

O USO DA BOMBA MANUAL EM CISTERNAS DE ÁGUA DE CHUVA**THE USE OF MANUAL PUMP FOR RAIN WATER CISTERNS****Eduardo Cohim**Professor da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. (edcohim@gmail.com)**Sílvio Roberto Magalhães Orrico**Professor da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. (silvio.orrico@uefs.br)**Samuel Sipert**Graduando Engenharia Civil da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. (ssipert@hotmail.com)**Adriano Souza Leão**Graduando Engenharia Civil da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. (adrianoleaoeng@outlook.com)**Luan Moreira Fernandes**Graduando Engenharia Civil da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS. (fernandes.uefs@gmail.com)**Resumo**

O aproveitamento da água de chuva no Semiárido tem contribuído para a melhoria da condição de vida da população, evidenciada pela redução da prevalência das doenças diarreicas. Essa melhoria pode ser ainda maior se forem tomados cuidados com a retirada da água da cisterna, o que pode ser feito por meio do uso de bomba. Entretanto, encontra-se um baixo percentual de utilização desses dispositivos. O presente trabalho tem como objetivo analisar o desempenho hidráulico de uma bomba manual e o esforço físico necessário para sua operação. A pesquisa foi realizada na Universidade Estadual de Feira de Santana com a instalação de uma bomba manual em uma cisterna para diferentes alturas, sendo realizados 10 ensaios com operadores diferentes recrutados entre os estudantes e funcionários do curso de engenharia civil. O operador devia manter uma cadência de 60 batidas por minuto e um deslocamento do êmbolo de 30cm, indicado por uma marca de tinta. Para cada ensaio, foi registrado o tempo necessário para encher um recipiente de 10,0L, o número de batidas e a frequência cardíaca do operador antes e depois do teste. Verificou-se que a bomba manual é capaz de retirar água da cisterna a uma vazão maior que 10,0L/minuto, com um esforço que poderia ser classificado como leve a moderado, concluindo que esse tipo de equipamento é adequado para uso pela população local.

Palavras-chave: qualidade da água de cisterna, bomba manual, desempenho hidráulico, custo energético.

Abstract

Rainwater harvesting in the semiarid region has contributed to the improvement of people's living condition, as evidenced by the reduction of the prevalence of diarrheal diseases. This improvement may be even greater if care is taken with the removal of water from the cistern, which can be done by using the pump. However, there is a low percentage of use of such devices. The aim of this study was to analyze the hydraulic performance of a manual pump and the physical effort required for its operation. The research was conducted at the State University of Feira de Santana with the installation of a hand pump in a cistern and each time were performed 10 trials with different operators recruited from among the students and staff of the Civil Engineering course. The operator must maintain a rate of 60 beats per minute and a displacement of the piston 30 cm denoted by an ink mark. For each test it was recorded the time needed to fill a 10.0 L container and the number of beats and the heart rate of the operator before and after the test. It was found that the hand pump is capable of removing water from the cistern to a higher flow than 10.0 L / minute with an effort that could be classified as mild to moderate, concluded that this type of equipment is suitable for use by local population.

Keywords: quality of the water tank, hand pump, hydraulic performance, energy cost.

INTRODUÇÃO

O Semiárido Brasileiro conta com uma produção específica média de água de 0,3L/s.km², suficiente para manutenção de uma atividade econômica regular. No entanto, a má distribuição das chuvas impõe adoção de técnicas específicas para essa região e, a partir de tal condição, tem-se utilizado e difundido o conceito de convivência com o Semiárido, conceituado por Malvezzi (2007), citado por Neves *et al.* (2010), como a possibilidade de desenvolver culturas compatíveis com o meio ambiente e uma vida produtiva do ponto de vista econômico, cuja chave passa pela produção e estocagem dos bens em tempos chuvosos, para se viver adequadamente em tempos sem chuva, sendo a água o principal bem a ser estocado.

Com base nesse tipo de conceito e visando garantir o abastecimento regular de água de qualidade para cinco milhões de pessoas, em áreas rurais do Semiárido Brasileiro, foi criado o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido – P1MC, em 2001 (NEVES *et al.*, 2010). Desde então, o P1MC construiu cerca de 610 mil cisternas, beneficiando mais de 1,8 milhões de pessoas (ASABRASIL, 2017).

É de se destacar que a água de chuva coletada dos telhados é considerada, juntamente com água de sistemas públicos de abastecimento e de poços e nascentes protegidos, fonte melhorada de água (WWAP, 2009), sendo que o Plano Nacional de Recursos Hídricos aponta a água de chuva como um recurso a ser usado de forma plena em substituição ou suplementação de fontes tradicionais (GNADLINGER, 2007).

Na zona rural, principalmente na região semiárida, a água de chuva é, na grande maioria dos casos, a fonte de melhor qualidade, sendo, por isso, destinada aos fins mais exigentes, tais como bebida e preparo de alimentos. Luna (2011), em pesquisa no Agreste Central de Pernambuco, mostrou que 96% dos usuários de água de chuva usam a água para beber, cozinhar e escovar dentes, enquanto 35% utilizam para banho e apenas 20% destinam essa água para a limpeza da casa.

O mesmo autor verificou que a cisterna é um fator de proteção na ocorrência de episódios diarreicos, uma vez que ter cisterna diminui o risco de ocorrência desses episódios em 73% em relação a não ter, comprovando, dessa forma, o importante benefício resultante do P1MC.

Contribui para isso o fato de que, em áreas com baixa poluição atmosférica, caso da maioria das cidades do Semiárido e da zona rural, a água da chuva tem excelente qualidade físico-química. Gnadlinger (2007), citando estudos realizados pela Embrapa Semiárido, menciona que 55,3% das cisternas apresentaram qualidade físico-química dentro dos padrões estabelecidos pelo Ministério da Saúde, ressaltando que esse valor pode ter variações, pelo fato de haver o uso de outras fontes para abastecimento da cisterna, como, por exemplo, carros pipa. A contaminação microbiológica na atmosfera é ainda mais rara segundo Andrade Neto (2004).

Entretanto, a qualidade da água armazenada não depende apenas da qualidade do ar atmosférico. O contato da água com a superfície de captação antes de ser armazenada na cisterna é o principal fator de deterioração da qualidade microbiológica da água de chuva armazenada. Quanto a esse aspecto, já é consenso que o desvio das primeiras águas constitui uma simples e efetiva barreira sanitária para assegurar a qualidade da água de chuva armazenada em cisternas.

A adequabilidade dessa fonte para abastecimento humano pode ser avaliada por meio de estudos epidemiológicos, como o que foi realizado na Austrália por Heyworth *et al.* (2006), em que se concluiu que o consumo de água de chuva armazenada em cisternas não aumenta o risco de gastroenterite com relação ao consumo de água do sistema público em crianças de 4 a 6 anos, numa evidência do baixo risco representado pelo uso dessa fonte de água.

Uma vez armazenada, a qualidade microbiológica da água na cisterna fica suscetível a contaminação devido ao manuseio inadequado, como o contato da mão e o uso de utensílios contaminados, notadamente, aqueles utilizados para a retirada de água, como, por exemplo, baldes, latas e cordas (ANDRADE NETO, 2004).

Nesse sentido, a retirada da água através de tubulação com o uso de bombas (manual ou elétrica) constitui importante barreira sanitária, sendo recomendada por oficina realizada pela Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva – ABCMAC (ANDRADE NETO, 2004; GNADLINGER, 2007) e também pelo *Guidelines for drinking-water quality* (Guia para a qualidade da água potável) da Organização Mundial da Saúde, na quarta edição, na qual consta que, entre outras medidas para a redução do risco sanitário da água de chuva, deve-se

cuidar para a higiene da retirada da água da cisterna, sugerindo que isso seja feito por meio de bomba (WHO, 2012).

Entretanto, apesar do consenso de que o uso desses equipamentos é de fundamental importância para a ampliação dos benefícios à saúde decorrentes do aproveitamento da água de chuva, diversos pesquisadores têm encontrado baixos percentuais de uso das bombas manuais entregues com as cisternas, com preferência para a retirada com o uso de baldes. Luna (2011), por exemplo, no estudo já citado, detectou que apenas 18% dos moradores utilizavam a bomba manual para a retirada de água, enquanto 82% o faziam com baldes, embora a quebra ou defeito da bomba tenha sido a justificativa para apenas 46% daqueles que utilizavam balde.

Desse modo, este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho hidráulico de uma bomba manual utilizada em sistemas de aproveitamento de água de chuva no programa P1MC.

METODOLOGIA

O experimento foi realizado no próprio campus da Universidade Estadual de Feira de Santana que possui uma cisterna do modelo

padrão utilizado pelo P1MC, com volume de armazenamento de 16 mil litros, cujas dimensões são: diâmetro 3,46m, altura total 2,40m e altura útil 2,00m. A pesquisa foi efetuada com 10 voluntários, estudantes e funcionários da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Foi instalada uma bomba manual em uma cisterna construída no campus da Universidade Estadual de Feira de Santana. Os testes foram realizados em cinco profundidades (alturas da lâmina da água) na cisterna, conforme mostrado na Tabela 1.

Para cada altura, foram realizados 10 ensaios com operadores diferentes recrutados entre os estudantes e funcionários do curso de Engenharia Civil. As características dos operadores são mostradas na Tabela 2.

O operador devia manter uma cadência de 60 batidas por minuto e um deslocamento do êmbolo de 30cm, indicado por uma marca de tinta. Os resultados foram comparados à especificação para bombas manuais proposta em Whitehead (2001) e adaptada para as condições avaliadas:

- Vazão $\geq 10,0\text{L/min}$. a uma altura de 2,5m
- Capacidade de retirar água com profundidade inferior a 0,3m

Tabela 1: Profundidade de água na cisterna (m)

P1	P2	P3	P4	P5
0,28	0,50	0,90	1,31	1,91

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 2: Idade, peso e altura dos operadores

	Idade (anos)	Peso (kg)	Altura (m)
Mínimo	19	52,0	1,6
Médio	28	73,0	1,7
Máximo	50	90,0	1,9

Fonte: dados da pesquisa.

Para cada ensaio, foram registrados:

- O tempo necessário para encher um recipiente de 10,0L
- O número de batidas e a frequência cardíaca do operador antes e depois do teste, utilizando-se um frequencímetro (modelo FT2 da marca Polar) preso ao tórax com cinta elástica

Para o cálculo da potência, admitiu-se um rendimento do sistema igual a 35%. A expressão a seguir foi utilizada:

$$P = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta}$$

Equação 1

Onde:

V = volume de água elevado

ρ = peso específico da água

g = aceleração da gravidade

H = altura de elevação

η = rendimento da bomba

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os valores médios dos parâmetros avaliados.

Observa-se nos dados mostrados que, mesmo para a menor profundidade, correspondendo ao maior desnível geométrico, a

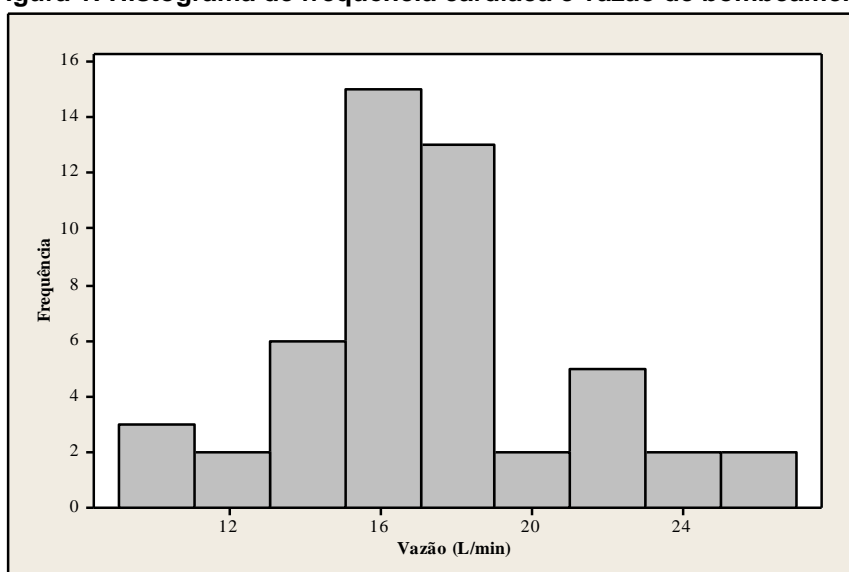
vazão bombeada foi de 14,0L/min., superior à meta estabelecida de 10,0L/min., e a frequência cardíaca teve uma elevação máxima de 13,3%. Em todos os testes realizados, a vazão obtida ficou acima de 10,0L/min., conforme pode se observar na Figura 1.

Tabela 3: Vazão, cadência, frequência cardíaca e potência, segundo altura da água bombeada

Altura da água (m)	Vazão (L/min.)		Cadência (nº Ciclos)		Elevação da Freq. Cardíaca (%)		Potência (W)		Energia Requerida (Wh)
	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	Média	Desv. Pad.	
1,71	10,12	3,07	41,65	9,01	13,3	8,6	2,6	0,4	0,2
1,31	16,85	3,06	40,15	8,96	9,7	10,9	5,5	1,0	0,4
0,90	17,26	3,02	44,15	10,41	9,6	17,4	9,0	1,6	0,7
0,51	18,46	3,78	44,86	9,10	7,9	7,3	13,0	2,7	0,9
0,28	14,09	3,26	36,94	7,80	9,8	7,3	11,5	2,7	1,1

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 1: Histograma de frequência cardíaca e vazão de bombeamento



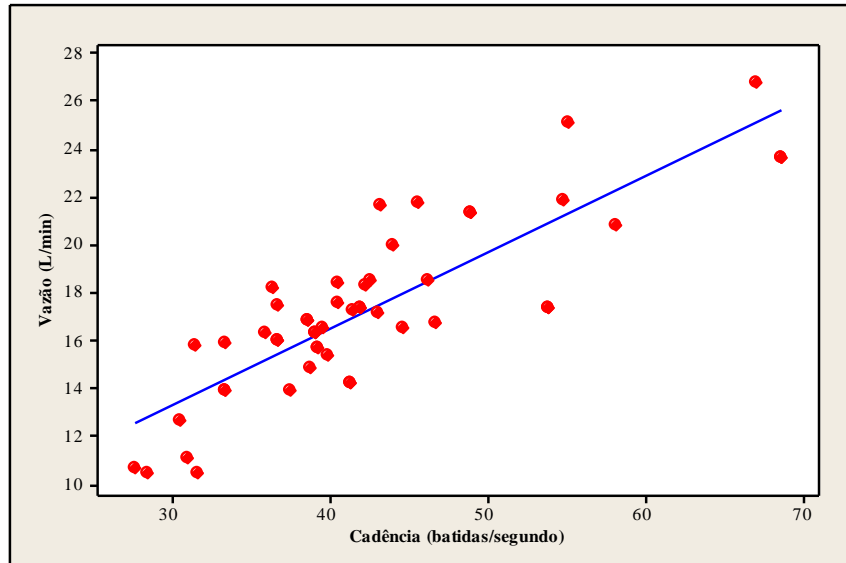
Fonte: dados da pesquisa.

O comportamento da vazão não apresentou uma correlação com a profundidade da água na cisterna. Na análise de regressão, o valor para R^2 ajustado foi de apenas 8,9%, confirmando a fraca correlação entre esses parâmetros. Entretanto, constata-se a eficácia da bomba mesmo para a menor profundidade testada (0,28m).

Uma análise do comportamento da vazão em função da cadência (número de ciclos) é apresentada na Figura 2.

A análise de regressão mostrou um valor para R^2 ajustado igual a 71,1%, evidenciando uma forte correlação. Com as vazões obtidas, o tempo máximo despendido para o bombeamento de água, para atender uma quota diária para uma pessoa igual a 20 litros, seria inferior a 2 minutos. Ainda que a tarefa de retirar a água da cisterna fosse atribuída a uma única pessoa, o atendimento às necessidades de uma família de quatro pessoas consumiria menos de 10 minutos, o que pode se considerar adequado.

Figura 2: Relação entre vazão e cadência de bombeamento



Fonte: dados da pesquisa.

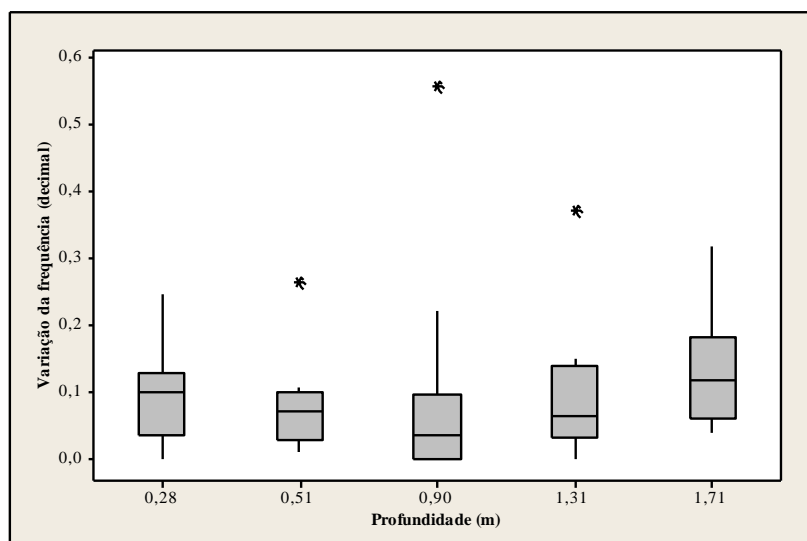
A operação da bomba, aparentemente, não representou um esforço sobrenormal para os usuários, conforme se pode inferir a partir da análise da elevação da frequência cardíaca antes e depois do teste, cujos resultados são mostrados na Figura 3.

Observa-se que a elevação da frequência cardíaca em 75% dos ensaios foi inferior a 14%. O American College of Sports Medicine (1998) propõe a classificação para a intensidade de treinamentos físicos (Tabela 4) relacionando-a com a frequência cardíaca máxima, FC_{max} , cuja expressão, conforme FOX III *et al.* (1971), é mostrada na Equação 2.

$$FC_{max} = 220 - idade \quad \text{Equação 2}$$

O esforço despendido em 75% dos testes resultou em frequências cardíacas abaixo de 0,14 de FC_{max} , o que configura um esforço muito leve ou leve, e nos 25% restantes não se ultrapassou 0,69 de FC_{max} , limite para a classificação como de intensidade moderada; de modo que, a despeito de possíveis restrições ergonômicas, o esforço para a operação da bomba é aceitável, para as faixas de idade testadas.

Figura 3: Relação entre frequência cardíaca e profundidade de bombeamento



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 4: Zonas de treinamento

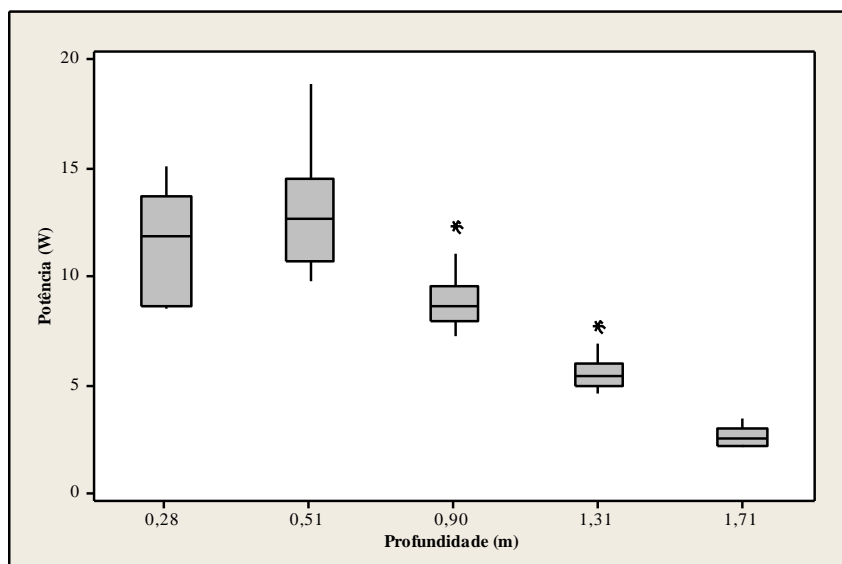
Intensidade	FCmax (%)
Muito Leve	<35
Leve	35 - 54
Moderado	55 – 69
Difícil	70 – 89
Muito difícil	> 90
Máximo	100

Fonte: American College of Sports Medicine (1998).

A Figura 4 mostra a potência necessária para operar a bomba sob as diversas condições testadas.

Na condição mais desfavorável, a potência requerida foi inferior a 25W. Fraenkel (1986)

propõe uma relação de potência que se pode esperar de indivíduos de 20 a 60 anos por períodos de 5 minutos a 3 horas, conforme apresentado na Tabela 5.

Figura 4: Potência requerida versus profundidade da água na cisterna


Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 5: Capacidade de potência dos seres humanos (W)

Altura da água (m)	Tempo (m)					
	5	10	15	30	60	180
20	220	210	200	180	160	90
35	210	200	180	160	135	75
60	180	100	150	130	110	60

Fonte: Fraenkel (1986).

Constata-se que a potência requerida, mesmo na condição mais desfavorável, é inferior ao proposto, sendo, portanto, um esforço compatível com a capacidade humana.

Conforme apresentado na Tabela 1, a energia consumida para a retirada de água da cisterna variou de 0,2 a 1,0Wh. Considerando-se

a capacidade humana de realizar trabalho em torno de 250Wh/dia, esses valores representam de 0,08% a 0,4% da capacidade humana diária. Porém, ressalta-se que os participantes da pesquisa possuíam idade média inferior a 50 anos e que, em muitas das residências, a função de obtenção da água é da mulher e

preferencialmente da mãe – cuja idade pode ser maior do que a do grupo de pesquisa –, bem como esta acumula outras tarefas domésticas que também exigem esforço físico. O custo da energia somática, ao contrário do que normalmente se costuma acreditar, não é baixo (FRAENKEL, 1986). Considerando que o ser humano é pouco eficiente na transformação da energia ingerida em trabalho muscular, em torno de 10%, se for realizada uma comparação com a energia que é obtida por meio da ingestão do feijão, a um valor de R\$ 6,00 por quilo e com um teor calórico de 3.500kCal por quilo, a energia muscular seria de R\$ 14,70 por kWh, valor bem superior ao custo da energia elétrica, cuja tarifa para a zona rural é de R\$ 0,38 por kWh.

Deve-se considerar também o fato de uma praticidade de ganho imediato pelo menor tempo que se tem para a coleta de água quando se utiliza o balde. Numa pesquisa sobre uso das cisternas de água de chuva no município de Serrinha no estado da Bahia, observou-se que 70,8% utilizavam somente balde para retirar água da cisterna, enquanto 22,3% utilizavam apenas bombas e 6,9% ambas as formas.

CONCLUSÃO

A bomba manual testada atendeu, sob todas as condições de teste, a especificação de capacidade de bombeamento de 10L/min, com tempo máximo necessário para o atendimento às necessidades de água de um indivíduo inferior a 2 minutos. Observou-se, ainda, forte correlação entre a vazão e a cadência, não se verificando o mesmo em relação à profundidade da água na cisterna.

A operação da bomba mostrou-se adequada à capacidade humana em termos de capacidade de potência, e o esforço despendido, avaliado pela frequência cardíaca, foi de leve a moderado. Quanto ao custo energético para operação da bomba manual, este é maior que o da energia elétrica.

O esforço humano para um bombeamento diário é compatível com a capacidade física do grupo de pessoas que participaram da experiência, sem resultar em uma sobrecarga de trabalho. A coleta de água por balde resulta em esforços de valores semelhantes, porém expõe a água à contaminação. Porém, o estudo tem limitação com relação ao grupo de indivíduos estudados (estudantes e funcionários), pois, usualmente, a tarefa de coleta de água para a

residência cabe à mulher, dona de casa, cuja capacidade física pode ser diferente da dos voluntários. É possível que a não priorização da bomba pela população esteja relacionada à maior praticidade da coleta de água por meio de balde, associada a hábitos e práticas costumeiras e a pouca informação, bem como quanto aos seus riscos. Nesse sentido, sugerem-se estudos futuros com relação à percepção da população sobre os benefícios da água no domicílio e os riscos à saúde, devido a práticas sanitárias inadequadas, e as vantagens e desvantagens do uso da bomba manual e de balde.

REFERÊNCIAS

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Position Stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. **Med Sci Sports Exerc.**, n. 30, p. 975-991, 1998.

ANDRADE NETO, C.O. Proteção sanitária das cisternas rurais. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XI., 2004, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2004. 1 CD-ROM.

ASABRASIL. Programa 1 milhão de cisternas: Resultados. Disponível em: <http://www.asabrazil.org.br/acoes/p1mc#atividades-p1mc>. Acesso em 12/08/2017:

FOX III, S.M.; NAUGHTON, J.P.; HASKELL, W.L. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. **Ann. Clin. Res.**, n.3, p. 404-432, 1971.

FRAENKEL, P.L. **Water lifting devices**. FAO Irrigation and Drainage paper 43. Roma: FAO, 1986. 318p.

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

HEYWORTH, J. S. et al. Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia. **International Journal of Epidemiology**, v. 35, p. 1052-1058, 2006.

LUNA, C.F. **Avaliação do impacto do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC) na saúde: ocorrência de diarreia no Agreste Central de Pernambuco**. 2011. 207f. Tese (Doutorado em Saúde

Pública) – Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2011.

NEVES, R.S.; MEDEIROS, J.C.A.; SILVEIRA, S.M.B.; MORAIS, C.M.M. Programa Um Milhão de Cisternas: guardando água para semear vida e colher cidadania. **Agriculturas**, v. 7, n. 3, p. 7-11, 2010.

WHITEHEAD, V. **Development and selection of low cost hand pumps for domestic rainwater water can**, 2009.

tanks in E. Africa. Warwick, UK: University of Warwick, 2001. 63p.

WHO. **Guidelines for drinking-water quality**. 4. ed. Geneve, 2012. 541p.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations World Water Development Report 3: **Water in a Changing World**. Paris: UNESCO; London: Earths