

A CONFIABILIDADE DO VOLUME DAS CISTERNAS DA ZONA RURAL PARA RESERVAR ÁGUA DE CHUVA

THE RELIABILITY OF CISTERN CAPACITY FOR RAINWATER COLLECTION IN RURAL AREAS

Eduardo Henrique Borges Cohim Silva

Doutor em Energia e Meio Ambiente/UFBA. Universidade Estadual e Feira de Santana - UEFS/DTEC. (edcohim@gmail.com)

Sílvio Roberto Magalhães Orrico

Doutor em Saúde Pública/USP. Universidade Estadual e Feira de Santana - UEFS/DTEC. (srm.orrico@gmail.com)

Resumo

O Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido – P1MC construiu mais de 400 mil cisternas, com o volume definido em 16 mil litros, tendo como base a demanda de uma família média de cinco pessoas, em um período de 280 dias. No entanto, dada à diversidade de vários fatores, como área de captação, precipitação e número de usuários, as demandas devem ser diferentes. O objetivo do artigo é avaliar a confiabilidade do suprimento de água por meio de sistemas de captação de água de chuva, no âmbito do Programa P1MC. Foi utilizado o modelo comportamental que simula a operação do reservatório num período de tempo, simulando fluxos de massas com algoritmos que descrevem a operação de um reservatório, adotando-se um intervalo de um dia para o balanço. O universo amostral constituiu-se de 947 cisternas, cujas informações, tais como área de captação e número de moradores, foram obtidas através da rede 'Articulação no Semiárido Brasileiro – ASA'. Para cada cenário analisado, definido pela precipitação, área de captação e demanda (número de moradores e demanda *per capita*), foi calculada a confiabilidade. Verificou-se que, para os 947 sistemas de aproveitamento implantados, o valor médio do número de moradores encontrado foi de cinco (5), com 99% dos casos abaixo de 10. Constatou-se que 99,9% das áreas de captação têm superfície inferior a 120m², e uma média de 51,9m². O volume máximo armazenado na cisterna decresce, evidenciando uma ociosidade da capacidade de reserva de 16 mil litros. Tal resultado evidencia que o uso de cisternas com essa capacidade deveria ser associado a uma área de telhado compatível com seu volume de armazenamento, sendo mais recomendável a ampliação na área de coleta, o que resultaria em um maior benefício para a família. Verificou-se que em cerca de 25% dos casos o volume adequado da cisterna seria inferior a seis mil litros. O uso de cisternas com volumes diferentes, mais ajustados às situações, seria certamente mais eficiente, o que possibilitaria o uso melhor dos recursos financeiros disponibilizados para o programa, bem como a ampliação do número de beneficiários. No caso em estudo, poderiam ser utilizados quatro volumes diferentes, 5.500, 8.000, 10.500 e 15.000 litros.

Palavras-chave: Captação de água de chuva; saneamento rural; abastecimento de água

Abstract

The Training and Social Mobilization Program for Living with Semi-Arid Conditions – P1MC has built more than 400,000 tanks, with a capacity of 16,000 liters, based on the average demand for a family of five people in a 280-day period. And yet, due to a number of variables such as catchment area, rainfall and number of users, there must be differences in water demand per household. The objective of this article is to assess the reliability of the water supply through water catchment systems under the P1MC program. We used a behavioral model that simulates the operation of the reservoir over time, simulating mass flows with algorithms that describe the operation of a reservoir, calculated at one-day intervals. The sample space consisted of 947 cisterns, whose parameters, such as catchment area and number of inhabitants, were obtained from the "Linkage for Semi-Arid Brazil" (ASA) network. Reliability was calculated for each scenario analyzed, as defined by precipitation, catchment area and

demand (number of residents and *per capita* demand). For the cases analyzed, it was found that the average number of residents was five (5), with fewer than 10 residents in 99% of cases. We also determined that 99.9% of catchments have a surface area smaller than 120 m², with an average of 51.9 m². The maximum volume stored in tanks decreased, creating 16,000 liters of idle storage capacity. Therefore, tanks having this capacity should be associated with a roof area suitable to the storage volume, given that it is preferable to expand the collection area to benefit the family even more. It was found that in about 25% of cases, the appropriate volume of the tank was less than 6,000 liters. The use of tanks with different volumes, better suited to the situation, would certainly be more efficient, make better use of financial resources, and increase the number of beneficiaries. In the cases studied, four different volumes could be used: 5,500, 8,000, 10,500 and 15,000 liters.

Keywords: rainwater catchment; rural sanitation; water supply

INTRODUÇÃO

O conceito de convivência com o semiárido pressupõe a possibilidade de desenvolver culturas adequadas ao meio ambiente e uma vida produtiva do ponto de vista econômico, tendo como estratégia a produção e estocagem dos bens em tempos chuvosos, para se viver adequadamente em tempos secos, sendo a água o principal bem a ser estocado (MALVEZZI, 2007 *apud* NEVES *et al.*, 2010).

Com esse objetivo 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 mais de 400 mil cisternas, beneficiando mais de 1,5 milhão de pessoas (ASA, 2012).

Nesse programa, o volume das cisternas foi definido em 16 mil litros, visando ao atendimento de uma família média de cinco pessoas, em um período de 280 dias que corresponde à duração média da estação seca. Contudo, na região semiárida, onde são implantadas as cisternas, existe uma diversidade grande entre os fatores que condicionam a confiabilidade no atendimento às demandas de água: área de captação, precipitação e número de usuários.

Deve-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). 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).

A adequabilidade dessa fonte para abastecimento humano, por exemplo, pode ser comprovada através de estudos epidemiológicos, como o realizado por Heyworth *et al.* (2006), em que se conclui que o consumo exclusivo de água de chuva armazenada em cisternas não aumenta o risco de gastroenterite, se comparado ao consumo exclusivo de água do sistema público, em crianças de 4 a 6 anos, o que evidencia o baixo risco representado pelo uso daquela fonte de água

Luna (2011) afirma que a cisterna é um fator de proteção na ocorrência de episódios diarreicos, uma vez que ter cisterna diminui o risco de ocorrência em 73% em relação a não ter, comprovando, dessa forma, o imenso benefício resultante do programa P1MC. Entretanto, verificou que volumes insuficientes de água de chuva ensejam a utilização de outras fontes para abastecimento da cisterna, com alto risco de deterioração da qualidade.

Assim, é oportuno o estudo da confiabilidade das cisternas rurais no semiárido com vistas ao dimensionamento adequado a cada situação de sua capacidade, o que pode, em muitos casos, resultar na redução do volume da cisterna, mantendo-se então os benefícios e ampliando o atendimento e o resultado econômico do Programa.

A confiabilidade é definida como o percentual de dias em que a demanda é plenamente atendida em um dado período de análise, e depende, também, dos seguintes

fatores: pluviosidade, área de captação, demanda (número de moradores) e volume da cisterna.

O objetivo do artigo é avaliar a confiabilidade do suprimento de água por meio de sistemas de captação de água de chuva, no âmbito do programa P1MC.

METODOLOGIA

O objeto de estudo foi o modelo padrão de cisternas implantado pelo programa P1MC, o qual possui um volume de 16.000 litros, no município de Araci, no estado da Bahia. O município está inserido no “Polígono das Secas”, apresentando um clima do tipo megatérmico semiárido, com temperatura média anual de 24,4°C, precipitação pluviométrica média anual de 657mm e período chuvoso de março a maio (SEI, 1999).

Dentre os métodos de dimensionamento das cisternas de aproveitamento da água de chuva, optou-se pelo modelo comportamental por possibilitar a simulação de operação de reservatórios num período de tempo, segundo os fluxos de massas com algoritmos que descrevem a operação do reservatório. Adotou-se o intervalo de um dia para o balanço.

Nesse modelo, denominado de comportamental genérico – CG, um algoritmo descreve a regra de produção antes do enchimento do reservatório para $\theta=1$, enquanto a regra de produção depois do enchimento do reservatório é descrita para $\theta=0$, conforme a Equação 1 e a Equação 2 (JENKISN, 1978 *apud* FEWKES, 1999):

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + \theta Q_t \end{array} \right.$$

Equação (1)

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} (V_{t-1} + Q_t - \theta Y_t) - (1 - \theta) Y_t \\ S - (1 - \theta) Y_t \end{array} \right.$$

Equação (2)

Onde, Y= produção de chuva no sistema, responsável por suprir a demanda (m^3); D= demanda (m^3); V= volume de chuva no reservatório de armazenamento (m^3); Q= volume total de chuva coletado pelo sistema

(m^3); S= volume do reservatório de armazenamento (m^3).

Foi utilizado, para cada dia, um valor aleatório para θ , entre 0 e 1, para cada intervalo de balanço, conforme proposto por Cohim e Oliveira (2009), reproduzindo, assim, a natureza aleatória do fenômeno.

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos no banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas – ANA (2012), da estação pluviométrica cujo código é 01138015, latitude -11:20:00 e longitude -38:57:00, obtendo-se uma série de 10 anos de chuva diária.

Para a demanda de água, foi considerado o valor de 20L/pessoa/dia, recomendado como mínimo por Gleick (1996) para o atendimento às necessidades básicas, excluídas as demandas para veiculação de excretas. Esse valor foi mantido constante nas simulações.

O universo amostral foi constituído pelas 947cisternas implantadas no município de Araci. As informações referentes à área de captação e ao número de moradores foram obtidas através do Banco de Dados da Articulação no Semiárido Brasileiro – ASA (2012). As Figuras 1 e 2 apresentam a distribuição da área do telhado e do tamanho da família da população pesquisada.

A área de telhado tem uma distribuição, conforme o histograma da Figura 1, com média de 51,9m² (mediana de 48m²). No extremo superior, constatou-se que 99,9% das áreas de captação têm superfície inferior a 120m², sendo este o limite adotado para as simulações.

O valor médio do número de moradores encontrado para os 947 sistemas de aproveitamento implantados foi de 5, com 99% dos casos abaixo de 10, definindo, assim, a faixa de população a ser utilizada para a estimativa das demandas.

Para cada cenário analisado de área de captação e de demanda (número de moradores e demanda per capita), foi calculada a confiabilidade, definida como o percentual de dias da série do balanço em que a demanda foi atendida plenamente, conforme a Equação 3.

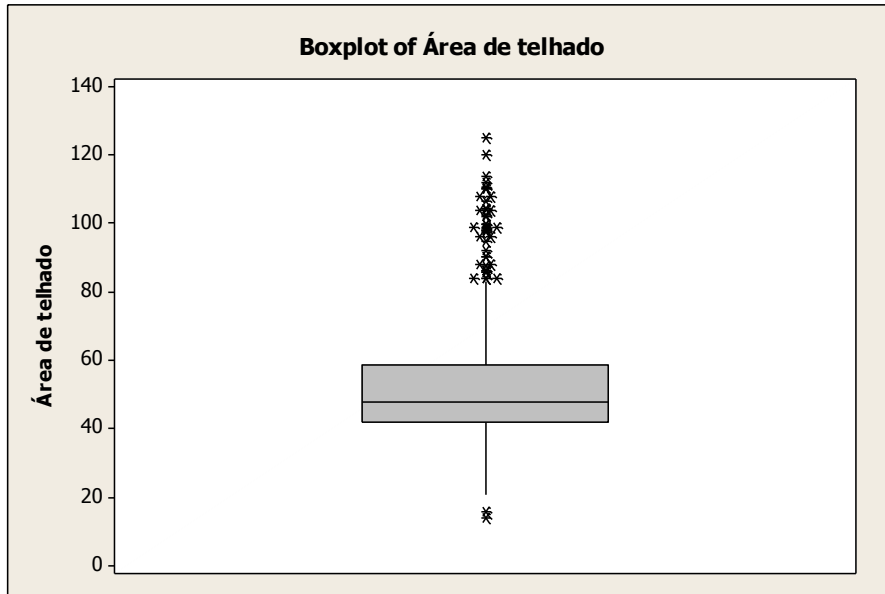
$$C = \frac{N-U}{N} \cdot 100$$

Equação (3)

Sendo C confiabilidade (%), N o número de dias da série e U o número de dias em que a demanda não pode ser atendida plenamente.

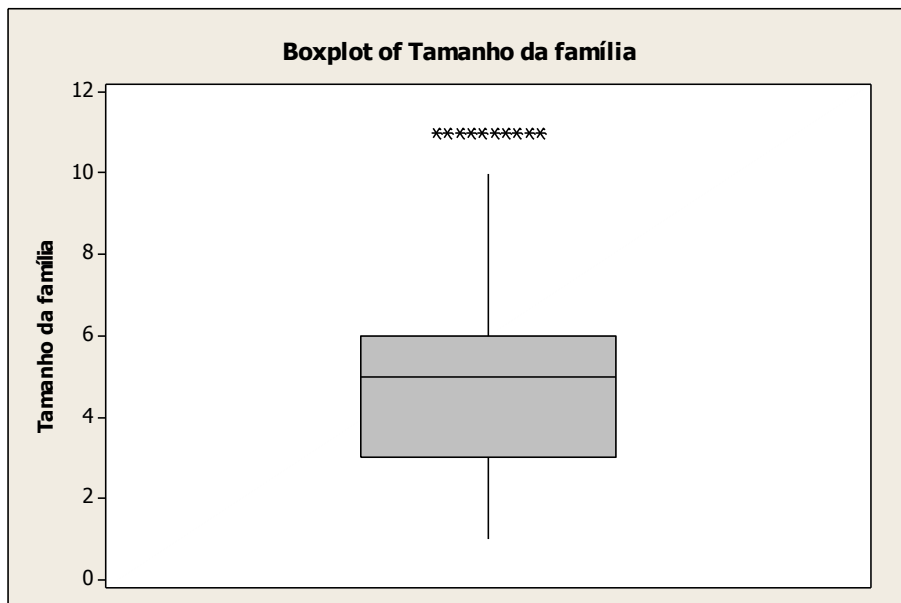
Para cada situação, foi analisado, também, o volume da cisterna necessário ao atendimento das demandas para uma confiabilidade de 90%, correspondendo a cerca de 365 dias por ano de atendimento pleno.

Figura 1: Distribuição da área do telhado com cisternas de água de chuva, em Araci/Ba – 2012



Fonte: Os autores

Figura 2: Distribuição do tamanho das famílias com cisternas de água de chuva, em Araci/Ba – 2012



Fonte: Os autores

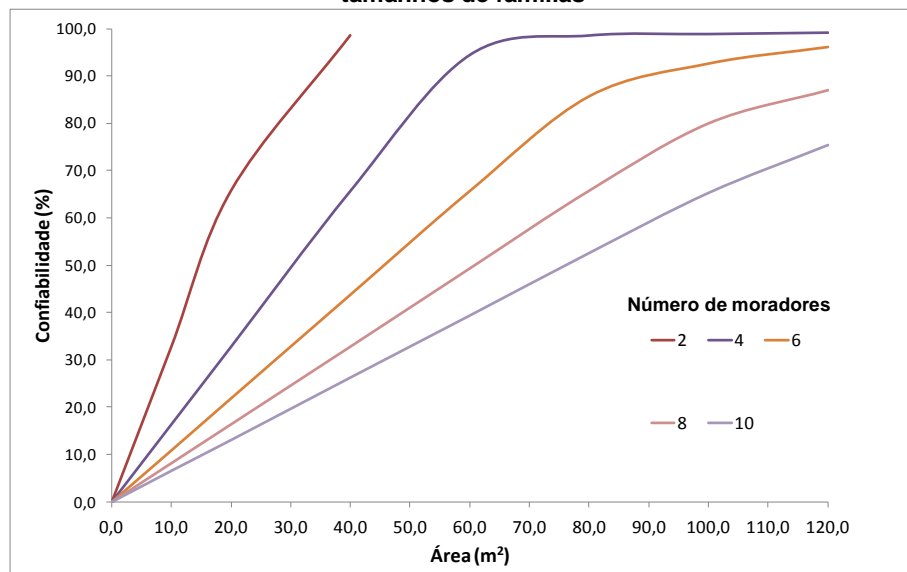
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de Confiabilidade simulados para as áreas de telhado, para os diversos tamanhos de família, são apresentados na Figura 3

Mantidas as mesmas condições de precipitação, a confiabilidade do atendimento às demandas, utilizando cisternas de 16.000

litros, depende de áreas maiores na medida em que cresce o número de moradores. Ou seja, para uma mesma área, a confiabilidade decresce com o aumento do número de moradores e, no caso da condição de famílias com oito ou mais moradores, a confiabilidade de 90% seria inatingível, mesmo com a maior área de captação utilizada (120m²).

Figura 3: Confiabilidade atendimento de cisternas de 16.000L em função da área de captação e diversos tamanhos de famílias



Fonte: Os autores

Se as diferentes combinações de área de telhado e volumes de cisternas forem expressas na forma de relações adimensionais, normalizadas em relação ao potencial máximo teórico (Equação 4), dado pelo produto da área de captação pela precipitação anual média, conforme proposto por Fewkes (1999), a análise poderia ser feita em função de dois parâmetros: a fração da demanda (FD), expressa na Equação 5, e a fração de reservação (FR), expressa na Equação 6.

$$V_{max} = A.P.C$$

Equação (4)

Onde, A= área de telhado (m²); P= precipitação anual (m); C= parcela da precipitação que escoa (adimensional).

$$FD = \frac{D}{A.P}$$

Equação (5)

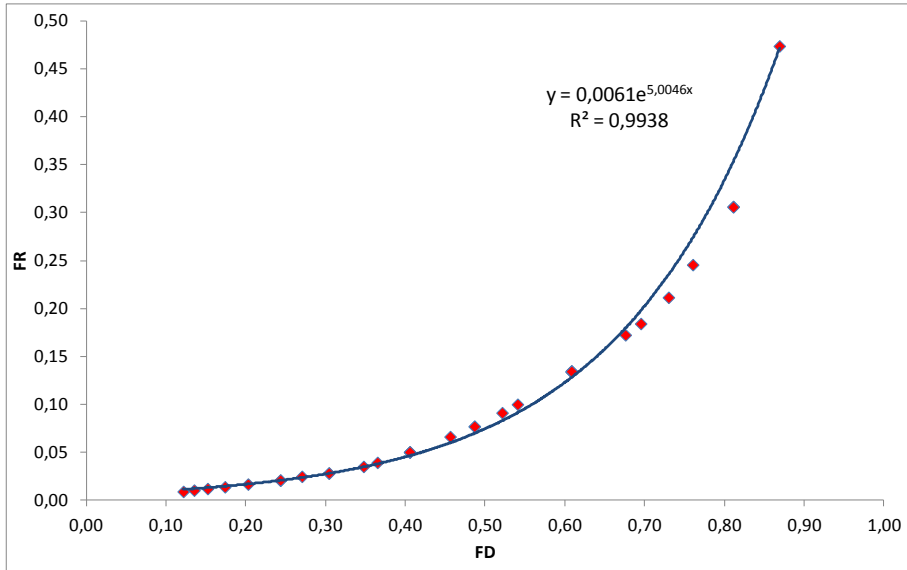
$$FR = \frac{V}{A.P}$$

Equação (6)

Onde: D =Demanda anual (m³) e V = Volume da Cisterna (m³).

Para uma dada confiabilidade, o valor de FR crescerá com o aumento de FD até o ponto em que esta se aproxime do valor que representa o potencial máximo, função do coeficiente C e da própria confiabilidade, A Figura 4 mostra o comportamento de FR X FC para uma confiabilidade de 90%.

Figura 4: Fração da reservação x Fração da demanda para confiabilidade de 90%

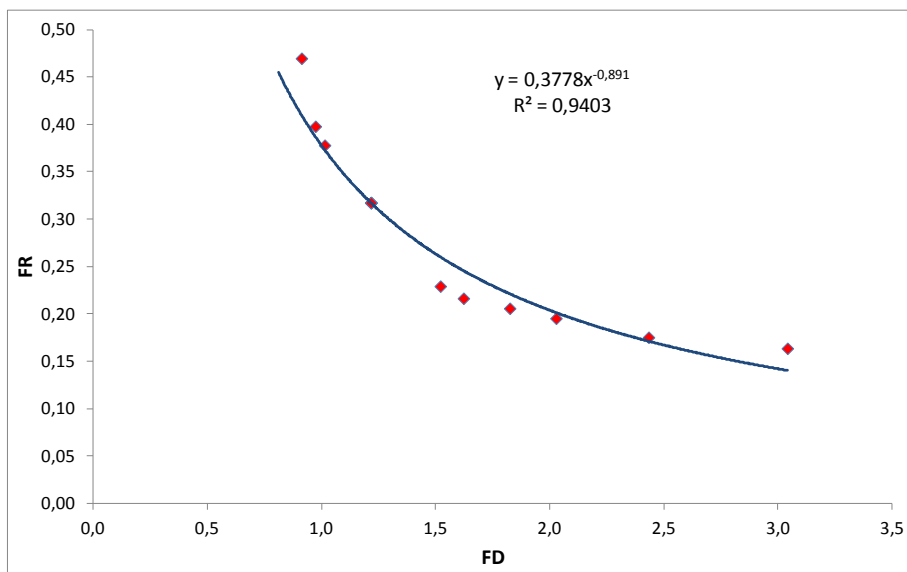


Fonte: Os autores.

Uma constatação importante é o comportamento do volume máximo de água armazenado, considerando-se a adoção de tamanho único para as cisternas e uma demanda total anual maior do que o potencial máximo de aproveitamento (Equação 4). A saída de água devido à intensidade do uso diário supera, em muito, as entradas, impedindo o enchimento pleno da cisterna. Quanto maior a demanda a partir desse ponto, menor é o volume máximo armazenado.

A curva da Figura 5 indica que, para FD no valor de 1, o volume máximo de água na cisterna seria de 6.000 litros, enquanto que, para FD com o valor de 3, o volume seria um pouco mais do que 2.600 litros. Evidencia-se, assim, uma ociosidade na capacidade de reservação de 16 mil litros, quando o valor de FD é maior do que a unidade, conforme Figura 4.

Figura 5: Fração da reservação (FR) x Fração da demanda (FD) por volume máximo

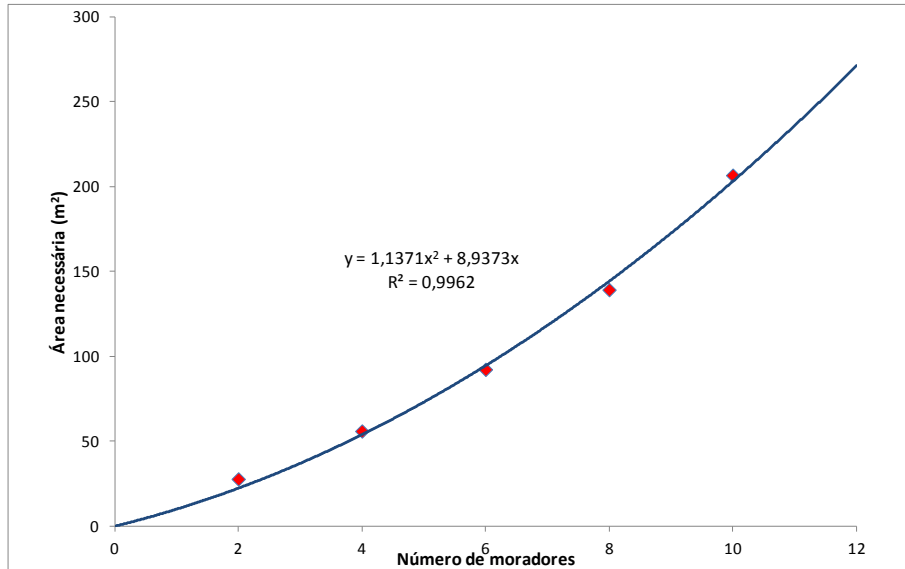


Fonte: Os autores.

Nos casos em que a demanda seja elevada e que a área de telhado seja insuficiente, seria mais recomendável uma ampliação na área de coleta do que o aumento de volume, a fim de se atingir a meta de abastecimento com água de qualidade às

famílias de forma equânime. Considerando que o objetivo do Programa é de que cada habitante receba 20 litros diários com 90% de garantia, a intervenção teria que incluir a ampliação da área de telhado, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6: Frequência acumulada de volumes necessários para cisternas em Araci

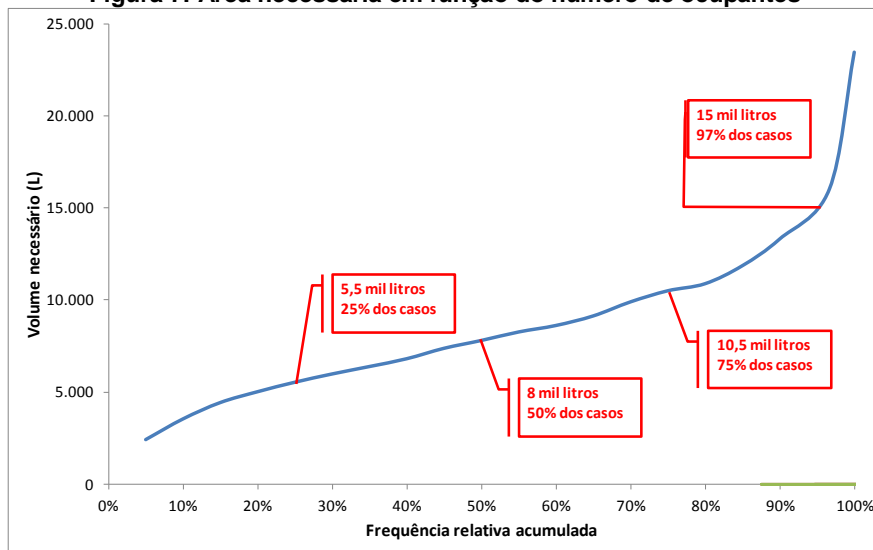


Fonte: Os autores.

Aplicando-se as equações ajustadas aos dados (Figuras 4 e 5), observa-se que, em cerca de 25% dos casos, o volume adequado da cisterna seria inferior a 6 mil litros. Para 40% das situações, esse volume seria inferior

a 10 mil litros. Em apenas 3% dos casos, o volume necessário seria igual ou superior a 16 mil litros, como apresentado na Figura 7, na qual está plotada a distribuição de frequência acumulada para o volume necessário.

Figura 7: Área necessária em função do número de ocupantes



Fonte: Os autores.

Observa-se que para o caso do município de Araci poderiam ser utilizados quatro volumes diferentes, 5.500, 8.000, 10.500 e 15.000 litros, como apresentado na Figura 5.

É importante destacar que 40% dos casos analisados se enquadram na primeira situação, em que o tamanho da cisterna é maior que o necessário para o atendimento das demandas previstas de 20 litros por pessoa por dia. Os 60% restantes caracterizam-se por uma demanda superior ao que pode ser atendido com a área de captação disponível.

CONCLUSÃO

Da análise apresentada, pode-se concluir que o volume único de cisterna não é adequado à diversidade de situações encontradas no que tange ao número de moradores por residência e área de telhado.

A confiabilidade do atendimento reduz à medida que o número de moradores por residência aumenta e ou quando se diminui a área de telhado. Para uma mesma confiabilidade do atendimento, a fração de reservação cresce com a fração da demanda, até que esta atinja um valor próximo da unidade. A partir do ponto em que a fração da demanda se aproxima da unidade, o decréscimo da confiabilidade é acompanhado de uma redução no volume máximo de água armazenada na cisterna.

O uso de cisterna de 16.000 litros não assegura a oferta de água nos casos de atendimento a famílias numerosas e ou com pequenos telhados. O aumento de área de captação resultaria em maior eficácia.

No caso em estudo, verificou-se que para o município de Araci-BA poderiam ser utilizados quatro volumes diferentes, 5.500, 8.000, 10.500 e 15.000 litros.

O uso de cisternas com volumes diferentes, mais ajustados às situações, seria certamente mais eficiente, possibilitando um uso melhor dos recursos financeiros disponibilizados para o Programa, permitindo a ampliação do número de beneficiários.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Água. **HIDROWEB**. Disponível em:

<http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 05/09/2012.

ASA. Programa 1 milhão de cisternas: Resultados. Disponível em: http://www.asabrazil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1558&WORDKEY=Resultados. Acesso em: 06/06/2012.

COHIM, E.; OLIVEIRA, C. A importância do intervalo de tempo na simulação do funcionamento de um reservatório de água de telhado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2009. 1pendrive.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. **UrbanWater**, v. 1, n. 4, p. 323-333, 1999.

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

GLEICK, P. H. Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. **Water International**, n. 21, p. 83-92, 1996.

HEYWORTH, J. S.; GLONEK, G.; MAYNARD, E. J.; BAGHURST, P. A.; FINLAY-JONES, J. 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. 207 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2011.

NEVES, R. S.; MEDEIROS, J. C. de 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.

SEI – Superintendência de Estudos
Econômicos e Sociais da Bahia. **Balanço
hídrico do Estado da Bahia**. Salvador: 1999.
250p. SEI. Série Estudos e Pesquisa, 45.

WORLD WATER ASSESSMENT
PROGRAMME. The United Nations World
Water Development Report 3: Water in a
Changing World. Paris: UNESCO; London:
Earthscan. 2009.