminação se dá por meio do desvio dos primeiros milímetros de água chuva, sendo esta uma solução inicial consensual bem definida nas áreas rurais (Gikas e Tsihrintzis, 2012). A contaminação adquirida pelo manuseio também pode ser minimizada por meio do uso de bombas e aumento da educação da população em relação às questões sanitárias.

No Brasil é preciso avançar na prática de uso de sistemas de desvio dos primeiros milímetros de água de chuva, que são justamente os mais contaminados, pois incorporam e carregam poluentes acumulados entre dois eventos chuvosos. O maior programa brasileiro de disseminação de cisternas no meio rural, o P1MC (Programa Um Milhão de Cisternas Rurais), por meio da ASA (Articulação Semiárido Brasileiro), já instalou mais de 800.000 cisternas rurais (Ministério da Integração Nacional, 2011), dá maior ênfase à reserva de água, mas dá menor importância à qualidade da água armazenada, já que as cisternas são entregues sem qualquer dispositivo de desvio automático de chuva.

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). Para melhorar sua eficiência é preciso, entretanto, avaliar particularidades, tais como o tipo de contaminação predominante na atmosfera, e o intervalo de tempo entre dois eventos de precipitação, pois esses fatores poderão deteriorar muito a qualidade da água de chuva, podendo requerer desvio de maiores volumes de água.

Considerando o cenário de escassez de água e a deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas nas áreas urbanas e industriais, a água da chuva pode tornar-se uma fonte de água de boa qualidade também para essas áreas. Nessa direção, no presente trabalho, avaliou-se a influência da contaminação do ar atmosférico e da deposição seca sobre a qualidade da água precipitada, além da eficiência do DesviUFPE enquanto dispositivo para desvio das primeiras águas de chuva.

1.1 Importância e justificativa

A água de chuva se destaca como importante fonte alternativa de água da atualidade, em função da escassez e da deterioração da qualidade da água de mananciais de superfície e subterrâneo. Seu uso possui vantagens ambiental, econômica e social.

Sabendo que sua contaminação se dá em grande parte após a sua passagem pela baixa atmosfera e superfície de captação, estimula-se o desvio dos primeiros milímetros de água da chuva, com a finalidade de desviar de reservatórios de acumulação a água de pior qualidade que lavou a atmosfera e carrou as impurezas depositadas na superfície de captação. Para tal, é preciso considerar que diferentes condições de ocupação do solo influenciam na qualidade da água de chuva por meio da ocorrência de distintos poluentes lançados na baixa atmosfera. Assim como, longos períodos secos entre dois eventos chuvosos propiciam maior deposição seca de poluentes.

É necessário relacionar qualidade de água com uso proposto. Uma água pode não apresentar parâmetros compatíveis com a potabilidade, mas poderá apresentar parâmetros compatíveis para utilização em áreas urbanas e industriais sem necessidade de tratamento.

O conceito de se desviar os primeiros milímetros de água de chuva não é recente. Entretanto, boa parte dos dispositivos descritos na literatura apresenta problemas relacionados a vedação o que, ao longo do período de uso, acabam sendo abandonados pela população. Neste trabalho foram testados três dispositivos de desvio, dois construídos em alvenaria, e o terceiro em tubos de PVC, para efeito de comparação da estanqueidade e de eficiência na retenção de poluentes em seu interior.

Outro problema relatado sobre os dispositivos de desvio é a forma de descarte das águas, que quase sempre se dá manualmente, o que é ineficiente tanto ao se considerar o horário de ocorrência da precipitação, que poderá coincidir com ausência de moradores na residência ou durante o período descanso, e também por descartar volume não mensurado de água.

Dessa forma, a obtenção de informações sobre a influência da ocupação do solo, da deposição seca e de dispositivos de desvio dos primeiros milímetros da água de chuva possuem as seguintes vantagens:

- melhoria da qualidade da água de chuva, o que pode representar maiores possibilidades de uso, incluindo áreas urbanas e industriais;
- redução do desperdício de água de chuva, uma vez que será desviado da linha de fluxo da cisterna pequenos e precisos volumes de água, coerente com a característica da atmosfera local e com a deposição seca;
- mais autonomia para a população, uma vez que o desvio da água de pior qualidade da linha de fluxo da cisterna é feito de forma automática.

1.2 Objetivos geral e específicos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência de diferentes ambientes, do período de deposição seca e de distintos dispositivos de desvio sobre a qualidade da água de chuva.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar como se dá a interferência de diferentes condições de ocupação do solo sobre a qualidade da água de chuva;
- Determinar qual intervalo de tempo entre dois eventos chuvosos que justifica a realização de novo descarte das primeiras águas de chuva;
- Avaliar o desempenho de três diferentes dispositivos de desvio automático das primeiras águas de chuva, em sistema piloto instalado no semiárido pernambucano, e compará-los com sistema sem desvio automático.

1.3 Hipóteses

- A diferença na qualidade das águas de chuva é função da ocupação do solo presente na região contribuinte;
- Desviar 1 mm de água de chuva na área rural é suficiente para aumentar a segurança sanitária da água para uso em fins potáveis;
- Desviar até 4 mm de água de chuva nas áreas urbana e industrial é suficiente para aumentar a segurança do uso da água, em relação à presença de metais pesados;
- O DesviUFPE será eficiente na retenção de poluentes em seu interior.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aproveitamento de água de chuva

Comumente a água de chuva é aproveitada em regiões com clima árido ou semiárido, onde a disponibilidade hídrica é baixa. Nessas regiões a água é em geral utilizada para consumo humano. Entretanto, água de chuva pode ser usada também para diluição de águas salobras; para fins urbanos não potáveis; para garantir quantia disponível em períodos secos, nas regiões que possuem pluviosidade irregular; para irrigação, entre outros (ANDRADE NETO, 2013).

O sistema de aproveitamento de água de chuva é formado por uma superfície de captação (normalmente telhado), calha, coletores, dispositivo para armazenamento, mas podem contar também com bombas, dispositivos de desvio de primeiros milímetros, filtros e outros.

A utilização de água de chuva é prática milenar, mas tem sido frequentemente ampliada em diversos países. A China, por exemplo, teve mais de cinco milhões de cisternas construídas nos últimos anos e, no sul da Austrália, cerca de 80% da população rural e 30% da urbana utilizam a água da chuva como fonte de abastecimento (ANDRADE NETO, 2013).

No Vietnã programas governamentais têm sido desenvolvidos para ampliar a capacidade de armazenamento de água da chuva (WILBERS et al., 2013). Ações similares foram apontadas por Islam et al. (2010) em Bangladesh.

A captação de água de chuva é muitas vezes erroneamente associada à alternativa construtiva de país pobre ou subdesenvolvido. Entretanto, cisternas podem ser usadas para solucionar tanto problemas individuais, quanto problemas de maior escala. Como exemplo tem-se a gigantesca cisterna construída em Tóquio, com canalizações de 32 m de diâmetro e conectadas por 64 km de túnel, que servirá não apenas para evitar inundações e transbordamento de grandes rios, como também para o consumo humano após tratamento (ÁGUA DE CHUVA, 2012).

No Brasil a captação de água de chuva é praticada principalmente no semiárido, sendo a escassez de água da região o fator determinante para tal prática. Entretanto, o aproveitamento de água de chuva no país precisa ser incentivado, e algumas cidades brasileiras, tais como São Paulo, Rio de Janeiro e Curitiba, contam com leis e decretos municipais que incentivam o armazenamento de água de chuva, e a tendência é que estas iniciativas comecem a ser copiadas em outras cidades.

Em São Paulo, a Lei Nº 13.276/02 e no Rio de Janeiro, o Decreto Municipal Nº 23.940/04, estabelecem que empreendimentos com áreas impermeabilizadas acima de 500 m² devem coletar a água de chuva e direcioná-la para reservatórios que retardem o escoamento superficial, com posterior infiltração no solo, lançamento na rede de drenagem ou redirecionada a outro reservatório para ser utilizada em fins não potáveis.

Em Curitiba, a Lei Nº 10.785/03 dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água em edificações, além de outras providências. Dentre os critérios, cita-se a captação e armazenamento de águas de chuva em cisterna para uso em fins que não exijam qualidade de água tratada, como por exemplo, irrigação de jardins e hortaliças, lavagem de roupa, veículos, vidros, calçadas e pisos.

Em Pernambuco, a Lei Nº 14.572/2011 dispõe sobre normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações maiores que 70 m². Em relação às águas de chuva, estas devem ser captadas na cobertura das edificações e encaminhadas à cisterna ou tanque para que sejam usadas em fins não potáveis.

É importante destacar que as legislações estaduais citadas possuem similaridade em relação à destinação que deverá ser dada às águas de chuva: atenuação de efeitos indesejáveis de enchentes e usos em fins não potáveis, e que em nenhuma delas é sugerida a possibilidade de uso das águas de chuva para beber, o que acontece historicamente no semiárido brasileiro. Essas normas, ao se referirem a ambientes urbanos, contam com o fator poluição atmosférica como determinante para a deterioração da qualidade da água de chuva. Entretanto, é preciso reconhecer que há possibilidades mais abrangentes e nobres para o uso água de chuva, especialmente ao se considerar que esta poderá ser a fonte de água mais facilmente disponível e de melhor qualidade que as encontradas nos corpos de água superficiais, a depender do ambiente atmosférico, do percurso percorrido e do tempo ocorrido entre dois eventos chuvosos. Tais ponderações não vêm sendo retratadas nas legislações estaduais brasileiras.

Recentemente, em 30/10/2017, foi sancionada a Lei Federal Nº 13501/2017, que altera a Lei Nº 9433/97 (que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH) em seu artigo 2º, ao acrescentar o inciso IV. Dessa forma, o incentivo e promoção da captação, da preservação e do aproveitamento de águas pluviais, passam a ser objetivos da PNRH (BRASIL, 2017).

A nova lei foi aprovada no Senado, em setembro de 2015, muito provavelmente em função da escassez hídrica que atingiu a cidade de São Paulo no mesmo ano. Trata-se de uma importante iniciativa a nível federal, mas é preciso que a partir dela sejam feitas as devidas atualizações nas legislações estaduais, para que o estímulo ao uso de água de chuva se consolide no país.

As circunstâncias que a levaram a ser aprovada, levam ao questionamento se de fato tem sido dado o necessário reconhecimento da qualidade da água de chuva, e de suas potencialidades de aplicação, e ainda se observa que, pela tardia legislação, o Brasil estava negligenciando o fato histórico de consumo de água de chuva no semiárido, muitas vezes como única fonte de água.

2.2 Cisternas e o P1MC

As cisternas são dispositivos construídos para armazenar água de chuva que cai sobre uma superfície de captação, normalmente telhado. A água é direcionada às cisternas através de calhas, e podem ser confeccionadas com distintos materiais tais como polietileno, concreto, fibra de vidro, ferro-cimento e outros.

Trata-se de tecnologia milenar e bastante difundida em países como a China, Japão e Austrália. No Brasil são muito utilizadas em regiões que enfrentam escassez de recurso hídrico e baixos índices de atendimento por sistemas públicos de abastecimento de água (por ausência de ações públicas efetivas e também por apresentar população situada geograficamente de maneira dispersa), como é o caso do meio rural da região semiárida.

No meio rural a água armazenada em cisternas é usada principalmente para fins domésticos. No meio urbano são pouco utilizadas, e quando há aplicação esta possui associação clara com a atenuação de efeitos indesejáveis das cheias, por meio do retardo do escoamento superficial e posterior infiltração no solo.

As possibilidades de aplicação das águas de chuva armazenadas em cisternas são muito amplas, mas logicamente os requisitos de qualidade estão diretamente relacionados com o uso pretendido para a água.

Ao se gerenciar o uso das águas de chuva armazenadas em cisternas, utilizando-as no meio urbano ou rural, tem-se vantagens econômicas, ambientais e também sociais. As vantagens econômicas estão relacionadas à possibilidade de redução dos custos com transporte de água, uma vez que o consumo se dá no mesmo local de armazenamento; ambientalmente é uma boa alternativa, por possibilitar a redução do uso de águas de mananciais subterrâneos ou superficiais, reservando o uso desses para fins mais nobres; e é socialmente vantajoso porque pode promover solução difusa e independente de abastecimento de água para as populações.

Por se tratar de um sistema fechado, as cisternas destacam-se também como boa alternativa por evitar a perda de água por evaporação, fato comum nas regiões semiáridas (ADHAM et al., 2016). Ademais, a proximidade delas em relação às residências diminui as longas caminhadas para adquirir água, também comuns na região (ASA, 2017).

É possível armazenar em cisternas quantidades de água que venham a suprir a necessidade familiar, requeridas pelas atividades domésticas básicas, por vários meses de estiagem prolongada, sendo observados aspectos construtivos para garantir a capacidade de armazenamento, e aspectos sanitários para garantir a sua qualidade.

No Brasil as cisternas atuam como soluções alternativas individuais de abastecimento de água, sendo usada para fins domésticos, tais como para beber, dessedentação de animais e preparo de alimentos.

Quando a cisterna é destinada ao consumo humano, a água deverá atender aos padrões de potabilidade que são estabelecidos no Brasil pela Portaria do Ministério da Saúde de N° 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Ademais, também está previsto na Portaria N° 2914/2011, do Ministério da Saúde, em seu artigo 4: “toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água” (BRASIL, 2011).

A referida legislação não é adequada para água de chuva, sendo pertinente apenas para sistemas de abastecimento coletivos, com retirada de água de mananciais de superfície e subterrâneo, e mais para o primeiro que para o segundo. A ausência de legislação nacional que trate especificamente sobre água de chuva e/ou sistemas de abastecimento individuais, e que reconheça sua possibilidade de uso em fins mais nobres, acaba por estimular a não utilização do recurso, perdurando o uso sem ou com poucos critérios para preservação de sua qualidade.

A ASA criou em 2000 o “Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais – P1MC”. Trata-se de uma ação que conta com parceiros (organizações de sociedade civil e empresas privadas), e visa instalar 1,5 milhões de cisternas com capacidade de acumulação de dezesseis mil litros de água, o que se indica como suficiente para suprir a necessidade de consumo de uma família de até cinco pessoas por um período de estiagem de oito meses.

O P1MC também tem como meta a participação popular na construção das cisternas de placas de concreto. Os beneficiários, numa espécie de mutirão, são também responsáveis pela construção da cisterna que receberão.

É uma importante iniciativa, uma vez que amplia a igualdade social das famílias beneficiadas, através da possibilidade de ter água armazenada e disponível para uso, justamente em períodos que comumente o recurso é escasso na região semiárida. Entretanto, como se trata de um grande programa, com capacidade de influenciar hábitos, e principalmente por se considerar que o principal uso que será feito com a água é o consumo humano, é fundamental que todos os esforços sejam somados no sentido de se garantir a vigilância da qualidade da água armazenada.

Andrade Neto (2013), tomando por base as ações do P1MC aponta que os principais desafios que se apresentam para continuidade e aperfeiçoamento das ações de governo na construção de cisternas no meio rural são: o domínio das questões tecnológicas, a transmissão de conhecimento para uso adequado (manejo) dessa tecnologia, a proteção sanitária e a qualidade da água. Cita também que há três aspectos falhos ao se considerar a tecnologia utilizada para construção de cisternas: uso da mesma tecnologia construtiva sem questionamento suficiente; adoção da mesma capacidade de armazenamento de água; ausência de execução e divulgação de informações sobre as corretas medidas de proteção sanitária.

Em relação à questão tecnológica que norteia a construção das cisternas, Ghisi (2010) realizou estudo em São Paulo e mostrou que estas devem ser projetadas considerando cada situação específica, e para tal deve-se avaliar os seguintes aspectos: os índices pluviométricos locais, a área de telhado, a demanda por água potável, a demanda por águas pluviais, e o número de moradores.

Cohim e Orrico (2015) chegaram a conclusões similares em estudo realizado na Bahia. Os autores destacam que em casos de famílias numerosas ou pequena área de captação, a oferta de cisterna com 16.000 litros de capacidade poderá não ser suficiente. Sugerem ainda, para as condições estudadas, quatro volumes diferentes das cisternas, que variam entre 5.000 e 15.000 litros.

Gomes, Heller e Pena (2012) analisando as cisternas construídas pelo P1MC concluíram que os dezesseis mil litros de água disponíveis para uso por uma família de até cinco pessoas, em período de oito meses, não atendem ao mínimo exigido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (vinte litros de água por pessoa ao dia) e que, portanto, estas pessoas estariam sujeitas a riscos à saúde, sendo necessária fonte complementar de água.

Outro aspecto importante a se considerar é em relação ao tempo que a água de chuva normalmente fica armazenada, assim como a “idade” da cisterna. Mohamed e Gad (2011) alertam para a possibilidade de que águas armazenadas em cisternas por longo período, que receberam dosagens de cloro, podem ficar livres da ação residual do desinfetante, em virtude do fim da ação residual do produto. O que significa que essas águas, após um período, passam a estar desprotegidas, e ainda mais susceptíveis a contaminação, inclusive por substâncias já presentes nas cisternas, sendo justamente por isso desaconselhável a acumulação de águas em cisternas por extenso período.

Sobre a cloração Levy et al. (2014) destacam a necessidade de avaliar a dosagem e também a fonte de cloro, já que esses fatores, aliados a turbidez presente na água, são considerados os principais fatores que influenciam numa maior eficiência da cloração doméstica. Também é preciso melhor avaliar o agente desinfetante usado. A escolha do agente não deve ser norteadá apenas por razões econômicas, mas deve-se também avaliar os riscos associados à saúde da população em função dos subprodutos da cloração (Paixão, Silva e Andreola, 2014).

Ainda sobre a idade das cisternas, Al-Salaymeh, Al-Khatib e Arafat (2011) alertam para os problemas de conservação de cisternas antigas, uma vez que estas normalmente apresentam rachaduras, o que as tornam ainda mais vulneráveis à contaminação.

Grande esforço deve existir para ampliar a conscientização e educação sanitária e ambiental de famílias beneficiadas com a instalação de cisternas. Muitas destas são atendidas por agentes comunitários de saúde e agentes da vigilância ambiental em saúde, entretanto, trata-se de comunidades com pouca ou nenhuma instrução de cunho sanitário,

e ao se tratar de preservação de qualidade de água para consumo humano todo esforço deverá ser realizado.

Silva e Pádua (2007) analisaram dezesseis cisternas localizadas na zona rural de Minas Gerais e cerca de 70% das análises de água apresentaram altos teores de *Escherichia coli* (*E. Coli*) em águas destinadas ao consumo humano. Dentre os fatores apontados cita-se o provável não cumprimento a orientações/cuidados necessários ao tratamento de água, pois observou-se que os teores de *E. Coli* em cisternas com menos de um ano de construção, e em que a população foi recentemente esclarecida quanto aos cuidados com a água, eram menores ou até mesmo ausentes do que em cisternas com maior tempo de construção.

É importante que a população beneficiada com o programa receba constante treinamento e acompanhamento sobre adequados métodos de tratamento de água. É preciso que se indiquem soluções eficientes e padronizadas, de maneira tal que sejam minimizadas as ações de tratamento norteadas apenas por saber popular, mas sem testes efetivos sobre a sua eficácia na remoção/eliminação, principalmente de microrganismos patogênicos.

Gomes, Heller e Pena (2012) perceberam que a possibilidade de aumentar a educação sanitária da população se dá através da combinação de políticas públicas de abastecimento de água com políticas públicas de assistência social e à saúde. Entretanto, citam que é preciso avançar muito nesse aspecto, pois tais políticas indicam caminhar por sentidos antagônicos. No estudo, 70% das famílias beneficiadas pelo programa P1MC e atendidas pelo programa Saúde na Família informaram não receber nenhum treinamento sobre como realizar tratamento de água. Os autores também relatam a importância de investimentos públicos para melhoria dos telhados, aumento da capacidade de armazenamento das cisternas já instaladas e construção de dispositivos de desvio automático das primeiras águas de chuva.

Para a ASA (2017), o P1MC trouxe benefícios sociais e de saúde, tais como, o aumento da frequência escolar e a diminuição de doenças ocasionadas pelo consumo de água contaminada.

O efetivo sucesso de programas com grande proporção e importância como o P1MC só é alcançado quando se somam as ações públicas às iniciativas da sociedade organizada e individuais de cada beneficiário. A cultura de aproveitamento de água de chuva no semiárido brasileiro já existe, mas é importante considerar as peculiaridades das famílias beneficiadas (quantidade de pessoas por residência, área de captação do telhado, demanda de água etc), as adequadas medidas de proteção sanitária e eventual tratamento da água, assim como realizar manutenção do sistema sempre que necessário.

2.3 Fatores interferentes à qualidade de água de chuva armazenada em cisternas

A água de chuva é de boa qualidade microbiológica e físico-química, porém pode ter sua qualidade alterada ao atravessar as camadas da atmosfera. Muitos são os riscos que podem vir a comprometer a qualidade da água de chuva, desde o seu contato com a atmosfera até o seu armazenamento no interior de cisternas e, manuseio até o uso no domicílio. Nas áreas de captação pode ocorrer deposição seca de partículas, microorganismos, metais pesados e substâncias orgânicas, e estas são lavadas durante os eventos chuvosos.

Em áreas urbanas pode haver concentração de metais pesados e compostos orgânicos no ar, proveniente dos escapamentos dos veículos ou lançamentos das chaminés de indústrias (Helmreich e Horn, 2009). Ainda na área urbana Ouyang et al. (2015) indicam a presença de amônia, enxofre e zinco nas águas de chuva, e a OMS (2011) destaca a presença de sulfato, gerado pela queima de combustíveis fósseis. Sánchez, Cohim e Kalid (2015) também relatam que é considerável a deposição úmida de sulfatos, através de geadas, em áreas de florestas, sendo estes originalmente lançados em áreas urbanas.

Sulfatos também estão presentes em ambientes industrializados, como resultado da descarga de despejos, especialmente da indústria química. Vieira-Filho et al. (2015) também destacam a presença de ácidos em áreas industriais.

Em áreas rurais é comum a presença de sólidos suspensos e indicadores microbiológicos conforme destacam Alves et al. (2014).

Evans, Coombes e Dunstan (2006) sinalizam também que padrões climáticos, tais como, direção e velocidade do vento, e intensidade de chuvas, influenciam na composição bacteriana da superfície de captação, principalmente por ação de microrganismos que são transportados pelo ar.

Lee, Bak e Han (2012) destacam que as fontes de poluição de telhado podem ser classificadas como externas e internas. As externas são equivalentes aos poluentes transportados pelo ar, assim como, folhagens e fezes dos animais que tem acesso ao telhado. As fontes internas são provenientes do material de construção da superfície de captação. A partir de reações físico-químicas da água de chuva com o telhado e também da presença de líquens e musgos neste, poderá haver alteração na qualidade da água em longo prazo. No referido estudo foi avaliada a qualidade da água após percorrer telhados construídos com diferentes materiais (telha de madeira, concreto, barro e aço galvanizado), e dentre eles o aço galvanizado foi o que menos interferiu na qualidade da água de chuva.

Em estudo realizado por Mendez et al. (2011) observou-se que o material que constitui o telhado interfere, por exemplo, nas concentrações de bactérias indicadoras de contaminação fecal. No citado estudo as menores concentrações foram obtidas em telhados construídos em metal.

Zhang et al. (2014) examinaram a qualidade da água de chuva colhida de diferentes materiais de cobertura, tais como concreto, asfalto e telhados de telha de cerâmica e observaram que os melhores resultados foram obtidos para as águas que percorreram telhado de telha cerâmica, pois houve menor concentração de poluentes lixiviados.

Gikas e Tsihrintzis (2017) também realizaram estudo em diferentes telhados, um cerâmico e um feito de concreto, e concluíram que com o aumento dos dias sem chuva, a acumulação de materiais no telhado cerâmico aumentou. O mesmo comportamento não foi observado no telhado de concreto porque a ação do vento sobre este removeu facilmente os sedimentos, já que o mesmo era quase horizontal. Logo, é preciso considerar que antes do início de novo período chuvoso é fundamental que os telhados e calhas sejam limpos e também consertados, se houver necessidade.

É preciso que se observem também quais as condições de uso que estão sendo feitas, por exemplo, se o uso é público, unifamiliar ou multifamiliar, se a água que abastece a cisterna é unicamente proveniente da chuva ou se esta recebe contribuição de águas de açudes ou barreiros que são transportados por tanque-pipa, e que possuem qualidade duvidosa.

Em relação às cisternas enterradas é necessário que sejam feitos os devidos reparos para garantir que não haja infiltração de outra fonte de água. Sendo enterrada, a retirada de água deve-se dar por dispositivos de bombeamento.

Ademais, bombas são sempre indicadas, uma vez que eliminam a possibilidade de uso baldes amarrados por cordas que podem ficar expostos a contaminantes. As bombas usadas podem ser bem simples, tais como as bombas de êmbolo.

Em relação à idade das cisternas, Alves et al. (2014), em estudo realizado no semiárido brasileiro, observaram que cisternas construídas mais recentemente apresentaram pH mais alcalino e maior condutividade elétrica do que cisternas mais antigas. Tais evidências são relacionadas à dissolução do carbonato de cálcio, um constituinte do cimento usado nas cisternas de placa.

Pode também haver contaminação de águas armazenadas em cisternas quando estas são instaladas próximas à vegetação. Será natural a atração de pássaros que porventura podem depositar suas fezes na água ou nos dispositivos de captação ou armazenamento. Outro aspecto relacionado à proximidade de vegetais é quando estes possuem raízes muito espessas e perfurantes, e podem favorecer o processo de rachaduras nas cisternas, exigindo dessa forma, manutenção do sistema.

Helmreich e Horn (2009) apontam que quando a água de chuva coletada for disponível para consumo humano, o dispositivo de armazenamento deve ter condições adequadas para evitar contaminação humana, animal ou qualquer outro contaminante ambiental. Destacam também a necessidade do dispositivo ser bem fechado para evitar a entrada de mosquitos e a reprodução de algas.

Citam-se as seguintes ações como principais fatores contaminantes das águas armazenadas em cisternas: carreamento de impurezas depositadas na superfície de captação, manuseio inadequado e má conservação.

2.4 Deposição seca e veranico

A deposição seca caracteriza-se pelo transporte de espécies gasosas e particuladas da atmosfera, por transferência turbulenta, para superfícies com ausência de tal condição (HUANG et al., 2016). É particularmente importante para estudos que envolvam o aproveitamento de água de chuva, uma vez que a deposição úmida será responsável por carrear os poluentes acumulados em uma superfície de captação para calhas e reservatório.

Chakraborty, Gupta e Tripathi (2016), em estudo realizado na Índia, evidenciaram que durante o período chuvoso a presença de material particulado na atmosfera diminui, em função da lavagem ocorrida pela chuva.

A composição da água de chuva depende dos constituintes particulados ou gasosos presentes na atmosfera que podem ser emitidos tanto por fontes naturais quanto antropogênicas, produzidas localmente ou transportadas de fontes emissoras situadas distantes (RAO et al., 2016).

A preocupação deve-se dar em função da natureza dos contaminantes, que podem ser bastante poluentes, e que contribuem para deteriorar a qualidade da água captada.

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, 2000).

Soares e Nóbrega (2010), em estudo no sertão pernambucano, constataram que quanto mais veranicos houver em um ano, menos dias eles durarão e que, quanto menos veranicos houver em um ano, estes durarão mais dias. Tal estudo mostrou que no sertão pernambucano, nas proximidades do rio São Francisco, há maior quantidade de veranico no período chuvoso.

A determinação de veranico e dados sobre deposição úmida são importantes para melhor avaliar os usos que poderão ser dados à água de chuva. É preciso determinar quantos dias sem precipitação, onde há interferência de deposição seca, é suficiente para contaminar uma superfície de captação a tal ponto que requeira, num próximo evento chuvoso, o desvio das primeiras águas precipitadas.

2.5 Medidas de proteção sanitária – sistemas de desvio automático das primeiras águas de chuva

Muitos estudos mostram que a qualidade da água de chuva em si é normalmente muito boa, mas pode ter sua qualidade alterada em virtude da absorção de contaminantes atmosféricos. À medida que encontra a superfície terrestre também incorpora partículas contaminantes, alterando a sua qualidade, tanto em aspectos físico-químicos quanto microbiológicos.

As medidas de proteção sanitária são necessárias para evitar ou minimizar a contaminação das águas armazenadas em cisternas. Quanto maior for a exposição da cisterna e água a agentes contaminantes, maiores serão os cuidados necessários.

Quando se faz referência às medidas de proteção sanitárias aplicadas a cisternas é preciso considerar os seguintes aspectos: se o reservatório é abastecido com fontes de água diferente de chuva, tais como, água proveniente de barreiros, açudes; a condição do domicílio, tanto em relação aos aspectos sanitários quanto ao estado de conservação de telhados e calhas; nível de educação ambiental e sanitária (capacitação comunitária); assim como, a qualidade da água de chuva armazenada.

Andrade Neto (2004) aponta que deve-se considerar também as condições de uso (público, unifamiliar e multifamiliar); nível de exposição a contaminantes; condições epidemiológicas da região; e operação e manutenção do sistema. Para ele deve-se incluir como barreiras físicas de proteção sanitária: dispositivo para desviar automaticamente as primeiras águas de cada chuva; cobertura que impeça a entrada de insetos e luz; extravasor e ventilação para propiciar a reoxigenação da água; retirada da água por tubulação (obrigatória em sistemas coletivos).

Ademais, outras medidas de proteção sanitária podem ser comentadas: não colocar na linha de fluxo de cisternas estruturas como telas; e manter cuidado em relação às cisternas enterradas que podem ser contaminadas por águas subterrâneas.

Muitas pesquisas recentes mostram a variação da qualidade da água de chuva quando exposta à superfície de captação, e evidenciam a importância de se desviar os primeiros milímetros de água de chuva para melhorar os aspectos físico-químicos e microbiológicos das águas armazenadas em cisternas.

Em pesquisa realizada em Natal/RN, Melo e Andrade Neto (2007), buscaram realizar curva de variação da qualidade da água de chuva em três pontos distintos da cidade, sem que esta passasse previamente por superfície de captação. Foi percebido que, exceto para o ponto de coleta considerado de melhor qualidade atmosférica, os valores de turbidez e condutividade elétrica sofreram redução no primeiro milímetro de cada chuva.

Em Vitória/ES, Anecchini (2005) avaliou a variação da qualidade da água de chuva ao longo dos primeiros milímetros. Foi observado que removendo os primeiros milímetros de chuva, o segundo já apresentava redução em parâmetros como condutividade elétrica, cloretos, sulfato e nitrato, sendo a concentração de cloretos a mais

acentuada (variando de 12 mg/L no primeiro milímetro para 4,9 mg/L no segundo milímetro).

Souza et al. (2011) realizaram estudo na região semiárida pernambucana e evidenciaram a importância do uso de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva. Foi realizada comparação entre dois tipos de dispositivos de desvio das primeiras águas e observou-se redução em parâmetros relacionados ao processo de desinfecção da água, tais como turbidez, coliformes termotolerantes e bactérias heterotróficas.

Vialle et al. (2011) em estudo realizado na França, em tanque construído de polietileno de alta densidade, perceberam que a presença de *E. Coli* e enterococos é positivamente correlacionada com a pluviometria. Dessa forma, indicam que um sistema de desvio dos primeiros fluxos de chuva pode melhorar a qualidade da água armazenada.

Gikas e Tsihrintzis (2012) realizaram análise na água de chuva armazenada em seis tanques de polietileno, e que passou previamente por dispositivo de eliminação dos primeiros milímetros, nas áreas urbana e rural da Grécia. Neste estudo, notaram que houve redução dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos, e que estes últimos obtiveram adequação para uso da água para fins potáveis, tal como beber.

Considerando-se que os primeiros milímetros de água de chuva são os de pior qualidade, pois correspondem à lavagem dos resíduos acumulados na superfície de captação entre dois eventos chuvosos e partículas em suspensão presentes na atmosfera, estes devem ser desviados da linha de fluxo das cisternas.

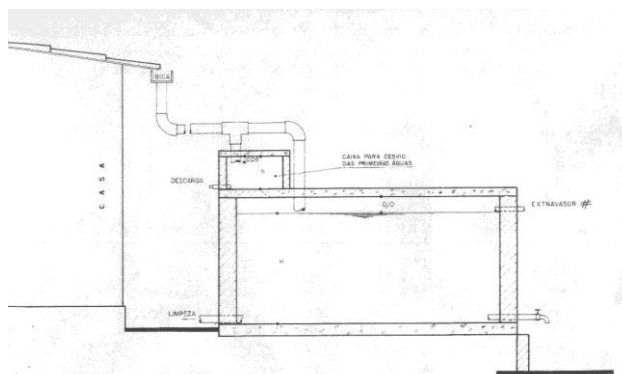
O descarte das primeiras águas em muitos casos é feito apenas desconectando-se a tubulação que conduz a água da calha ao reservatório, entretanto, tal ação não se mostra viável, uma vez que a precipitação pode ocorrer enquanto não houver ninguém na residência, ou em momentos em que a população esteja dormindo, por exemplo.

A seguir serão apresentados alguns exemplos de dispositivos das primeiras águas de chuva que serão referência para o estudo, e que são os três tipos de dispositivos mais usados no semiárido brasileiro.

Andrade Neto (2004) propõe dispositivo para desvio automático das primeiras águas de chuva, conforme Figura 1. As águas de lavagem da superfície de captação são direcionadas para um tanque apenas através de um “tê” intercalado na tubulação de entrada da cisterna. A tubulação que dá acesso ao tanque deverá ficar submersa, para dificultar a suspensão e turbilhonamento de sólidos em seu interior. O tanque deve permanecer fechado para que a água inicial seja direcionada para ele, e em seguida, quando estiver cheio, é que a água será encaminhada à cisterna. Depois da chuva, e antes que se acumule sujeira na superfície de captação, o tanque de desvio deve ser esvaziado por tubulação de descarga, que novamente depois de fechada deixa o dispositivo pronto para o desvio automático das próximas águas de chuva. O fecho hídrico dispensa boias ou outros artifícios. O tanque de desvio é pequeno, tem capacidade de acumular cerca de 1 litro por m² de área de captação. Tal água acumulada pode ser usada em fins menos exigentes.

Souza et al. (2011) compararam a eficiência de dispositivos de desvios das primeiras águas de chuva. Um deles é baseado no princípio de fecho hídrico (conforme Andrade Neto, 2004) e o outro baseado no princípio de vasos comunicantes. Foi observado que o sistema baseado no princípio de fecho hídrico foi mais eficiente, pois melhores resultados foram obtidos para os parâmetros turbidez, sólidos dissolvidos, coliformes totais e bactérias heterotróficas totais.

Figura 1 - Dispositivo para desvio automático das primeiras águas de chuva.



Fonte: Andrade Neto (2004).

Outro dispositivo de desvio automático está associado à cisterna com sistema de boia para lavagem do telhado, que vem sendo disseminado através do Centro de Educação Popular e Formação Social (CEPFS).

O CEPFS é uma organização que atua há mais de vinte anos no sertão paraibano. O objetivo da organização é desenvolver ações que promovam o desenvolvimento rural sustentável na região, através da capacitação de agricultores, para que a convivência com o semiárido se dê de forma justa e solidária.

Um dos eixos programáticos de atuação do CEPFS é Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, onde está inserido o Programa de Tecnologias de Manejo de Recursos Hídricos. Dentro deste programa está inserida a instalação de cisternas com sistema de boia para lavagem do telhado, que se trata de tecnologia de manejo hídrico que visa aumentar a eficiência no uso de recursos hídricos de pequenas propriedades rurais, garantindo às famílias sertanejas água para consumo humano. (Disponível em: <<http://www.cepfs.org>>. Acesso em 01 nov. 2017).

Foram distribuídas setenta e duas cisternas com sistema de boia para lavagem do telhado no semiárido paraibano.

O sistema é formado por dois reservatórios: um menor que acumula as primeiras águas de chuva desviadas, e um segundo, maior, que recebe as águas de melhor qualidade, após o sistema de desvio, que é a cisterna (Figura 2). Para este sistema, considera-se que o reservatório menor deve ter capacidade de acumular 2 litros por cada m² da superfície de captação.

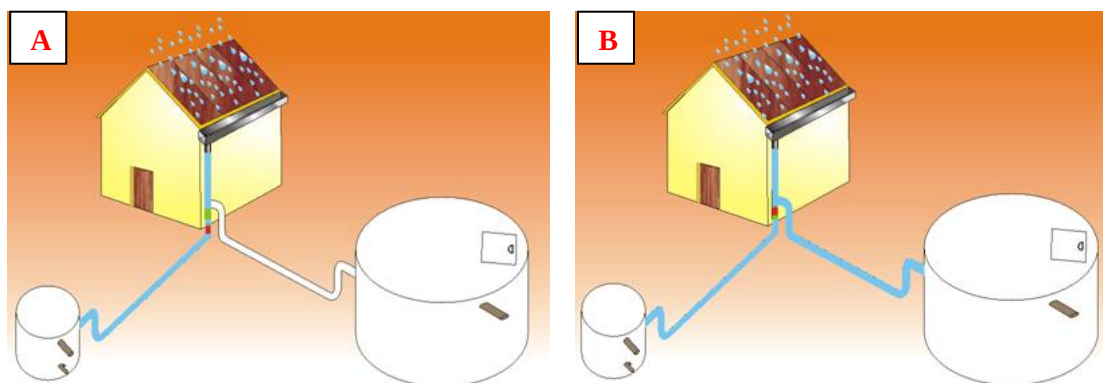
Figura 2 - Detalhe dos dois tanques que compõem a cisterna com sistema de boia.



Fonte: www.cepfs.org.br

O princípio de funcionamento é fecho hídrico, e consiste na colocação de um “tê” na tubulação que recebe as águas da calha, de tal forma que uma abertura do “tê” esteja direcionada para o tanque de desvio e a outra porção para a cisterna. Na parte do “tê” que desce para o tanque de desvio é colocada uma garrafa PET com capacidade de dois litros, que foi previamente cortada removendo-se o gargalo e o fundo. Instala-se um joelho na tubulação oriunda da porção do “tê” que está voltada para o tanque de desvio, para que seja possível direcionar a água para o referido tanque. Neste joelho instala-se outra garrafa PET, mas esta deve estar fechada e ter capacidade de um litro. Quando o tanque de desvio enche com as primeiras águas de chuva, da lavagem da superfície de captação, a garrafa PET de um litro sobe conduzida pela água, e encontra-se com a garrafa PET de dois litros, vedando o sistema na direção do tanque de desvio. Sendo assim, as demais águas de chuva serão agora direcionadas à cisterna. (Figura 3A e 3B).

Figura 3 - Cisterna com sistema de boia antes do preenchimento do reservatório maior (A), e cisterna com sistema de boia após preenchimento do reservatório maior (B).



Fonte: www.cepfs.org.br

Pádua et al. (2013) realizaram estudo no semiárido mineiro em 117 cisternas de alvenaria, e comprovaram que 55% das cisternas apresentaram problemas relacionados a aspectos construtivos, e cita trincas, vazamento e posicionamento incorreto de extravasor como principais. Tais problemas podem ocasionar perda de água e/ou contaminação, comprometendo assim o uso da cisterna.

É possível que nos dispositivos de desvios construídos em alvenaria tais problemas construtivos também sejam presentes. Dessa forma, foi testado dispositivo construído com policloreto de vinil (PVC), desenvolvido pela UFPE e chamado de DesviUFPE (depósito de patente nº BR 20 2012 028275 0) (Figura 4). Os resultados de pesquisas usando o DesviUFPE foram alvos de premiação, a exemplo de: finalista do prêmio da Agência Nacional de Águas (ANA) em 2012 (Disponível em: <<http://www.premio.ana.gov.br>>. Acesso em 01 nov 2017), na categoria Pesquisa e Inovação Tecnológica; vencedor do prêmio Mandacaru em 2013, na categoria de Pesquisa Aplicada; vencedor do prêmio ANA 2014, na categoria Pesquisa e Inovação Tecnológica; além de ser certificado como Tecnologia Social pela Fundação Banco do Brasil, em 2013 (Disponível em: <<http://www.fbb.org.br>>. Acesso em 01 nov 2017).

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 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 4 – Esquema do DesviUFPE (A) e DesviUFPE instalado no semiárido pernambucano (B).



Fonte: Lima (2012).

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 interior.

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 passo a passo para dimensionamento do DesviUFPE se dá de acordo com a sequência que segue.

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 ($\text{Área}_{\text{tubo}}$) e comprimento do mesmo (L_{tubo}), conforme observa-se na equação (1).

$$\text{Volume} = \text{Área}_{\text{tubo}} * L_{\text{tubo}} \quad (1)$$

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

$$\text{Área}_{\text{tubo}} = \pi * \frac{D^2}{4} * L_{\text{tubo}} \quad (2)$$

Como o diâmetro do tubo é igual a 100 mm e seu comprimento é de 1 m, ao substituir tais dados na equação (2) e correlacionar com a equação (1), tem-se a equação (3).

$$\text{Volume} = \pi * \frac{(0,1)^2}{4} * 1 \quad (3)$$

Logo, a capacidade de acúmulo em 1 m de tubo de PVC é de 0,007854 m³ ou 7,854 litros de água de chuva.

O volume de descarte (em litros) de uma superfície de captação é calculado levando-se em consideração o tamanho do telhado (em m²) e a altura de precipitação de 1 mm (1 L/m²). Tem-se assim, a equação 4.

$$\text{Volume}_{\text{descarte}} = \text{Área}_{\text{telhado}} * \text{Altura}_{\text{precipitação}} = (X\text{m}^2) * 1 \left(\frac{\text{l}}{\text{m}^2} \right) = X\text{l} \quad (4)$$

$$\text{Volume}_{\text{descarte}} = X \text{ litros}$$

Por fim, calcula-se a quantidade de tubos necessário para o DesviUFPE, conforme equação 5.

$$(5)$$

$$Quantidade_{tubos} = \frac{Volume_{descarte}}{Volume_{tubo}}$$

$$Quantidade_{tubos} = \frac{X}{7,854}$$

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.

Na Tabela 1 há síntese das principais características dos dispositivos mais usados no semiárido brasileiro, e que são objeto de investigação no presente estudo.

Tabela 1 – Principais características dos dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva.

Dispositivo	Característica	Acumulação	Vantagem	Desvantagem
Dispositivo A1, proposto por Andrade Neto (2004).	Tanque de polietileno ou concreto. Funcionamento por fecho hídrico.	1 L/m ² de área de captação.	Material construtivo de fácil acesso.	Extravasamentos na tampa de vedação da caixa.
Dispositivo A2, proposto por CEPFS.	Tanque de concreto. Funcionamento por fecho hídrico.	2 L/m ² de área de captação.	Material construtivo de fácil acesso.	Extravasamentos na tampa de vedação da caixa.
DesviUFPE, proposto por Lima (2012).	Tubos de PVC. Funcionamento por vasos comunicantes e fecho hídrico.	1 L/m ² de área de captação.	Material construtivo de fácil acesso e estanqueidade.	Problemas relacionados à erros de instalação.

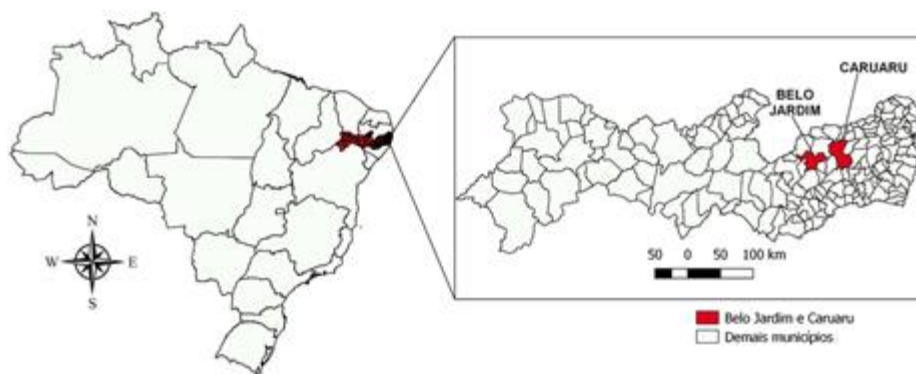
Fonte: Autora.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no semiárido pernambucano, nas cidades de Belo Jardim e Caruaru, que distam entre si 54 km (Figura 5).

Figura 5 – Mapa do Brasil com destaque para o Estado de Pernambuco, e para as cidades de Belo jardim e Caruaru.



Fonte: Autora.

A cidade de Belo Jardim possui 75.986 habitantes, está situada na Mesorregião do Agreste Pernambucano, na Microrregião do Vale do Ipojuca (IBGE, 2012). O clima da cidade de Belo Jardim é do tipo semiárido, com precipitação pluviométrica anual média de 800 mm e temperatura média anual de 23° C, tendo predominância de chuva entre os meses de março a julho. A vegetação é composta por caatinga hiperxerófila e floresta subcaducifólia (IBGE, 2012).

A cidade de Caruaru está situada no agreste pernambucano, na microrregião do vale do Ipojuca, e é considerada a maior cidade localizada no interior de Pernambuco. Está localizada a cerca de 140 km da capital do Estado, Recife. Possui população de aproximadamente 315.000 habitantes (IBGE, 2012). O clima apresenta-se tropical do tipo semiárido, com temperatura média anual de 27°C, índice pluviométrico médio de 484 mm. As chuvas são mal distribuídas e escassas, com predominância de ocorrência entre os meses de maio a agosto (IBGE, 2012).

3.2 Materiais e métodos

O presente trabalho está inserido nas ações de pesquisa voltadas para a proteção da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas, da UFPE/campus Agreste, situado em Caruaru/PE. Tais ações foram iniciadas no ano de 2007, com o monitoramento da qualidade da água armazenada em cisternas situadas nos municípios de Caruaru/PE e Pesqueira/PE (Souza et al., 2011), e posteriormente com o desenvolvimento de

dispositivo de desvio automático (DesviUFPE) de primeiros milímetros de água de chuva (Alves et al., 2014).

A presente pesquisa foi dividida em três etapas, que foram realizadas tanto em escala piloto quanto real. A descrição dos objetivos de cada etapa experimental, assim como a sua escala está descrita na Tabela 2.

Tabela 2- Etapas da pesquisa.

Etapas da pesquisa	Objetivo	Escala
1	Avaliar a interferência de diferentes condições de ocupação de solo sobre a qualidade da água de chuva	Real
2	Determinar qual intervalo de tempo entre dois eventos chuvosos que justifica a realização de novo descarte das primeiras águas de chuva	Piloto
3	Avaliar o desempenho de três diferentes dispositivos de desvio automático das primeiras águas de chuva, em sistema piloto instalado no semiárido pernambucano, e compará-los com sistema sem desvio automático	Piloto

Fonte: Autora.

Todos os pontos de coleta possuíam sistema de aproveitamento de água de chuva com as mesmas características, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Características dos sistemas de aproveitamento de água de chuva dos pontos de coleta.

Componente	Tipo	Característica
Superfície de captação.	Telhado	Telha cerâmica vermelha.
Transporte.	Calhas e dutos	Confeccionados em PVC.
Local de armazenamento*.	Cisterna	Construída em placas de cimento – idade média de dez anos.

* presente apenas na área rural. Fonte: Autora

Com relação ao tratamento estatístico, foram realizados teste de normalidade para verificar se os dados apresentavam ou não distribuição normal. Para tal, utilizou-se o Teste de Kolmogorov-Sminov. Em relação a estatística indutiva, avaliou-se a diferença entre os parâmetros estudados ao se considerar distintos locais de coleta, e para tal foi utilizada a ANOVA para os dados paramétricos e o Teste de Friedman para os dados não-paramétricos. Para os testes de hipótese utilizou-se nível de segurança de 5%.

3.3 Etapas da pesquisa

3.3.1 Etapa 1

Na Etapa 1 foi realizado o monitoramento da interferência da qualidade do ar em águas desviadas pelo DesviUFPE, durante o período de maio/2016 a julho/2017. Essa etapa foi dividida em dois momentos, que serão nomeadas de Fase 1 (F1) e Fase 2 (F2). Na F1 foram instalados DesviUFPE nas áreas rural, urbana e industrial. Em cada área citada foram instalados três dispositivos de desvio e cada um foi projetado para desviar 1 mm de água de chuva. A F2 teve como mudança a instalação de DesviUFPE apenas nas áreas urbana e industrial, sendo um dispositivo, com capacidade de desvio de até 4 mm de água de chuva, em cada área considerada (Figura 6).

Figura 6 – Detalhamento da Etapa 1.



É importante destacar que em ambas as fases (F1 e F2) eram feitas coletas que correspondiam ao segundo milímetro de água de chuva escoada pela superfície de captação. A coleta era realizada em balde plástico graduado e com marcação que indicasse o volume ocupado pelo segundo milímetro escoado no telhado. Em F1, na área rural, a coleta era feita no interior da cisterna, e sendo assim, correspondia ao excedente ao primeiro milímetro, não necessariamente apenas o segundo milímetro. A coleta era feita em balde plástico, no interior da cisterna, numa altura que correspondia a metade da profundidade da lâmina d'água. Nas áreas urbana e industrial o excedente correspondia ao segundo milímetro de água de chuva escoado, e também era coletado em balde plástico posicionado abaixo de tubulação, que era jusante ao DesviUFPE.

Figura 7 – Locais de coleta da F1 e F2.

Em ambas as fases, os parâmetros analisados estão descritos na Tabela 4, e foram realizados conforme APHA (2012).

Tabela 4 – Métodos de análise dos parâmetros investigados na Etapa 1, conforme APHA (2012).

Parâmetro	Método de análise	Código Standard Methods	Parâmetro	Método de análise	Código Standard Methods
Cor aparente	Nefelométrico	2120 C	Condutividade elétrica	Com uso do condutivímetro	2510 B
Cor verdadeira	Nefelométrico	2120 C	Sólidos totais dissolvidos (STD)	Gravimetria	2540 B
Turbidez	Nefelométrico	2123 B	Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	Membrana filtrante	9223 B
Alcalinidade total	Titulométrico	2320 B	Chumbo	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Cloretos	Método de Mohr	4500 B	Alumínio	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B
Dureza total	Titulométrico	2340 C	Zinco	Espectrometria por absorção atômica de chama	3500 B

Fase 1 (F1)

Foram instalados nove DesviUFPE, cada um com capacidade de acumulação de 1 milímetro de água de chuva, sendo três em cada condição de ocupação do solo estudada: área rural (Figura 8), área urbana (Figura 9) e área industrial (Figura 10). A área rural era caracterizada por ruas não pavimentadas, pela presença de vegetação e animais (vacas, aves, cachorros, gatos e galinhas) vivendo no entorno das casas (8°13'54.66"S 36°1'0.71"W; 8°12'24.32"S 36°4'35.89"W; 8°12'37.27"S 36°5'39.87"W). Os pontos de coleta da área urbana estavam situados no centro da cidade de Caruaru, próximo a ruas pavimentadas e com elevado fluxo de veículos, mercados, além de oficina mecânica (8°17'20.26"S 35°59'1.77"W; 8°16'34.95"S 35°58'57.62"W; 8°16'38"S 35°59'22"W). Finalmente, a área industrial caracterizava-se pela presença de fábrica de baterias automotivas em seu entorno (8°20'2.61"S 36°25'5.02"W; 8°20'4.79"S 36°25'9.99"W; 8°20'11.00"S 36°25'4.24"W).

Figura 8 – Fotografia dos DesviUFPE instalados em residências situadas na área rural de Caruaru: DesviUFPE com capacidade de acúmulo de 69 L (A), DesviUFPE com capacidade de acúmulo de 51 L (B) e DesviUFPE com capacidade de acúmulo de 50 L (C).



Figura 9 – Fotografia dos DesviUFPE instalados na área urbana de Caruaru: ponto de coleta é residência e o DesviUFPE tem capacidade de acúmulo de 29,2 L (A), ponto de coleta é um prédio público e o DesviUFPE tem capacidade de acúmulo de 13,9 L (B) e ponto de coleta é residência e o DesviUFPE tem capacidade de acúmulo de 51 L (C).



Figura 10 – Fotografia dos DesviUFPE instalados na área industrial de Belo Jardim: ponto de coleta é uma borracharia e o DesviUFPE tem capacidade de acúmulo de 25,5 L (A), ponto de coleta é uma residência e o DesviUFPE tem capacidade de acúmulo de 24,4 L (B) e ponto de coleta é residência e o DesviUFPE tem capacidade de acúmulo de 8,3 L (C).



Fonte: Autora.

Para esta etapa da pesquisa considerou-se que, havendo três eventos chuvosos, e que entre eles existisse espaço temporal mínimo de cinco dias, as coletas seriam encerradas. Tal espaço temporal é considerado suficiente para que houvesse contaminação da atmosfera e consequentemente da superfície de captação (SILVA e RAO, 2000). A ocorrência da precipitação determinava qual seria o dia de coleta.

Na área rural, os pontos de coleta foram o interior do DesviUFPE, que representa o acúmulo do 1º milímetro de água de chuva, e o interior da cisterna, que representa os milímetros de chuva excedentes ao primeiro. É importante destacar que na área rural, a água da chuva é usada para beber pela comunidade, e poderia estar susceptível a manipulação e influência do material de construção da cisterna.

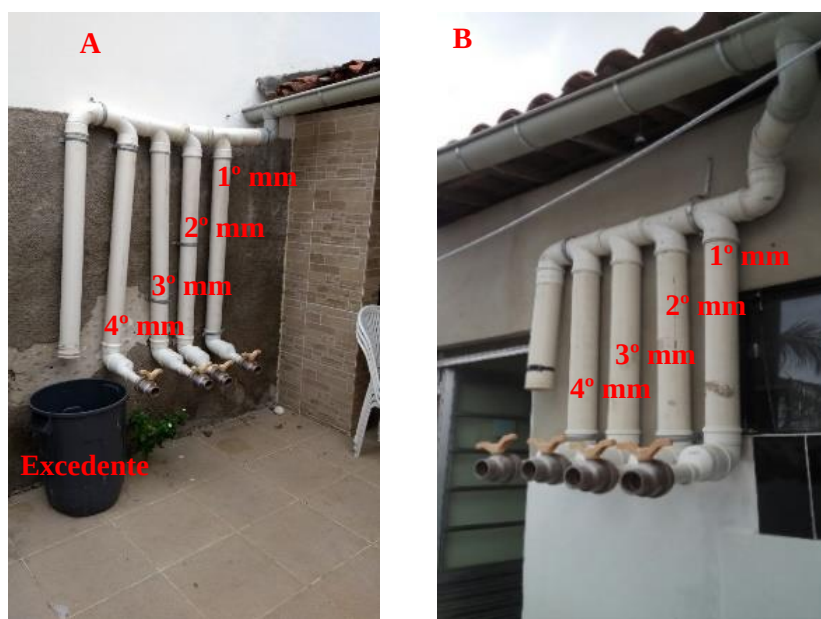
Nas áreas urbana e industrial, o 1º milímetro de água da chuva foi drenado do DesviUFPE para um balde onde era feita a homogeneização e a coleta da amostra representativa deste 1º milímetro; enquanto que o 2º milímetro era armazenado em outro balde, homogeneizado e posteriormente, retirada a amostra.

Fase 2 (F2)

Com base nos resultados da primeira fase, a quantidade de milímetros a serem desviados foi aumentada, utilizando dois dispositivos, um instalado na área urbana e outro na área industrial. Para cada área, o dispositivo de descarga foi então instalado para permitir coletar individualmente amostras do 1º, 2º, 3º e 4º milímetros de água da chuva (Figura 11). Depois de desviar o 4º milímetro, a água da chuva era armazenada em um balde e também foi analisada. Os pontos de coleta das áreas urbana (8°17'25"S 35°58'49"W) e industrial (8°17'40"S 36°00'34"W) foram similares aos locais onde a F1 foi conduzida, mas a F2 não foi realizada exatamente nos mesmos pontos de coleta da F1

porque os moradores das casas onde os dispositivos estavam instalados solicitaram a retirada dos mesmos, alegando que o dispositivo é esteticamente desagradável ou que estava ocupando área útil da casa. O experimento foi repetido três vezes. A área rural não foi contemplada na segunda fase, uma vez que um milímetro já era suficiente para desviar os poluentes das cisternas. Adicionalmente, o desvio de mais de 1 mm na área rural de Caruaru acarretaria em menos água direcionada à cisterna ao final do período chuvoso, para uma comunidade que já sofre com escassez hídrica persistente e que, portanto, necessita da água de chuva inclusive para fins potáveis.

Figura 11 – Fotografia do DesviUFPE instalado na área urbana de Caruaru (A), e DesviUFPE instalado na área industrial de Belo Jardim (B), na Fase 2 da pesquisa.



Fonte: Autora.

3.3.2 Etapa 2

A Etapa 2 tinha o objetivo de determinar qual intervalo de tempo entre dois eventos chuvosos, que justifica a realização de novo descarte das primeiras águas de chuva, numa subsequente precipitação. Essa etapa foi conduzida em escala piloto, nas instalações da Instalação Experimental de Cisternas (IEC), situada no Centro Acadêmico do Agreste/UFPE, em Caruaru/PE. É importante frisar que a IEC se situa entre um estacionamento da UFPE e um grande terreno baldio, e possui condições ambientais similares à área rural do semiárido brasileiro, ou seja, é formado por área não pavimentada, arborizada, pouco ocupada, com baixo tráfego de veículo, e com presença de bovinos (terreno baldio).

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 vermelhas, 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. Também se encontra na instalação o DesviUFPE, o dispositivo automático de desvio do primeiro milímetro de água de chuva. No presente estudo foi analisada a interferência de dias de deposição seca sobre a qualidade da água armazenada em cisternas, com simulação de chuvas que interromperam distintos intervalos de estiagem. Os períodos de estiagem que foram considerados são: 1 dia, 2 dias, 3 dias, 4 dias e 5 dias. A simulação de chuva se deu com a aspersão de água fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) em telhado da IEC. O primeiro milímetro da água de chuva, que lavou o telhado, após cada período sem chuva considerado, foi direcionado para o DesviUFPE, que exerceu a função de reservar tais poluentes para posterior análise físico-química. Também foi analisada a água aspergida que correspondia ao segundo milímetro de precipitação, mas para esse caso a amostra não ficou retida no DesviUFPE, e sim em balde plástico. Dessa forma, foi avaliado o comportamento de acúmulo dos poluentes atmosféricos em intervalos de tempo pré-determinados e sem precipitação, além de analisar a eficiência de retenção de poluentes no DesviUFPE.

Teve-se assim um ponto de coleta situado no interior do DesviUFPE, que armazenou o primeiro milímetro de precipitação, e outra coleta foi realizada com auxílio de balde plástico graduado, que armazenava o segundo milímetro de precipitação. Os parâmetros analisados estão descritos na Tabela 5, e foram realizados conforme APHA (2012).

Tabela 5 – Métodos de análise dos parâmetros investigados na Etapa 2, conforme APHA (2012).

Parâmetro	Método de análise	Código Standard Methods	Parâmetro	Método de análise	Código Standard Methods
Cor aparente	Nefelométrico	2120 C	Condutividade elétrica	Com uso do condutivímetro	2510 B
Cor verdadeira	Nefelométrico	2120 C	pH	Com uso de pHmetro	4500 B
Turbidez	Nefelométrico	2123 B			

Fonte: Autora.

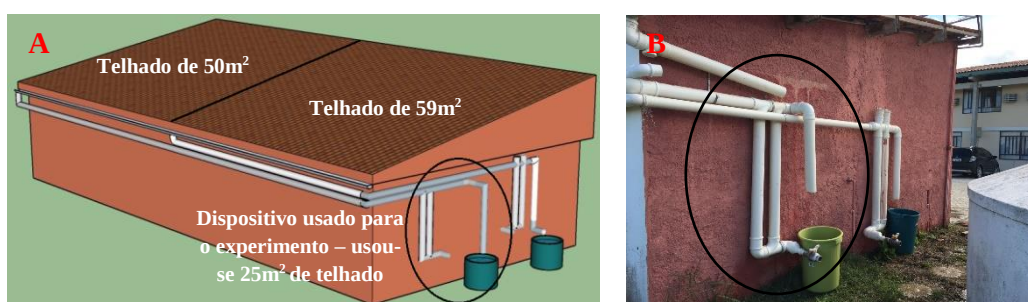
Toda a Etapa 2 foi conduzida utilizando precipitação simulada, sendo assim, em caso de precipitação natural, os dias de deposição seca passariam a ser contados a partir desse evento chuvoso natural. O acompanhamento das chuvas naturais se deu por meio de dados coletados na estação climatológica LAMTESA. Ademais, não foi realizada

nenhuma contaminação artificial na água aspergida ou telhado, sendo, portanto, considerada a contaminação existente apenas na baixa atmosfera.

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 DesviUFPE, para a condição testada, foi dimensionado levando-se em consideração a área total do telhado, que foi igual a 25m^2 , a altura de precipitação, que é de 1mm ou $1\text{litro}/\text{m}^2$, além da capacidade de acúmulo de água em 1m de tubo de PVC com 100 mm de diâmetro. O DesviUFPE necessitou, portanto, de 3,18m de tubos de PVC verticalmente dispostos, além de conexões, para o acúmulo de 25 litros de água de chuva. Para facilitar a instalação do dispositivo, optou-se por dispor os tubos em duas partes de 1,6m de comprimento cada (Figura 12).

Figura 12 – Esquema dos telhados, calhas e dispositivos da IEC (A), e DesviUFPE usado na Etapa 2 (destaque em círculo) (B).

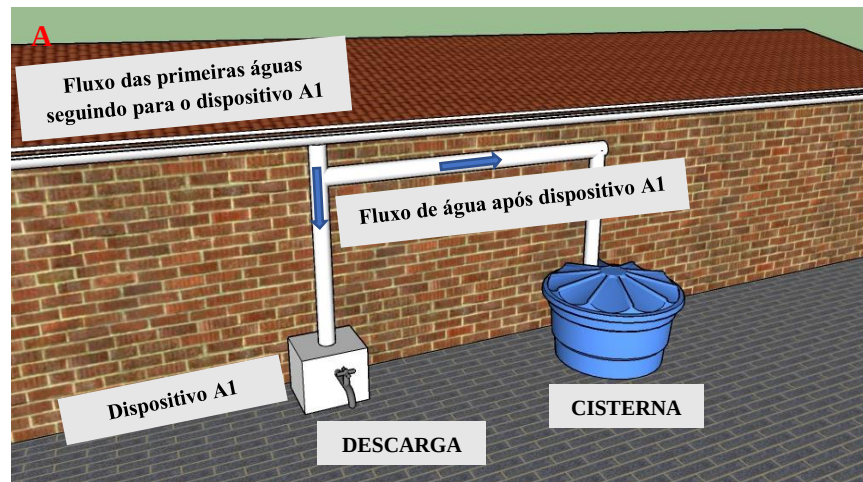


Fonte: Autora.

3.3.3 Etapa 3

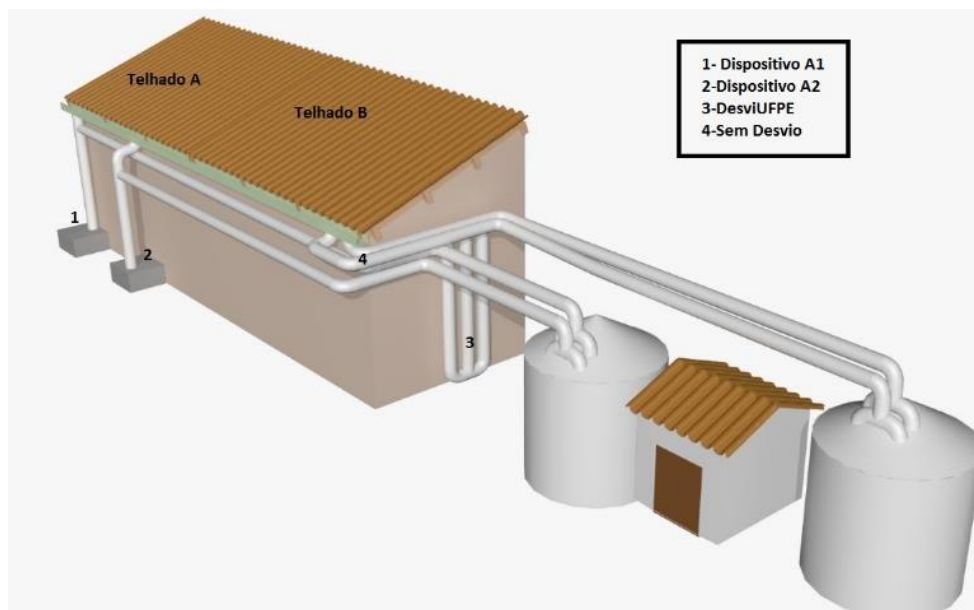
Na terceira etapa da pesquisa analisou-se o funcionamento de três dispositivos de descarte automático das primeiras águas de chuva, a partir de parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. Os dispositivos investigados foram: um desvio baseado no princípio de fecho hídrico (chamado aqui de Dispositivo A1 – ANDRADE NETO, 2004), um desvio baseado no princípio dos vasos comunicantes (chamado aqui de Dispositivo A2 – www.cepfs.org) e um desvio baseado em ambos os princípios físicos, fecho hídrico e vaso comunicante (chamado aqui de DesviUFPE - ALVES et al., 2014) (Figura 13).

Figura 13 – Esquema de direcionamento de água de chuva após dispositivos A1 (A), A2 (B e C) e DesviUFPE (D).



A Etapa 3 foi realizada na IEC, usando-se os dois telhados. No telhado de 50 m² a água aspergida era dividida em duas caídas de calha, onde uma das quedas direcionava a água para o dispositivo A1 e a outra para o dispositivo A2. No telhado de 59 m² a água aspergida era dividida em duas caídas de calha, onde uma das quedas direcionava a água para o DesviUFPE e a outra diretamente para a cisterna (Figura 14).

Figura 14 – Esquema da IEC para a Etapa 3.



Para condução do experimento foi realizada contaminação prévia da cobertura da IEC com lodo de esgoto, oriundo de uma estação de tratamento de esgoto doméstico, visando testar o desempenho dos dispositivos em um cenário extremo de contaminação microbiana.

Para contaminação dos dois telhados foram utilizados 400 mL de lodo anaeróbio (40,2 g SSV/L), que apresenta boa diversidade microbiana (Lucena et al., 2011). O lodo foi coletado da ETE Mangueira, localizada em Recife. A ETE é operada pela COMPESA, e é composta por um reator UASB seguido de uma lagoa de polimento.

O lodo foi uniformemente aspergido sobre o telhado. O mesmo foi dividido em tamanhos iguais, sendo oito partes iguais entre cada aspersor. Em cada divisão foi derramado 200 mL de lodo diluído da ETE Mangueira. A diluição do lodo deu-se na seguinte proporção: uma parte de lodo para quatro partes de água destilada.

Com o acionamento dos aspersores, o material contaminante foi arrastado pela água aspergida e o líquido resultante foi direcionado às calhas e destes aos respectivos dispositivos. Amostras de água foram coletadas no interior dos desvios; em baldes que receberam o segundo (para os dispositivos A1 e DesviUFPE) e o terceiro (para o

dispositivo A2) milímetro da água aspergida no telhado, após desvio; em balde que acumulou água que não passou previamente por qualquer tipo de desvio; bem como água usada na aspersão; e lodo de esgoto utilizado na contaminação do telhado. A amostra de água proveniente do segundo (para os dispositivos A1 e DesviUFPE) e do terceiro (para o dispositivo A2) milímetro foi denominada, nos resultados, de água encaminhada à cisterna após passar pelo dispositivo de desvio. A eficiência de cada dispositivo em remover os poluentes físico-químicos específicos foi calculada com base no valor obtido no interior dos dispositivos de desvio e na amostra de água direcionada à cisterna. Complementarmente, foi investigada a qualidade da água após passagem pelos dispositivos, que poderia ser armazenada em cisternas, por comparação dos resultados com os padrões de potabilidade estabelecidos por legislação nacional e pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

Ambos os desvios Dispositivo A1 e Dispositivo A2 são confeccionados em concreto e o DesviUFPE compreende um arranjo específico de tubos de PVC acoplados e posicionados verticalmente. Em todos os sistemas de desvio das primeiras águas de chuva há necessidade de esvaziamento do mesmo após cada evento chuvoso, devendo ser novamente fechado após o esvaziamento, para o recebimento das primeiras águas de chuva do próximo evento chuvoso.

Os parâmetros analisados estão descritos na Tabela 6, e foram realizados conforme APHA (2012).

Tabela 6 – Métodos de análise dos parâmetros analisados na Etapa 3, conforme APHA (2012).

Parâmetro	Método de análise	Código Standard Methods	Parâmetro	Método de análise	Código Standard Methods
pH	Com uso do pHmetro	4500 B	Condutividade elétrica	Com uso do condutivímetro	2510 B
Cor aparente	Nefelométrico	2120 C	STD	Gravimetria	2540 B
Cor verdadeira	Nefelométrico	2120 C	Coliformes totais e <i>E. Coli</i>	Membrana filtrante	9223 B
Alcalinidade total	Titulométrico	2320 B	Oxigênio Dissolvido	Eletrométrico	4500 C
Turbidez	Nefelométrico	2123 B	Dureza Total	Titulométrico	2340 C

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Etapa 1

4.1.1 Fase 1 (F1)

Os resultados obtidos em F1 estão dispostos na Tabela 7 e foram comparados com a Portaria N° 2914/2011 (BRASIL, 2011) e com as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2011), que tratam sobre potabilidade de água.

Estatisticamente observou-se que há diferença significativa entre os parâmetros analisados, em cada área de estudo avaliada (áreas rural, urbana e industrial) ($p < 0,05$ - Friedman).

Tabela 7 – Resultados dos parâmetros analisados em F1, para o primeiro e segundo milímetro das amostras coletadas nas áreas rural, urbana e industrial.

Parâmetros	Legislação		Área de coleta da água de chuva					
	Brasil ^a	OMS ^b	Rural		Urbana		Industrial	
			1° mm	cisterna	1° mm	2° mm	1° mm	2° mm
Turbidez (UT)	5	1,5	35,0 ± 31,1	1,8 ± 33,3	29,4 ± 14,1	5,9 ± 8,1	22,6 ± 30,7	6,2 ± 5,0
Cor verdadeira (mgPt-Co.L ⁻¹)	--	15	12,8 ± 7,3	12,0 ± 5,3	8,0 ± 10,2	7,0 ± 9,7	8,5 ± 4,6	6,3 ± 4,1
Cor aparente (mg Pt-Co.L ⁻¹)	15	--	23,0 ± 9,3	12,7 ± 5,9	27,0 ± 50,2	15,0 ± 17,1	37,0 ± 35,6	16,0 ± 14,9
pH	6,0-9,0	8,2-8,8	6,3-7,5±0,5	7,3-8,3±0,3	5,9-7,6±0,3	5,9-7,4±0,28	6,1-7,0±0,3	6,1-7,3±0,3
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	--	--	27,0 ± 17,3	157,6 ± 22,1	54,6 ± 75,0	36,0 ± 80,0	48,9 ± 53,9	38,3 ± 49,2
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	--	--	51,3 ± 11,7	284,6 ± 60,2	53,0 ± 52,4	39,0 ± 52,7	25,4 ± 19,6	9,9 ± 27,9
Dureza total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	500	--	142,9 ± 57,8	89,4 ± 23,9	122,0 ± 44,6	97,5 ± 28,6	73,6 ± 17,6	36,6 ± 30,6
Cloretos (mg Cl ⁻ .L ⁻¹)	250	250	9,0 ± 2,9	14,0 ± 24,8	13,0 ± 17,1	8,0 ± 7,3	9,9 ± 8,2	4,0 ± 4,6
STD (mg.L ⁻¹)	1000	--	158,0 ± 10,1	70,0 ± 85,4	90,0 ± 62,5	78,0 ± 112,4	83,0 ± 23,5	26,0 ± 13,7
Coliformes totais (UFC/100mL)	0	0	4,2x10 ⁴ ± 0,4	2,0x10 ³ ± 1,1	3,3x10 ⁴ ± 0,9	3,5x10 ³ ± 1,3	4,3x10 ⁴ ± 0,4	3,5x10 ³ ± 0,6
<i>E. Coli</i> (UFC/100mL)	0	0	3,0x10 ³ ± 0,1	2,0x10 ² ± 0,9	3,3x10 ³ ± 0,4	2,8x10 ² ± 1,6	3,3x10 ³ ± 0,6	2,3x10 ² ± 0,9
Alumínio (mg Al ³⁺ .L ⁻¹)	0,2	--	ND	ND	0,070 ± 0,179	0,040 ± 0,110	0,080 ± 0,040	0,008 ± 0,005
Chumbo (mgPb ²⁺ .L ⁻¹)	0,01	0,01	ND	ND	0,007 ± 0,40	0,003 ± 0,20	1,128 ± 0,40	0,340 ± 0,060

^aResolução Brasileira - Portaria N° 2914/2011 (BRASIL, 2011)

^bOrganização Mundial de Saúde (OMS, 2011)

ND: não detectado

Fonte: Autora.

Os resultados da área rural evidenciaram a influência da ocupação do solo, que é predominantemente contaminada por areia e fezes de animais (Gwenzi et al., 2015). As maiores concentrações encontradas na água que lavou a atmosfera da área rural foram turbidez, STD e coliformes totais (Tabela 7). O desvio do 1° mm foi capaz de remover 95%, 56% e 95%, respectivamente para cada um destes parâmetros.

Também se observou que houve interferência da dissolução do material constituinte do cimento (carbonato de cálcio), usado na confecção das cisternas de placa (Souza et al., 2011), e do manuseio, por meio do aumento de alcalinidade total e cloretos, respectivamente. Cloretos aumentaram nas águas da cisterna, em função da adição do hipoclorito de sódio realizada por agentes de saúde e em consenso com as diretrizes da OMS (OMS, 2011). Apesar do aumento na concentração de cloretos, esta não ultrapassou os limites tanto do padrão brasileiro quanto da OMS. Em relação a alcalinidade, esta não possui padrão estabelecido nem para a resolução nacional quanto para a OMS. O aumento da alcalinidade e cloretos nas amostras de água retirada de cisternas, resultou num aumento de condutividade elétrica nas mesmas amostras.

Os valores de turbidez nas amostras de água das cisternas não atenderam o parâmetro da OMS (1,5 UT), e os indicadores microbiológicos foram os únicos que não atenderam aos padrões brasileiros de potabilidade (Tabela 5), mesmo após a adição de cloro no interior das cisternas. Isto traz a necessidade de se avaliar se a dosagem, a fonte de cloro e, principalmente, o local de cloração adotados estão adequados. Tais fatores, aliados à turbidez da água, são considerados os principais fatores responsáveis por reduzir a eficiência da cloração doméstica (Levy et al., 2014).

Cabe destacar que, considerando a escassez de água da região, e que a população usa a água de chuva inclusive para beber, não se recomenda o desvio de mais que um milímetro da água de chuva, para que a mesma atenda aos padrões de potabilidade. Recomenda-se medidas complementares para melhoria da qualidade da água, sem, no entanto, comprometer a quantidade disponível para a população, tais como cloração mais eficiente ou filtração.

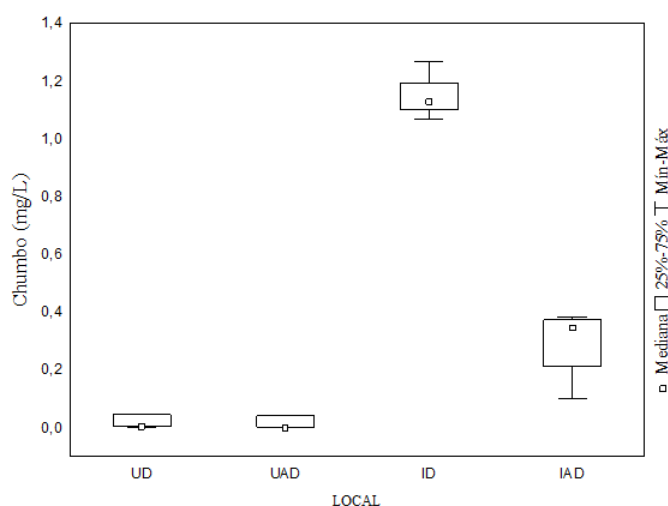
A presença dos metais alumínio e chumbo não foram detectados nas amostras da área rural, entretanto, estiveram presentes nas amostras das áreas urbana e industrial, em função das atividades predominantes no entorno dos pontos de coleta. O alumínio pode ser proveniente de resíduos de fábricas que produzem painéis, utensílios de cozinha e janelas ou em resíduos de ETA's, em função da adição de sulfato de alumínio. Já o chumbo pode encontrar-se na forma de PbS , PbO_2 , $PbSO_4$, $PbBr$. No Brasil, a produção de baterias é o principal consumidor de chumbo, mas também pode estar presente em telhados pintados com tinta à base de chumbo, em metais das soldas de calhas, ou no resultado da queima de gasolina (Sugumaran et al., 2015).

O DesviUFPE mostrou maior remoção de alumínio na área industrial (90%) quando comparada à área urbana (43%), o que pode ser atribuído à diferença entre a natureza dos sólidos presentes nas duas áreas. A presença de sólidos mais densos na área industrial, como por exemplo o metal pesado chumbo, pode ter contribuído para o arraste do alumínio para o interior do DesviUFPE. Apesar de detectada a presença de alumínio nas amostras de água de chuva colhidas nas áreas urbana e industrial, as concentrações não ultrapassaram os limites da portaria brasileira nem da OMS.

Por outro lado, a concentração de chumbo foi 161 vezes maior na área industrial do que na área urbana (Figura 15), o que evidencia claramente a influência do arraste de

sais de chumbo particulados agregados a material particulado, presentes na atmosfera, pela chuva. As concentrações de chumbo encontradas na área urbana e industrial foram superiores à recomendada pela legislação brasileira e pela OMS. Entretanto, houve uma redução da concentração de chumbo após o desvio do 1º mm, em 57% e 70%, respectivamente para as áreas urbana e industrial.

Figura 15 – Resultados de chumbo nas amostras de água de chuva coletadas nas áreas urbana e industrial, em F1. UD: área urbana, no interior do desviUFPE; UAD: área urbana, após o desviUFPE; ID: área industrial, no interior do desviUFPE; IAD: área industrial, após desviUFPE.



Fonte: Autora.

Com exceção de turbidez e dos indicadores microbiológicos, os demais parâmetros avaliados na área urbana (cor real, cor verdadeira, pH, dureza total, cloretos, sólidos totais dissolvidos, alumínio e chumbo) estiveram em concentração inferior à recomendada na legislação brasileira e na OMS após o desvio do 1º mm de água de chuva. Dessa forma, para reduzir a concentração de turbidez e dos indicadores microbiológicos, sugere-se a adoção de cloração e/ou filtração, objetivando usos urbanos não potáveis, que incluem irrigação, usos ornamentais, descargas de toaletes, combate a incêndio, abatimento de poeira, uso na construção civil, dentre outros (USEPA, 2012).

Para a área industrial, é preciso promover tratamento para reduzir a concentração de turbidez, cor aparente e chumbo, que foram superiores ao padrão brasileiro da OMS de potabilidade. Destaque deve ser dado ao chumbo que foi 34 vezes superior aos referidos padrões. Em relação aos indicadores microbiológicos, apesar de 92% e 93% de redução de coliformes totais e *E. Coli*, esses ainda não se enquadraram nas duas regulamentações citadas.

Os menores valores de pH, que foram encontrados na zona industrial, não representam riscos à saúde humana, mas podem contribuir para a corrosão de materiais e afetar sabor e odor da água de chuva (Lee et al., 2017; Morillas et al., 2016).

Dessa forma, a F2 foi realizada para avaliar se com o desvio de até 4 mm a água de chuva coletada nas áreas urbana e industrial atendiam aos padrões brasileiros e da OMS de potabilidade de água.

4.1.2 Fase 2 (F2)

Os resultados obtidos nessa fase estão dispostos na Tabela 8 e também são comparados com os padrões brasileiros de potabilidade e da OMS. Estatisticamente, houve diferença significativa entre os resultados de todos os parâmetros para cada área estudada ($p < 0,05$ – teste de Friedman), exceto para pH (ANOVA = 0,17).

Tabela 8 – Resultados dos parâmetros analisados em F2, nas amostras de água de chuva coletadas na área urbana e industrial, para o primeiro e após o quarto milímetro.

Parâmetros	Legislação		Área de coleta da água de chuva			
	Brasil ^a	OMS ^b	Urbana		Industrial	
			1° mm	após 4° mm	1° mm	após 4° mm
Turbidez (UT)	5	1,5	31,6 ± 83,3	3,0 ± 1,7	32,0 ± 96,9	2,6 ± 2,3
Cor verdadeira (mg Pt-Co.L ⁻¹)	--	15	0,7 ± 37,1	0,0 ± 0,2	4,0 ± 7,0	1,0 ± 0,6
Cor aparente (mg Pt-Co.L ⁻¹)	15	--	135,0 ± 86,1	19,0 ± 61,0	110,0 ± 6,6	13,5 ± 5,0
pH	6,0-9,0	8,2-8,8	6,9-7,1 ± 0,1	6,0-6,7 ± 0,4	6,2-6,8 ± 0,3	5,9-6,4 ± 0,3
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	--	--	110,4 ± 25,9	27,5 ± 6,8	20,3 ± 7,6	15,9 ± 6,1
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	--	--	62,0 ± 7,0	22,0 ± 13,3	30,0 ± 5,0	14,0 ± 3,6
Dureza total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	500	--	78,4 ± 18,5	18,3 ± 15,8	60,1 ± 48,5	32,5 ± 36,9
Cloretos (mg Cl.L ⁻¹)	250	250	10,0 ± 10,3	1,0 ± 3,9	7,5 ± 1,0	4,2 ± 0,3
STD (mg.L ⁻¹)	1000	--	92,0 ± 3,0	6,0 ± 11,7	76,0 ± 69,6	16,0 ± 10,0
Coliformes totais (UFC/100mL)	0	0	4,8x10 ⁴ ± 0,5	3,8x10 ² ± 0,6	4,8x10 ⁴ ± 0,1	3,3x10 ² ± 0,2
<i>E. Coli</i> (UFC/100mL)	0	0	3,7x10 ³ ± 0,3	2,9x10 ¹ ± 0,4	3,8x10 ³ ± 0,9	2,7x10 ¹ ± 0,2
Zinco (mg.L ⁻¹)	5	--	2,60 ± 0,70	0,62 ± 0,20	1,1 ± 0,4	0,52 ± 0,10
Chumbo (mgPb ²⁺ .L ⁻¹)	0,01	0,01	0,100 ± 0,170	0,022 ± 0,050	1,35 ± 1,65	0,06 ± 0,03

^aResolução Brasileira - Portaria Nº 2914/2011 (BRASIL, 2011)

^bOrganização Mundial de Saúde (OMS, 2011)

Fonte: Autora.

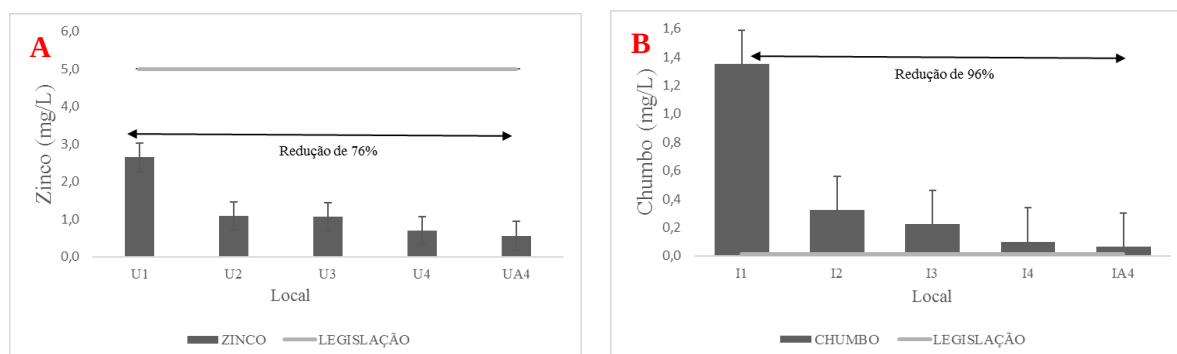
Os resultados de turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, alcalinidade total, STD e chumbo de F1 foram superiores aos obtidos em F2, o que é decorrente do horário de ocorrência da precipitação. Quando a precipitação ocorre à noite, quando indústrias geralmente diminuem a produção e o fluxo de veículos é menor, menores valores de poluentes atmosféricos deverão ser esperados (Chiang et al., 2016).

Analisando a área urbana, observou-se que desviar 4 mm de água de chuva (Tabela 8) diminuiu as concentrações de turbidez e chumbo em 1,96 e 0,13 vezes, respectivamente, quando comparadas com os valores obtidos em F1. Da mesma forma, em F2, houve redução de 89% dos indicadores microbiológicos. Apesar de não ultrapassar as recomendações tanto do padrão brasileiro de potabilidade de água quanto da OMS, as concentrações de zinco na área urbana evidenciam a sua relação com a ocupação do solo. O zinco pode ser usado na indústria metalúrgica, em ligas metálicas, em borrachas e pneus, em tintas, corantes, fertilizantes agrícolas e etc (Angrill et al., 2017;

Sánchez, Cohim e Kalid, 2015). A concentração de zinco no interior do DesviUFPE situado na área urbana foi de 2,60 mg/L e o uso do dispositivo representou redução de 76% do zinco presente nas amostras de água de chuva (Figura 16).

Para a área industrial, o desvio de 4 mm de água de chuva diminuiu a concentração de turbidez, cor aparente e chumbo em 2,4; 1,2; e 5,7 vezes, respectivamente, quando se compara com os valores obtidos em F1. Os indicadores microbiológicos coliformes totais e *E. Coli* sofreram redução de 91% e 88%, respectivamente. A redução de turbidez e cor aparente foi suficiente para enquadramento das amostras no padrão brasileiro de potabilidade. Isso significa melhoria da qualidade da água de chuva, embora seja preciso destacar o alto teor de chumbo (0,06 mg / L), que é 6 vezes maior que o estabelecido nos padrões brasileiro e da OMS (Tabela 8), mesmo após o desvio de 4 mm de precipitação. No entanto, vale destacar que o uso do DesviUFPE contribuiu para a redução de 96% da concentração de chumbo entre o 1mm e 4mm de precipitação. Isso indica o potencial de atendimento para este parâmetro no reservatório que acumulará os milímetros subsequentes ao quarto milímetro, por ocasionar diluição com água de qualidade melhor que a avaliada neste trabalho.

Figura 16 – Resultados de zinco (A) e chumbo (B) nas áreas urbana e industrial, respectivamente. U1: área urbana - 1° mm; U2: área urbana - 2° mm; U3: área urbana - 3° mm; U4: área urbana - 4° mm; UA4: área urbana - após 4° mm; I1: área industrial - 1° mm; I2: área industrial - 2° mm; I3: área industrial - 3° mm; I4: área industrial - 4° mm; IA4: área industrial – após 4° mm.



Fonte: Autora.

4.2 Etapa 2

Os parâmetros analisados nessa etapa da pesquisa foram cor verdadeira, cor aparente, turbidez e condutividade elétrica. Foi observada a influência de deposição seca em amostras de água de chuva, em cenário com até cinco dias seguidos sem precipitação. A interrupção deste intervalo se deu por meio de precipitação artificial, simulada na IEC, com pressão de 5 mca, que corresponde a intensidade de 23mm/h.

O dispositivo de desvio testado foi o DesviUFPE, e o volume de água retido em seu interior foi o correspondente a 1 mm de chuva ou 1 litro/m².

Os resultados para os parâmetros físico-químicos obtidos na segunda fase da pesquisa estão dispostos na Tabela 9, na forma de média.

Os resultados obtidos mostram que os primeiros dias sem precipitação já são significativos para a deterioração da qualidade da água de chuva. 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.

Tabela 9 – Resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos na Etapa 2.

Parâmetros	Ponto de investigação									
	I 24h	A 24h	I 48h	A 48h	I 72h	A 72h	I 96h	A 96h	I 120h	A 120h
Cor verdadeira (mgPt-Co.L ⁻¹)	104,0	53,0	141,0	61,0	221,0	68,0	321,0	46,0	474,0	57,0
Cor aparente (mg Pt-Co.L ⁻¹)	11,0	7,0	15,0	11,0	26,0	19,0	60,0	20,0	87,0	30,0
Turbidez (UT)	47,8	15,9	185,7	19,5	189,7	14,0	259,7	16,1	255,7	8,4
Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	194,5	191,1	222,9	207,7	214,5	198,4	224,9	201,3	236,8	217,4

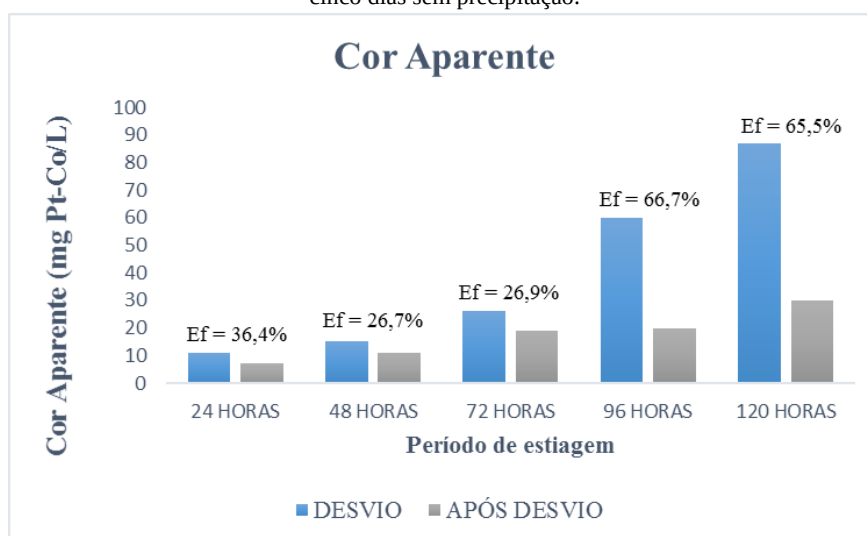
I 24h: Interior do DesviUFPE - 24horas; A 24h: Após DesviUFPE – 24 horas; I 48h: Interior do DesviUFPE – 48 horas; A 48h: Após DesviUFPE – 48 horas; I 72h: Interior do DesviUFPE – 72 horas; A 72h: Após DesviUFPE – 72 horas; I 96h: Interior do DesviUFPE – 96 horas; A 96h: Após DesviUFPE – 96 horas; I 120h: Interior do DesviUFPE – 120 horas; A 120h: Após DesviUFPE – 120 horas.

Fonte: Autora.

Observa-se que com o aumento dos dias sem precipitação, até 5 dias, a deposição seca contribuiu para o aumento da concentração de poluentes (Tabela 9).

A Figura 17 apresenta a média dos valores encontrados para o parâmetro de cor aparente em amostras retiradas do interior do DesviUFPE, e seu excedente, além da eficiência em cada um dos cinco dias de deposição seca. Observa-se que a maior eficiência foi obtida no quarto dia sem precipitação. Vale destacar que o desvio de 1 mm de água de chuva não foi suficiente para que as amostras de água de chuva atendessem ao padrão da OMS de potabilidade de água, que é de 15 mgPt-Co/L.

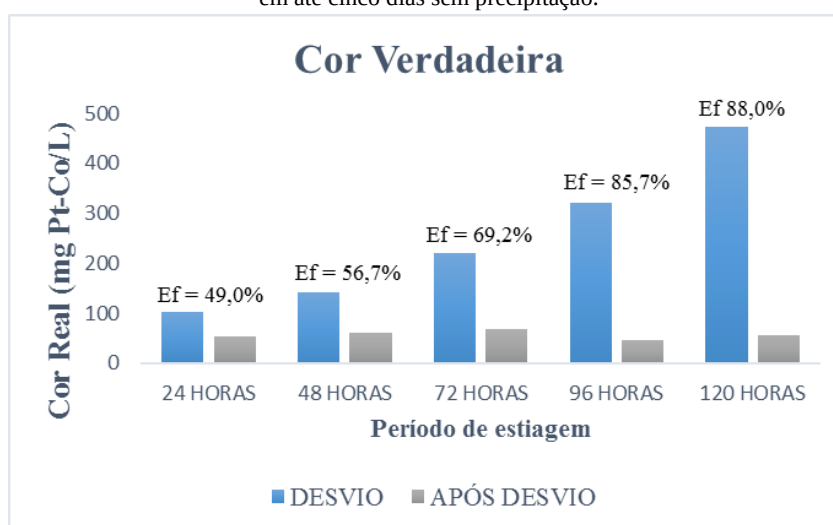
Figura 17 – Resultados de cor aparente para amostras coletadas no interior do DesviUFPE e após esse, em até cinco dias sem precipitação.



Fonte: Autora.

Já para o parâmetro cor verdadeira, as maiores eficiências foram obtidas no quarto e quinto dia, com eficiências de 85,7% e 88% respectivamente (Figura 18). A maior variação entre as eficiências se deu entre o terceiro e quarto dia sem precipitação. Logo, por meio desse parâmetro, indica-se que, numa condição atmosférica similar a testada nesse estudo, três dias sem precipitação, é o prazo máximo de deposição de sedimentos que irá justificar o uso do DesviUFPE no próximo evento chuvoso, pois nesse intervalo de tempo, e com os contaminantes presentes nessa simulação, o DesviUFPE foi mais eficiente. Ademais, percebe-se que no primeiro e segundo dia a contaminação é baixa, e o desvio de 1 mm de água de chuva é suficiente para melhorar a qualidade da água de chuva, atendendo inclusive ao padrão brasileiro de potabilidade de água, que é de 15mgPt-Co/L (BRASIL, 2011).

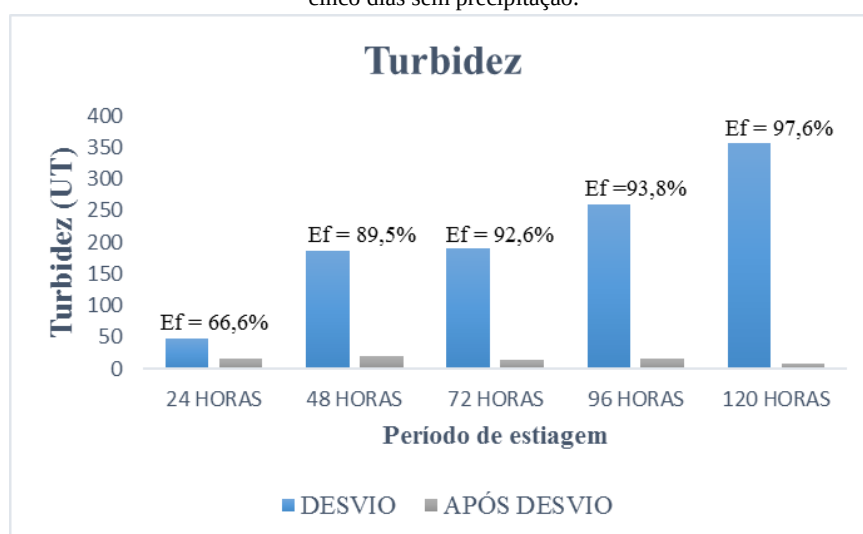
Figura 18 – Resultados de cor verdadeira para amostras coletadas no interior do DesviUFPE e após esse, em até cinco dias sem precipitação.



Fonte: Autora.

A maior eficiência na diminuição da turbidez também se deu com o quinto dia sem precipitação (97,6%), mas a partir do terceiro dia a eficiência já alcançava valores superiores a 90% (Figura 19). A maior variação entre as eficiências se deu entre o primeiro e segundo 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 primeiro dia sem precipitação, a fim de evitar aumento em sua concentração, apenas para obter maior eficiência do dispositivo, mas em contrapartida, aumentar os riscos sanitários. Como esse estudo foi realizado em região semiárida brasileira, simulando as condições de precipitação e em ambiente que se aproxima ao rural, entende-se que tais resultados são adequados para a água de chuva destinada ao consumo humano, uso típico dado a água de chuva região.

Figura 19 – Resultados de turbidez para amostras coletadas no interior do DesviUFPE e após esse, em até cinco dias sem precipitação.



Fonte: Autora.

Outra importante consideração a respeito da deposição seca é sua associação com o volume de água de chuva não direcionado à cisterna. Ao se observar a precipitação ocorrida em Pernambuco, tem-se no agreste a precipitação média acumulada de 325 mm, 220 mm, 65 mm e 185 mm, durante o outono, inverno, primavera e verão, respectivamente (APAC, 2017). Durante o outono de 2017, registrou-se 28 dias secos após um evento de chuvoso de no mínimo 1 mm de precipitação. Isso representa, nas condições testadas (telhado de 25 m²), o volume de 700 litros que não seriam destinados a cisterna, e que seria desviado para o interior do DesviUFPE. Ao se considerar que o tamanho médio das habitações na área rural brasileira varie entre o dobro ou triplo desse valor, o volume não direcionado a cisterna poderia chegar a até 1960 litros. Cabe aqui reforçar que o desvio da água se faz necessário para melhorar a qualidade da água destinada a consumo humano, e que a água desviada não deve ser desperdiçada, mas sim usada em fins domésticos que não necessitem de elevado padrão de qualidade, tais como lavagem de roupas, pisos, descargas e outros.

4.3 Etapa 3

Os resultados obtidos para os parâmetros físico-químicos estão dispostos na Tabela 10, assim como os indicados no padrão brasileiro de potabilidade e na OMS.

Tabela 10 – Resultados dos parâmetros físico-químicos obtidos na Etapa 3.

Parâmetros	Portaria ^a	OMS ^b	Ponto de investigação								
			Esgoto (1)	Água (2)	DesviUFPE (3)		A1 (4)		A2 (5)		Sem desvio (6)
					Interior	Cisterna	Interior	Cisterna	Interior	Cisterna	
Alcalinidade total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	ND	ND	2309,32	563,05	566,27	572,10	582,16	575,32	592,62	547,36	590,40
Condutividade elétrica (µS.cm ⁻¹)	ND	ND	26040	2150	2206	2247	2471	2395	2285	2440	2567
Cor verdadeira (mgPt-Co.L ⁻¹)	ND	15	520	6	53	28	84	49	43	31	65
Cor aparente (mg Pt-Co.L ⁻¹)	15	ND	3240	11	126	102	187	95	135	88	99
Turbidez (UT)	5	1,5	251,2	1,88	2,13	1,83	2,17	1,79	2,69	2,41	2,24
pH	6,0-9,0	8,2-8,8	6,31	7,88	7,98	7,72	7,86	7,46	7,47	7,61	7,29
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	ND	ND	19	2,4	5,2	1,8	2,3	1,9	2,4	2,1	7,8
Dureza total (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	500	ND	14646,08	577,93	603,43	548,58	513,31	550,93	548,58	546,62	572,09
Oxigênio dissolvido (mg/L)	ND	ND	10,6	4,7	4,1	6,8	2,6	5,1	3,1	6,5	2,5

1: Esgoto aspergido no telhado; 2: Água utilizada na precipitação simulada; 3: interior do DesviUFPE e Cisterna conectada ao DesviUFPE; 4: Interior do dispositivo A1 e Cisterna conectada a A1; 5: Interior do dispositivo A2 e Cisterna conectada a A2; 6: Cisterna que recebe água sem desvio

^aPortaria Nº 2914/2011 (BRASIL, 2011)

^bOrganização Mundial de Saúde (OMS, 2011)

ND: não definido

Fonte: Autora.

Observou-se que os maiores valores de alcalinidade foram obtidos para as águas armazenadas nos dispositivos construídos em concreto (582,16 mg/L para o dispositivo A1 e 592,62 mg/L para o dispositivo A2), em função da dissolução de carbonato de cálcio, presente no cimento, após contato com a água (Souza et al., 2011). A água armazenada no DesviUFPE apresentou o menor valor de alcalinidade (566,27 mg/L), sendo este muito próximo do valor encontrado na própria água utilizada na simulação (ponto 2 – Tabela 10), uma vez que o dispositivo é confeccionado em tubos de PVC, e não contribuiu com

tal dissolução. Entretanto, nesse dispositivo também se observa os maiores valores de alcalinidade na cisterna conectada ao DesviUFPE, que é também confeccionada em cimento.

A condutividade elétrica em todas as amostras (2 a 6) foi elevada, em função da água aspergida ser fornecida pela COMPESA, e esta possuía alto valor de condutividade elétrica. O esgoto também possuía alto valor de condutividade elétrica justificado pela possibilidade de estarem presentes sulfatos, nitratos, cloretos, e demais íons que comumente podem estar presentes em esgotos.

A presença de cor e turbidez são associados principalmente à deposição de sólidos em suspensão, restos de plantas e possíveis excreções de animais presentes nos telhados e nas calhas. Sobre os resultados obtidos, o dispositivo A1 apresentou melhoria na qualidade da água que foi encaminhada à cisterna, tendo uma redução de 41,6% para cor verdadeira, 49,2% para cor aparente e 17,5% de turbidez. O dispositivo A2 apresentou reduções de 27,9% para cor verdadeira, 34,8% para cor aparente e 10,4% para turbidez. O DesviUFPE foi o mais eficaz em remover cor verdadeira (ANOVA; $p < 0,001$), apresentando uma redução de 47,2%, enquanto que para os parâmetros de cor aparente e turbidez as reduções foram de 19,0% e 14,1%, respectivamente. Em relação aos valores estabelecidos na Portaria N° 2914/2011 (15 mg/L de Pt-Co para cor aparente e 5 UT para turbidez) e na OMS (15 mg/L de Pt-Co para cor verdadeira e 1,5 UT para turbidez), os valores de cor aparente e verdadeira obtidos para todas as amostras de água direcionadas às cisternas foram superiores ao limite estabelecido e os valores de turbidez se mantiveram abaixo do limite estabelecido ao se considerar o padrão brasileiro, porém se mostraram superiores aos valores recomendados pela OMS, que por sua vez é mais restritivo que o brasileiro. Entretanto, cabe ressaltar a eficiência de cada dispositivo na retenção de tais parâmetros, e também destacar que os valores de cor aparente e verdadeira encontrados acima do recomendado pela Portaria N° 2914/2011, do Ministério da Saúde, e pela OMS são consequência da água usada na aspersão (junção de água da COMPESA e esgoto), que já apresentava elevados valores deste parâmetro.

Em todas as amostras coletadas foi constatado que o pH estava em total acordo com a Portaria N° 2914/2011 (Tabela 10), sendo que neste trabalho o pH variou de 6,3 a 7,8. De acordo com Souza et al. (2011), as variações nos valores do pH das amostras podem estar associadas ao contato da água com matéria orgânica, restos de animais e poeira, e a dissolução destas substâncias ocasiona reações químicas responsáveis por essa variação nos valores do pH. 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.

Com relação à remoção dos sólidos totais (ST) obteve-se redução média acima de 50% nas águas que passaram previamente por desvio quando comparados aos obtidos sem a utilização de desvio. O DesviUFPE foi o que apresentou melhor resultado, com valor de 1,8 mg/L de ST na amostra direcionada à cisterna conectada ao DesviUFPE, enquanto que a amostra que não passou por qualquer desvio apresentou o maior valor de

ST, cerca de 7,8 mg/L de ST, o que corresponde à redução de 76,9%. O DesviUFPE resultou em maior eficiência na retenção de ST em seu interior, de cerca de 65%.

Em relação aos valores de dureza total (DT) obtidos nas amostras do interior dos desvios e das respectivas águas encaminhas às cisternas, observou-se que: a água conduzida à cisterna A2 apresentou redução de 0,35% e a água conduzida à cisterna A1 apresentou aumento de 7,32%. A água conduzida à cisterna do DesviUFPE foi a que mostrou melhor resultado e apresentou redução de 9,08% (ANOVA; $p=0,001$). Os altos valores de dureza encontrados nas amostras são devido ao uso de água para aspersão e esgoto, que possuíam valores altos e superiores ao previsto pela Portaria N° 2914/2011 (577,93 mg/L e 14646,08 mg/L para água da COMPESA e esgoto, respectivamente).

A quantidade de oxigênio dissolvido (OD) está relacionada com a presença de matéria orgânica e com a intensidade de chuva, uma vez que quanto maior a intensidade de chuva maior a velocidade com que a água entra na cisterna, aumentando assim a movimentação das partículas no seu interior. Os valores de OD variaram entre 2,5 e 6,8 mg/L para as amostras de água analisadas.

Os dois indicadores microbiológicos analisados foram coliformes totais e *E. Coli*, e estes estão detalhados na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados obtidos para coliformes totais e *E. Coli*.

Parâmetros	Ponto de investigação								
	Esgoto (1)	Água (2)	DesviUFPE (3)		A1 (4)		A2 (5)		Sem desvio (6)
			Interior	Cisterna	Interior	Cisterna	Interior	Cisterna	
Coliformes totais (UFC/100 mL)	2,7x10 ⁷	1,0x10 ²	1,0x10 ⁶	8,6x10 ⁴	1,0x10 ⁶	1,0x10 ⁴	1,0x10 ⁶	1,0x10 ⁴	1,0x10 ⁶
<i>Escherichia Coli</i> (UFC/100 mL)	5,1x10 ⁶	2,0x10 ¹	1,0x10 ⁵	5,4x10 ⁴	1,0x10 ⁵	1,0x10 ³	1,0x10 ⁵	1,0x10 ³	1,0x10 ⁵

1: Esgoto aspergido no telhado; 2: Água utilizada na precipitação simulada; 3: interior do DesviUFPE e Cisterna conectada ao DesviUFPE; 4: Interior do dispositivo A1 e Cisterna conectada a A1; 5: Interior do dispositivo A2 e Cisterna conectada a A2; 6: Cisterna que recebe água sem desvio

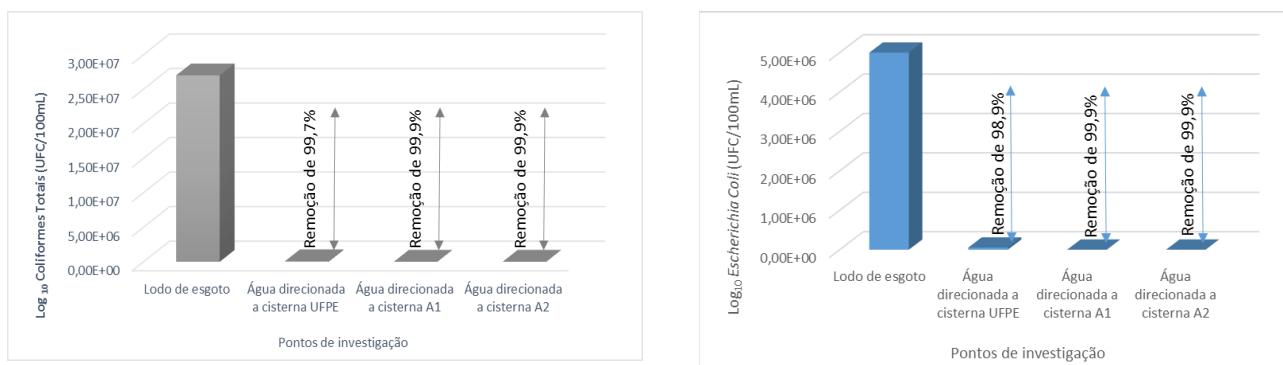
Fonte: Autora.

Os maiores valores de ambos os parâmetros foram obtidos no interior dos dispositivos (A1, A2 e DesviUFPE) e na amostra de água que não passou por dispositivo de desvio, e suas altas concentrações são resultado da contaminação realizada com esgoto doméstico. Com relação aos valores de coliformes totais, estes se mantiveram nos quatro cenários (interior dos três desvios e na amostra de água que não passou previamente por dispositivo de desvio) em 1×10^6 UFC/100 mL, enquanto que para *E. Coli*, obteve-se 1×10^5 UFC/100 mL. Nas amostras que previamente passaram por dispositivos de desvio os valores dos parâmetros se mantiveram próximos, tendo sido observado para coliformes totais o valor de $8,6 \times 10^4$ UFC/100 mL para a água direcionada à cisterna conectada ao DesviUFPE, e 1×10^4 UFC/100 mL para as águas encaminhas às outras duas cisternas

(A1 e A2). Com relação a *E. Coli*, o mesmo comportamento foi observado tendo-se obtido $5,4 \times 10^4$ UFC/100 mL para a amostra de água conduzida a cisterna conectada ao DesviUFPE e 1×10^3 UFC/100 mL para as amostras que foram conduzidas às cisternas conectadas a A1 e A2.

No que se refere à eficiência dos desvios, observa-se que todos foram eficazes para evitar que parte dos microrganismos patogênicos atingissem as respectivas cisternas. Neste sentido, os desvios A1 e A2 apresentaram o mesmo desempenho em ambos os parâmetros microbiológicos avaliados (coliformes totais e *E. Coli*) tendo reduzido em 99,9% a quantidade de cada um deles que chegaria às cisternas (Figura 20). O DesviUFPE foi responsável pela redução de 99,7% e 98,9% na quantidade de coliformes totais e *E. Coli*, respectivamente, que atingiriam as cisternas. Ou seja, sem diferença estatística entre os dispositivos avaliados para desempenho microbiológico (ANOVA; $p = 0,991$).

Figura 20– Resultados obtidos para coliformes totais e *E. Coli*.



Fonte: Autora.

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. Observou-se que os três dispositivos de desvio automático de águas de chuva mostraram eficiências similares na retenção desses indicadores em seus interiores.

Outra importante consideração é relacionada ao volume de água retida em cada dispositivo de desvio para a obtenção das eficiências citadas. O dispositivo A2 necessita desviar 2 mm de água de chuva, enquanto que para o A1 e o DesviUFPE apenas 1 mm é necessário. Especialmente ao se tratar da aplicação dos dispositivos na área semiárida brasileira, onde fontes de água são escassas, é indicado usar dispositivos que desviam volumes menores de água de chuva em seu interior. No mais, é preciso comentar que a água desviada pode ser submetida a desinfecção ou pode ser usada para outras finalidades, como por exemplo, descarga de sanitários, irrigação de vegetação não consumida crua, lavagem de pisos ou outros similares.

5 CONCLUSÃO

A ocupação do solo predominante e a deposição seca interferem na qualidade da água de chuva. Regiões rurais normalmente são livres da presença de metais pesados, mas apresentam sedimentos arenosos e contaminantes microbiológicos, devido a suspensão de areia de vias não pavimentadas e da presença de fezes de aves que usam telhados como poleiros. Em áreas urbanas e industriais, observou-se a presença de metais pesados como principais interferentes à qualidade da água de chuva. O uso típico dado à água de chuva na área semiárida brasileira requer o desvio do primeiro milímetro precipitado da linha de fluxo da cisterna, uma vez que a deposição seca já contribui com a contaminação desta, diminuindo a segurança sanitária da água usada para beber. O DesviUFPE mostra-se eficiente na retenção de poluentes sólidos e de organismos patogênicos em seu interior, sendo recomendado o seu uso também em função da facilidade de instalação e baixo custo.

Na primeira etapa deste trabalho pode-se concluir que a ocupação do solo interferiu na qualidade de água de chuva. Para a área rural foram detectadas maiores concentrações de turbidez, condutividade elétrica, STD e coliformes termotolerantes. Na área urbana e área industrial os metais alumínio e chumbo, foram os principais contaminantes, respectivamente. A presença de chumbo nas amostras se deu em função do arraste desse, e de material particulado, pela água de chuva, após contaminação por fábrica de baterias automotivas. Ademais, nas condições testadas, sugere-se que para a retenção do metal chumbo seja necessário desviar mais que 4 mm de água de chuva, para que a qualidade da água de chuva armazenada atenda aos padrões de potabilidade brasileiro e as diretrizes da OMS. Para as amostras da área rural, recomenda-se que 1 mm seja desviado para aproximar-se ao padrão brasileiro de potabilidade e da OMS. Em todos os casos de uso da água de chuva em fins potáveis, recomenda-se desinfecção para remoção de indicadores microbiológicos.

A segunda etapa da pesquisa, por meio de precipitação simulada e do DesviUFPE, mostra que um dia sem precipitação já é suficiente para requerer o uso do desvio num evento sequente. Essa etapa também evidenciou que, com o aumento dos dias sem precipitação, há também aumento na concentração de turbidez e cor real.

A terceira etapa da pesquisa reforça a necessidade de uso de dispositivo de desvio dos primeiros milímetros de água de chuva, para a proteção da qualidade da água direcionada a cisternas. Destaca-se que o experimento foi realizado em condição extrema de contaminação, em que o telhado foi contaminado com esgoto doméstico. O experimento mostrou que, para todos os parâmetros analisados, a concentração de poluentes foi maior na água que não foi previamente direcionada a nenhum sistema de desvio. Da comparação entre as três amostras de águas que foram encaminhadas às cisternas com desvios previamente instalados, dos dez parâmetros investigados, em quatro deles a água direcionada a cisterna conectada ao DesviUFPE e a água conduzida para a cisterna A2 (com dispositivo baseado no princípio dos vasos comunicantes) apresentaram as menores concentrações (CE, cor real e ST para a cisterna conectada ao UFPE e

alcalinidade total, cor aparente e DT para a cisterna A2). No caso da água direcionada à cisterna A1 (com dispositivo baseado no princípio do fecho hídrico) isto ocorreu para três parâmetros (turbidez, pH e oxigênio dissolvido). Com relação aos microrganismos patogênicos, observou-se que, o emprego de qualquer um dos três desvios pode reduzir esta contaminação em pelo menos 98,9% para *E. Coli* e 99% para coliformes totais.

REFERÊNCIAS

- Adham, A.; Wesseling, J. G.; Riksen, M.; Ouessar, M.; Ritsema, C. J. (2016) *A water harvesting model for optimizing rainwater harvesting in the wadi Oum Zessar watershed, Tunisia*. Agricultural Water Management, v. 176, p. 191–202.
- Al-Salaymeh, A.; Al-Khatib, I. A.; Arafat, H. A (2011) *Towards Sustainable Water Quality: Management of Rainwater Harvesting Cisterns in Southern Palestine*. Water Resource Management, v. 25, p. 1721-1736.
- Alves, F.; Kochling, T.; Luz, J.; Santos, S. M.; Gavazza, S. (2014) *Water quality and microbial diversity in cisterns from semiarid areas in Brazil*. Journal of Water and Health, v. 12, n. 3, p. 513-525.
- Alves, F.; Luz, J.; Figueiras, M. L.; Medeiros, L. L.; Santos, S. M.; Gavazza, S. (2012) *Qualidade de Água em Cisternas do Semiárido pernambucano*. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 8., 2012, Campina Grande. Anais...Campina Grande: EMPBRAPA.
- Andrade Neto, C. O. (2004) *Proteção sanitária das cisternas rurais*. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11., 2004, Natal. **Anais ...** Natal: ABES/APESB/APRH.
- Andrade Neto, C. O. (2013) *Aproveitamento Imediato da Água de Chuva*. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), v. 1, n.1, p. 73-86.
- Angrill, S.; Boix-Petit, A.; Pinzón, T. M.; Josa, A.; Rieradevall, J.; Gabarrell, X. (2017) *Urban rainwater runoff quantity and quality - A potential endogenous resource in cities?* Journal of Environmental Management, v.189, p. 165-182.
- Anneccchini, K.P.V. (2005) *Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)*. Dissertação, 150 p. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES.
- APHA - American Public Health Association (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22ed. Washington DC: Centennial Edition.
- ASA – Articulação com o Semiárido (2017) ASA. Programa 1 milhão de cisternas: Resultados. Disponível em <www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes>. Acessado em 06 de outubro de 2017.
- BRASIL (2011) 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*. Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acessado em 20 agosto de 2017.
- BRASIL (2017) Lei nº 13501, de 30 de outubro de 2017. *Altera o art. 2º da Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos*. Disponível

em<http://www.bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acessado em 01 de novembro de 2017.

Chakraborty, A.; Gupta, T.; Tripathi, S. N. (2016) Chemical composition and characteristics of ambient aerosols and rainwater residues during Indian summer monsoon: Insight from aerosol mass spectrometry. *Atmospheric Environment*, v. 136, p. 144-155.

Chiang, A. C.; Moore, M. R.; Johnson, J. X.; Keoleian, G. A. (2016) *Emissions reduction benefits of siting an offshore wind farm: A temporal and spatial analysis of Lake Michigan*. *Ecological Economics*, v. 193, p. 263-276.

Cohim, E. H. B. S.; Orrico, S. R. M. (2015) *A confiabilidade do volume das cisternas da zona rural para reservar água de chuva*. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, v.3, p. 91-99. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta>>. Acessado em 01 de novembro de 2017.

CURITIBA (2003) Lei nº 10.785, de 18 de setembro de 2003. *Cria no município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE*. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/agua/lei-Ctba.htm>>. Acessado em 10 de junho de 2014.

Egodawatta, P.; Thomas, E.; Goonetilleke, A. (2009) *Understanding the physical processes of pollutant build-up and wash-off on roof surfaces*. *Science of The Total Environment*, v. 407, p.1834–1841.

Evans, C. A.; Coombes, P. J.; Dunstan, R. H. (2006) *Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater*. *Water Research*, v. 40, p. 37-44.

Ghisi, E. (2010) *Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks for Use in Houses*. *Water Resource Management*, v. 24, p. 2381-2403.

Gikas, G. D.; Tsihrintzis, V. A. (2012) *Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater*. *Journal of Hydrology*, v. 466, p. 115-126.

Gikas, G. D.; Tsihrintziz, V. A. (2017) *Effect of first-flush device, roofing material, and antecedent dry days on water quality of harvested rainwater*. *Environmental Science Pollutants*, v. 24, p. 21997-22006.

Gomes, U. A. F.; Heller, L.; Pena, J. L. (2012) *A National Program for Large Scale Rainwater Harvesting: An Individual or Public Responsibility?* *Water Resource Management*, v. 26, p. 2703–2714.

Gwenzi, W.; Dunjana, N.; Pisa, C.; Tauro, T.; Nyamadzawo, G. (2015). *Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: Review and perspectives*. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, v. 6, p.107-118.

Helmreich, B.; Horn, H. (2009) *Oportunities in rainwater harvesting*. Desalination. v. 248, p. 118–124.

Huang, L.; McDonald-Buller, E. C.; McGaughey, G.; Kimura, Y.; Allen, D. T. (2016) *The impact of drought on ozone dry deposition over eastern Texas*. Atmospheric Environment, v. 127, p. 176-186.

Huston, R.; Chan, Y. C.; Chapman, H.; Gardner, T.; Shaw, G. (2012) *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.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil) (2012) Ministério das Cidades. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 08 de junho 2017.

Islam, M. M.; Chou, F. N. F.; Kabir, M. R.; Liaw, C. H. (2010) *Rainwater: A Potential Alternative Source for Scarce Safe Drinking and Arsenic Contaminated Water in Bangladesh*. Water Resource Management, v. 24, p. 3987–4008.

Kwaadsteniet, M.; Dobrowsky, P. H.; Deventer, A. V.; Khan, W.; Cloete, T. E. (2013) *Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems*. Water Air Soil Pollution, v. 224, p. 1629-1648.

Lee, J. Y.; Bak, G.; Han, M. (2012) *Quality of roof-harvested rainwater and comparison of different roofing materials*. Environmental Pollution, v. 162, p. 422-429.

Lee, M.; Kim, M.; Kim, Y.; Han, M. (2017) *Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam*. Journal of Environmental Management, v. 200, p. 400-406.

Levy, K.; Anderson, L.; Robb, K. A.; Cevallos, W.; Trueba, G.; Eisenberg, J. N.S. (2014) *Household effectiveness vs. laboratory efficacy of point-of-use chlorination*. Water Resourch, v. 54, p. 69-77.

Lima, J. C. A. L. (2012) *Avaliação do desempenho de dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva utilizado em cisternas no semiárido pernambucano*. Dissertação, 101 p. Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE.

Melo, L. R. C.; Andrade Neto, C. O. (2007) *Variação da qualidade da água de chuva em três pontos distintos da cidade de Natal-RN*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2007. CD-ROM

Mendez, C. B.; Klenzendorf, J. B.; Afshar, B. R.; Simmons, M. T.; Berrett, M. E.; Kinney, K. A.; Kirisits, M. J. (2011) *The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater*. Water Research, v. 45, p. 2049-2059.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (2005) *Nova Delimitação do semiárido brasileiro*. Brasília, Brasil. Disponível em <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915>. Acessado em 21 de agosto de 2017.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (2011) *Água para todos*. Brasília, Brasil. Disponível em <<http://www.integracao.gov.br/web/guest/agua-para-todos>>. Acessado em 21 de agosto de 2017.

Mohamed, H.; Gad, A. A. M. (2011) *Effect of Cold-Water Storage Cisterns on Drinking-Water Quality*. Water Resource Planning Management, v. 137, p. 448-455.

Morillas, H.; Marcaida, I.; Maguregui, M.; Carreroa, J. A.; Madariaga, J. M. (2016) *The influence of rainwater composition on the conservation state of cementitious building materials*. Science of the Total Environment, v. 542, p. 716-727.

Ouyang, W.; Guoa, B.; Caia, G.; Lib, Q.; Hana, S.; Liu, B.; Liu, X. (2015) *The washing effect of precipitation on particulate matter and the pollution dynamics of rainwater in downtown Beijing*. Science of the Total Environment, v. 505, p. 306–314.

Pádua, V. L.; Palmier, L. R.; Silva, C. V.; Borba, G. L. A.; Paula, G. M.; Barcelos, H. P.; Rodrigues, H. K.; Santos, L. A.; Cardoso, M. P. (2013) *Proteção Sanitária das Cisternas Utilizadas na Reservação de Águas Pluviais para Uso Domiciliar: Aspectos Técnicos e educacionais*. In: Brasil. Fundação Nacional de Saúde. 5º Caderno de Pesquisa de Engenharia de Saúde Pública / Fundação Nacional de Saúde. Brasília: Funasa.

PERNAMBUCO (2011) Lei nº 14.572, de 27 de dezembro de 2011. *Estabelece normas para o uso racional e reaproveitamento das águas nas edificações do Estado de Pernambuco e dá outras providências*. Disponível em: <<http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&numero=14572&complemento=0&ano=2011&tipo=>>>. Acessado em 20 de junho de 2014.

Rao, P. S. P.; Tiwari, S.; Matwale, J. L.; Pervez, S.; Tunved, P.; Safai, P. D.; Srivastava, A. K.; Bisht, D. S.; Singh, S.; Hopke, P. K. (2016) *Sources of chemical species in rainwater during monsoon and nonmonsoonal periods over two mega cities in India and dominant source region of secondary aerosol*. Atmospheric Environment, v. 146, p. 90-99.

RIO DE JANEIRO (2004) Decreto Municipal nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004. *Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem*. Disponível em <http://200.141.78.79/dlstatic/10112/148105/DLFE-4114.pdf/23_DEC2394004aguaspluv.pdf>. Acessado em 17 de junho de 2014.

Sánchez, A. S.; Cohim, E.; Kalid, R. A. (2015) *A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas*. Sustainability of Water Quality and Ecology, v. 6, p. 119-137.

SÃO PAULO (2002) Lei Nº 13.276, de 4 de janeiro de 2002. *Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m²*. Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/juridico/lei/lei13276_040102.pdf>. Acessado em 10 de junho de 2014.

Silva, C. V.; Pádua, V. L. (2007) *Qualidade microbiológica de água de chuva armazenada em cisternas de placas, construídas em comunidades rurais do município de Araçuaí-MG*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABCMAC, 2007. CD-ROM.

Silva, F. A. S. E.; Rao, T. V. R. (2002) *Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, p. 440-446.

Soares, D. B.; Nóbrega, R. S. (2010) *Análise espacial e climatológica da ocorrência de veranicos no sertão de Pernambuco*. Revista de Geografia, Recife, v. 27, p. 101-106.

Souza, S. H. B.; Montenegro, S. M. G. L.; Santos, S. M.; Pessoa, S. G. S. (2011) *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.

Sugumaran, N.; Everill, P.; Swogger, S.; Dubey, D. P. (2015) *Lead acid battery performance and cycle life increased through addition of discrete carbon nanotubes to both electrodes*. Journal of Power Sources, v. 279, p. 281-293.

Thomas, R. B.; Kirisits, M. J.; Lye, D. J.; Kinney, K. A. (2014) *Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices*. Journal of Cleaner Production, v. 75, p. 166-173.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2012). *Guidelines for water reuse*, Washington DC: USEPA. Disponível em <<http://www.archive.epa.gov>>. Acessado em 08 de outubro de 2017.

Vialle, C.; Sablayrolles, C.; Lovera, M.; Jacob, S.; Huau, M-C.; Montrejaud-Vignoles, M. (2011) *Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis*. Water Research, v. 45, p. 3765-3775.

Vieira-Filho, M.; Lehmann, C.; Fornaro, A. (2015) *Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil*. Atmospheric Environment, v. 101, p. 200-208.

Zhang, Q.; Wang, X.; Hou, P.; Wan, W.; Li, R.; Ren, Y. I.; Ouyang, Z. (2014) *Quality and seasonal variation of rainwater harvested from concrete, asphalt, ceramic tile and green roofs in Chongqing, China*. Journal of Environmental Management, v. 132, p. 178-187.

OMS – Organização Mundial de Saúde (2011). *Diretrizes para a qualidade de água potável*, 4ed. Geneva: OMS. Disponível em <http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf>. Acessado em 08 de outubro de 2017.

Wilbers, G.; Sebesvari, Z.; Recenburg, A.; Renaud, G. (2013) *Effects of local and spatial conditions on the quality of harvested rainwater in the Mekong Delta, Vietnam*. Environmental Pollution, v. 182, p. 225-232.