

Avaliação da Qualidade da Água e da Eficácia de Barreiras Sanitárias em Sistemas para Aproveitamento de Águas de Chuva

Sérgio Henrique Braga de Souza, Suzana Maria Gico Lima Montenegro,
Sylvana Melo dos Santos, Sávaia Gavazza dos Santos Pessoa

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
sergiohenrique00@hotmail.com, suzanam@ufpe.br, sylvana@ufpe.br, savia@ufpe.br

Rodolfo L.B. Nóbrega

Universidade Federal de Campina Grande

Recebido: 10/03/10 - revisado: 03/08/10 - aceito: 20/07/11

RESUMO

O uso de cisternas para abastecimento de água das famílias que moram em regiões de escassez de recursos hídricos constitui uma importante forma alternativa para os moradores dessas localidades, uma vez que se trata de um sistema de captação e armazenamento que emprega dispositivos simples. Não havendo limitação de abastecimento em relação ao regime pluviométrico e capacidade de armazenamento da água de chuva, pode-se considerar que os problemas observados no uso de cisternas referem-se principalmente à qualidade da água, sendo o manejo e o desvio das primeiras águas os principais componentes de sua deterioração. Visando contribuir para a redução desse cenário, no presente trabalho foi avaliada a aplicabilidade de dispositivos de descarte automático das primeiras águas de chuva como barreiras sanitárias, por meio da investigação da qualidade da água encaminhada às cisternas. Os resultados obtidos indicaram que os dispositivos de descarte utilizados tiveram influência positiva em reduzir substancialmente a concentração de importantes parâmetros indicadores da qualidade da água, como turbidez, coliformes totais e bactérias heterotróficas totais, configurando-se como eficientes barreiras sanitárias para melhoria da qualidade da água encaminhada às cisternas. Além disso, verificou-se a influência do tempo de construção das cisternas e da época do ano, período chuvoso ou período de estiagem, na qualidade da água armazenada.

Palavras-chave: água de chuva, barreiras sanitárias, cisternas, semi-árido.

INTRODUÇÃO

A chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia por sua capacidade de produzir escoamento, e sua disponibilidade em uma bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de abastecimento de água para uso doméstico e de irrigação (Bertoni & Tucci, 2004).

No que se refere ao Nordeste Brasileiro, verifica-se ao longo do ano um período curto de 3 a 4 meses com precipitações pluviométricas e um período longo, geralmente chamado de estiagem, sem a ocorrência de eventos significativos de precipitação. A demanda de evaporação é elevada nessa região durante todo ano, caracterizando um clima semi-árido. Por esse motivo, é uma região muito carente em relação à distribuição de água.

Considerando ainda o baixo nível de atendimento por sistemas públicos de águas de abaste-

cimento, populações difusas, situadas principalmente no interior dos estados nordestinos, tem se servido de cisternas como forma de aproveitamento da água proveniente da baixa pluviosidade que se concentra em um curto período do ano.

Além das conhecidas dificuldades associadas à quantidade de água armazenada nas cisternas (baixos índices pluviométricos e área de captação), alguns estudos realizados no Semi-árido brasileiro (Amorim e Porto, 2003; Brito et al., 2005a) apontam também para problemas relacionados com a qualidade da água. De acordo com Amorim e Porto (2003), a atenção com a qualidade vai além do fornecimento de água de boa qualidade, pois, ao contrário de um sistema de água potável tradicional, onde é vedada a entrada de contaminantes, uma cisterna é um sistema “aberto”, cuja manutenção da qualidade é função da consciência e conhecimento prático sobre preservação da qualidade da água, dos consumidores. Embora, 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 (Brito et al., 2005b, Al-Salaymeh et al., 2011). Estudos realizados por Diniz et al. (1995, 2005), Ceballos et al. (1998) e Tavares (2009), na região rural da periferia da cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, evidenciaram elevada contaminação fecal das águas de pequenos barreiros, olhos d'água e açudes, usados para abastecimento humano sem tratamento prévio e usos domésticos em geral. Além disso, ao investigar hábitos de higiene de pessoas residentes no Nordeste brasileiro, Gomes et al. (2002) concluíram que a população estudada apresentou condições sanitárias muito pobres, bem como hábitos de higiene inadequados. De acordo com os autores, apenas 18% das casas têm água encanada e 46% têm banheiros; além disso, em 77% das residências criam-se porcos que estão frequentemente em contato com humanos. Estudos similares foram realizados por Al-Salaymeh et al. (2011), que monitoraram durante o período de dezembro de 2007 a abril de 2008 um total de 100 amostras de água coletadas de cisternas semanalmente, variando de 4 a 12 amostras por semana, na cidade de Hebron, na Palestina. Segundo os autores, os índices de contaminação fecal detectados na maioria das amostras coletadas indicam que o ambiente ao redor da cisterna, as práticas de manuseio da cisterna e a falta de conscientização dos proprietários sobre a necessidade de ações preventivas, para evitar a contaminação da água de chuva, são os principais fatores que contribuem para a contaminação da água de chuva armazenada nas cisternas.

Neste contexto de práticas inadequadas, carência de infra-estrutura e baixo nível de conhecimento, faz-se necessário investimento em desenvolvimento de barreiras sanitárias apropriadas à região e consciência ambiental por parte dos usuários. Dispositivos de descarte das primeiras águas das primeiras precipitações e a tomada de água por tubulação costumam ser muito eficientes na melhoria da qualidade da água armazenada (Andrade Neto, 2003). A importância desses desvios está no fato que, no início da estação das chuvas, quando há muita sujeira acumulada na superfície de captação, as águas da primeira chuva carregam a sujeira da superfície de captação e partículas em suspensão na atmosfera, e, por isso, nessas condições, não deve ser armazenada na cisterna. De acordo com Andrade Neto (2004), um dispositivo automático para desvio das primeiras águas de cada chuva é uma barreira física de proteção sanitária de cisternas de importância comparável à cobertura, tampa e tomada de

água por tubulação. Alguns pesquisadores têm se dedicado ao estudo da quantidade de água que é necessária ser desviada até a obtenção de valores aceitáveis de parâmetros físico-químicos, como Anecchini (2005) e Melo (2007). De acordo com Melo (2007), existe grande variação percentual da qualidade da água de chuva durante os primeiros 5 milímetros de precipitação, principalmente após o 1º milímetro. O autor ratifica que as primeiras águas da chuva realmente promovem a limpeza da atmosfera, e que a partir de certa quantidade da precipitação, a água se torna de excelente qualidade e com valores estáveis. Anecchini (2005) mostrou reduções significativas dos parâmetros analisados (condutividade elétrica, acidez, cloretos, sulfatos, nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito) do primeiro para o terceiro milímetro inicial de chuva. A autora analisou ainda outros parâmetros e concluiu que, para as análises realizadas nas caixas de descarte de primeiras águas e nas cisternas, o aumento do volume de descarte da primeira chuva, melhorou a qualidade da água que vai para a cisterna.

Assim sendo, este trabalho teve como objetivo investigar a eficácia de barreiras sanitárias em cisternas, tomando como base unidades piloto instaladas no semi-árido do nordeste brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida em duas etapas distintas: avaliação qualitativa da água armazenada em 6 (seis) cisternas localizadas no semi-árido pernambucano; e avaliação da eficácia de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva.

A qualidade da água das cisternas existentes foi monitorada com base em parâmetros físico-químicos e microbiológicos utilizando metodologias recomendadas pela APHA (1998). Para isso, foram selecionadas seis cisternas localizadas nos municípios de Caruaru e Pesqueira (localizados respectivamente a 135 e 209 km da cidade de Recife). Segundo Hargreaves (1974 apud Rodrigues et al., 2010), de acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo BSsh (extremamente quente, semiárido), quando a precipitação total anual média é de 730 mm. A precipitação média anual em Caruaru é de 694 mm, estando a estação chuvosa de março a agosto e a estação seca de setembro a fevereiro (Silva et al., 2010).

As cisternas de que trata esta pesquisa foram escolhidas mediante o uso de um dendograma (que é um meio de sumarizar um padrão de agrupamen-

to, começando com todos os indivíduos separados que são fundidos progressivamente em pares até chegar a uma única raiz). Para cada uma das análises de agrupamento realizadas foi construído o dendograma, que agrupou as cisternas em quatro subgrupos e foi elaborada uma tabela relacionando detalhadamente o número do questionário e o comportamento das variáveis consideradas: recebimento de água proveniente de carro-pipa, tempo de construção das cisternas, estado de conservação da cisterna e do telhado, realização de desvio (pela família) das primeiras águas de chuva, forma de retirada da água da cisterna, condições de higiene da família, localização da fossa séptica em relação à cisterna. Neste contexto, foram excluídas as cisternas que recebiam água de caminhão-pipa, e foram selecionados pares de cisternas com diferentes tempos de construção (antigas e novas), em famílias com boas e ruins condições de higiene da família e com a localização da fossa séptica ao lado da cisterna ou mais afastada.

As cisternas que tiveram a qualidade da água monitorada estavam localizadas nas comunidades de Pé de Serra (PS1) e Lajedo do Cedro (LC1 e LC2), em Caruaru-PE, e Guaribas (GB1) e Sítio de Canela de Ema (CE1 e CE2), em Pesqueira-PE.

No período de 1 ano (1 ciclo – chuva + estiagem) foram realizadas doze coletas (frequência mensal) em cada cisterna, sendo que em seis delas foram realizadas análises de série curta (pH, condutividade, oxigênio dissolvido - OD, temperatura, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, salinidade, alcalinidade, cloretos, coliformes totais, *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas totais) e nas outras seis coletas análises de série completa (série curta acrescida das análises de salmonella, metais - Al, Pb, Fe, Zn, Mg, Mn - Demanda Química de Oxigênio - DQO, Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e nitrogênio, nas formas de $N-NO_3^-$, $N-NO_2^-$).

A contagem de bactérias heterotróficas totais foi realizada pelo método pour plate. O meio utilizado foi o ágar nutriente para contagem em placas, incubadas em estufa bacteriológica com temperatura de 35°C, por 48 horas. Após o tempo de incubação foi utilizado um contador manual de colônias para a contagem das Unidades Formadoras de Colônias (UFC). Coliformes totais e *Escherichia coli* foram quantificados com o uso da técnica de colilert®.

Para coleta, foram utilizados recipientes esterilizados em autoclave a 120°C e 1 atm por 15 minutos. A coleta foi realizada utilizando-se o mesmo procedimento que os moradores da comunidade utilizam para retirar a água das cisternas. Cinco

famílias retiram água das cisternas por meio de balde (PS1, LC1, LC2, CE1 e CE2) e apenas uma família retira água por meio de bomba manual (GB1). Essas amostras foram acondicionadas em caixas térmicas, e remetidas ao Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da UFPE para análise.

Para avaliação da eficácia de dispositivos de desvio automático das primeiras águas de chuva, foram definidos dois locais para instalação dos sistemas de captação e armazenamento de águas de chuva aqui avaliados. Um sistema foi instalado em uma escola rural e o outro em uma vila de casas conjugadas, ambos na localidade de Sítio Canela de Ema, município de Pesqueira, estado de Pernambuco.

Os locais fazem parte da região agreste (Figura 1), no semi-árido pernambucano. Pesqueira (Figura 2) possui uma área de 1.000 km², dista aproximadamente 215 km da capital do estado, Recife, e tem população de 64.454 habitantes (IBGE, 2009), enquanto Caruaru (Figura 2) possui uma área de 921 km², dista cerca de 135 km de Recife, e tem população de 298.501 habitantes (IBGE, 2009).

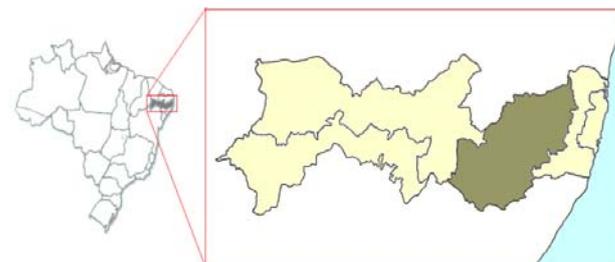


Figura 1 – Mapa do estado de Pernambuco com destaque para região agreste. Fonte: adaptado de Wikipédia (2008).

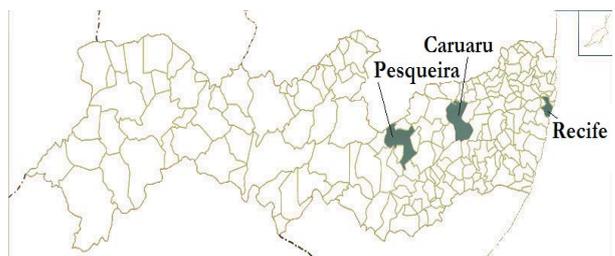


Figura 2 – Mapa do estado de Pernambuco com destaque para os municípios de Caruaru, Pesqueira e Recife.

Cada sistema possuía duas cisternas, sendo uma dotada de dispositivo de descarte das primeiras águas de cada precipitação e a outra não. Desta forma foi possível analisar a influência do dispositivo em manter ou melhorar a qualidade da água no

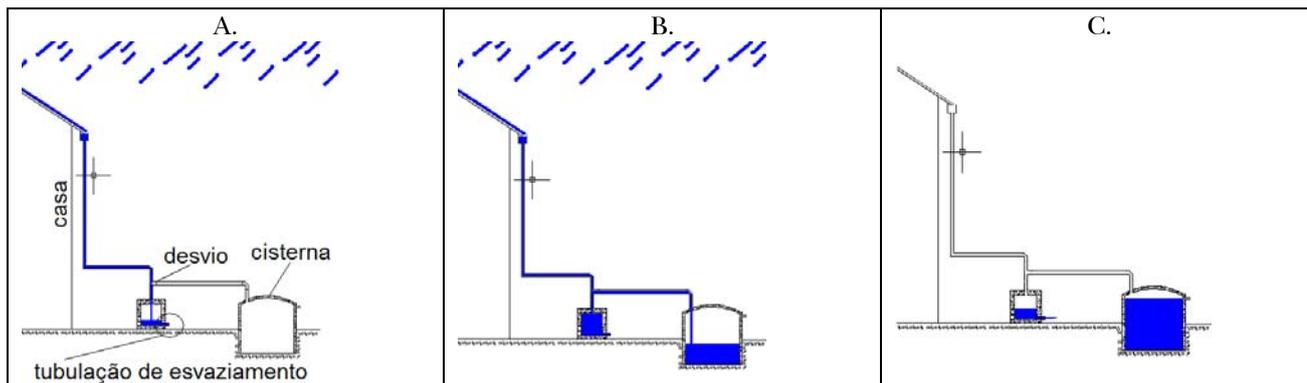


Figura 3 – Esquema do dispositivo de descarte das primeiras águas de chuva: princípio do fecho hídrico: A. início da chuva; B. enchimento da cisterna; C. cessada a chuva.

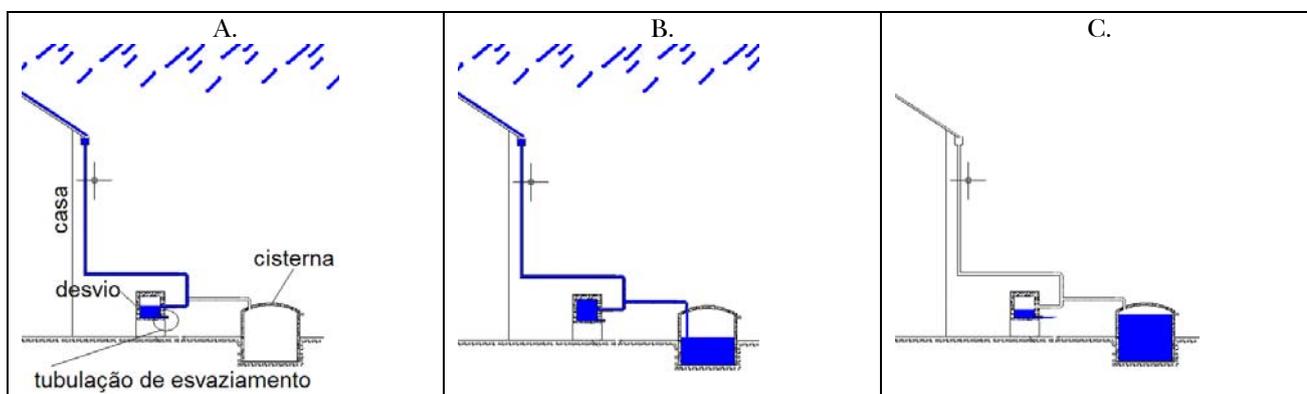


Figura 4 – Esquema do dispositivo de descarte das primeiras águas de chuva: princípio dos vasos comunicantes: A. início da chuva; B. enchimento da cisterna; C. cessada a chuva.



Figura 5 – Dispositivos de tomada de água: A. escola rural; B. vila de casas conjugadas. Fotos ilustrativas de ambos os dispositivos instalados em campo são apresentadas nas Figuras 5^a (Escola Municipal - vasos comunicantes) e 5B (vila de casas conjugadas - fecho hídrico).

interior da cisterna por meio da comparação das cisternas com dispositivos de descarte das primeiras águas e das cisternas sem o dispositivo. De acordo com Andrade Neto (2004), o desvio de descarte é apenas um pequeno tanque para o qual são desviadas automaticamente as primeiras águas de cada chuva, simplesmente através de um desvio intercalado na tubulação de entrada da cisterna, que deriva para esse pequeno tanque as águas de lavagem da superfície de captação.

Foram analisados dois tipos de dispositivos de desvio de descarte das primeiras águas, que diferem entre si pelo princípio físico de funcionamento a partir do qual a água captada no telhado segue para a cisterna, sendo que um deles tem seu funcionamento fundamentado no princípio do fecho hídrico (Figura 3) e o outro no princípio dos vasos comunicantes (Figura 4). Em ambos os desvios, à medida que o telhado é lavado, processa-se o acúmulo de água no tanque (Figuras 3A e 4A) e só após este estar completamente cheio, é que a água vai para a cisterna (Figuras 3B e 4B). É fundamental que depois de cada evento de chuva, o tanque de desvio seja esvaziado, através de uma tubulação de descarga (Figura 3C e 4C), a qual deve ser novamente fechada permitindo o funcionamento do dispositivo para o desvio automático das primeiras águas do próximo evento de chuva.

Para avaliar o funcionamento dos dispositivos de desvio sem influências externas (condições ideais) foi realizada uma simulação de chuvas. Antes do início do experimento de simulação de chuvas, o sistema de transporte de água (calhas e sistemas de desvio) foram lavados com água de abastecimento público e sabão neutro. Estudos realizados por Rodrigues et al. (2010) com uma série de totais mensais de precipitação que abrange os anos de 1961 a 2009, indicam que os meses menos chuvosos em Pesqueira são setembro, outubro e novembro, com valores acumulados mensais máximos da ordem de 40 mm e médios em torno de 20 mm. O experimento para avaliação do funcionamento dos dispositivos foi realizado em dezembro de 2008, em que a precipitação acumulada de outubro a dezembro desse ano foi de 12,23 mm (dados do INPE), ou seja, correspondeu a um período de aproximadamente 3 meses sem ocorrência de chuva na região.

Visando identificar, principalmente, as características de manejo, foram selecionados dois tipos de usuários com tipologias de telhado distintas: uma agrovila e uma escola rural. Em ambos os casos os usuários dos sistemas foram consultados sobre as intervenções previstas, tendo concordado com as ações planejadas de adaptação dos sistemas de cap-

tação e armazenamento, de construção dos dispositivos, de realização de visitas e de participação em encontros com a equipe de realização da pesquisa.

Nos dois casos, da agrovila e da escola rural, foi necessária a instalação de sistemas de captação com calhas, tubulações e conexões em PVC, em substituição aos sistemas já instalados, mas em condições precárias de conservação. Os dispositivos de descarte das primeiras águas de cada precipitação foram dimensionados visando descartar de 1 a 2 mm de cada precipitação, com base em resultados obtidos de pesquisas anteriores (Andrade Neto, 2004; Anecchini, 2005; Melo, 2007). Por facilidade de construção optou-se por dispositivos cúbicos com dimensões de 0,50 m de largura por 0,50 m de comprimento, 0,45 m de altura e capacidade para armazenar 0,11 m³ de água de chuvas, que corresponde ao primeiro milímetro de precipitação.

Para investigação dos dispositivos de desvio, simulou-se uma precipitação superior a 5 mm (quantidade suficiente para circular em todo o sistema captação-descarte-armazenamento), visando coletar a água no sistema em pontos específicos de investigação, passíveis de contaminação, e analisar a água coletada. Foram utilizados cerca de 493 L de água na escola rural e cerca de 450 L na vila de casas conjugadas, transportados por meio de caminhões-pipa. Essa água foi bombeada aos telhados da escola rural e da vila de casa conjugadas por meio de uma mangueira de ½ polegada de diâmetro com furos de 2 mm, espaçados em 5 cm. A mangueira foi colocada sobre o telhado, ao longo do comprimento, com vistas a garantir a uniformidade do escoamento e assim simular a precipitação. Esta mangueira foi conectada a uma bomba elétrica, que, por sua vez estava ligada ao caminhão pipa. O experimento foi de simulação foi realizado primeiro na escola rural e três dias depois na vila de casas.

Enquanto a água passava por todo o sistema foram retiradas amostras de água dos locais de investigação: água do caminhão pipa (A), do interior dos dispositivos de descarte das primeiras águas (B) e logo após o dispositivo (C) (Figura 6). A eficácia do sistema é avaliada por meio da verificação da influência do descarte das primeiras águas, as quais retem impurezas, evitando que estas alcancem o interior das cisternas durante o primeiro milímetro de cada precipitação, situação em que a água se encontra com grande quantidade de sujeira (Andrade Neto, 2003).

Foram analisados os seguintes parâmetros de qualidade de água para as amostras coletadas: coliformes totais e termotolerantes, bactérias heterotróficas totais, cloro residual, turbidez, alcalinidade,

sólidos dissolvidos totais, cor aparente, ferro, pH e alumínio. As análises foram realizadas, em triplicata, de acordo com APHA (2005).



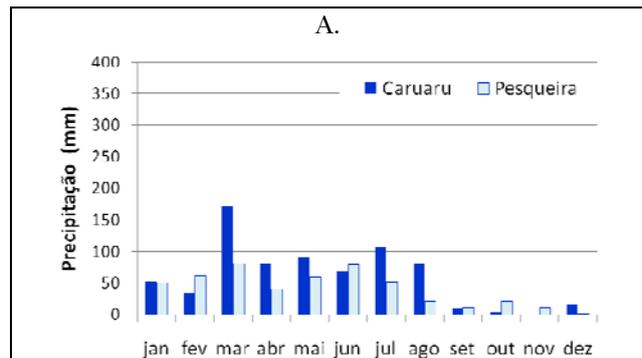
Figura 6 – Esquema de coleta de amostras de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação da qualidade da água armazenada em cisternas

Os resultados obtidos indicaram que o tempo de construção das cisternas teve influência sobre a qualidade físico-química da água armazenada nas mesmas. Os maiores valores de pH e de alcalinidade foram observados nas águas provenientes das cisternas com construção recente (PS1 e LC2, com 2 anos e 1 ano de construídas, respectivamente). O mesmo aconteceu com os resultados de alcalinidade obtidos por Tavares (2009) ao analisar a qualidade da água em cisternas da Paraíba, e com os resultados de pH obtidos por Silva (2006) ao avaliar a qualidade da água de chuva destinada ao consumo humano, armazenada em cisternas de placas, no município de Araçuaí, região semi-árida mineira. O pH esteve entre 8,4 e 8,7 e a alcalinidade entre 191,67 e 310,79 mg CaCO₃/L em ambas as cisternas, enquanto que nas demais o pH esteve em torno de 7,2 e a alcalinidade foi sempre inferior a 200 mg CaCO₃/L, que é o principal parâmetro que reflete tal influência. O único metal encontrado nas cisternas foi o alumínio, com os maiores teores observados nas cisternas com construção mais recente (média de 0,6 mg/L para LC 2 e 0,2 mg/L para PS1). No entanto, em concentrações aceitáveis para consumo humano. Essas concentrações, aceitáveis para consumo humano, ainda devem ser provenientes da dissolução de compostos presentes nos materiais (cimento) utilizados na construção das cisternas.

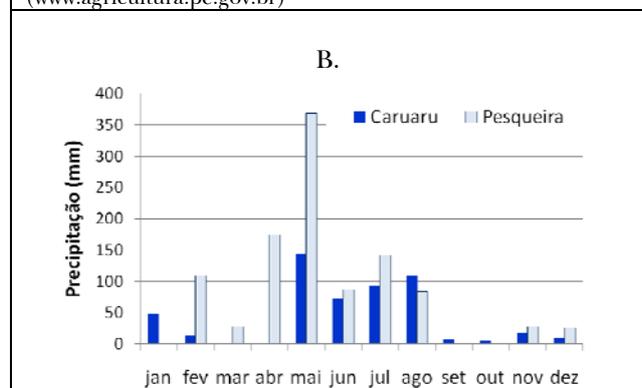
Este monitoramento da análise da qualidade da água armazenada nas cisternas foi realizado de janeiro de 2008 a dezembro de 2009, com períodos de chuva e períodos de estiagem (Figuras 7a e 7b). Apesar do valor máximo de precipitação acumulada mensal, neste período, ter sido da ordem de 370 mm, no mês de maio de 2009, os demais valores mensais acumulados não superaram o limite de 175 mm, sendo que nos meses de setembro a dezembro esses valores ficaram abaixo de 30 mm.



Fontes dos dados:

Caruaru – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (www.inpe.br);

Pesqueira – Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária (www.agricultura.pe.gov.br)



Fontes dos dados:

Caruaru – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (www.inpe.br);
Pesqueira – Instituto Agronômico de Pernambuco (www.ipa.br)

Figura 7 – Valores acumulados mensais de precipitação nos municípios de Caruaru e de Pesqueira, em Pernambuco: A. no ano de 2008; B. no ano de 2009.

Em relação à influência da época do ano sobre a qualidade da água das cisternas, foi observada redução entre os períodos de estiagem e de chu-

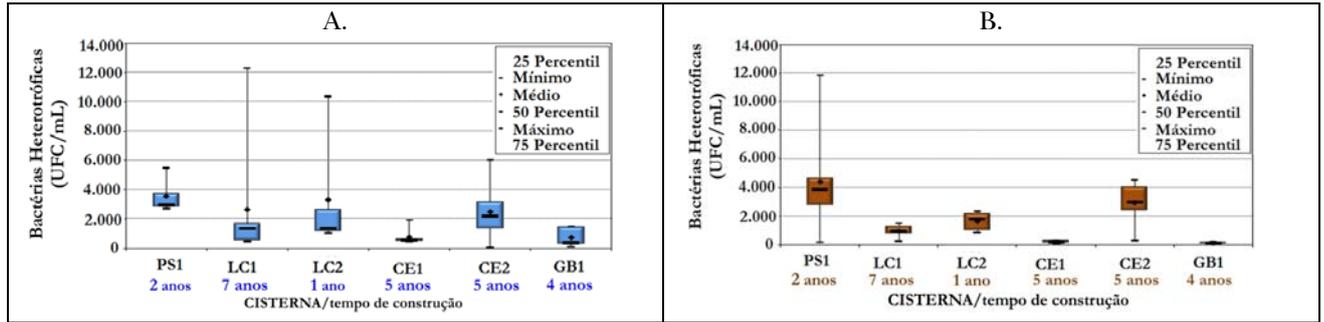


Figura 8 – Bactérias Heterotróficas (UFC/mL): A. no período chuvoso; B. no período de estiagem.

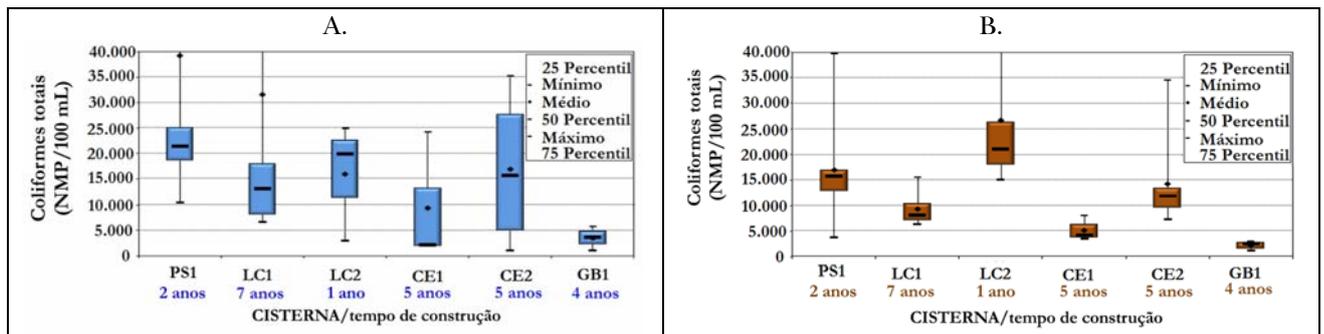


Figura 9 – Bactérias do grupo coliformes totais (NMP/100mL): A. no período chuvoso; B. no período de estiagem.

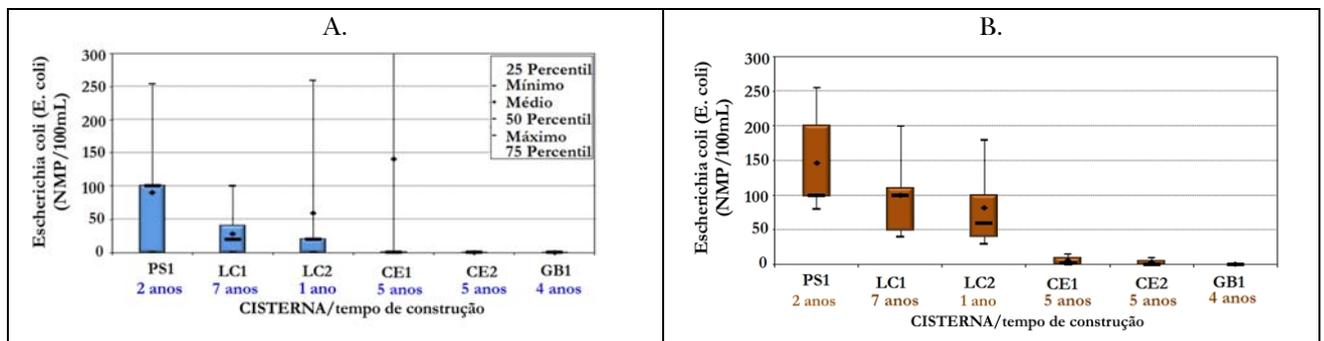


Figura 10 – Escherichia coli (E. coli) (NMP/100mL): A. no período chuvoso; B. no período de estiagem.

va, proveniente de efeito de diluição, apenas nos parâmetros pH e alcalinidade. Não foram observadas influências sobre parâmetros como OD, cor, turbidez e, principalmente, microrganismos patogênicos.

Os teores de cloretos estiveram bem abaixo do estabelecido pelo padrão de potabilidade (de 250 mg/L, conforme Portaria nº 518/05 do MS), com valores inferiores a 18,98 mg/L em todas as cisternas avaliadas. Todas as cisternas apresentaram teores de OD superiores a 6 mg/L na maior parte

do tempo. No entanto, a cisterna LC1 apresentou teor de OD entre 4,8 e 5,95 mg/L durante o período avaliado. Nesse período o valor médio de coliformes totais foi igual a 12.061 NMP/100 mL para essa cisterna, com exceção de uma única coleta em período chuvoso, quando foi atingida a concentração de 111.990 NMP/100 mL. A presença mais marcante desses microrganismos nessa cisterna pode ter influenciando o teor de OD.

A cor aparente, cor verdadeira e turbidez estiveram sempre abaixo dos valores máximos permi-

tidos pela legislação na maior parte do tempo em todas as cisternas. Os maiores valores de turbidez observados estiveram em torno de 1,6 UT.

Os resultados dos exames bacteriológicos indicaram a presença de bactérias heterótrofas totais (Figura 8), bactérias do grupo coliformes totais (Figura 9) e *Escherichia coli* (*E. coli*) (Figura 10) em todas as amostras de todas as cisternas, com exceção de uma única (GB1) que não apresentou *E. coli*. Foram detectadas concentrações de coliformes de até 120.330 NMP/100 mL na cisterna PS1.

De forma geral, os resultados relativos à cisterna GB1, única cuja água é retirada por meio de bomba, apresentaram menor variabilidade que os demais, não tendo sido verificada influência aparente em relação à época do ano. Essa cisterna apresentou água com qualidade compatível com o padrão de potabilidade para todos os parâmetros, exceto coliformes, em 100% das amostras analisadas. Ressalta-se que, apesar de ter sido detectada a presença de coliformes nessa cisterna, os valores foram inferiores aos observados nas demais cisternas (Figura 9). A ausência de *E. coli* nessa cisterna caracteriza que não houve contaminação por animais de sangue quente. Isso indica que o uso de bomba como instrumento auxiliar de retirada de água da cisterna pode se configurar como efetiva barreira sanitária à contaminação da água e, conseqüentemente, à proteção da saúde dos seus consumidores. Contudo, há que se considerar que o universo amostral foi limitado e que tal constatação deve ser considerada, mas não generalizada.

Os resultados de qualidade das águas armazenadas nas cisternas indicaram haver contaminação significativa da água e, portanto, a necessidade de avaliação de dispositivos automáticos de desvios que possam melhorar a qualidade da água que é encaminhada às cisternas.

Em relação ao experimento realizado para investigação dos dispositivos de desvio ensaiados, a primeira observação que merece destaque se refere ao fato de que a água utilizada no experimento de simulação de chuvas, apesar de ter sido adquirida dentro do padrão de potabilidade Portaria nº 518/05 do MS), foi transportada por meio de caminhões-pipa disponíveis na região.

Esse fato deve ter comprometido a qualidade da água por meio de mistura da água potável com resíduos já presentes no caminhão, fazendo com que uma água fora dos padrões fosse utilizada no experimento de simulação. Por esse motivo, não será feita nenhuma alusão comparativa da água encaminhada à cisterna com o padrão de potabilidade da água.

Avaliação da eficácia dos sistemas de desvio

Os teores de ferro e alumínio encontrados na água que passou por ambos os sistemas de captação (escola e vila) foram iguais a 2 mg/L e 0,5 mg/L, respectivamente, e não sofreram alterações ao longo do percurso da água, não tendo sido observada contaminação da água por esses compostos, como relatado por alguns autores (Jaques et al., 2005).

A água utilizada nos experimentos possuía um teor de oxigênio dissolvido de 6,6 mg/L (escola) e 6,1 mg/L (vila) (situação em A, Figura 11). Estes teores diminuíram após o contato com o telhado, caindo para 5,75 mg/L (escola) e 5,65 mg/L (vila) (situação em B, Figura 11).

Provavelmente, tais mudanças na quantidade de oxigênio dissolvido podem ter sido resultantes da própria movimentação da água ao circular pelo sistema de captação, bem como estar relacionadas aos aumentos de turbidez e bactérias heterotróficas totais, observados após a lavagem do telhado (Figuras 12 e 15).

Ambos os tipos de dispositivos de desvio avaliados tiveram influência positiva sobre a remoção de turbidez (Figura 12).

O material em suspensão que foi lavado da atmosfera e de ambos os telhados elevou a turbidez (Figura 12) de 17,64 UT para 58,69 UT na escola e de 21,53 UT para 65,79 UT na vila de casas conjugadas, em função do material que ficou retido no interior dos desvios (situação em B – Figura 12). Isso indica que, na ausência de desvio, água com essa qualidade seria encaminhada às cisternas.

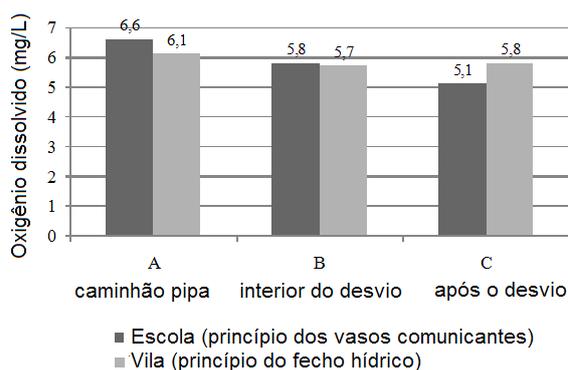


Figura 11 – Teores de oxigênio dissolvido (mg/L) na água ao longo do percurso.

Contudo, o dispositivo instalado na vila de casas conjugadas, que é baseado no princípio do fecho hídrico, foi mais eficiente em reter as impure-

zas, pois a turbidez foi reduzida em 79%, de 65,79 UT para 14,03 UT, o que significa que todo o material em suspensão lavado ficou retido no desvio. Já o dispositivo instalado na escola rural, que é baseado no princípio dos vasos comunicantes, também reduziu a turbidez, porém com menor eficiência, de 58,70 UT para 45,30 UT (redução de 23%). Esse resultado caracteriza muito bem o papel do dispositivo de desvio de permitir que a água que chega à cisterna seja isenta da influência do percurso.

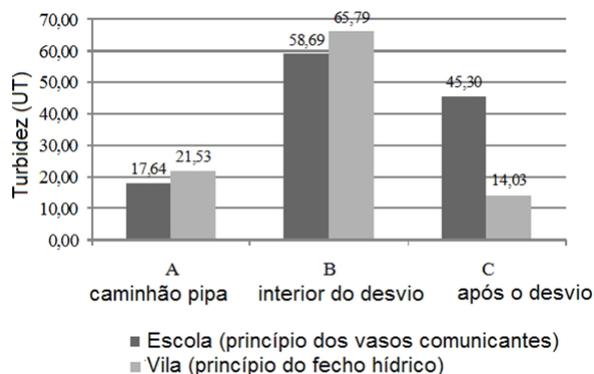


Figura 12 – Turbidez da água (UT) ao longo do percurso.

Destaca-se a importância da redução da turbidez da água que é encaminhada às cisternas, proporcionada pelos dispositivos de desvio, uma vez que quanto menor a quantidade de material em suspensão na água, melhor será a eficácia dos sistemas de desinfecção. Isso implica, no caso do uso de cloração, na redução da quantidade do produto químico utilizado.

Em relação aos sólidos dissolvidos totais, observa-se que houve um pequeno aumento no seu teor após a água passar pelo sistema de captação dos modelos piloto (situação em B, Figura 13). Esse aumento pode ter sido ocasionado pela dissolução de partículas presentes no telhado e nas calhas durante o transporte dessas substâncias para o interior do desvio (situação em B, Figura 12).

Mais uma vez o desvio instalado na vila de casas conjugadas, baseado no princípio do fecho hídrico, foi eficiente em reduzir a quantidade de sólidos dissolvidos, de 43,60 mg/L para 36,90 mg/L (redução de 15%). Já no desvio da escola rural houve aumento no teor de sólidos dissolvidos de 53,80 mg/L para 65,20 mg/L (21%) (situação em C, Figura 13). Apesar da limpeza feita no sistema de transporte de água, é possível que tenha havido alguma dissolução de material que porventura não foi re-

movido da tubulação de saída da água do dispositivo de desvio.

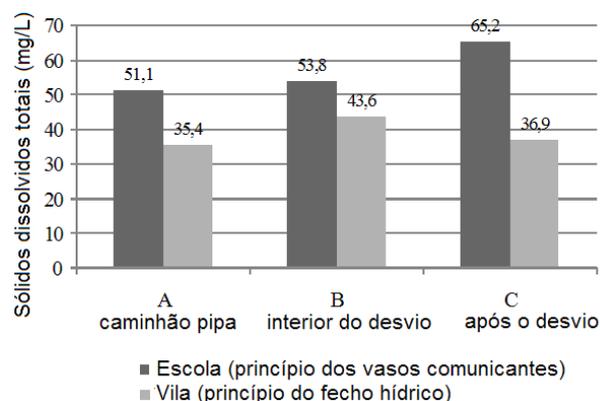


Figura 13 – Valores obtidos de sólidos dissolvidos totais (mg/L)

Exames bacteriológicos

Não foi detectada a presença de *Escherichia coli* (*E. coli*) em nenhuma das amostras analisadas, o que evidencia que a presença de *E. coli* em cisternas, citada em outros trabalhos (Silva, 2007; Brito et al., 2005a; May, 2004), provavelmente está relacionada ao manuseio inadequado da água pelos usuários das cisternas.

Os resultados das análises de coliformes totais estão apresentados na Figura 14.

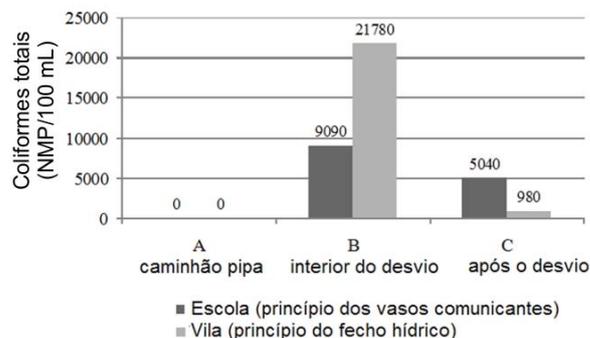


Figura 14 – Valores obtidos de coliformes totais (NMP/100 mL) ao longo do percurso.

Como se pode observar, a água fornecida para a realização do experimento estava isenta de coliformes totais (situação em A - Figura 14). Porém, ao passar pelo telhado e calhas, se observou contaminação dessa água por coliformes totais, passando, então, de zero para 9.090 NMP/100 mL, na escola

rural, e para 21.780 NMP/100 mL, na vila de casas conjugadas. Isso indica que houve contaminação da água por esse grupo de microrganismos ao passar pelo telhado e calhas.

Mais uma vez, o dispositivo de descarte das primeiras águas teve seu principal papel configurado, quando proporcionou redução de coliformes de 21.780 NMP/100 mL para 980 NMP/100 mL (redução de 95,50%) no caso do desvio de fecho hídrico (vila) e de 9.090 para 5.040 (redução de 44,55%) para o desvio dos vasos comunicantes (escola rural).

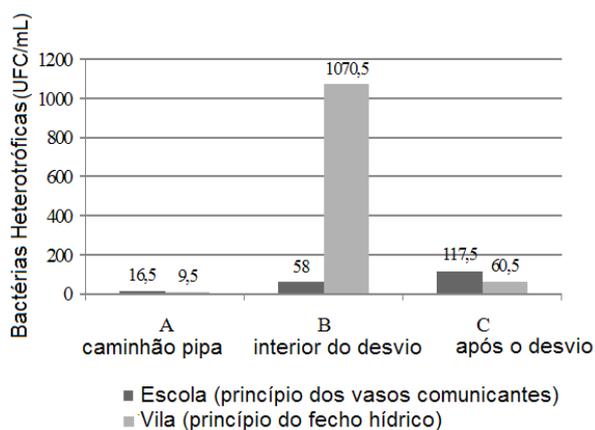


Figura 15 – Valores obtidos de bactérias heterotróficas (UFC/mL) ao longo do percurso.

Resultado semelhante foi observado para bactérias heterotróficas totais, uma vez que no interior dos dispositivos de descarte das primeiras águas houve um aumento do número de bactérias heterotróficas de 16,5 UFC/mL para 58 UFC/mL na escola rural e de 9,5 UFC/mL para 1.070,5 UFC/mL na vila de casas conjugadas, indicando que houve contaminação por bactérias heterotróficas após a água entrar em contato com o telhado e passar pelas calhas (situações em A e B – Figura 15). Como se pôde observar, uma vez mais, o dispositivo com o princípio do fecho hídrico (vila de casas) foi eficiente, reduzindo o número de bactérias de 1.070,5 UFC/mL para 60,5 UFC/mL (94,39%).

Os resultados obtidos não comprovam, porém, a eficácia do dispositivo de descarte das primeiras águas instalado na escola. Após o mesmo, a quantidade de unidades formadoras de colônia aumentou de 58 para 117 UFC/mL, indicando, desta forma, a necessidade de realização de estudos adicionais sobre esse dispositivo que é fundamentado no princípio dos vasos comunicantes. Dois pon-

tos merecem destaque: a quantidade de bactérias conduzidas para o interior do desvio de fecho hídrico foi substancialmente superior (1070,5 UFC/mL) ao encaminhado ao desvio de vasos comunicantes (58 UFC/mL), o que dificulta a comparação entre os tipos de desvio; e houve um aumento no número de bactérias entre as situações em B e C da escola, que pode estar associado ao aumento dos sólidos dissolvidos totais (Figura 13), novamente indicando que é possível que houvesse alguma impureza na tubulação de encaminhamento da água à cisterna, apesar da limpeza realizada.

Os resultados obtidos evidenciam a importância do uso de dispositivos de desvio das primeiras águas de chuva, uma vez que, independente do princípio de funcionamento, ambos os modelos avaliados no presente trabalho foram eficazes em reduzir a quantidade de impurezas encaminhadas às cisternas, principalmente turbidez, coliformes totais e bactérias heterotróficas totais. Esses parâmetros merecem destaque por estarem intrinsecamente relacionados com o processo de desinfecção da água. Destaca-se ainda a importância da adequada operação dos dispositivos de desvios para que seu papel seja desempenhado conforme esperado. Após Recomenda-se que a cada evento de chuvas, o mesmo deve ser esvaziado para que possa lavar o primeiro milímetro da próxima chuva. No entanto, devem ser conduzidos estudos que permitam estabelecer qual o intervalo entre chuvas que pode ser tolerado sem esvaziamento do dispositivo de desvio. De forma semelhante, o uso do desvio não isenta os usuários de realizarem o manejo adequado da água armazenada nas cisternas, por meio do uso de bombas, que também se configura como barreira sanitária adicional.

CONCLUSÕES

Em relação à qualidade da água armazenada nas cisternas existentes, quanto aos aspectos físico-químicos, observa-se que todas as variáveis analisadas atendem aos padrões de qualidade exigidos pela Portaria nº 518/05 do MS (Brasil, 2004), exceto OD, em algumas cisternas. A qualidade microbiológica da água armazenada em todas as cisternas avaliadas não atendeu ao padrão de potabilidade (portaria 518/04 do MS, 13) para consumo humano, apenas uma atendeu a norma em relação à *Escherichia coli*, porém não atendendo para os demais padrões microbiológicos analisados.

Considera-se que a metodologia utilizada nos experimentos de simulação de chuvas foi adequada para a realização de experimentos em época de estiagem, uma vez que permitiram que importantes observações sobre os tipos de dispositivos fossem obtidos. Porém, o sistema de aplicação de água nos telhados pode ser melhorado.

O dispositivo de descarte das primeiras águas, instalado na vila de casas conjugadas, que é fundamentado no princípio do fecho hídrico, foi mais eficiente do que o dispositivo com princípio de vasos comunicantes em reduzir as concentrações dos parâmetros encaminhados às cisternas, tanto do ponto de vista físico-químico, quanto bacteriológico.

Os principais parâmetros que sofreram influência dos dispositivos de desvio foram turbidez, coliformes totais e bactérias heterotróficas totais, com reduções de 79%, 95,5% e 94,39%, respectivamente, para o dispositivo com o princípio de fecho hídrico. Para o desvio com princípio de vasos comunicantes foram observadas reduções de 23% e 44% para turbidez e coliformes, respectivamente, não tendo sido possível obter dados conclusivos quanto à remoção de bactérias heterotróficas totais. A redução desses parâmetros é importante, pois tende a reduzir também o consumo de produtos químicos com a desinfecção por cloração, bem como melhorar a eficiência da desinfecção solar. Esses resultados comprovam a eficácia dos dispositivos de desvios, confirmando os benefícios de seu uso, desde que a operação dos mesmos seja adequada, o que se reflete em esvaziá-lo ao final de cada evento de chuvas.

Para os demais parâmetros analisados (oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, alumínio e ferro) não se observou influência dos dispositivos automáticos de desvio.

Não houve contaminação por E. coli em nenhuma parte dos sistemas. Isso reforça, portanto, a hipótese de que a contaminação por E. coli em cisternas, provavelmente, é proveniente do manejo inadequado por parte dos usuários.

Os resultados obtidos indicaram ainda que o tempo de construção das cisternas teve influência sobre a qualidade físico-química da água armazenada nas mesmas.

Em relação à influência da época do ano sobre a qualidade da água das cisternas, foi observada redução entre a época de estiagem e de chuva, proveniente de efeito de diluição, apenas nos parâmetros pH e alcalinidade. Por outro lado, não foi observada influência sobre parâmetros como OD, cor, turbidez e, principalmente, microrganismos patogênicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq/CT-Hidro pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor e ao CNPq e FINEP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- AL-SALAYMEH, A.; AL-KHATIB, I.A.; ARAFAT, H.A. (2011) *Towards Sustainable Water Quality: Management of Rainwater Harvesting Cisterns in Southern Palestine*. In: Water Resources Management, 25:1721-1736.
- AMORIM, M.C.C.; PORTO, E.R. (2003) *Considerações sobre controle e vigilância da qualidade de água de cisternas e seus tratamentos*. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2003, Juazeiro. CD Rom.
- ANDRADE NETO, C.O. (2003) *Segurança sanitária das cisternas rurais*. In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, ABCMAC. Petrolina, 2003. CD Rom.
- ANDRADE NETO, C.O. (2004) *Proteção Sanitária das Cisternas Rurais*. In: XI SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio Grande do Norte, 2004. CD Rom.
- ANNECCHINI, K.P.V. (2005) *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.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1998) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, 20th ed., 1998.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. (2004) *Precipitação*. In: Bertoni, J. C. & Tucci C. E. M. Hidrologia – Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. Cap. 5. P.177-241.
- BRASIL (2004). MINISTÉRIO DA SAÚDE – *Portaria Nº 518, 25 de março de 2004*. Disponível em <http://www.dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso em: 29 de Maio de 2008.
- BRITO, L.T.L.; PORTO, E.R.; SILVA, A.S. (2005a) *Análise da qualidade das águas de cisternas em cinco municípios do Semi-Árido Brasileiro*. In: Anais do III Congresso Brasileiro de Agroecologia, Florianópolis: A sociedade construindo conhecimentos para vida, 2005, Florianópolis. CD-Rom.

- BRITO, L.; PORTO, E.; SILVA, A.; SILVA, M.; HERMES, L.; MARTINS, S. S. (2005b) *Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas das cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE*. In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, ABCMAC. Teresina, 2005, CD Rom.
- CEBALLOS, B.S.O.; KÖNIG, A.; OLIVEIRA, J. (1998) *Dam reservoir eutrophication: a simplified technique for a fast diagnosis of environmental degradation*. In: Water Research, 1998, v. 32, n. 11, p. 3477-3483.
- DINIZ, C.R.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O. (1995) *Corpos lânticos temporários do Agreste paraibano. Aspectos sanitários e físico-químicos*. In: VIII Congresso Brasileiro de Microbiologia, Santos – RJ, 1995.
- DINIZ, C.R.; CEBALLOS, B.S.O.; BARBORA, J. E. L. (2005) *Uso de macrófitas aquáticas como solução ecológica para melhorar a qualidade da água*. In: Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande - PB, 2005, v. 9, n. 4 [suplem], p. 226-230.
- GOMES, I., VEIGA, M., EMBIRUÇI, E.K., RABELO, R., MOTA, B., MEZA-LUCAS, A., TAPIA-ROMERO, R., CARRILLO-BECERRIL, B.L., ALCANTARA-ANGUIANO, I., CORREA, D., MELO, A. (2002) *Taeniasis and Cysticercosis Prevalence in a Small Village from Northeastern Brazil*. In: Arq Neuropsiquiatr 2002;60(2-A):219-223.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2009) *Cidades*. <http://www.ibge.gov.br>. (8 fev. 10).
- JAIQUES, R.C. (2005) *Qualidade da Água de Chuva no Município de Florianópolis e sua Potencialidade para Aproveitamento em Edificações*. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.
- JAIQUES, R.C., RIBEIRO, L.F., LAPOLLI, F.R. (2005) *Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis - SC*. In: Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande/MS: 2005. CD Rom.
- MAY, S. (2004) *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações*. São Paulo: Departamento de Engenharia da Construção Civil, Universidade de São Paulo, 159p. Dissertação Mestrado.
- MELO, L.R.C. (2007) *Variação da Qualidade da Água de Chuva no Início da Precipitação*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, 95p.
- RODRIGUES, D.F.B., MONTENEGRO, A.A.A., SILVA, T.P.N., SILVA, A.P.N. (2010) *Variação Temporal de Elementos Meteorológicos no Município de Pesqueira-PE*. In: Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia – A Amazônia e o Clima Global, Belém, 2010. CD Rom.
- SILVA, C.V. (2006) *Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçuaí, MG*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, 117p.
- SILVA, V.C., PÁDUA, V.L. (2007) *Qualidade microbiológica de água de chuva armazenada em cisternas de placas, construídas em comunidades rurais do município de Araçuaí - MG*. In: Anais do VI Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, ABCMAC. Belo Horizonte: 2007. CD Rom.
- SOUZA, I.A., AZEVEDO, J.R.G., NETTO, A.M., ANTONINO, A.C.D. (2006) *Implicação do aquecimento global no balanço hídrico climático no agreste de Pernambuco*. In: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis-SC, 2006. CD Rom.
- TAVARES, A.C. (2009) *Aspectos físicos, químicos e microbiológicos da água armazenada em cisternas de comunidades rurais no Semi-Árido Paraibano*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba, 165p.
- WIKIPÉDIA. <http://pt.wikipedia.org/wiki/pesqueira>. 21 Jan. 2008.

Evaluation of Water Quality and the Efficiency of Sanitary Barriers in Rainwater Harvesting Systems

ABSTRACT

The use of cisterns for family water supply in regions where water is scarce is an important alternative for the local population, because it is an efficient system for rainwater harvesting and storage and is comprised of simple, low-cost devices. Since the rainfall regime allows water storage in sufficient amount for local water supply, the problem of cistern use concerns water quality issues, as the water generally does not meet adequate drinking standards. This work deals with the design of a simple system for rainwater harvesting and storage (pilot model for rainwater harvesting) to be used for assessing installed sanitary barriers aimed at maintaining stored water at the level of drinking standards. For this purpose, pilot models with sanitary barriers were installed. Two different water disposal devices were tested, aimed at the automatic refusal of the initial rainwater volumes. The results indicated that the devices tested for refusal of the first rainwater volumes were efficient to considerably reduce concentration of major

water quality indicators, such as turbidity, coliforms and heterotrophic bacteria. In addition, the time of construction and season (wet or dry) were seen to influence storage water quality.

Keywords: rainwater, sanitary barriers, cisterns, semi-arid.