Resultados

**1. Título do Projeto**

Dispositivo automático para proteção da qualidade da água de chuva armazenada em Cisternas

**2. Apresentação**

Neste projeto foi desenvolvido um dispositivo de desvio automático das primeiras águas de chuva, que 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. A maior parte das impurezas são introduzidas nas águas de chuva durante a passagem da água pela atmosfera, carreando materiais em suspensão e dissolvendo possíveis gases poluentes da atmosfera, e telhado e calhas, que podem conter impurezas depositadas, como fezes de animais, restos de folhas, poeira, etc. O conceito de se desviar os primeiros milímetros de cada chuva não é novo. No entanto, boa parte dos dispositivos descritos na literatura é de difícil instalação e operação, principalmente no tocante à vedação. Por esta razão, quando instalado, em decorrência dos problemas operacionais, os moradores acabam abandonando e desconectando o dispositivo do sistema de coleta de água. Ainda nesta direção, os moradores são orientados, quando do recebimento das cisternas construídas pelos diversos programas de governo, a realizar o descarte manual das primeiras águas de chuva. Isso é feito manualmente pelos moradores quando do início de cada evento chuvoso, independente do horário em que se inicie. O dispositivo desenvolvido no âmbito desta pesquisa é bastante simples, foi confeccionado em tubos de PVC, com custo total de R$180,00, e faz esse descarte de forma automática, permitindo que os moradores se isentem da preocupação de levantar, muitas vezes de madrugada, para desviar as águas que levariam impurezas às cisternas. O projeto foi desenvolvido no semiárido pernambucano, na zona rural das cidades de Caruaru - PE e Pesqueira – PE; e na instalação experimental de Cisternas da UFPE. O projeto foi desenvolvido entre 2008 e 2012, com financiamento do CNPq. O dispositivo desenvolvido no presente projeto foi capaz de reduzir em 67%, 63%, 94% e 100%, respectivamente a cor, a turbidez, os coliformes termotolerantes e *E.Coli*, que seriam encaminhados à cisterna. O dispositivo foi desenvolvido no campus de Caruaru da UFPE (fruto da interiorização das Universidades Federais brasileiras) e ajuda a UFPE a cumprir seu papel de contribuir para o desenvolvimento da sociedade. Os resultados do projeto foram exibidos no Jornal Nacional em 03/11/2011, e nesta reportagem, em seu depoimento, a Sra. Maria revela que depois que a UFPE instalou o dispositivo de desvio na sua residência, a família não sofreu mais com “dor de barriga”. Esse depoimento mostra como um dispositivo simples e barato, pode beneficiar milhares de brasileiros, levando saúde às famílias que consomem água de chuva armazenada em cisternas. Os pesquisadores, autores desse projeto, têm a esperança de que essa tecnologia seja incorporada às novas cisternas que serão instaladas no âmbito de programas de governo, como 1 Milhão de Cisternas, Água para Todos, e Brasil sem Miséria.

**3. Justificativa**

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 (ONU, 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 Brasil, detendo aproximadamente 13% das reservas superficiais de água doce de todo o mundo (LIBÂNIO, 2010), muitas vezes é visto em uma situação privilegiada ao se considerar problemas de escassez. Porém a distribuição geográfica dos mananciais não é uniforme e o semiárido brasileiro já sofre há anos com a falta de água. Desta situação mundial de escassez e das diferenças de disponibilidade hídrica, surge a necessidade de se aperfeiçoar formas alternativas de disponibilizar e potabilizar as águas pouco contaminadas.

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 (BRASIL, 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 (ASA, 2002).

Visando criar uma alternativa para solução deste problema foi proposta a 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, 2008). 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, 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 et al., 2011).

Diversos fatores exercem influência nos níveis de qualidade, tais como tipo de reservatório e materiais usados na sua construção (YAZIZ et al., 1989; MENDEZ et al., 2011), época do ano (HOQUE et al., 2006), direção dos ventos (EVANS et al., 2006), inclinação do telhado (FARRENY et al., 2011), recepção ou não das primeiras águas de chuva (LEE & BAK, 2012), permanência de volumes de água entre as estiagens (DILLAHA and 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, 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 Semi-Árido Brasileiro – ASA, formulou o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-Árido: Um Milhão de Cisternas Rurais – P1MC (CÁRITAS et al., 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 (BRASIL, 2011a). 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).

Neste contexto, o presente trabalho pretendeu contribuir para o entendimento do papel do dispositivo de desvio sobre a qualidade da água encaminhada às cisternas. Para isso, em instalação experimental, foi avaliada a influência que os quatro primeiros milímetros, individualmente, exercem sobre a qualidade da água, para duas intensidades diferentes de precipitação. Adicionalmente, foi avaliada a influência que um dispositivo de desvio automático, concebido neste trabalho, exerceu sobre a qualidade da água da chuva encaminhada às cisternas. A avaliação do dispositivo de desvio indicou que este foi responsável pela remoção de 94,2% e 44,8%, respectivamente nos teores de coliformes totais e bactérias heterotróficas totais. Isso, sem dúvida, pode se refletir em melhoria da saúde de milhares de brasileiros que fazem uso da água de chuva para consumo humano, caso tal dispositivo seja incorporado às novas cisternas que serão construídas pelos diferentes projetos de governo.

**4. Público-alvo**

Podem ser considerados beneficiários da tecnologia desenvolvida no presente trabalho, milhares (ou milhões) de brasileiros que consomem água de chuva armazenada em cisternas. O dispositivo é de fácil instalação, confeccionado com material disponível em qualquer região e, consequentemente, de absorção pelo setor produtivo responsável. Portanto, o público alvo são comunidades/indivíduos que consomem água de chuva, ONGs, prefeituras e governos federais e estaduais por meio de seus diferentes programas de governo, etc.

**5. Metodologia**

**5.1. Monitoramento da qualidade da água armazenada em cisterna do semiárido pernambucano**

No início desta pesquisa foram escolhidas sete cisternas para monitoramento da qualidade da água, mediante levantamento de informações sobre as características estruturais, tempo de construção, área dos telhados e condições socioeconômicas das comunidades. Algumas destas informações estão apresentadas na 1.

Tabela 1. Características das cisternas monitoradas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | Variável | Cisterna / localidade | | | | | | | | Caruaru | | | | Pesqueira | | | | LC1 | LC2 | LC32 | LC42 | GB1 | CE1 | CE2 | | Idade inicial1 (anos) | 5 | 1 | 1 | 9 | 2 | 3 | 3 | | Nº de pessoas na casa | 3 | 1 | 4 | 8 | 4 | 4 | 5 | | Descarte das 1ªs águas | M | M | M | M | A3 | M | M | | Manuseio da água | BD | BD | BD | BD | BB | BD | BD | | Legenda:  1Idade da cisterna no início do monitoramento em 2008.  2Cisternas monitorados a partir de março de 2010.  3Descarte automático das 1ªs águas, instalado em julho de 2009.  M: Descarte manual das 1ªs águas;  A: Descarte automático das 1ªs águas;  BD: Manuseio da água com balde;  BB: Manuseio da água com bomba d’água manual. |

As cisternas que tiveram a qualidade da água monitorada estão localizadas na comunidade de Lajedo do Cedro (LC1, LC2, LC3 e LC4), município de Caruaru e nas comunidades de Guaribas (GB1) e Canela de Ema (CE1 e CE2), no município de Pesqueira, ambos no estado de Pernambuco, Brasil. Na cisterna GB1, em 2009, foi instalado um dispositivo para desvio automático das primeiras águas de chuva. A 1 apresenta fotografia ilustrativa de duas cisternas monitoradas, incluindo a dotada de dispositivo de desvio.

Tal dispositivo, dimensionado para desviar o primeiro milímetro de chuva, foi confeccionado em tubos e conexões de PVC, objetivando uma montagem simples e rápida, mas garantindo, também, estanqueidade. No início da precipitação, o sistema deve estar completamente vazio para receber as primeiras águas de chuva que lavam a atmosfera, o telhado e as calhas. Neste momento, com base no princípio de vasos comunicantes, os tubos são cheios até atingir a capacidade total do dispositivo, cujo volume foi calculado em função da área do telhado. Em seguida, a água com níveis de impurezas reduzidos é encaminhada à cisterna, ao final de cada evento chuvoso o dispositivo deve ser esvaziado manualmente para funcionar plenamente na próxima chuva.

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Cisterna CE2. | 1. Cisterna GB1, com desvio. |

Figura 1. Fotografia ilustrativa das cisternas monitoradas.

Para as coletas foram utilizados recipientes de polietileno, com capacidade para 500 mL (análises bacteriológicas) e 1000 mL (análises físico-químicas), esterilizados em autoclave a 120°C e 1atm por 15 minutos. A coleta foi realizada utilizando-se o mesmo procedimento que os moradores da comunidade utilizam para retirar a água das cisternas. Sete famílias retiram água das cisternas por meio de balde e apenas uma família retira água por meio de bomba manual (GB1). As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas e encaminhadas para análises.

O período de monitoramento foi de dezembro de 2007 a dezembro de 2011. Neste período foram realizadas 72 coletas, sendo 37 coletas nas cisternas de Caruaru e 35 nas 3 cisternas de Pesqueira. Os seguintes parâmetros foram analisados, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), em todas as amostras: cor real e aparente; turbidez; pH e alcalinidade; sólidos suspensos totais – SST; coliformes totais e *E.Coli*;e bactérias heterotróficas, com frequência mensal. A contagem de bactérias heterotróficas totais foi realizada através do método *pour plate*. O meio utilizado foi o ágar nutriente para contagem em placas, sendo as amostras incubadas em estufa bacteriológica a 35°C, por 48 horas (APHA, 2005). Após o tempo de incubação, foi utilizado um contador manual de colônias para a contagem de Unidades Formadoras de Colônias (UFC).

**5.2. Influência do volume desviado e intensidade pluviométrica**

Os ensaios foram conduzidos em Instalação Experimental (IE) instalada no campus de Caruaru da UFPE, que consistiu em uma cisterna de 16000 L, um telhado com área de captação de 59 m2, um sistema de bombeamento (bomba *Schneider 1CV*) com aspersores e calha para coleta da precipitação simulada. Os aspersores de 360º (*Fabrimar*) foram distribuídos no telhado de captação, espaçados 0,68 m verticalmente e 1,44 m horizontalmente totalizando 16 aspersores, sendo que, nas extremidades, os mesmos apresentavam giro de 180º e nas quinas de 90º. Na linha de recalque da bomba foram instalados um hidrômetro (*Sappel*, DN-25) e um manômetro (*MECALTEC*- de 0-20 mca) para controle da quantidade e intensidade de água encaminhada ao telhado.

Para simulação da precipitação foi utilizada água potável, adquirida junto à companhia de saneamento local (Compesa) e foram avaliadas duas intensidades de precipitação (23 mm/h e 46 mm/h), sendo coletadas individualmente as amostras provenientes do primeiro, segundo, terceiro e quarto milímetros de precipitação. A menor intensidade de precipitação foi utilizada por ser de comum ocorrência na região de Caruaru-PE (INPE, 2012) e a maior foi estabelecida para avaliação de uma condição mais extrema de precipitação. Os experimentos foram conduzidos em duplicata de experimento.

A montagem experimental se localiza no estacionamento da universidade, cujo acesso é feito por meio de ruas não pavimentadas. Adicionalmente, houve a necessidade de se fazer uma contaminação bacteriológica artificial do telhado, uma vez que nos testes iniciais do sistema não se detectou presença de microrganismos. Para contaminação do telhado foram utilizados 400 mL de lodo (40,2 g SSV/L), provenientes da ETE Mangueira, que apresenta boa diversidade microbiana (LUCENA *et al.*, 2011). Esse lodo foi uniformemente aspergido sobre o telhado.

Para separação de cada milímetro de PS que passou pelo telhado, foram utilizados quatro baldes plásticos (A, B, C e D), graduados para acumular 59 L em cada balde. Desta forma, cada balde armazenava 1 mm de PS. Foi adaptada uma mangueira flexível para facilitar o direcionamento da água aos baldes. Para avaliação da introdução de poluentes na água ao longo do percurso foram coletadas 10 amostras, sequencialmente, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Descrição das amostras coletadas ao longo do percurso nos ensaios de PS.

|  |  |
| --- | --- |
| Amostra | Descrição |
| 1 | Água potável - representativa da água da precipitação |
| 2 | PS após passar por telhado e calhas |
| 3 | PS após 1º milímetro de precipitação |
| 4 | PS após 2º milímetro de precipitação |
| 5 | PS após 3º milímetro de precipitação |
| 6 | PS após 4º milímetro de precipitação |
| 7 | Água coletada no interior do balde A |
| 8 | Água coletada no interior do balde B |
| 9 | Água coletada no interior do balde C |
| 10 | Água coletada no interior do balde D |

A retirada da amostra no interior de cada balde foi realizada imediatamente após o seu enchimento, seguido de agitação, evitando descaracterizar a amostra em função de uma possível decantação dos sólidos em suspensão no interior de cada balde. As seis primeiras amostras foram analisadas da forma como foram coletadas em campo, enquanto as amostras 7, 8, 9 e 10, foram misturadas na proporção de 1:1 para representar a água desviada da cisterna, conforme apresentado na Tabela 3. Os parâmetros analisados foram os mesmos descritos no item 8.1.

Tabela 3. Amostras misturadas para simular a água desviada dos 4 milímetros de chuva.

|  |  |
| --- | --- |
| **Interior do desvio** | **Amostras** |
| 1° milímetro (I1) | 7 |
| 2° milímetro (I2) | 7+8 |
| 3° milímetro (I3) | 7+8+9 |
| 4° milímetro (I4) | 7+8+9+10 |

**5.3. Verificação da eficiência do dispositivo de desvio automático**

Neste trabalho foi desenvolvido, e avaliado o comportamento, de um dispositivo de desvio de tubos acoplados (Figura 2a), confeccionado em tubos e conexões de PVC. Esse tipo de desvio, que se destaca principalmente pela sua estanqueidade, facilidade de confecção e instalação e baixo custo, foi instalado em uma residência localizada na cidade de Pesqueira-PE, cujo telhado apresenta inclinação de 27% e área igual a 50,77 m2, o que resultou em 6,5 m de tubos para armazenar 1 mm de precipitação. O objetivo foi analisar o comportamento e a eficiência do dispositivo, acompanhando as variações na qualidade da água durante o percurso até a cisterna da residência. Esses experimentos foram realizados durante dois eventos de chuva ocorridos em dois anos consecutivos, na mesma época do ano (entre os meses de agosto e setembro).

Quando do início de um evento de precipitação foi coletada amostra de água nos pontos A (água da chuva, coletada em recipiente de plástico, desinfetado com álcool 70%), B (água que passou pelo telhado e calhas), C (água do interior do desvio), D (água encaminhada a cisterna) e E (água armazenada no interior da cisterna) (Figura 2b). Foram analisados os mesmos parâmetros do experimento de PS. O material de coleta foi esterilizado (120ºC e 1atm, por 20 min) e o morador da residência foi instruído sobre os procedimentos de coleta.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Baeh\Desktop\desvio bom.jpg   1. Esquema ilustrativo. | C:\Users\Baeh\Desktop\GB1 pontos de coleta2 .jpg   1. Ilustração dos pontos de coleta de água durante uma precipitação real. |

Figura 2. Dispositivo de desvio de tubos acoplados.

**6. Participação da Sociedade**

Uma das primeiras atividades desenvolvidas no âmbito deste projeto foi o levantamento das famílias que poderiam ser envolvidas dentro da área de atuação da pesquisa. Neste contexto, foram obtidas informações sobre famílias residentes em comunidades rurais localizadas na região da bacia escola do município de Pesqueira, com a aplicação de questionários que abordaram aspectos técnico-sócio-econômicos dos moradores. Com o apoio dos líderes comunitários locais, foram realizadas visitas periódicas, ações de sensibilização para as questões ambientais e conscientização quanto à necessidade de mudança de alguns hábitos de higiene, e aplicação e transferência das tecnologias empregadas nesta pesquisa.

Do contato direto com os moradores beneficiários das instalações dos desvios, foi possível verificar a redução na frequência e ocorrência de doenças de veiculação hídrica entre as famílias, principalmente nas crianças e nos idosos. A implicação das ações desenvolvidas no âmbito deste projeto pode ser exemplificada pela reportagem exibida no Jornal Nacional (em 03/11/2011), em que uma moradora beneficiada com a instalação do dispositivo, Sra. Maria, afirmou que depois que a UFPE instalou o dispositivo de desvio na sua residência, a família não sofreu mais com “dor de barriga”.

A aceitação das ações do projeto pelos moradores foi fundamental para a realização desta pesquisa, uma vez que para a sua realização, é fundamental o acesso autorizado às cisternas, bem como a coleta de água das mesmas ara realização das análises laboratoriais. Além disso, a instalação dos dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva apenas foi possível graças à aceitação, concordância e envolvimento dos respectivos proprietários das cisternas estudadas.

Em todas as ações realizadas foram envolvidos adultos e crianças, de ambos os sexos, e foi possível perceber que os gêneros são antagônicos sobre o que é o Meio Ambiente e isso implica em uma relação distinta entre o indivíduo como parte de sua realidade ambiental. Neste contexto, observou-se o perfeito entendimento do funcionamento das cisternas e suas demandas, por parte dos moradores, mas, infelizmente, apesar da apropriação destas informações, ainda observa-se muita resistência ao desenvolvimento de algumas ações, como por exemplo, o emprego da bomba ou mesmo eliminar fontes de poluição próximas às cisternas (como criação de animais domésticos nas proximidades). Das informações recolhidas a partir da aplicação dos questionários pode-se observar que os moradores têm baixa escolaridade, apresentando um número expressivo de analfabetos e que vivem principalmente do trabalho na roça e de auxílio financeiro governamental.

**7. Resultados Alcançados/Esperados**

**7.1. Monitoramento da qualidade da água armazenada em cisterna do semiárido pernambucano**

Os valores médios (4 anos de monitoramento) dos parâmetros físico-químicos são apresentados na 4. Teores relativamente elevados de pH, alcalinidade e condutividade foram encontrados nas cisternas com menor tempo de construção. Isto é decorrente da dissolução do material utilizado na confecção das cisternas, placas pré-moldadas de cimento.

Os valores médios de alcalinidade foram inferiores a 103 mg CaCO3/L e o pH esteve entre 6,9 e 9,4. De acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela legislação brasileira (Portaria n° 2914/2011 do Ministério da saúde), o pH deve estar entre 6,0 e 9,5. Nesta pesquisa se verificou a ocorrência de valores de até 9,4, bem próximos ao valor máximo. A condutividade média foi de 154,6 µS/cm. Sazakli *et al.* (2007), em estudo realizado em Kefalonia Island (Grécia), apresentaram 103,0 µS/cm como valores médios de condutividade em água de chuva armazenada em reservatórios de concreto armado. Segundo os autores, tais reservatórios foram construídos na década de 70, esta característica pode explicar os valores inferiores aos encontrados nas cisternas construídas mais recentemente no semiárido brasileiro.

Os resultados dos parâmetros cloretos, dureza total e sólidos dissolvidos totais (TDS) sempre estivem bem abaixo do valor máximo estabelecido na Portaria n° 2914/2011 do Ministério da Saúde, sendo respectivamente 250 mg Cl-/L, 500 mg CaCO3/L e 1000 mg/L. Neste trabalho foram obtidos valores médios de 7,6 mg Cl/L para cloretos, 45,6 mg CaCO3/L para dureza total e 97,0 mg/L para TDS. Em pesquisas relacionadas com a qualidade de água de chuva, outros autores observaram teores de cloretos igual a 1,9 mg Cl-/L, dureza total de 16,0 mg CaCO3/L (VIALLE *et al.*, 2007) e TDS igual a 270,2 mg/L (ABDULLA & AL-SHAREEF, 2009). Destes resultados confirma-se a interferência provocada pelo material do reservatório na qualidade da água de chuva, uma vez que Vialle *et al.* (2011) avaliaram a qualidade da água de chuva armazenada em tanques de polietileno de alta densidade (PEHD) numa vila rural no sudoeste da França, enquanto Abdulla & Al-Shareef (2009) estudaram águas de chuva armazenadas em 60 cisternas distribuídas nas cidades de Amman e Irbid (Jordânia) construídas em diversos materiais como alvenaria, cimento e concreto, exceto materiais plásticos. Nos reservatórios de PEHD foram observados resultados de cloretos e dureza inferiores aos encontrados no presente trabalho, havendo uma maior solubilização de partículas, como TDS, nos demais tipos de reservatórios.

Entre uma chuva e outra, normalmente, ocorre a deposição de sólidos em suspensão e restos de animais e plantas no telhado e nas calhas, sendo estes os principais responsáveis pela presença de cor e turbidez. Apesar disso, os valores mais altos de turbidez encontrados neste trabalho estiveram abaixo de 1,0 NTU, valor exigido pela legislação brasileira (BRASIL, 2011b) para ser observado em ETAs após processo de filtração. A média de cor aparente de todas as cisternas foi igual 6 mg Pt-Co/L, com valores que estiveram entre 1 e 28 mg PtCo/L. Vialle (2011) apresenta em seu trabalho 18 mg Pt-Co/L como sendo a média de cor observada em águas de chuva captadas através de telhados e armazenadas em tanques de PEHD. A legislação brasileira permite até 15 mg PtCo/L para as águas destinadas ao consumo humano, 8,1% das amostras estiveram acima deste valor.

Com relação aos exames microbiológicos, foi detectada presença de bactérias heterotróficas e coliformes totais em todos os pontos de coleta e em todo do período de monitoramento (5). A legislação brasileira não exige ausência destes parâmetros para classificar as águas como próprias para consumo humano em casos onde não é feito tratamento em estações convencionais. No entanto, recomenda-se atenção na frequente presença destes indicadores de qualidade, pois para bactérias heterotróficas a tolerância é de 500 CFU/mL. Em 46,6% das amostras analisadas, os valores foram superiores a este valor. A média observada para bactérias heterotróficas foi de 1031CFU/mL. Evans *et al.* (2006) apresentaram resultados entre 750 e 2000 CFU/mL para pesquisa realizada na área urbana da cidade de Newcastle (Austrália) mostrando a influência da direção do vento na presença de bactérias heterotróficas totais. Simmons *et al.*(2001) observaram valores médios de 570 CFU/mL em águas de chuva para abastecimento doméstico em 4 distritos rurais de Auckland (Nova Zelândia). As cisternas monitoradas no presente trabalho estão localizadas em áreas rurais, sendo esta uma característica importante para que a maior parte das amostras estivesse de acordo com os padrões de potabilidade do Ministério da Saúde.

Em relação às bactérias do grupo coliformes a principal preocupação sobre a qualidade da água de cisternas é a presença de *E.Coli*. Este grupo de bactérias foi encontrado em todos os pontos monitorados. 73,8% das amostras apresentaram resultados positivos para *E.Coli*, sendo a média de todas as cisternas igual de 287,5 CFU/100mL. Vialle *et al.* (2011) apresentam 148 UFC/100mL como valores médios de *E.Coli* em águas de chuva captadas de telhados e armazenadas em tanques de PEHD. Os autores citam que, na vila francesa onde a pesquisa foi realizada, a temperatura média varia entre 7,9 e 18,3 ˚C, podendo a diferença climática influenciar neste parâmetro, uma vez que no semiárido brasileiro tais temperaturas variam entre 23 e 27 ˚C (GAMA, 2007), temperaturas mais favoráveis ao desenvolvimento de enterobactérias.

Tabela 4. Média aritmética e desvio padrão dos principais parâmetros físico-químicos monitorados.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parâmetro | Cisterna / localidade | | | | | | |
| Caruaru | | | | Pesqueira | | |
| LC1 | LC2 | LC3 | LC4 | GB1 | CE1 | CE2 |
| Alcalinidade total  (mg CaCO3/L) | 50,3 ± 10,8 | 95,1 ± 37,1 | 53,8 ± 20,6 | 44,1 ± 15,1 | 38,9 ± 6,4 | 59,5 ± 12,5 | 48,6 ± 17,0 |
| Condutividade elétrica (µS/cm) | 118,8 ± 20,7 | 265,1 ± 102 | 147,0 ± 32,0 | 134,8 ± 43,9 | 75,6 ± 13,0 | 143,9 ± 47,6 | 92,8 ± 37,8 |
| Cor aparente (mg Pt-Co/L) | 8,3 ± 7,1 | 6,8 ± 5,2 | 7,1 ± 3,3 | 7,1 ± 4,0 | 2,3 ± 1,6 | 5,1 ± 3,4 | 5,9 ± 4,9 |
| Cloretos (mgCl-/L) | 7,0 ± 1,5 | 7,7 ± 1,4 | 9,3 ± 3,7 | 9,3 ± 6,2 | 5,9 ± 2,0 | 10,6 ± 4,7 | 5,9 ± 2,0 |
| Dureza total (mg CaCO3/L)1 | 46,6 ± 12,9 | 46,5 ± 7,1 | 51,1 ± 12,4 | 47,9 ± 13,4 | 32,9 ± 5,4 | 55,0 ± 11,2 | 39,3 ± 8,8 |
| Oxigênio dissolvido (mg O2/L) | 5,4 ± 1,1 | 5,8 ± 1,1 | 5,1 ± 0,9 | 5,3 ± 1,7 | 5,8 ± 1,3 | 6,1 ± 1,4 | 5,9 ± 1,5 |
| pH | 7,6 ± 0,3 | 8,1 ± 0,4 | 8,0 ± 0,9 | 8,0 ± 0,8 | 7,8 ± 0,4 | 8,0 ± 0,5 | 8,0 ± 0,5 |
| Sólidos dissolvidos totais2 (mg/L) | 88,8 ± 42,0 | 119,1 ± 31,1 | 130,2 ± 86,3 | 118,3 ± 82,0 | 63,8 ± 24,7 | 81,8 ± 28,9 | 68,6 ± 23,4 |
| Turbidez (NTU) | 0,8 ± 0,5 | 0,6 ± 0,3 | 0,6 ± 0,3 | 0,7 ± 0,7 | 0,4 ± 0,2 | 0,5 ± 0,3 | 0,6 ± 0,4 |

1O parâmetro dureza total começou a ser monitorado em abril de 2009.

2O parâmetro sólidos dissolvidos totais começou a ser monitorado em janeiro de 2010.

Tabela 5. Média aritmética e desvio padrão dos parâmetros microbiológicos monitorados.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Parâmetro | Cisterna / localidade | | | | | | |
| Caruaru | | | | Pesqueira | | |
| LC1 | LC2 | LC3 | LC4 | GB1 | CE1 | CE2 |
| Bactérias heterotróficas totais (102xCFU/100mL) | 14,0±19,8 | 13,1 ± 17,9 | 4,7 ± 9,3 | 3,9 ± 5,0 | 6,9 ± 9,3 | 6,2 ± 6,7 | 16,0 ± 15,0 |
| Coliformes totais (103xCFU/100mL) | 15,1±19,8 | 17,1 ± 15,0 | 12,0 ± 14,2 | 12,2 ± 14,5 | 5,6 ± 7,3 | 8,9 ± 11,6 | 13,9 ± 17,0 |
| *E.Coli* (102xCFU/100mL) | 2,0 ±3,8 | 1,9 ± 4,6 | 6,4 ± 17,9 | 9,4 ± 15,8 | 1,1 ± 2,5 | 1,1 ± 2,5 | 3,0 ± 6,6 |

Vale destacar que a cisterna GB1, dotada de dispositivo automático de desvio das primeiras águas de chuva, apresentou, em geral, menores valores de coliformes e menor variabilidade de todos os parâmetros (menores desvio padrão) (Tabelas 4 e 5). Esses resultados reforçam a importância, já relatada por outros autores (SOUZA *et al.*, 2011; LEE & BAK, 2012), em se realizar o descarte das primeiras águas, responsáveis pela lavagem da atmosfera e telhados. Adicionalmente, os resultados obtidos indicaram que a água de chuva armazenada nas cisternas rurais do semiárido pernambucano, monitoradas nesta pesquisa, atendeu ao padrão de potabilidade estabelecido pela legislação brasileira para cor e turbidez em pelo menos 92% do tempo de monitoramento e para *E.Coli* em apenas 26% do tempo de monitoramento.

Dentre os resultados bacteriológicos é importante destacar que em todas as cisternas sempre houve conformidade com os padrões aceitáveis pela legislação brasileira em alguns meses do ano, ou seja, ausência de *E.Coli* e valores de bactérias heterotróficas totais de até 500 UFC/mL, reforçando a proposta de que a água de chuva armazenada pode apresentar qualidade adequada para consumo humano.

Os menores níveis de contaminação foram observados ao final do período chuvoso, normalmente nos meses de julho ou agosto. Ao final do período seco os níveis de contaminação aumentam, principalmente quando ocorrem as primeiras precipitações que arrastam todas as impurezas para os reservatórios.

**7.2. Influência do volume desviado e intensidade pluviométrica**

Os resultados obtidos para cor aparente e turbidez são apresentados na Figura 3, e merece destaque os elevados teores de cor e turbidez da PS no ponto 2, que decorrem do fato de a instalação experimental estar situada no estacionamento da UFPE. Esses valores são 7,9 e 9,8 vezes superiores aos observados no interior de desvios na cidade de Pesqueira-PE (Souza *et al.*, 2011). Teores de turbidez entre 10 e 56 NTU foram observados por Villarreal & Dixon (2005) na água de chuva que lavou o telhado em Ringdansen, uma área residencial em Norrkoping, na Suécia. No presente trabalho observa-se ainda que o primeiro milímetro foi responsável pela maior parcela de redução da cor e turbidez da água que seria encaminhada à cisterna (pontos 2, após passar por telhado e calhas, e 3, após o 1º milímetro de precipitação, da Figura 3).

Valor

máximo

338

|  |  |
| --- | --- |
| 1 2 3 4 5 6  Número da amostra   1. Valores de cor aparente. | Número da amostra  1 2 3 4 5 6   1. Valores de turbidez. |

Figura 3. Resultados obtidos para PS ao longo do percurso, com avaliação da influência dos 4 primeiros milímetros de precipitação, para as intensidades de precipitação de 23 mm/h () e 46 mm/h (): (a) cor aparente e (b) turbidez. Numeração das amostras indicadas na Tabela 2.

As eficiências de redução de cor durante o descarte do primeiro milímetro foram iguais a 83,3% e 93,2%, respectivamente para as precipitações de 23 mm/h e 46 mm/h. Os valores correspondentes obtidos para turbidez foram 86% e 93,7%. O incremento proveniente do descarte dos demais milímetros (2º, 3º e 4º mm) foi pouco significativo em relação ao primeiro. Igualmente, não se observou influência significativa da intensidade de precipitação sobre a remoção de cor entre os milímetros descartados.

O comportamento observado para PS parâmetros microbiológicos (dados não apresentados) (coliformes totais e *E.Coli*) foi semelhante ao observado para cor e turbidez (Figura 3). A importância do 1º mm descartado é mais evidente para os parâmetros microbiológicos. A remoção de coliformes totais foi igual 98%, sendo importante observar que elevado teor foi desviado no primeiro milímetro. No entanto, para coliformes o desvio do 2º mm aumentou a eficiência para 99,3%, reduzindo os valores de 13.400 para 4.960 (NMP/100 mL), respectivamente após os 1o e 2o mm.

Para *E.Coli* o desempenho foi ainda melhor, não tendo sido detectada presença de microrganismos pertencentes a esse grupo após o desvio do 1º milímetro da PS, evidenciando a importância de se desviar o primeiro milímetro de precipitação. Lee & Bak (2012) avaliaram a influência do tipo de material do telhado sobre a qualidade da água de chuva escoada e detectaram baixo níveis de *E.Coli* para todos os materiais avaliados, sendo 14 UFC/100 mL para telhado de madeira, 18 UFC/100 mL para concreto, 8 UFC/100 mL para telha cerâmica e 4 UFC/100 mL para telha de aço galvanizado.

**7.3. Verificação da eficiência do dispositivo de desvio automático**

Nos dois experimentos realizados observa-se influência nos parâmetros provocada pelo desvio do primeiro milímetro de chuva. Em relação à turbidez (Figura 4) os valores obtidos após o desvio (ponto D), em ambos os experimentos, comparados com os valores obtidos no interior do desvio, ponto C, indicaram que o dispositivo de descarte foi eficiente em reter partículas em suspensão, com eficiência iguais a 62,4% e 49,6%, respectivamente para os anos 1 e 2. Observa-se ainda que em ambos os experimentos os valores encontrados nos pontos após o desvio e no interior da cisterna estão de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde Nº 2.914/2011 que limita a turbidez em 5 UNT na rede de distribuição. Comparando esses resultados com os obtidos para o experimento com PS (eficiência de remoção de turbidez igual a 93,7%), cabe ressaltar que é provável que as amostras coletadas no experimento com precipitação natural podem não ter sido coletadas imediatamente após o início da precipitação, o que pode ter causado tal diferença.

|  |
| --- |
|  |

Figura 4. Turbidez nos pontos de coleta dos experimentos dos anos 1 e 2, valendo a seguinte correspondência: A - água da chuva; B - antes do desvio; C - interior do desvio; D - após o desvio; E - água retirada utilizando a bomba da cisterna.

Os resultados obtidos para coliformes fecais e bactérias heterotróficas totais são apresentados na Figura 5a, e confirmam a importância do desvio das primeiras águas de chuvas como barreira sanitária na melhoria da qualidade da água armazenada em cisternas. Foi observada remoção de coliformes totais de 96,5% no ano 2 (do ponto B ao ponto D). Destaca-se o baixo teor de coliformes observado no ano 1, ponto B. É provável que a amostra tenha sido coletada após a água ter lavado o telhado e a atmosfera, estando as impurezas retidas no desvio. Quando a referência passa a ser bactérias heterotróficas, Figura 5b, a redução foi de 37,3% no ano 1 e 44,8% no ano 2, entre os pontos B e D. De forma semelhante ao observado com PS, não foi detectada *E.Coli* nas amostras após o desvio em ambos os anos de avaliação, o que reforça a funcionalidade do desvio com relação a esse parâmetro.

|  |  |
| --- | --- |
| Pontos de coleta   1. Valores de coliformes totais. | Pontos de coleta   1. Valores de bactérias heterotróficas. |

Figura 5. Resultados obtidos nos pontos de coleta dos experimentos do ano1 e 2, valendo a seguinte correspondência: A - água da chuva; B - antes do desvio; C - interior do desvio; D - após o desvio; E - água retirada utilizando a bomba da cisterna

Finalmente, destaca-se que o desvio do primeiro milímetro de chuva é extremamente importante para garantir o encaminhamento de água de boa qualidade às cisternas e promoveu a remoção de 93,2; 93,7; 98 e 100%, respectivamente de cor, turbidez, coliformes totais e *E.Coli*, quando se utilizou precipitação simulada. A avaliação do dispositivo de desvio desenvolvido neste trabalho e instalado em residência na cidade de Pesqueira-PE, indicou que os correspondentes valores para turbidez, coliformes totais e *E.Coli*, foram 62,4% e 96,5% e 100%. Esses dados comprovam a eficácia do dispositivo de desvio desenvolvido na presente pesquisa.

**8. Potencial para Replicabilidade**

O dispositivo desenvolvido, dada da disponibilidade do material de confecção em todo o território nacional e a facilidade de confecção, é facilmente reproduzível, em qualquer escala de interesse. O dispositivo pode ser incorporado aos programas de governo por meio de treinamento da comunidade para confecção (mesma metodologia de confecção de cisternas de placas), incorporado ao conjunto de cisternas de plástico entregues pelo governo, ou utilizado por instituições pulverizadas. Como instituição de ensino/pesquisa/extensão, os pesquisadores tem completo interesse em ver o dispositivo incorporado e o objetivo/missão plenamente atingidos.

**Referências bibliográficas**

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

ANDRADE NETO, C.O. Segurança Sanitária das Águas de Cisternas Rurais. IV Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Anais...Petrolina –PE, 2003.

ANDRADE NETO, C.O. Proteção Sanitária das Cisternas Rurais. XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Natal – RN, 2004.

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

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

ASA - Articulação no Semi-Árido Brasileiro. Programa de Formação e Mobilização para a convivência com o Semi-Árido Brasileiro: 1 Milhão de Cisternas Rurais. Recife - PE, 2002.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro. Brasília – DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 2914, de 12 dez. 2011; Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília – DF, 2011b.

CABRAL, J.J.S.P.; SANTOS, S.M. Capítulo 3 – Água Subterrânea no Nordeste Brasileiro. O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi-Áridas. Editora Universitária da UFPE, Recife, p. 65-104, 2007.

Dillaha, T. A.; W. J. Zolan. Rainwater catchment water quality in Micronesia. Water Research 19(6):741-746, 1985.

Evans, M. N.; Reichert, B. K.; Kaplan, A.; Anchukaitis, K. J.; Vaganov, E. A.; Hughes, M. K.; Cane M. A. A forward modeling approach to paleoclimatic interpretation of tree-ring data. Journal of Geophysical Research. v. 111, 2006.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/.

HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. Desalination, 248, 118–124, 2009.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Fornece dados referentes às precipitações no território nacional. Disponível em: http://www.inpe.br/.

KELMAN, G. “Revista AguaOnLine.” 2011. http://www.sosmatatlantica.org.br (acesso em 20 de Outubro de 2011).

LEE, J.Y.; BAK, G. Quality of roof-harvested rainwater e Comparison of different roofing

materials. Environmental Pollution,162, 422-429, 2012.

LIMA, J.C.A.L., ALVES, F.H.B., FIGUEIRAS, M.L., LUCENA, L.M., SANTOS, S.M., GAVAZZA, S. Dispositivos para a melhoria da qualidade da água armazenada em cisternas do semiárido pernambucano - Desenvolvimento tecnológico e avaliação de desempenho. In: XIV World Water Congress. Anais... Porto de Galinhas – PE, 2011.

LUCENA, R. M.; M.; MORAIS, M. A. J.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T. Study of the microbial diversity in a full-scale UASB reactor treating domestic wastewater. World J Microbiol Biotechnol, 27 (12), 2893-2902, 2011.

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

SOUZA, S.H.B., MONTENEGRO, S.G., SANTOS, S. M., GAVAZZA, S., NOBREGA, R.L.B. 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 (3), p. 81-93, 2011.

VILLARREAL, E.L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. Building and Environment, 40, 1174–1184, 2005.