



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ ROBERTO SANTO DE CARVALHO

Trabalho de Conclusão de Curso:

**AVALIAÇÃO DO DESVIUFPE COMO BARREIRA
PARA PROTEÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE
CHUVA ARMAZENADA EM CISTERNAS**

Caruaru
2014

JOSÉ ROBERTO SANTO DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESVIUFPE COMO BARREIRA PARA PROTEÇÃO
DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA ARMazenada EM
CISTERNAS**

Proposta de trabalho a ser apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia
Civil/Saneamento Ambiental
Orientador(a): Prof(a) Dr(a). Sália Gavazza
dos Santos Pessoa.

**Caruaru
2014**

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Simone Xavier CRB4 - 1242

C331a Carvalho, José Roberto Santo de.
 Avaliação do DESVIUFPE como barreira para proteção da qualidade da água de
 chuva armazenada em cisternas. / José Roberto Santo de Carvalho. - Caruaru: O Autor,
 2014.
 47f.; il. ; 30 cm.

 Orientadora: Sávia Gavazza dos Santos Pessoa.
 Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de
 Pernambuco, CAA, Engenharia civil, 2014.
 Inclui referências bibliográficas

 1. Águas pluviais - Captação. 2. Cisternas. 3. Água - Qualidade. I. Pessoa, Sávia
 Gavazza dos Santos. (Orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2014-044)

JOSÉ ROBERTO SANTO DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESVIUPE COMO BARREIRA PARA PROTEÇÃO
DA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA EM
CISTERNAS**

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

Área de concentração: Engenharia Civil/Saneamento
Ambiental.

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato ALUNO
APROVADO COM NOTA_____.

Caruaru, 24 de Julho de 2014.

Banca examinadora:

Profa. Sylvana Melo dos Santos

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador 1 - Coordenadora da disciplina)

Profa. Kênia Kelly Barros da Silva

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador 2)

Dra. Luiza Feitosa Cordeiro de Souza

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador 3)

Profa. Sália Gavazza dos Santos Pessôa

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

*Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais
José Roberto e Luciene Maria, a minha irmã
Laura e ao meu amor Sandrelle.*

AGRADECIMENTOS

Sem dúvidas, o primeiro agradecimento vai para quem esteve comigo em todos os momentos de dificuldades e alegrias enfrentados, quem sempre me deu força e animo para nunca desistir de meus sonhos, DEUS o orientador da minha vida.

Agradeço aos meus pais Roberto Carvalho e Luciene Santo por terem me educado da melhor maneira que poderiam, fazendo o possível e o impossível, para que eu alcançasse meus objetivos.

A minha linda noiva Sandrelle que sempre foi sábia em me instruir com palavras de conforto quando minha paciência já se havia perdido, e por todo carinho e incentivo. Sem dúvidas é a melhor pessoa do mundo, te amo!

A Professora D. Sc. Sália Gavazza por me ensinar grande parcela do que sei como profissional, por abrir inúmeras portas na minha vida e proporcionar grande amadurecimento ao longo desses anos. Sou bastante grato, obrigado! And the work continues... Let's go!

As professoras Sylvana Melo dos Santos, Kenia Barros e Simone Machado pelos valiosos conselhos e ensinamentos durante minha jornada na graduação e nas pesquisas. Obrigado pela disposição de vocês, que sempre me atenderam quando precisei.

Ao técnico do LEA Luiz Lucena, grande parceiro de trabalho e amigo que sempre me instruiu nas minhas análises e práticas laboratoriais. Quantas tretas já passamos ein? Hahaha!

Aos amigos e companheiros de projeto Fellipe Alves, Manuela Figueiras, Ramona Azevedo, Everton Santos e Bruna Gomes, por todos os momentos que passamos, tanto os bons quanto os difíceis.

Agradeço aos meus grandes amigos de longas datas Jadson (Maguinho) e Anão (Everton Santos), somos irmãos nessa longa caminhada da vida. Contem sempre comigo!

Por fim, agradeço a todos do LEA que estiveram sempre envolvidos nas minhas atividades e colaboraram sempre para que tivéssemos um ambiente de trabalho agradável e produtivo.

*“Mas aqueles que esperam no Senhor renovam
as suas forças. Voam bem alto como águias;
correm e não ficam exaustos, andam e não se
cansam.”*

Isaías 40:31

RESUMO

A escassez de água é um problema que já afeta cerca de 1,2 bilhão de pessoas em todos os continentes e mais 500 milhões estão se aproximando dessa situação. A situação no semiárido brasileiro não é muito diferente. No semiárido, a maior parcela da precipitação anual se concentra em apenas cinco meses (de março à julho), enquanto no restante do ano são detectados volumes insuficientes para o abastecimento da população. Diante da irregular distribuição de chuvas, milhares de pessoas precisam se adequar a falta de água nos períodos de estiagem. Para solução deste problema, a alternativa proposta foi a construção de cisternas capazes de aproveitar o potencial hídrico da região do semiárido brasileiro, armazenando a água dos períodos chuvosos para uso também nos períodos de estiagem. Embora o sistema de captação e armazenamento de águas de chuva se mostre uma solução interessante e eficiente, é fundamental que o mesmo garanta também a qualidade da água que será consumida pelos usuários. Neste trabalho foram monitoradas dez cisternas na região de Lajedo do Cedro (Caruaru –PE), aptas a armazenar a água de chuva coletada pelo telhado das respectivas residências. Foram coletadas amostras mensais de cada cisterna para análises laboratoriais, referentes aos parâmetros físico químicos e microbiológicos. Através de comparações estatísticas dos dados obtidos no monitoramento das cisternas, o desempenho do dispositivo de descarte DESVIUFPE foi avaliado, como também a influência na qualidade da água armazenada pelo uso de bomba manual para retirar água das cisternas. Diante dos resultados pode-se concluir que as cisternas dotadas desse dispositivo apresentaram baixas concentrações de cor aparente, turbidez, SDT, coliformes totais e *E.Coli*, chegando, respectivamente, a níveis de 42,42%, 71,34%, 48,43%, 84,5% e 72.4%, inferiores aos teores detectados em cisternas sem nenhuma proteção sanitária.

Palavras-chave: captação da água de chuva, dispositivos de proteção, cisternas, qualidade da água.

ABSTRACT

Water scarcity is already a problem that affects about 1.2 billion people on all continents and over 500 million are approaching this situation. The situation in the Brazilian semiarid region is not very different. In semiarid, the largest portion of annual rainfall is concentrated in just five months (March to July), while the rest of the year, insufficient volumes are detected to supply the population. Given the uneven distribution of rainfall, thousands of people need to adapt to water shortages during the dry season. To solve this problem, the proposed alternative was building tanks capable of harnessing the hydro potential of the Brazilian semiarid region by storing water in wet periods for use during the dry season also. Although the system of capture and storage of rainwater proves an interesting and efficient solution, it is essential that they also guarantee the quality of water that will be consumed by users. In this work were monitored ten tanks in the region of Lajedo do Cedro (Caruaru-PE), able to store rainwater collected from the roof of their homes. Monthly samples from each tank were collected and taken to the laboratory, for the analysis of physicochemical and microbiological parameters. Through statistical comparisons of data obtained in the monitoring of tanks, the performance of the first flush device, named DESVIUFPE, was evaluated, but also the influence on the quality of the stored water by using a manual pump to draw water from the tanks. Given the results we can conclude that the cisterns fitted this device, showed low concentrations of apparent color, turbidity, TDS, total coliforms and E. coli, reaching, respectively, the levels of 42.42%, 71.34%, 48, 43%, 84.5% and 72.4%, lower than the levels found in tanks with no sanitary protection.

Keywords: Rainwater catchment, protection devices, cisterns, water quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Resultados encontrados por Lee et al. (2011) para diversos materiais de cobertura de telhados.	21
Figura 2.Dispositivos para desvio automático das primeiras águas.	23
Figura 3.Ilustração da instalação de dispositivo de desvio das primeiras águas desenvolvido pelos pesquisadores da UFPE: A - telhado; B – dispositivo de desvio; C- cisterna.	24
Figura 4.Localização do Estado de Pernambuco, com destaque para a região do Agreste e para o município de Caruaru.	28
Figura 5. Fotografias da montagem de bomba manual.	31
Figura 6. Ilustração dos componentes do DESVIUFPE.	25
Figura 7. Fotografias ilustrativas da montagem do DESVIUFPE.	32
Figura 8. Etapas do planejamento experimental.	35
Figura 9. Concentração de cloretos nos períodos de chuva e estiagem na cisterna LC1.	36
Figura 10. Precipitação (mm) ocorrida durante o período de monitoramento.	37
Figura 11. Concentração de coliformes totais nas cisternas LC4 e LC5.	38
Figura 12. Log10 da concentração de E. Coli com intervalo de confiança.	39
Figura 13. Concentração de coliformes totais na cisterna LC6, nos períodos P1 (sem desvio) e P2 (Com desvio).	40

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1.Distribuição da água em reservatórios naturais.	17
Tabela 2.Variáveis das cisternas monitoradas.	29
Tabela 3.Informações levantadas sobre os sistemas de captação e armazenamento de água.....	35
Tabela 4. Parâmetros e métodos que foram utilizados no monitoramento da qualidade da água.	33
Tabela 5. Valor médio máximos e mínimos da concentração de turbidez nas cisternas e suas comparações.....	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

°C	Grau Celsius
%	Percentual
μS dS	Microsiemens Decisiemens
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
CAA	Centro Acadêmico do Agreste
CE	Condutividade elétrica
DESVIUFPE	Dispositivo de descarte desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco
D.M.S	Diferença mínima significativa
FAO	<i>Food and Alimentation Organization</i>
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
L	Litro, dimensão
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
m	Metros
mg	Miligramas
mg/L	Miligramas por Litro
mm	Milímetros
MS	Ministério da Saúde
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Units</i>
OD	Oxigênio Dissolvido
O ₂	Oxigênio
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PE	Pernambuco
Pt/Co	Platina/Cobalto
S	Armazenamento
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SST	Sólidos suspensos totais
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

uH	Unidade de Hazen
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
uT	Unidade de Turbidez

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Relevância do tema	14
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivos Gerais	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Ciclo Hidrológico.....	16
2.1.1 Precipitação	18
2.1.2 Chuvas.....	18
2.2 Armazenamento e utilização de água pluvial	18
2.3 Variáveis do sistema de captação que interferem na qualidade da água de chuva	20
2.3.1 Materiais constituintes das superfícies de captação.....	20
2.3.2 Barreiras sanitárias.....	22
2.4 Dispositivos de descarte como instrumento de proteção sanitária.....	23
2.5 Legislação relacionada à qualidade da água	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Informações gerais	28
3.1.1 Localização e área de abrangência	28
3.1.2 Período do monitoramento	29
3.4 Implantação da tecnologia social no local da pesquisa	29
3.4.1 Identificação das famílias envolvidas no projeto	30
3.4.2 Identificação dos locais e as cisternas onde foram instalados os dispositivos	30
3.4.3 Levantamento do estado dos sistemas de captação e armazenamento de água e realização de reparos e/ou adequações	31
3.4.4 Confeção e instalação das bombas manuais	31
3.4.5 Confeção e instalação de novos dispositivos DESVIUFPE	32
3.5 Monitoramento da qualidade da água	33
3.6 Atividade de educação ambiental	34
3.7 Planejamento experimental.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

1.1 Relevância do tema

É bem conhecido o fato de que em poucos anos a população mundial deverá mudar seus hábitos para adaptar-se às dificuldades decorrentes da falta de água potável. Segundo a Organização das Nações Unidas (FAO, 2007), a escassez de água é um problema que já afeta cerca de 1,2 bilhão de pessoas em todos os continentes e mais 500 milhões estão se aproximando dessa situação. Estima-se também que mais 1,6 bilhão de pessoas, quase um quarto da população mundial, sofra de escassez econômica onde os países não têm infraestrutura para disponibilizar à população as águas de seus mananciais superficiais ou subterrâneos, sendo que as previsões para os próximos anos são ainda mais preocupantes.

O Ministério da Integração Nacional redefiniu a delimitação do semiárido brasileiro utilizando três critérios que incluem as regiões que possuem precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, índice de aridez de até 0,5, considerando o período entre 1961 e 1990, e risco de seca maior que 60%, tendo como base o período entre 1970 e 1990 (SDR/MI, 2005). Dessa forma, o semiárido brasileiro possui regiões com até 800 mm de precipitações médias anuais, o que vem a ser um dos mais chuvosos do mundo. No entanto, as chuvas são muito irregulares e ao considerar um período de 120 dias após o término das chuvas, pode-se projetar que mais de um milhão de residências ficarão sem qualquer fonte de água no período de seca (SDR/MI, 2005).

A criação de uma alternativa para solucionar este problema foi a proposta da construção de cisternas capazes de aproveitar o potencial hídrico da região, armazenando a água dos períodos chuvosos para uso também nos períodos de estiagem. Cisternas são tanques construídos para armazenar imediatamente as águas de chuva captadas em uma superfície próxima, como telhados (HELMREICH & HORN, 2009). Nas propriedades rurais e em regiões de baixa pluviosidade a utilização de cisternas é uma das formas mais comuns para o acúmulo da água de uso doméstico (STURM et al., 2009; LIMA et al., 2011; SOUZA et al., 2011), além de ser também aplicável em áreas urbanas (MAY & PRADO, 2006; NOLDE, 2007). Por se tratar de uma tecnologia simples e relativamente barata, a construção de cisternas tem sido para muitas famílias a solução imediata encontrada para enfrentar a falta de água para o consumo humano durante os períodos de estiagem (DILLAHA & ZOLAN, 1985; CRABTREE et al., 1996; PALLA et al., 2012).

Embora o sistema de captação e armazenamento de águas de chuva se mostre uma solução interessante e eficiente, é fundamental que o mesmo garanta também a qualidade da água que será consumida pelos usuários (SOUZA et al., 2011; LEE, BAK & HAM, 2012). Ainda que em algumas situações a quantidade de água armazenada pelas cisternas seja suficiente para suprir as necessidades básicas da comunidade na época da estiagem, essa água normalmente está fora dos padrões de potabilidade (SIMMONS et al., 2001; AL-SALAYMEH, AL-KHATIB & ARAFAT, 2011).

Diversos fatores exercem influência nos níveis de qualidade da água, tais como tipo de reservatório e os materiais usados na sua construção (YAZIZ et al., 1989; MENDEZ et al., 2011), época do ano (HOQUE et al., 2006), direção dos ventos (EVANS, COOMBES & DUNSTAN, 2006), inclinação do telhado (FARRENY, 2011), recepção ou não das primeiras águas de chuva (LEE, BAK & HAM, 2012), permanência de volumes de água entre as estiagens (DILLAHA & ZOLAN, 1985) e/ou o estado de conservação dos tetos e dos dutos que transportam a água (ANDRADE NETO, 2004). A proteção sanitária de cisternas rurais para o abastecimento doméstico é relativamente simples, requerendo basicamente alguns cuidados, tais como: desvio das primeiras águas das chuvas e manejo adequado (HOQUE et al., 2006; SOUZA et al., 2011; LEE, BAK & HAM, 2012), sendo que este último depende muito do nível de informação que o usuário tem sobre o tema.

No início dos anos 90, um fórum de entidades da sociedade civil organizada, intitulado Articulação do Semiárido Brasileiro – ASA, formulou o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais – P1MC (CÁRITAS BRASILEIRA, 2001). Hoje, cerca de 350 mil cisternas foram implantadas e o governo federal expandiu o projeto para atingir o total de 1,5 milhão de cisternas no programa Água para Todos. As cisternas implantadas pelo governo federal, entretanto, não tiveram dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva incorporado à instalação.

Os dispositivos de desvio em geral são concebidos para armazenar o primeiro milímetro de precipitação, que contém partículas suspensas, provenientes da atmosfera, e impurezas incorporadas durante o percurso de captação (ANDRADE NETO, 2003).

O grupo de pesquisa que integra o Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA-UFPE) desenvolveu um dispositivo de proteção da qualidade sanitária da água de chuva armazenada em cisternas. Denominado DESVIUFPE, este dispositivo faz o desvio automático das primeiras águas de chuva, e permite que as impurezas introduzidas na água da chuva durante a lavagem da atmosfera e superfície de captação (telhado e calhas) sejam desviadas e não atinjam as cisternas. As primeiras pesquisas foram desenvolvidas no semiárido pernambucano, na zona rural das cidades de Caruaru - PE e Pesqueira – PE; e na instalação experimental de Cisternas da UFPE.

O dispositivo foi capaz de reduzir em 67%, 63%, 94% e 100%, respectivamente a cor, a turbidez, os coliformes termotolerantes e *Escherichia Coli*, que seriam encaminhados à cisterna (LIMA, 2013). Desta forma, o presente Trabalho direciona-se em consolidar o comportamento do dispositivo de desvio como tecnologia social aplicada à melhoria da qualidade da água de chuva, armazenada em cisternas e utilizada para consumo humano. Para isso, foram monitoradas um total de 10 famílias beneficiadas com a instalação do DESVIUFPE na zona rural do município de Caruaru-PE, bem como foi projetada uma nova instalação experimental de cisternas do campus de Caruaru da UFPE. Desta forma, o presente trabalho pretendeu confirmar os resultados previamente obtidos durante a avaliação do comportamento do DESVIUFPE e disponibilizar a tecnologia social para que seja aplicada aos fins para os quais foi desenvolvida.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Consolidar o comportamento do dispositivo de desvio, DESVIUFPE, como tecnologia social aplicada à melhoria da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas e utilizada para consumo humano.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar a influência do DESVIUFPE sobre a qualidade da água armazenada em cisternas no semiárido pernambucano;
- b) Avaliar a influência da precipitação natural, e da introdução de água de origem desconhecida nas cisternas, sobre a qualidade da água armazenada nas cisternas monitoradas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo Hidrológico

A quantidade total de água existente na Terra, nas suas três fases, sólida, líquida e gasosa, tem se mantido constante, desde o aparecimento do Homem. Distribuem-se por três reservatórios principais, os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação contínua - Ciclo Hidrológico (PINTO et. al., 1979; WARD & ROBINSON, 2000). Nas formas líquida e sólida a água cobre mais de 2/3 da superfície terrestre, e na forma gasosa é constituinte

variável da atmosfera (podendo ocupar até 4% de todo seu volume). O vapor de água se concentra em maior quantidade nas regiões tropicais e nas camadas mais baixas da atmosfera (CAMARGO, 2005).

A água é, portanto, constituída de moléculas que se atraem pela força de coesão. Essas moléculas no estado líquido estão em constante movimentação, movendo-se verticalmente no sentido da atmosfera terrestre e horizontalmente no sentido da superfície terrestre. Essa agitação molecular é proporcional à energia ou à temperatura da água. Se a temperatura aumentar, as moléculas mais agitadas da superfície tendem a escapar da massa líquida e ficar livres na atmosfera, em estado gasoso. Se a temperatura da água líquida diminuir, a movimentação das moléculas também diminui. Se chegar a zero grau centígrado, as moléculas serão fixadas e a água solidificará, formando o gelo. Essas etapas pelas quais a água passa definem alguns reservatórios naturais, onde cada um possui sua característica. Os principais estoques de água e os respectivos tempos de residência da água durante o ciclo hidrológico estão apresentados na Tabela 1, que foi adaptada

Tabela 1.Distribuição da água em reservatórios naturais.

Localização	Volume (km³ água)	Porcentagem em relação ao total	Tempo de residência médio estimado
Oceanos	1.230.000.000	97,2%	Milhares de anos
Geleiras e calotas polares	28.600.000	2,15%	Dezenas de milhares (anos)
Água subterrânea	4.000.000	0,31%	Centenas/milhares de anos
Lagos (água doce)	123.000	0,009%	Dezenas de anos
Atmosfera	12.700	0,001 %	9 dias
Rios e cursos	1.200	0,0001%	2 semanas

de Botkin & Keller (2005).

A atmosfera é o reservatório natural onde a precipitação é formada e possui o menor tempo de residência, evidenciando a dinâmica acelerada das chuvas. Essa rapidez de renovação exige mecanismos de captação que funcionem durante período integral para aproveitamento desse recurso.

O ciclo hidrológico se constitui de uma sucessão de vários processos na natureza pelos quais a água inicia o seu caminho indo de um estágio inicial até retornar a posição primitiva. Este fenômeno global de circulação fechada da água, entre a superfície terrestre e a atmosfera, é impulsionado fundamentalmente pela energia radiante e associado à gravidade e à rotação terrestre. Estima-se que cerca de 10% do total de vapor seja reciclado diariamente.

2.1.1 Precipitação

Na Terra a evapotranspiração representa a transferência da água da superfície continental e oceânica para atmosfera, ou seja, a passagem da água do estado líquido para o gasoso. Na atmosfera essa água se condensa, formando nuvens, que cuja água precipita na direção da superfície terrestre - formando um processo inverso à evapotranspiração. Ou seja, durante a precipitação há o retorno da água retida na atmosfera, através da chuva, neve ou granizo. Assim sendo a precipitação é definida em meteorologia como sendo toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre na forma de chuva, neve e granizo (CUSTÓDIO, E; LLAMAS, M., 1996).

2.1.2 Chuvas

Conjunto de águas originárias do vapor de água atmosférico que precipitam, em estado líquido, sobre a superfície terrestre em consequência da intensificação da evapotranspiração sobre superfícies quentes e úmidas. A formação das chuvas está associada à ascensão das massas de ar quente e úmidas e a formação de nuvens. Isto ocorre normalmente, quando massas de ar que estão com alta umidade relativa sofrem resfriamento. Na atmosfera, a ascensão do ar quente e úmido provoca um resfriamento desse que pode fazê-lo atingir o seu ponto de saturação, ou seja, sua capacidade de conter umidade. Ao atingir 100% da sua capacidade, se seguirá a condensação do vapor de água em forma de minúsculas gotas que são mantidas em suspensão, como nuvens ou nevoeiros (MIRANDA, R.A.C., 2006).

Por sua vez as chuvas são interceptadas por diversas superfícies com características distintas. Entre essas superfícies estão o telhado de edificações, que muitas vezes direciona a água para reservatórios através de sistemas de calhas e tubulações, formando um sistema de captação. Os sistemas de captação de água de chuva são os instrumentos utilizados nesta pesquisa.

2.2 Armazenamento e utilização de água pluvial

A água da chuva captada por telhados tem sido usada como fonte de água potável e não potável em muitos países (DESPINS et al, 2009; EVANS et al, 2006; UBA & AGHOGHO, 2000). Existem várias vantagens na utilização de água da chuva captada, onde as três principais são (i) fornecer uma alternativa de abastecimento de água em épocas de restrições de água, (ii) reduzir a demanda no sistema de abastecimento público, e (iii) reduzir o escoamento de águas pluviais que muitas vezes pode degradar o ambiente durante cheias. Apesar dessas vantagens, a água da chuva captada por telhados não tem sido amplamente utilizada para fins potáveis sem

aplicação de barreiras sanitárias, devido à falta de informação sobre o risco de exposição de bactérias patogênicas e protozoários. A presença de agentes patogênicos, tais como *Campylobacter* spp., *Salmonella* spp., *Giardia* spp., e *Cryptosporidium* spp. em amostras de água em tanques foi relatado (ALBRECHTSEN, 2002; CRABTREE et al, 1996; SAVILL et al, 2001; SIMMONS et al, 2001). A prática de coleta e armazenamento de água de chuva é conhecida de longas datas, como por exemplo no deserto de Negev, hoje território de Israel e da Jordânia, há 2.000 anos, existiu um sistema integrado de manejo de água de chuva que abastecia a população (GNADLINGER, 2000).

Segundo Weiner, 1987, *apud* Souza, 2009, o uso de sistemas de captação de águas de chuva para consumo humano foi inventado, independentemente, em várias partes do mundo e em diversos continentes há milhares de anos. Esses sistemas de captação eram usados principalmente em regiões semiáridas, onde havia chuvas apenas em poucos meses do ano. Em Jerusalém, por exemplo, cisternas eram muito comuns. A cidade era abastecida por grandes reservatórios de pedra construídos abaixo dela. A água que abastecia esses reservatórios provinha de telhados inclinados, ruas e pátios. Até os anos 50, modernos apartamentos eram construídos sobre estes tipos de cisternas onde se podia armazenar água para o caso de falha no sistema de abastecimento convencional, secas ou combate a incêndio.

A captação e o manejo da água de chuva pela sociedade perderam força devido à implantação de novas tecnologias de abastecimento, como a construção de grandes barragens, avanços no aproveitamento de águas subterrâneas, projetos de irrigação encanada e implantação de sistemas de tratamento e abastecimento integrados que fornecem água diretamente para a população. No entanto, nos locais onde esses benefícios não estão disponíveis a alternativa, na maioria das vezes, é a captação de água de chuva.

Entretanto, atualmente a utilização da água da chuva voltou a ser realidade, fazendo parte da gestão moderna de grandes cidades também em países desenvolvidos. E, buscando atenuar o problema ambiental de escassez de água, vários países europeus e asiáticos estão utilizando amplamente a água da chuva em residências, indústrias e atividades agrícolas; até mesmo os Estados Unidos e alguns países da África e da Índia estão seriamente empenhados e comprometidos com o aproveitamento da água da chuva e com o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que facilitem e garantam o uso seguro desta fonte alternativa de água (ANNECCHINI, 2005).

A Austrália, que pertence ao chamado grupo dos países desenvolvidos, cujo clima é predominantemente semiárido, desde o século XIX, quando era uma ilha para os prisioneiros do Reino Unido, tem usado a água de chuva sem preconceitos. Hoje, cerca de 20% da população

(4,0 milhões de habitantes) utilizam a água de cisternas para beber. Na área rural as residências possuem cisternas de todos os tipos e tamanhos as quais já fazem parte da paisagem.

Na Califórnia (EUA), na Alemanha e no Japão são oferecidos financiamentos para a construção de estruturas para captação de água da chuva. Em Hamburgo, na Alemanha, é concedido cerca de US\$ 1.500,00 a US\$ 2.000,00 a quem aproveitar a água da chuva, uma vez que também servirá para conter picos de enchentes. Na Alemanha, o aproveitamento da água da chuva é destinado à irrigação de jardins, descarga de bacias sanitárias, lavagem de roupas e outros usos comercial e industrial. Isso vem sendo feito desde 1980 (ROGGIA, 2007 apud TOMAZ, 2003).

No Brasil, existem alguns Programas de Formação e Mobilização Social para a Convivência no Semiárido como os projetos Um Milhão de Cisternas Rurais – P1MC e o Programa Água para Todos, cujo objetivo é fornecer cisternas para armazenamento de água da chuva em áreas rurais do semiárido brasileiro, juntamente com a mobilização social e educação ambiental da população. Esse incentivo do governo brasileiro tem facilitado o acesso a água para as regiões que sofrem com escassez hídrica, entretanto, essa água que chega ao público como alvo dos programas governamentais, nem sempre possui qualidade aceitável, pois não são oferecidas medidas de proteção dessa água.

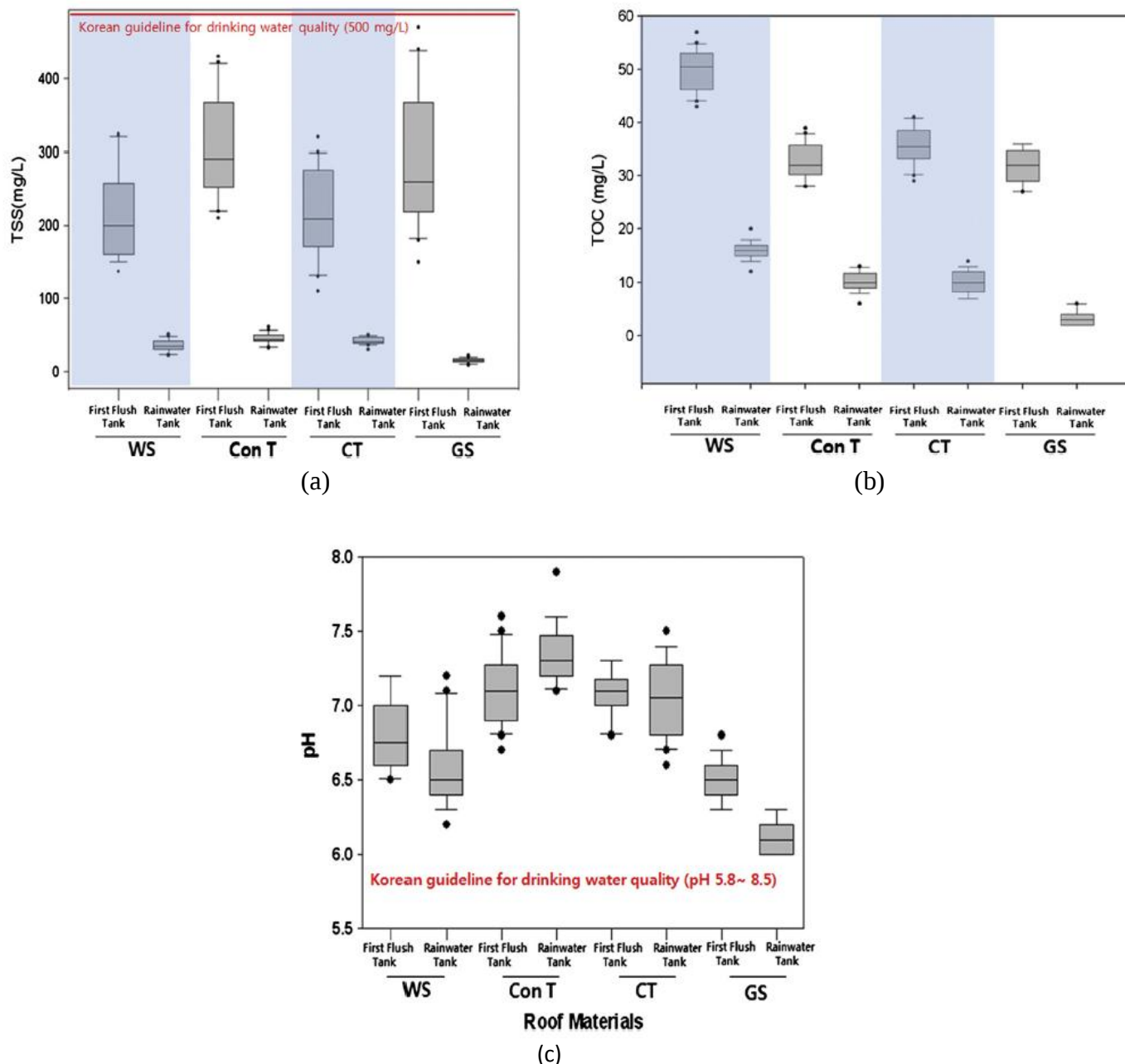
2.3 Variáveis do sistema de captação que interferem na qualidade da água de chuva

2.3.1 Materiais constituintes das superfícies de captação

Através de estudos realizados por diversos pesquisadores, em locais onde a captação de água de chuva tem sido uma alternativa eficaz para abastecimento da população, se observou a interferência de uma série de fatores no sistema de captação.

Lee et al. (2011) utilizaram diferentes tipos de materiais de revestimento no telhado para avaliar os efeitos sobre os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água captada. O estudo proposto pelos autores é apresentado na Figura 1 e fornece diretrizes para a seleção de materiais de cobertura que auxiliam na coleta de água da chuva com menor interferência do material da superfície de captação.

Figura 1. Resultados encontrados por Lee et al. (2011) para diversos materiais de cobertura de telhados, para os parâmetros (a) sólidos suspensos totais; (b) carbono orgânico total; (c) pH.



Fonte: Lee et al. (2011)

Legenda: WS = Telhas de madeira; Con T = Telhas de concreto; CT = Telhas cerâmicas; GS = Aço galvanizado.

Em resumo, os referidos autores observaram que o aço galvanizado foi mais adequado para aplicações de coleta de água após a primeira descarga, tendo apresentado resultados de qualidade da água que respeitaram as diretrizes da Coreia e da OMS para potabilidade (por exemplo, pH entre 5.8 e 8.5, SST < 500 mg/L, NO_3^- < 10 mg/L, SO_4^{2-} < 200 mg/L, Al < 0.2 mg/L, Cu < 1 mg/L, Fe < 0.3 mg/L, Pb < 0.05 mg/L, Zn < 1 mg/L, e *E. Coli* não detectada).

No que diz respeito aos parâmetros físicos e químicos, os resultados do estudo (LEE et al., 2011) mostram que o tipo de material de cobertura utilizado tem influência sobre a qualidade da água da chuva colhida. Os sólidos suspensos totais e as concentrações de metais nas amostras do aço galvanizado estavam em níveis mais elevados. Os três outros materiais de cobertura têm relativamente porosidade superior à do aço galvanizado, que serve para abrigar poluentes. Musgos e líquens eram frequentemente encontrados na telha de madeira, telha de concreto e telha de cerâmica, sendo as telhas de madeira as que ostentam o maior grau de colonização.

2.3.2 Barreiras sanitárias.

Segundo a FUNASA (2010), barreira de proteção sanitária é toda medida adotada com a finalidade de preservar ou melhorar a qualidade da água armazenada nas cisternas, incluindo medidas como desvio das primeiras águas de chuva, limpeza das cisternas, cuidados na retirada da água, filtração e adoção de algum método de desinfecção. Xavier *et al.* (2009) destacam ainda a necessidade de se realizar a limpeza do telhado e dos dutos, bem como a proteção das entradas e saídas da água na cisterna, citando como exemplo desta última ação o uso de bomba para retirada da água.

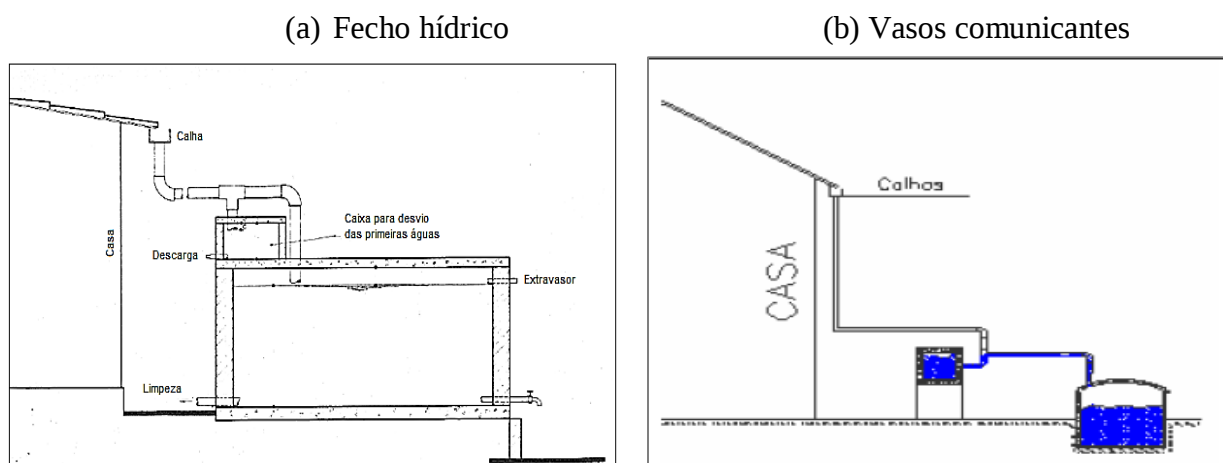
As primeiras chuvas carregam a maior parte das impurezas que estão depositadas no telhado, lavando-o. Essas impurezas são "arrastadas" juntamente com as primeiras águas para as tubulações de condução; assim, para evitar que alcancem o reservatório, devem ser separadas e posteriormente descartadas. Com o propósito de evitar que a primeira parcela da chuva interfira na qualidade da água que será coletada, o dispositivo de descarte das primeiras águas de chuva desvia essas águas, armazenando-as temporariamente, seja num pequeno reservatório ou em tubos verticais de PVC. Esse processo de armazenamento se define pelo sistema utilizado. Os dispositivos de descarte armazenam um volume determinado de água, e quando cheios fazem com que a água passe para a cisterna e, assim, funcionam como barreiras sanitárias.

Existem dois princípios hidráulicos bem conhecidos na literatura (Fecho hídrico e vasos comunicantes), e são empregados na concepção de dispositivos de descarte dos primeiros milímetros de chuva. Contudo o sistema de desvio pode ser feito de forma manual, por meio da retirada da conexão do tubo da calha pelo proprietário do sistema de captação, ou automático, com a construção do aparato de desvio.

2.4 Dispositivos de descarte como instrumento de proteção sanitária

No que se refere aos desvios, a importância dos mesmos está no fato de que, no início da estação das chuvas, quando há muitos poluentes acumulados na superfície de captação, os primeiros milímetros de água da chuva incorporam a sujeira da superfície de captação e partículas que estão em suspensão na atmosfera, e, por isso, nessas condições, não devem ser armazenadas na cisterna. De acordo com Andrade Neto (2004), um dispositivo automático para desvio do primeiro milímetro de cada evento de chuva é uma barreira física de proteção sanitária de cisternas de importância comparável à cobertura, tampa e tomada de água por tubulação. Tradicionalmente, o desvio é realizado de forma manual, desconectando os tubos que transportam a água até a cisterna, conectando-os novamente após o descarte da água por um certo período de tempo. Por outro lado, alguns estudos apontam a praticidade e segurança relacionados com o descarte automático, que é possível com a instalação de um dispositivo específico para este fim. Existem alguns tipos de dispositivos, automáticos ou não, para o desvio das primeiras águas dos telhados, que se diferem entre si pelo princípio físico de funcionamento, dentre eles se destacam: aqueles fundamentados no princípio do fecho hídrico (Figura 2a) e aqueles fundamentados no princípio dos vasos comunicantes (Figura 2b). Segundo Souza (2009), em ambos os tipos de desvios, à medida que o telhado é lavado, processa-se o acúmulo de água no tanque do desvio, e só após este estar completamente cheio, é que a água vai para a cisterna. É fundamental que, depois de cada evento de chuvoso, o tanque de desvio seja esvaziado, através de uma tubulação de descarga, a qual deve ser novamente fechada permitindo o funcionamento adequado do dispositivo para o desvio automático das primeiras águas do próximo evento de chuva.

Figura 2. Dispositivos para desvio automático das primeiras águas.



Fonte: Andrade Neto (2004)

Lima (2012), pesquisador da UFPE desenvolveu um dispositivo de desvio automático de águas de chuva (DESVIUFPE), apresentando tecnologia simples, custo baixo e fácil instalação, cuja instalação é ilustrada na Figura 3. Tal dispositivo é constituído por tubos de PVC e trata-se de um sistema de armazenamento que precede a entrada da cisterna e para o qual são desviadas automaticamente as primeiras águas de cada chuva (o primeiro milímetro). Considera-se que, após o enchimento deste pré-tanque, a água “limpa” abastece a cisterna propriamente dita.

Figura 3. Ilustração da instalação de dispositivo de desvio das primeiras águas desenvolvido por Lima (2012): A - telhado; B – dispositivo de desvio; C- cisterna.



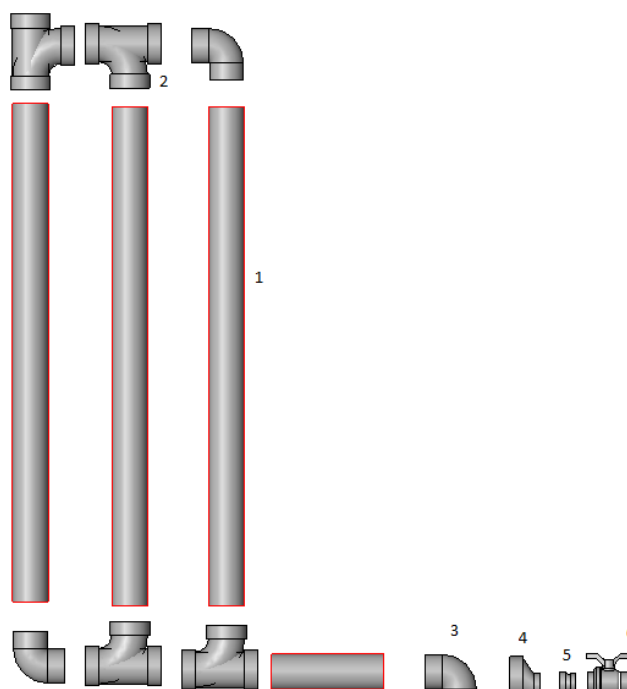
Fonte: Lima (2012)

O DESVIUFPE é utilizado para armazenamento e descarte do primeiro milímetro das primeiras águas de chuva, baseia-se nos princípios físicos dos vasos comunicantes e do fecho hídrico, em que à medida que o telhado é lavado, processa-se o acúmulo de água nos tubos verticais e só após estes estarem completamente cheios, é que a água escoar para a cisterna. É fundamental que depois de cada evento chuvoso, o dispositivo seja esvaziado, através do registro de esfera na saída inferior, o qual deve ser novamente fechado após esvaziamento, tornando-o apto a armazenar a água do próximo evento chuvoso.

A geometria do dispositivo possibilita seu completo esvaziamento e limpeza por descarga hidráulica. Os materiais constituintes completamente em PVC (figura 6) garantem estanqueidade, facilidade de montagem e desmontagem não necessitando de mão de obra especializada, ajustável a qualquer área de captação com possibilidade de ser desmontado, transportado e remontado.

A configuração do dispositivo pode variar conforme a área de captação utilizada. O DESVIUFPE não possui restrições com relação a quantidade de tubos verticais e o tamanho dos mesmos, sendo capaz de armazenar o primeiro milímetro da superfície conectada. Para o encaixe perfeito dos tubos e conexões, são utilizados anéis de vedação para tubos de PVC.

Figura 4. Ilustração dos componentes do DESVIUFPE.



Fonte: Autor

(1) - Tubo de PVC rígido de 100 mm; (2) - Tê normal de PVC rígido de 100 mm; (3) - Joelho de 90° de PVC rígido de 100 mm; (4) - Luva de redução de PVC rígido 100x50 mm; (5) - Luva de redução de PVC rígido 50x40 mm; (6) - Registro de esfera de PVC rígido de 40 mm.

No tocante ao tipo de desvio, Rodrigues *et al.* (2007) afirmam que a eficiência do desvio de forma manual pode ser contestada pela falta de controle da quantidade de água descartada na primeira chuva, de maneira que a superfície de captação pode não ficar satisfatoriamente limpa. Outro inconveniente relatado pelos autores é a eventual ausência dos moradores quando ocorre a primeira chuva ou estão impossibilitados de fazerem a remoção da calha, como em alguns casos de idosos e de crianças. De forma geral, o desvio automático das primeiras águas de chuva é constituído por um reservatório que retém as primeiras águas que escoam do telhado e após seu enchimento a água “limpa” segue pelos dutos para abastecer a cisterna.

Andrade Neto (2004) e Xavier *et al.* (2009) afirmam existir duas estratégias no tocante ao manejo: o desvio das primeiras chuvas e o desvio das primeiras águas de cada evento chuvoso. A primeira é a mais frequentemente usada em locais onde a poluição atmosférica é baixa e o período chuvoso é concentrado em determinada época do ano, a exemplo da zona rural do Semiárido Brasileiro. Desse modo, é realizado o descarte das chuvas apenas no início do período chuvoso, pois sua concentração temporal levanta a premissa que o telhado, após as chuvas iniciais, estará limpo, não sendo mais necessário realizar o desvio. A outra estratégia

refere-se ao desvio das primeiras águas de cada chuva, independente da sua distribuição temporal. Esse tipo de abordagem é mais utilizado em regiões onde a poluição atmosférica é maior, como centros urbanos, onde todos os eventos chuvosos têm elevado potencial de contaminar a água da cisterna. Porém, para evitar o carreamento de impurezas até as cisternas, é aconselhável seguir a segunda estratégia, mesmo se tratando do Semiárido Brasileiro.

Com relação à retirada da água da cisterna, tradicionalmente a mesma é realizada imergindo um balde no interior do reservatório e aí, recorrentemente, acontecem uma ou ambas, de duas formas de contaminação do balde: através de usuários com hábitos de higiene não adequados no momento do manuseio e através da exposição do balde próximo à criação de pequenos animais domésticos (galinhas, porcos, gatos, cachorros). Sendo assim, neste cenário, a bomba manual constitui também uma importante barreira sanitária, mas, por outro lado, seu uso enfrenta considerável resistência, pois, segundo pesquisadores da FUNASA (2010), a vazão da bomba é baixa, aumentando o tempo gasto na retirada da água e, por isso, os moradores preferem utilizar baldes ou outros vasilhames. Além disso, há o relato de que as bombas estragam com frequência.

2.5 Legislação relacionada à qualidade da água

Não existe no Brasil, no âmbito federal, uma legislação específica que trate da qualidade de água de chuva armazenada em cisternas para consumo humano. Por outro lado, além de legislações de âmbito estadual e municipal, existem instrumentos normativos que são bastante úteis no estabelecimento de requisitos para o aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis. Alguns exemplos de leis municipais e estaduais:

- Lei nº 13.276 de 2002 (SÃO PAULO, 2002) diz que nos lotes edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m² deverão ser executados reservatórios para acumulação das águas pluviais.
- Lei nº 10.785 de 2003 (CURITIBA, 2003) prevê captação, armazenamento e utilização de água proveniente da chuva. A mesma deve ser encaminhada a uma cisterna ou tanque, para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água tratada, proveniente da rede pública de abastecimento, tais como: rega de jardins e hortas, lavagem de roupa, veículos, vidros, calçadas e pisos.
- Lei nº 4.393 de 2004 (RIO DE JANEIRO, 2004) diz que:

[...] as empresas projetistas e de construção civil no Estado do Rio de Janeiro são obrigadas a prover coletores, caixa de armazenamento e distribuidores para água da chuva, nos projetos de empreendimentos

residenciais que abriguem mais de 50 (cinquenta) famílias ou nos de empreendimentos comerciais com mais que 50 m² de área construída, no Estado do Rio de Janeiro.

[...] as caixas coletoras de água da chuva serão separadas das caixas coletoras de água potável, a utilização da água da chuva será para usos secundários como lavagem de prédios, lavagem de autos, molhação de jardins, limpeza, banheiros, etc., não podendo ser utilizadas nas canalizações de água potável.

- Lei nº 14.572 de 2011 (PERNAMBUCO, 2011) dispõe na seção I, referente às águas provenientes da chuva:

[...] a água das chuvas será captada na cobertura das edificações e encaminhada a uma cisterna ou tanque para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água potável proveniente do Serviço de Abastecimento Público de Água, tais como: rega de vegetação, inclusive hortas; lavagem de roupa; lavagem de veículos; lavagem de vidros, calçadas e pisos; lavagem de garagens e pátios; descarga em vasos sanitários; e combate a incêndios.

No que se refere aos instrumentos normativos, destacam-se a Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011, e as normas da ABNT: NBR 15.527/2007, NBR 5.626/1998, NBR 12.214/1992. A Portaria do MS Nº 2914 (BRASIL, 2011) estabelece que “toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água”. Como as cisternas constituem um sistema individual de abastecimento de água e, em geral, não há monitoramento de sua qualidade como ocorre em fontes de abastecimento público, se torna difícil garantir a vigilância da qualidade da água das cisternas conforme os padrões estabelecidos na referida Portaria. Segundo a NBR 15.527 (ABNT, 2007), as águas de chuva captadas nas áreas urbanas devem ser utilizadas para fins não potáveis, como descarga em bacias sanitárias, irrigação de plantas, lavagem de veículos, calçadas e estabelecimentos, além da possibilidade de ser utilizadas por indústrias desde que previamente tratadas. No âmbito desta Norma, recomenda-se ainda o uso de telas, grades e dispositivos de desvio para remoção dos resíduos dispostos ao longo do sistema de captação. A NBR 5.626 (ABNT, 1998) dispõe sobre instalações prediais de água fria e prevê que o sol não deve ter acesso ao interior da cisterna e que o sistema deve ser independente do sistema de abastecimento de água potável. A NBR 12.214 (ABNT, 1992), sugere manutenção mensal de bombas e dispositivos de descarte e desinfecção, além de verificação de calhas e condutores duas vezes ao ano.

De acordo com Oliveira (2009), a grande dificuldade encontrada quando se aborda este tema está na área rural onde as águas de chuva armazenadas em cisternas são utilizadas para beber e cozinhar e não existe legislação específica que padronize a qualidade para esses usos. Andrade Neto (2004), entretanto, afirma que em regiões rurais, onde a água da chuva é utilizada para consumo, as medidas sanitárias de captação combinadas ao manejo adequado dos sistemas permitem preservar a água com melhor qualidade. Dentre essas medidas algumas são muito simples: limpeza dos tetos, calhas e dutos, proteção da entrada da água na cisterna, limpeza da cisterna, uso de baldes limpos ou bombas para a retirada da água e desinfecção.

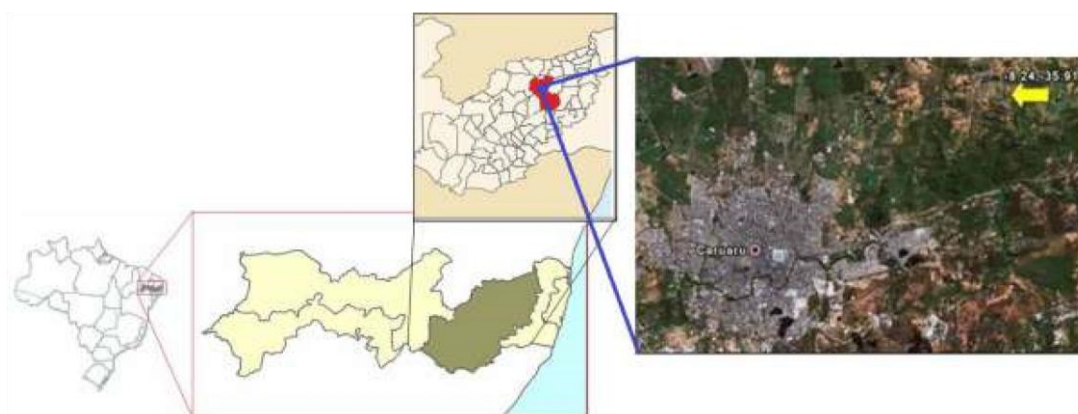
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Informações gerais

3.1.1 Localização e área de abrangência

A área de atuação deste projeto está localizada na região Agreste do estado de Pernambuco no Nordeste do Brasil e compreende o município de Caruaru (Figura 4). Para suporte dessa pesquisa o Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA), localizado no Campus Agreste da UFPE, foi utilizado para realização das análises laboratoriais. O campo de estudo desta pesquisa foi a comunidade de Lajedo do Cedro e alguns sítios vizinhos, localizados na zona rural do município de Caruaru, onde as ações propostas neste trabalho foram executadas.

Figura 5. Localização do Estado de Pernambuco, com destaque para a região do Agreste e para o município de Caruaru.



Fonte: Santos *et al.* (2011)

3.1.2 Período do monitoramento

O monitoramento foi realizado durante 12 meses (julho de 2013 a junho de 2014) com coletas mensais. Além desses 12 meses de monitoramento, um banco de dados obtido com monitoramentos anteriores de algumas das cisternas que fazem parte desse trabalho (LC1, LC3, LC4, LC5 e LC6), foi consultado para avaliar o desempenho das barreiras sanitárias.

3.4 Implantação da tecnologia social no local da pesquisa

Visando atender ao objetivo geral proposto no âmbito deste trabalho, que é consolidar o comportamento do DESVIUFPE como tecnologia social aplicada à melhoria da qualidade da água de chuva armazenada em cisternas e utilizada para consumo humano, foi proposto que, a partir de um grupo de cisternas selecionadas, seria investigada a influência de três variáveis na qualidade da água armazenada nas cisternas e utilizada pelas respectivas famílias. As variáveis de investigação foram: forma de desvio (manual ou com emprego do DESVIUFPE), manuseio da água (com bomba manual ou com balde) e educação ambiental (com e sem a realização dessas atividades). No âmbito da variável “educação ambiental” foram consideradas as ações de sensibilização/conscientização e de boas práticas de manuseio da água. O arranjo das variáveis citadas e as cisternas de análise estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Variáveis das cisternas monitoradas.

Variáveis	Cisternas									
	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6	LC7	LC8	LC9	LC10
Quantidade de Usuários	2	1	2	4	2	2	4	3	8	6
Tempo de construção	7 anos	6 anos	6 anos	5 anos	9 anos	6 anos	5 anos	8 anos	3 anos	5 anos
Forma de desvio	A	A	M+A*	A	M	M+A*	M	M	M	M
Manuseio da água	Bo	B	B	Bo	B	B+Bo**	Bo	Bo	B	B

Legenda: M = descarte manual das primeiras águas de chuva; A = descarte automático das primeiras águas de chuva, com o DESVIUFPE; B = retirada de água da cisterna com balde; Bo = retirada de água da cisterna com bomba manual.

Para atendimento aos objetivos propostos foram realizadas as seguintes atividades:

- Ampliar o número de dispositivos instalados;
- Levantar o estado dos sistemas de captação e armazenamento de água e realizar reparos e/ou adequações;
- Sensibilizar e capacitar público beneficiário e mão de obra;

- d) Monitorar a qualidade da água armazenada nas 10 cisternas selecionadas;

3.4.1 Identificação das famílias envolvidas no projeto

As cisternas monitoradas no presente trabalho foram escolhidas considerando que as mesmas armazenam apenas água de chuva. As cisternas deveriam ser lavadas para receber chuvas do período chuvoso. Os moradores que utilizam as cisternas acolheram a proposta do projeto e concordaram com a instalação dos dispositivos, de desvio e/ou bombas, nas suas cisternas.

Para esta etapa do projeto 10 famílias foram escolhidas e encontram-se denominadas, conforme Tabela 2, Lajedo do Cedro (LC), numeradas de 1 a 10.

3.4.2 Identificação dos locais e as cisternas onde foram instalados os dispositivos

Em pesquisas anteriores foram realizadas visitas de campo à comunidade Lajedo do Cedro, em Caruaru, para identificação das cisternas que receberiam dispositivo de desvio automático para proteção sanitária da qualidade da água. Todas as residências contempladas com cisternas foram visitadas para averiguação, por meio de questionário, das prerrogativas estabelecidas (descritas a seguir), bem como para identificação da montagem do delineamento experimental apresentado na Tabela 2. As famílias/cisternas que atenderam a estas prerrogativas foram introduzidas no estudo. Vale destacar que a maioria das famílias da região utiliza águas de outras fontes, transportadas por caminhão pipa, nas cisternas. Isso dificultou bastante a seleção das cisternas para o monitoramento, pois essa atividade coloca em dúvida a origem da contaminação e inviabiliza a avaliação da influência do dispositivo de desvio.

Portanto, para a escolha das cisternas que foram monitoradas utilizou-se a prerrogativa que todas deveriam estar situadas na região do semiárido nordestino na abrangência do município de Caruaru. Além da consideração de que a água armazenada fosse exclusivamente da chuva, o uso pelas famílias deveria ser apenas para consumo humano. Nesta seleção também se considerou as características estruturais das cisternas, tempo de construção das mesmas, área de captação (telhado), existência de sistema de coleta (calhas) além das condições socioeconômicas das comunidades. A partir desta atividade se definiram quais as intervenções que foram aplicadas para atendimento às variáveis de estudo (Tabela 2).

3.4.3 Levantamento do estado dos sistemas de captação e armazenamento de água e realização de reparos e/ou adequações

Nesta etapa foi realizado um minucioso levantamento em cada uma das cisternas escolhidas para atuação deste projeto visando identificar o estado dos sistemas de captação e armazenamento de água e realizar, se necessário, reparos e adequações no referido sistema, para que fatores externos (por exemplo, calhas rachadas, desalinhadas ou obstruídas, falta de vedação no sistema de captação e/ou nas cisternas, entre outros) não interferissem nas variáveis que foram monitoradas

3.4.4 Confeção e instalação das bombas manuais

Foram confeccionadas 6 (seis) bombas manuais e instaladas nas cisternas LC1, LC3, LC4, LC6, LC7 e LC8, de forma a permitir a identificação da influência desta variável no comportamento dos parâmetros de qualidade da água monitorados. Neste trabalho todas as bombas foram vistoriadas, e foram feitos alguns reparos e substituições de algumas delas. Nesta atividade, a comunidade local foi bem instruída quanto ao uso desse equipamento.

Na Figura 5 estão apresentadas algumas fotografias referentes à montagem da bomba manual.

Figura 6. Fotografias da montagem de bomba manual.

(a) Montagem de uma bombas em LC3.



(b) Bomba instalada em LC6 em funcionamento.



Fonte: Banco de dados do Laboratório de Engenharia Ambiental – LEA.

3.4.5 Confeção e instalação de novos dispositivos DESVIUFPE

Os dispositivos de descarte automático de águas de chuva – DESVIUFPE, previstos na pesquisa, foram dispostos nas cisternas denominadas LC1, LC2, LC3, LC4 e LC5, de forma a permitir a identificação da influência desta variável no comportamento dos parâmetros de qualidade da água monitorados. Nos pontos LC3 e LC2 estes dispositivos foram instalados nesta pesquisa. Já os dispositivos em LC1, LC4 e LC5 foram instalados em pesquisas anteriores e foram apenas vistoriados afim de garantir perfeito funcionamento.

A Figura 7 ilustra as etapas de instalação de dispositivo na residência LC1, feita pelo autor dessa pesquisa junto com a comunidade.

Figura 7. Fotografias ilustrativas da montagem do DESVIUFPE.

(a) Participação de morador na montagem do dispositivo.



(b) Dispositivo concluído em LC1.



(c) Aluno pesquisador instalando o dispositivo.



(d) Dispositivo concluído em LC4.



Fonte: Banco de dados do Laboratório de Engenharia Ambiental - LEA.

3.5 Monitoramento da qualidade da água

Para entendimento da influência do DESVIUFPE e das outras variáveis de controle (bomba manual e educação ambiental) sobre os parâmetros da qualidade da água, as dez cisternas foram avaliadas em dois grupos. O grupo 1 compreende as cisternas contempladas com o DESVIUFPE, são elas LC1, LC2, LC3, LC4 e LC6, e o grupo 2, as cisternas que continuam a desviar as primeiras águas de chuva manualmente (LC5, LC7, LC8, LC9 e LC10).

A coleta de amostras foi realizada utilizando-se o mesmo procedimento que os moradores das comunidades utilizam para retirar a água das cisternas. Após a retirada da água da cisterna pelo morador, como de costume, a água foi transferida para recipientes esterilizados em autoclave a 120°C e 1 atm, por 15 minutos. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e transportadas ao Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da UFPE para análise. Os parâmetros que foram avaliados estão apresentados na Tabela 4. Os procedimentos analíticos foram realizados de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005) com frequência mensal. A contagem de coliformes totais e *E.Coli* foram realizadas pela metodologia do substrato cromogênico do tipo ChromoCult®. As amostras foram incubadas em estufa bacteriológica a 35°C, por 24 horas (APHA, 2005), após o tempo de incubação, foi utilizado um contador manual de colônias para a contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC).

A análise do desempenho das barreiras sanitárias foi realizada a partir dos resultados obtidos com as análises laboratoriais. Esses resultados foram analisados, investigando a efetividade das barreiras sanitárias sobre a qualidade da água. Foi utilizada uma série de dados de monitoramentos anteriores com intuito de analisar o histórico das cisternas, desde antes da concepção e instalação do dispositivo de desvio.

Tabela 4. Parâmetros e métodos que foram utilizados no monitoramento da qualidade da água.

Parâmetro	Método
Alcalinidade total	2320 B.
Condutividade	2510 B.
Cor aparente	2120 C.
Cloretos	4500 - Cl ⁻ B.
Dureza Total	2340 C.
Oxigênio Dissolvido	4500 - G.
pH	4500 - H ⁺ B.
Salinidade	2520 B.
Sólidos dissolvidos totais (TDS)	2540 C.
Turbidez	2123 B.
Coliformes totais	9223 B.
<i>E. coli</i>	9223 B.

Para análise de comparação das médias e variâncias dos resultados foram utilizados a metodologia estatística ANOVA para verificar se ao menos um grupo entre os demais comparados apresenta distinção em seu valor médio. O Teste t de student também foi utilizado para analisar possível distinção dos valores médios entre dois grupos, para um nível de significância $\alpha=5\%$. Em complemento ao teste ANOVA foi utilizado o critério de Tukey com base na diferença mínima significativa (D.M.S.). O objetivo do teste de Tukey é determinar quais dos grupos comparados apresentam diferença significativa, enquanto ANOVA pode apenas mostrar se os grupos da comparação são diferentes, não podendo elencar qual, ou quais, grupos apresentaram diferença. Isto é, se os resultados da ANOVA são positivos, no sentido de que eles afirmam que há uma diferença significativa entre os grupos, como sequência da análise aplica-se o teste Tukey. No teste de Tukey os grupos são comparados dois a dois, fazendo-se a subtração de suas médias. Se a diferença das médias for maior que a D.M.S o par difere entre si.

3.6 Atividade de educação ambiental

Foram realizadas duas oficinas de Educação Ambiental. Na primeira oficina foram aplicados questionários para conhecer as condições de manejo e a opinião dos moradores sobre as cisternas doadas pelo Governo Federal.

A segunda oficina foi realizada na comunidade Lajedo do Cedro, onde o presente trabalho foi desenvolvido. Na oficina foram abordados temas como o manejo correto da água armazenada na cisterna, bem como o modo correto de utilização do DESVIUFPE e sua confecção. Foram ministrados seminários e a reprodução de um vídeo educacional produzido pelo LEA - UFPE.

3.7 Planejamento experimental

Na Figura 8 encontra-se descrito o planejamento do presente trabalho, detalhando os intervalos de monitoramento e os grupos que foram comparados.

Figura 8. Etapas do planejamento experimental.

Avaliação do desempenho do DESVIUFPE		
Etapa 1	Cisternas analisadas	Duração do monitoramento
Análise das variações ocorridas entre o período de estiagem e o período chuvoso.	LC1**	24 meses
Etapa 2	Cisternas analisadas	Duração do
Comparação de cisterna com e sem barreiras sanitárias (DESVIUFPE e bomba manual).	LC4** LC5	24 meses
Etapa 3	Cisternas analisadas	Duração do
Monitoramento de 12 meses sem nenhum dispositivo e 12 meses com dispositivos atuantes.	LC6**	24 meses
Etapa 4	Cisternas analisadas	Duração do
Comparação de cisterna com e sem barreiras sanitárias (DESVIUFPE e bomba manual).	LC2** LC3** LC7* LC8* LC9 LC10	12 meses
Avaliação da influência da bomba manual		
Comparação de cisternas apenas com bomba manual e cisternas sem nenhum tipo de dispositivo.	LC7* LC8* LC9 LC10	12 meses

Número total de amostras
168

Legenda: ** Cisternas com bomba manual e Desviufpe; *Cisternas apenas com bomba manual.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diante do cenário encontrado nas residências selecionadas, foram realizados reparos e adequações nos componentes responsáveis pela captação da água de chuva, descritos na Tabela 3.

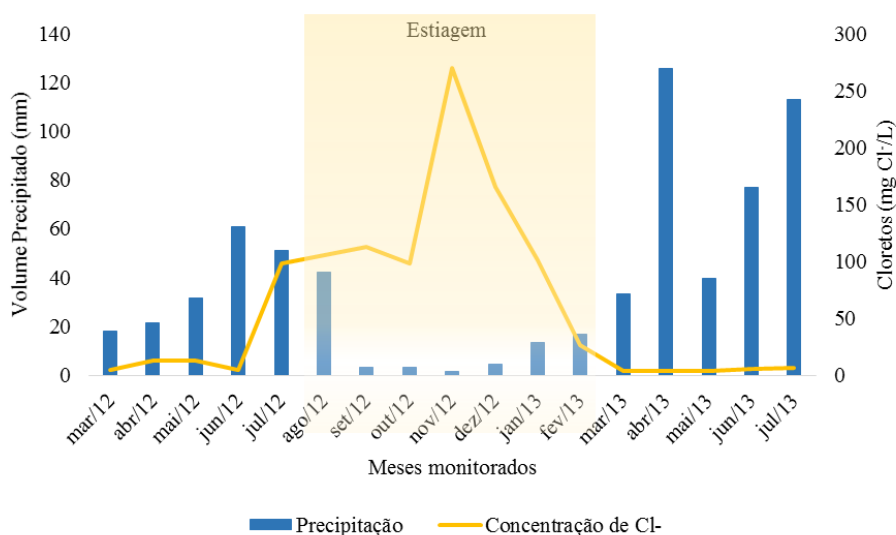
Tabela 3. Informações levantadas sobre os sistemas de captação e armazenamento de água.

Cisterna	Problemas encontrados	Ajustes realizados
LC1	Calhas sem alinhamento adequado	Conserto da calha.
LC2	Apenas uma água do telhado coletava chuva.	Instalação de calha onde havia deficiência na captação.
LC3	Parede para suportar o DESVIUFPE apresentava péssimas condições.	Aplicação de reboco nas paredes que apoiam o DESVIUFPE.
LC4	Parede para suportar o DESVIUFPE apresentava péssimas condições.	Aplicação de reboco nas paredes que apoiam o DESVIUFPE.
LC5	Não apresentou problemas.	---
LC6	Calhas sem alinhamento adequado; cisterna com vazamento.	Conserto da calha e do vazamento na cisterna.
LC7	Tubos que conduzem a água após a calha estavam em péssimas condições	Substituição de tubos de PVC.
LC8	Não apresentou problemas.	---
LC9	Não apresentou problemas.	---
LC10	Não apresentou problemas.	---

Alguns parâmetros, não apresentaram grandes variações ao longo de todo monitoramento. Parâmetros como pH e salinidade, mantiveram-se bem estáveis apresentando valores semelhantes em todas as cisternas, com um pequeno desvio padrão. Em todas as amostras coletadas o pH estava na faixa de aceitação do padrão de potabilidade (pH entre 6 e 9,5), segundo a legislação nacional responsável (Portaria nº 2914/2011). Não foram encontradas concentrações de salinidade em nenhuma das amostras analisadas com exceção de 2 amostras retiradas da cisterna LC3 cujo os valores encontrados foram 0,2 e 0,3 respectivamente. Esses valores não correspondem à caracterização de água de chuva, indicando a possibilidade de que a água contida na cisterna LC3 seja de origem diferente com qualidade inferior.

Com relação à concentração de cloretos, apenas em uma amostra o limite imposto pela legislação (250 mg Cl⁻/L) não foi atendido. O valor para cloretos foi de 256 mg Cl⁻/L, detectado na cisterna LC3. Em dados obtidos nos anos de 2012 e 2013 a cisterna LC1 apresentou concentração de cloretos aumentando de forma intensa durante período de estiagem ocorrido (Figura 9). Este aumento deve ter sido proveniente da grande quantidade de hipoclorito de sódio comumente utilizada na água de caminhões pipa, que abasteceram as cisternas durante a estiagem ocorrida no período.

Figura 9. Variação da concentração de cloretos nos períodos de chuva e estiagem na cisterna LC1.



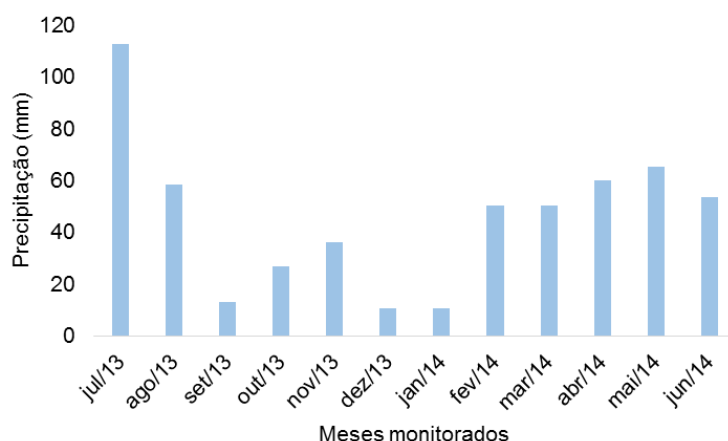
Fonte: Dados de precipitação retirados da plataforma de coleta de dados PCD do INPE.

Nas cisternas que armazenaram apenas água de chuva durante o mesmo período (2012/2013) não houve grandes variações na concentração de cloretos. Os valores de cloretos, nas cisternas que foram abastecidas exclusivamente com água de chuva, apresentaram valores médios na faixa entre 13 mg de Cl⁻/L e 50 mg de Cl⁻/L.

De forma semelhante a concentração de cloretos, o comportamento observado no parâmetro condutividade, durante o período de estiagem, apresentou valores extremos, como 1566 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no ponto LC3. Existe uma grande correlação entre esses parâmetros, uma vez que a dissolução de íons Cl^- em água, provoca um aumento na condutividade elétrica do meio. Segundo Arraes *et al.* (2009), “os elementos que apresentam maior peso na determinação da condutividade em águas superficiais são os íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e o Cl^- ”.

Diferentemente ao cenário encontrado em 2012, valores extremos de cloretos e condutividade não foram presenciados nesta pesquisa exceto a cisterna LC3, uma vez que durante o monitoramento os eventos de precipitação foram bem distribuídos, não havendo um longo período sem chuvas, como ocorrido em 2012 (Figura 10). Durante os 12 meses de monitoramento neste trabalho, não houve a necessidade do abastecimento das cisternas por meio de fontes secundárias à água da chuva, essa informação foi comprovada pelos usuários durante as coletas

Figura 10. Precipitação (mm) ocorrida durante o período de monitoramento.

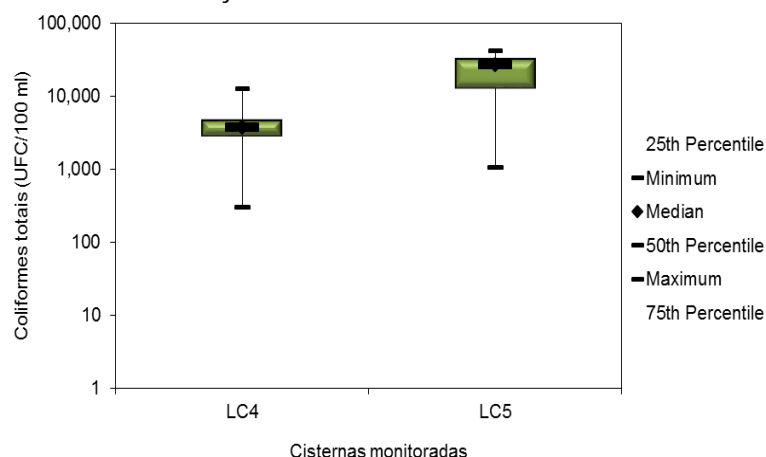


Fonte: Dados de precipitação retirados da plataforma de coleta de dados PCD do INPE.

As cisternas LC4 e LC5 possuem um banco de dados com resultados de monitoramentos anteriores. Esse banco de dados possibilitou uma análise mais prolongada (24 meses) do comportamento das barreiras sanitárias. Ao comparar o resultado obtido no monitoramento das cisternas LC4 (com DESVIUFPE e bomba manual) e LC5 (sem desvio), foram observadas diferenças significativas entre as duas cisternas nos parâmetros cor aparente, turbidez e SDT, com nível de significância de 5%. Na cisterna LC4 os valores médios foram inferiores aos de LC5, em 50%, 67% e 45% respectivamente para cor aparente, turbidez e SDT.

Uma diferença significativa ($3,85 \cdot 10^{-5}$ e $p < 0,05$) também foi observada nos parâmetros microbiológicos: Coliformes totais (Figura 11) e *E.Coli*.

Figura 11. Concentração de coliformes totais nas cisternas LC4 e LC5.



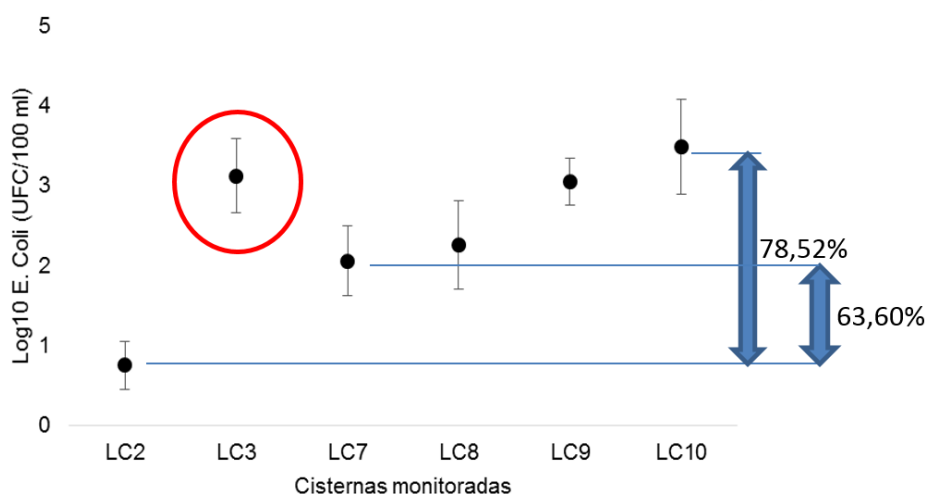
As cisternas LC2, LC3, LC7, LC8, LC9 e LC10 foram monitoradas durante 12 meses. Os resultados de comparação entre essas cisternas indicaram diferenças significativas com relação ao parâmetro turbidez (ANOVA - $p = 6,14 \cdot 10^{-25}$, para $\alpha = 0,05$). Observou-se que as cisternas LC3 e LC2 (ambas com DESVIUFPE e bomba manual) apresentaram valores médios na concentração de turbidez, inferiores as demais cisternas com uma diferença mínima significativa de D.M.S. = 1,25 (para $\alpha = 0,05$, pelo teste de Tukey) (Tabela 5).

Tabela 5. Valor médio máximos e mínimos da concentração de turbidez nas cisternas e suas comparações.

Cisterna	Media	Mínimo	Máximo	Comparações
LC2	0.799	0.39	1.00	a
LC3	0.679	0.38	0.98	a
LC7	1.222	0.96	1.49	ab
LC8	2.023	1.60	2.45	bc
LC9	2.286	1.85	2.72	bc
LC10	2.734	2.32	3.15	c
D.M.S.	1.25			
α	5%			

Além do parâmetro turbidez, foram observadas variações consideráveis nos parâmetros cor aparente e coliformes totais (ANOVA - $p = 1,75 \cdot 10^{-25}$, e $2,54 \cdot 10^{-19}$, respectivamente para $\alpha = 0,05$). A cisterna, dotada de barreira sanitária, LC2 apresentou um valor médio de *E.Coli* inferior as demais cisternas (Figura 12).

Figura 12. Log10 da concentração de *E. Coli* com intervalo de confiança.



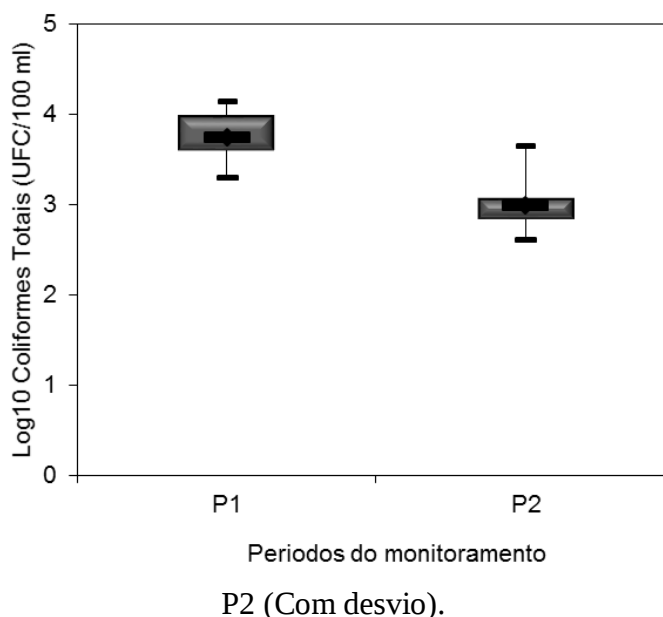
Conforme citado anteriormente, a cisterna LC3 que também possui dispositivos de proteção apresentou um valor elevado de *E. Coli* alcançando a mesma faixa de valores das demais cisternas desprovidas de barreiras sanitárias. Essa elevada concentração é explicada pelo fato de que a cisterna LC3 continha um volume remanescente de água de baixa qualidade proveniente de abastecimentos anteriores recentes ao monitoramento, diferentemente das outras cisternas que continham todo volume de água exclusivo das chuvas. Essa informação foi confirmada durante as coletas, junto aos moradores.

A cisterna LC6 teve seus resultados analisados de forma a comparar um período em que a cisterna não possuía nenhum tipo de dispositivo de proteção, com um período em que o DESVIUFPE e a bomba manual foram atuantes na retenção de impurezas.

Quando analisados os resultados dos parâmetros físico-químicos, percebeu-se uma redução significativa nos teores de cor aparente, cor real, turbidez e SDT. Os valores médios desses parâmetros, respectivamente, sofreram uma redução de 42%, 44%, 71% e 48%, entre os períodos sem desvio e com desvio, cada um com duração de 12 meses.

Nos resultados das análises microbiológicas, a diminuição nas concentrações de coliformes totais e *E. Coli* foram bem notadas, quando os dispositivos passaram a ser utilizados (Figura 13). A redução ocorrida na concentração de coliformes totais, entre os períodos P1 e P2 correspondeu a 20%.

Figura 13. Concentração de coliformes totais na cisterna LC6, nos períodos P1 (sem desvio) e



Para avaliação do impacto da bomba manual na qualidade da água das cisternas foram comparadas as cisternas LC7 e LC8 apenas com bomba manual, e as cisternas LC9 e LC10 sem nenhum dispositivo.

Não foram verificadas diferenças significativas nos parâmetros físico-químicos. Aparentemente os valores médios de cor e turbidez, em LC7 e LC8, apresentaram concentrações um pouco inferiores aos de LC9 e LC10, entretanto não representativos do ponto de vista estatístico.

Quando se observa os resultados para coliformes totais, foi detectada diferença significativa ($p = 5,69.10^{-10}$) entre os resultados das cisternas com bomba e sem bomba, para $\alpha=0,05$. O valor da média geométrica das concentrações de coliformes (em UFC/100mL) foram respectivamente, para LC7, LC8, LC9 e LC10: $2,72.10^3$, $1,96.10^3$, $1,26.10^4$ e $3,26.10^4$. Esse fato evidencia que o uso de baldes eventualmente sujos, podem contaminar a água da cisterna, aumentando o teor de coliformes totais na água.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados pode-se concluir acerca do DESVIUFPE que as cisternas dotadas desse dispositivo apresentaram baixas concentrações de cor aparente, turbidez, SDT, coliformes totais e *E.Coli*, chegando, respectivamente, a níveis de 42%, 71%, 48%, 84% e 72%, inferiores aos obtidos em cisternas sem nenhuma proteção sanitária. É claro o fato de que mesmo com essa

redução nos parâmetros microbiológicos a portaria de potabilidade ainda não é cumprida em sua totalidade, pois exige ausência desses microrganismos. Entretanto, a grande redução apresentada nesses parâmetros, asseguram menor risco à saúde dos consumidores. Contudo, os resultados para os parâmetros físico-químicos estão todos adequados a potabilidade, salvo a exceção das cisternas que receberam água de caminhões pipas com elevada concentração de cloretos, chegando a ultrapassar o limite exigido pela portaria.

A utilização da bomba manual apresentou interferência significativa na redução da concentração de coliformes totais nas cisternas monitoradas. Entretanto nos parâmetros físico-químicos não se notou influência significativa. Esse fato evidência que o uso de baldes eventualmente sujos, podem de certa forma contaminar a água da cisterna aumentando o teor de coliformes totais na água.

Quando se trabalha com tecnologias sociais que estão diretamente ou indiretamente ligadas a qualidade de vida da população deseja-se muito que os resultados esperados comprovem a eficiência do que foi previsto. É nesse âmbito que essa pesquisa, através do uso do DESVIUFPE pretendeu consolidar a sua eficiência em proteger a água consumida por milhares de pessoas, minimizando problemas de saúde causados por poluentes na água.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527**: Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 5.626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NBR 12.214**: Projeto de sistema de bombeamento de para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 16.098**: Aparelho para melhoria da qualidade da água para consumo humano Requisitos e Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ANDRADE NETO, C.O. Proteção Sanitária das Cisternas Rurais. In: XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais...**, Rio Grande do Norte, 2004. CD Rom.

ANDRADE NETO, C.O. Segurança Sanitária das Águas de Cisternas Rurais. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 4º, 2003, Juazeiro-BA. **Anais eletrônicos...** Juazeiro-BA: ABCMAC, 2003, 9 p.

ANNECCHINI, K. P. V. Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES). 2005. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

AL-SALAYMEH, A., AL-KHATIB, I.A., ARAFAT, H.A. 2011. Towards Sustainable Water Quality: Management of Rainwater Harvesting Cisterns in Southern Palestine. **Water Resources Management** 25 (6), 1721–1736.

ALBRECHTSEN, H.-J., 2002. Microbiological investigations of rainwater and gray-water collected for toilet flushing. **Water Sci. Technol.** 46 (6e7), 311e316.

APHA - American Publishers Health Association, 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21th ed. American Publishers Health Association, Washington DC, USA.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; FROTA, J. I. J.; SANTOS, J. C. N. Identificação dos íons determinantes da condutividade elétrica nas águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 03, p. 346-355, 2009.

BOTKIN, D.B, KELLER, E.A. Environmental Science: **Earth as a living planet**. 5. ed. Hoboken: John Willey e Sons, 2005. 664 p.

BRASIL (2011). MINISTÉRIO DA SAÚDE - **Portaria N° 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 32p, 2011.

CAMARGO, A.P. **A água no solo para agricultura**. O Agrônomo. Campinas. São Paulo. V. 57 (1). p. 10-11p. 2005.

CÁRITAS BRASILEIRA, Comissão Pastoral da Terra, FIAN. **Água de chuva – o segredo de convivência com o semi-árido**. São Paulo, Paulinas, 2001, 104p.

CRABTREE, K.D., RUSKIN, R.H., SHAW, S.B., ROSE, J.B., 1996. The detection of cryptosporidium oocysts and Giardia cysts in cistern water in the U.S. Virgin Islands. **Water Research** 30 (1), 208 – 216.

CURITIBA. **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/Default.asp?ID=107&Editoria=9&SubEditoria=46&Ver=1>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

CUSTÓDIO, E; LLAMAS, M. (1996) - Hidrologia Subterrânea. 2º edição Ediciones Omega, Barcelona 2 volumes, 2350 P

DESPINS, C., FARAHBAKHS, K., LEIDL, C., 2009. **Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario**, Canada. J. Water Supply Res. Technol. AQUA 58 (2), 117e134.

DILLAHA, T.A., ZOLAN, W.J., 1985. Rainwater catchment water quality in micronesia. **Water Research** 19 (6), 741–746.

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** 40 (1), 37 – 44.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007. **Coping with water scarcity: Challenge of the twenty - first century**. Available from: <http://www.fao.org/nr/water/docs/escarcity.pdf> (accessed November 2010).

FARIAS, M.M.M.W.E.C. **Telhados Verdes no Agreste Pernambucano**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru-PE, 115p, 2012.

FARRENY, R., 2011. Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain. **Water Research** 45 (10), 3245 – 3254.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual prático de análise de água**. 2009, Brasília.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **5º Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública**. 2010, Brasília.

HELMREICH, B., HORN H., 2009. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination** 248 (1–3), 118 – 124.

HOQUE, B.A., HALLMAN, K., LEVY, J., BOUIS, H., ALI, N., KHAN, F., KHANAM, S., KABIR, M., HOSSAIN, S., ALAM, M.S.. 2006. Rural drinking water at supply and household levels: Quality and management. **International Journal of Hygiene and Environmental Health** 209 (5), 451-460.

LEE, J. Y., BAK, G., HAM, M., 2012. Quality of roof-harvested rainwater e Comparison of different roofing materials. **Environmental Pollution** 162, 422 – 429.

LIMA, J.C.A.L., ALVES, F.H.B., FIGUEIRAS, M.L., LUCENA, L.M., SANTOS, S.M., GAVAZZA, S., 2011. Devices to improve the quality of water stored in cisterns of semi-arid Pernambuco - Technology development and performance evaluation. In: **Proceedings of XIV World Water Congress**, Porto de Galinhas, Brazil. (In Portuguese).

LIMA, P.R. A.; LEOPOLDO, P.L, 2000. Quantificação de componentes hidrológica de uma mata ciliar, através do modelo de balanço de massas. *Revista Árvore*, Viçosa, v.24, n.3, p. 241-252.

LIMA et al., 2013. Influência da intensidade pluviométrica no desempenho do dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva aplicado às cisternas do semiárido. 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Goiânia – GO.

MAY, S., PRADO, R.T.A., 2006. Experimental evaluation of rainwater quality for non-potable applications in the city of Sao Paulo, Brazil. **Urban Water Journal** 3 (3), 145 – 151.

MENDEZ, C.B., KLENZENDORF, J.B., AFSHAR, B.R., SIMMONS, M.T., BARRETT, M.E., KINNEY, K.A., KIRISITS, M.J., 2011. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research** 45 (5), 2049 – 2059.

MIRANDA, R.A.C. A interceptação das chuvas por ecossistemas. **Agronline**. 2006. (<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id+336>)

NOLDE, E., 2007. Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces. **Desalination** 215 (1–3), 1 – 11.

PALLA, A., I. GNECCO, LANZA, L.G., LA BARBERA, P., 2012. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. **Resources, Conservation and Recycling** 62, 71– 80.

PEREIRA JÚNIOR, J. S. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília, DF: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Centro de Documentação e Informação, 2007. Disponível em <http://bd.camara.gov.br>

PERNAMBUCO. **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=>>. Acesso em: 18 out. 2013.

PINTO, L. DE S. N.; HOLTZ, A.C.T. E MARTINS, J.A. **Hidrologia de Superfície**. Editora Edgard Blücher. 2º Edição. São Paulo. 1973. 179p.

ROGGIA, M. N. **Estruturação de uma metodologia para projeto de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edificações**. Dissertação de mestrado. Universidade de Passo Fundo (UPF). Passo Fundo. 2007.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 4.393**, de 16 de setembro de 2004. Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas da chuva e dá outras providências. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/135934/lei-4393-04-rio-de-janeiro-rj>. Acesso em: 25 fev. 2013.

RODRIGUES, H. K.; SANTOS, A. L.; BARCELOS, H.P.; PÁDUA, V.L. Dispositivo automático de descarte da primeira água de chuva. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva, 6. , 2007. Belo Horizonte - MG. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.

SÃO PAULO. **Lei nº 13.276**, de 04 de janeiro de 2002. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificadas ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m². Disponível em: <http://www.leispaulistanas.com.br/sites/default/files/ReservatorioDeAgua/LEI%2013276.PDF> >. Acesso em: 25 fev. 2013.

SDR/MI - Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional / Ministério da Integração Nacional. **Relatório Final do Grupo de Trabalho Interministerial para Redelimitação do Semiárido Nordeste e do Polígono das Secas**. Brasília – DF: 2005.

SIMMONS, G., HOPE, V., LEWIS, G., WHITMORE, J., GAO, W., 2001. Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. **Water Research** 35 (6), 1518 – 1524.

SOUZA, S.H.B., MONTENEGRO, S.G., SANTOS, S. M., GAVAZZA, S., NOBREGA, R. L. B., 2011. **Evaluation of water quality and efficiency of sanitary barriers devices in systems to utilization of rainwater**. Brazilian Journal of Water Resources 16 (3), 81-93. (In Portuguese).

STURM, M., ZIMMERMANN, M., SCHÜTZ, K., URBAN, W., HARTUNG, H., 2009. Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. **Physics and Chemistry of the Earth** 34 (13–16), 776 – 785.

SAVILL, M.G., HUDSON, J.A., BALL, A., KLENA, J.D., SCHOLLES, P., WHITE, R.J., MCCORMACK, R.E., JANKOVIC, D., 2001. Enumeration of Campylobacter in New Zealand recreational and drinking waters. **J. Appl. Microbiol.** 91 (1), 38e46.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade. 2000.

UBA, B.N., AGHOGHO, O., 2000. Rainwater quality from different roof-catchments in the Port Harcourt District, Rivers State, Nigeria. **J. Water Supply Res. Technol. AQUA** 49 (2000), 281e288.

WARD, R.C., ROBINSON, M., **Principles of Hydrology**. 4^a Ed., McGraw-Hill, Berkshire, England, 2000. 450 p.

XAVIER, R. P.; NÓBREGA, R.L.B.; MIRANDA, P.C.; GALVÃO, C.O.; CEBALLOS, B.S.O. Avaliação da eficiência de dois tipos de desvios das primeiras águas de chuva na melhoria da qualidade da água de cisternas rurais. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva, 7., 2009. Caruaru - PE. **Anais...** Caruaru: ABCMAC, 2009.

YAZIZ, M.I., GUNTING, H., SAPARI, N., GHAZALI, A.W., 1989. Variations in rainwater quality from roof catchments. **Water Research** 23 (6), 761 – 765.