



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

VOLUME DE CISTERNAS RURAIS: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA ABASTECIMENTO REGULAR DE ÁGUA

* Luan Moreira Fernandes de Almeida ¹
Juliana Farias Araújo ²
Silvio Roberto Magalhães Orrico ¹
Eduardo Cohim ¹

RURAL CISTERN VOLUME: A CONTRIBUTION TO REGULAR WATER SUPPLY

Recibido el 28 de noviembre de 2019; Aceptado el 14 de septiembre de 2020

Abstract

The Training, Social Mobilization e Coexistence with the Semi-Arid Program: One Million Rural Cisterns - P1MC installed a training process with rural communities in the Brazilian semiarid that will directly involve one million families. This program has brought advances in improving the quality of life of the population with easy access to water, however, despite the excellent results achieved, the strategy of installing a 16,000 liter cistern regardless of the variables present in the system has become less suitable. The present study aimed to evaluate the standardization of these cisterns in the State of Bahia, based on a daily water balance model, to meet the demand of 20 L / (p.d) at 95% reliability e under different pluviometric zones. Data from the Articulation in the Semi-Arid Region (ASA) e the National Water Agency (ANA) were used e it was found that 60% of homes would not have these conditions met, either due to insufficient catchment area, or due to the need for larger volumes of cisterns. The other 40% could be served with volumes from smaller cisterns, concluding that a variation in the volumes of the reservoirs increased in the catchment areas of the systems would represent both an increase in the efficiency of the program e the application of its financial resources.

Keywords: rainwater harvesting, rural Sanitation; water supply.

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental, Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil.

² Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil.

* *Autor correspondente:* Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental Universidade Estadual de Feira de Santana, Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte, Feira de Santana – Bahia. CEP 44036-900. Brasil.

Email: Fernandes.uefs@gmail.com

Resumo

O Programa de Capacitação, Mobilização Social e Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais - P1MC instalou junto às comunidades rurais do semiárido brasileiro um processo de capacitação que envolverá diretamente um milhão de famílias. Este programa trouxe avanços na melhoria da qualidade de vida da população com a facilidade de acesso à água, porém, apesar dos excelentes resultados alcançados, a estratégia de instalar uma cisterna de 16 mil litros independentemente das variáveis presentes no sistema não se mostrou adequada e suficiente. O presente estudo teve como objetivo avaliar a padronização dessas cisternas no Estado da Bahia, a partir de um modelo diário de balanço hídrico, para suprir a demanda de 20 L/(p.d) a uma confiabilidade de 95% e sob diferentes zonas pluviométricas. Foram utilizados dados da Articulação no Semiárido (ASA) e da Agência Nacional de Águas (ANA) e verificou-se que 60% das residências não teriam essas condições atendidas, ou por insuficiência de área de captação, ou por necessidade de volumes maiores de cisternas. Os outros 40% poderiam ser atendidos com volumes de cisternas menores, concluindo que uma variação nos volumes dos reservatórios e acréscimos nas áreas de captação dos sistemas representaria tanto um aumento na eficiência do programa quanto na aplicação de seus recursos financeiros.

Palavras chave: captação de água de chuva, saneamento rural, abastecimento de água.

Introdução

A região semiárida brasileira atinge 13% do território nacional e conta com 26.62 milhões de pessoas (IBGE, 2010) compreendendo parte da região Nordeste e o Norte de Minas Gerais e é a região que possui menor disponibilidade de recursos hídricos no Brasil. No período de 2003 a 2016, residiam nessa região 84% de todos os habitantes afetados por secas duradouras ou estiagem passageiras. (ANA, 2018), o que também contribui para ser a região com maior índice de desigualdade social do país (IBGE, 2010).

As mudanças climáticas, a redução das chuvas e a falta de gestão da água têm aumentado o número de municípios incluídos na região semiárida. Em 2004, quando criado os critérios atuais de delimitação, contava-se 1,135 cidades. Atualmente já são 1,262 municípios (SUDENE, 2018), sendo que mais da metade localizado no Estado da Bahia, o qual corresponde a 64% do território estadual e 51.7% de todo território do semiárido (Medeiros *et al.*, 2014).

Para diminuir essas desigualdades e o modelo de intervenção estatal no semiárido que era marcado por características de combate à seca, surgiu na década de 80 o modelo de convivência com o semiárido, que pressupunha um paradigma baseado na cultura de estoques, que consiste em estocar bens no tempo de chuva para viver adequadamente na seca, sendo a água o principal bem a ser estocado (Silva, 2007).

As diversas organizações que trabalham pela convivência com o semiárido se uniram e formaram a Articulação no Semiárido (ASA). Em 2001 a ASA criou o Programa Um Milhão de Cisterna – P1MC para garantir um abastecimento regular com água de qualidade para cinco milhões de pessoas em áreas rurais do semiárido brasileiro, tendo já construído mais de 600,000 cisternas, beneficiando mais de 2.4 milhões de pessoas (ASABRASIL, 2019).

Conforme relata Assis (2012) o sucesso da trajetória do P1MC transformou o programa de distribuição de cisternas em uma política de governo que foi precursora de programas como Água para Todos. Desde então foram construídas 1.2 milhão de cisternas entre 2003 e 2016, o que inclui as executadas pela ASA no âmbito do P1MC e as de outras ações do governo federal (BRASIL, 2016).

A utilização de cisternas como fonte de abastecimento de água para fins higiênicos e bebida em comunidades isoladas mostrou-se um sucesso tanto em países desenvolvidos, quanto em desenvolvimento (Domènech *et al.* 2012; Rahman *et al.*, 2014; Elliott *et al.*, 2017). O motivo decorre do fato da captação da água de chuva ser uma solução simples, com baixo consumo de energia e com capacidade de atender uma demanda mínima de água com qualidade superior a outras fontes não tratadas (Luna *et al.*, 2011; Mahmood e Hossain, 2017).

Com o sucesso dos programas de cisternas na melhoria da qualidade de vida de populações isoladas que passaram a ter facilidade de acesso a água, os trabalhos têm buscado avaliar a eficiência desses sistemas em fornecer uma quantidade fixa de água (Imteaz *et al.* 2012; Imteaz *et al.* 2013; Hanson e Vogel, 2014). Para Taffere *et al.* (2016), a falta de confiabilidade do programa de cisternas rurais na África subsaariana é resultado da falta de consideração de todas as variáveis envolvidas no projeto, como as características climáticas, tamanho da família, a demanda de água, área de captação e o tamanho do reservatório.

Portanto, o cálculo do volume da cisterna torna-se um dos itens determinantes para a eficiência do projeto de captação de água de chuva e, segundo Quigley *et al.* (2016), o dimensionado de acordo com o padrão das chuvas locais, demandas de abastecimento e áreas de captação é possível garantir uma eficiência superior a 95%.

Trabalhos que simulam resultados sobre a eficiência dos sistemas de captação de água de chuva, no âmbito do P1MC, sugerem maior volume das cisternas para garantia de um abastecimento regular de água na região Norte de Minas Gerais, (Schvartzman e Palmier, 2007; Doss-Gollin *et al.* 2016). Segundo os critérios atuais do P1MC, Dantas *et al.* (2008) verificou probabilidades na falta de água superior a 57% em 10 a 40% dos dias do ano de 2008 resultantes da falta de adequação às variáveis.

A falta de consideração de todas as variáveis envolvidas no dimensionamento dos sistemas de captação de água de chuva, no município de Araci-BA, impossibilitou, o atendimento da demanda de água em 20 L/(p.d) com a garantia de 90% dos dias do ano nas residências que possuíam mais de 5 moradores, mesmo que possuíssem áreas de captação com 120 m² (Cohim e Orrico, 2015). Partindo da premissa de que o aumento no volume das cisternas aumenta a capacidade dos sistemas em armazenar água Doss-Gollin *et al.* (2016) também apresentaram um modelo para avaliar a eficiência das cisternas no âmbito do P1MC e sugeriram cisternas com volumes de 8,000, 16,000, 30,000 e 50,000 litros para melhor adaptação à variação interanual das chuvas.

A insuficiência no provimento de uma quantidade mínima de água necessária é um dos principais desafios para os programas de cisternas, pois torna comum a prática de uso de água derivadas outras fontes de abastecimento com qualidade duvidosa (Bonifácio, 2011), que comprometem as barreiras sanitárias dos programas e aumentam o risco de contaminação dos usuários.

Além do comprometimento da saúde, a falta de água em casa faz com que as pessoas gastem 16% do tempo útil do dia para procurar água (Orrico, 2003), tempo dispensado a outras atividades consideradas importantes no cotidiano, como o cuidado com os filhos, o aprendizado e o lazer, sendo, a maior parte das vezes, um trabalho realizado por mulheres e crianças (Graham *et al.* 2016).

Com a hipótese de que um projeto mais adequado dos sistemas de captação de água da chuva, que considere as respectivas demandas, capacidade de reservação e precipitação local das chuvas, resultará em aumento da eficiência dos sistemas, no fornecimento de uma quantidade mínima necessária de água para sobrevivência em todas as situações e conseqüentemente em uma melhor utilização dos recursos financeiros envolvidos. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência dos sistemas de abastecimento por águas pluviais do P1MC, bem como propor uma alteração na sua padronização a partir da variação dos volumes das cisternas e acréscimos nas áreas de captação.

Metodologia

Para verificar a confiabilidade nos sistemas utilizou o método de balanço hídrico diário que simula a operação do reservatório em um determinado período de tempo, como proposto por Fewkes (1999). 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:

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

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} (V_{t-1} + Q_t - \theta Y_t) - (1 - \theta) Y_t \\ S - (1 - \theta) Y_t \end{array} \right. \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

Y: produção de chuva no sistema, responsável pelo suprimento de demanda (m³);

D: demanda (m³); V: volume de chuva no tanque de armazenamento (m³);

Q: volume total de chuva coletada pelo sistema (m³);

S: volume do tanque de armazenamento (m³).

As diferentes combinações de área de telhado e volumes de cisternas podem ser expressas na forma de relações adimensionais, normalizadas pelo potencial máximo teórico (Equação 3), a partir de dois parâmetros: a Fração da Demanda (F_D), expressa na Equação 4, e a Fração de Reservação (F_R), expressa na Equação 5 (Araujo e Cohim, 2017).

$$V_{max} = A \cdot P \cdot C \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

A: Área de telhado (m²);

P: Precipitação anual (mm);

C: Coeficiente de escoamento (adimensional).

$$F_D = \frac{D}{A \times P} \quad \text{Equação (4)}$$

$$F_R = \frac{V}{A \times P} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

D: Demanda Anual (m³);

V: Volume das cisternas (m³).

Para determinar o volume do reservatório elaborou-se uma rotina na plataforma Matlab, em que a Fração de Demanda (F_D) pode ser atendida com uma dada confiabilidade. Os valores de F_D variaram de 0 até o ponto em que assume o seu valor máximo teórico (Ponto X), valor esse em que a derivada se aproxima do infinito ($\frac{dDF_R}{dDF_D} \rightarrow \infty$), a partir do Ponto X o aumento no fator de demanda não aumenta a confiabilidade do sistema, mesmo com o aumento no volume de das cisternas (Araujo e Cohim, 2017).

Por fim, definiu-se uma curva exponencial (Figura 1) que descreve o comportamento aproximado da Fração de Reservação em relação à Fração de Demanda para cada um dos postos pluviométricos.

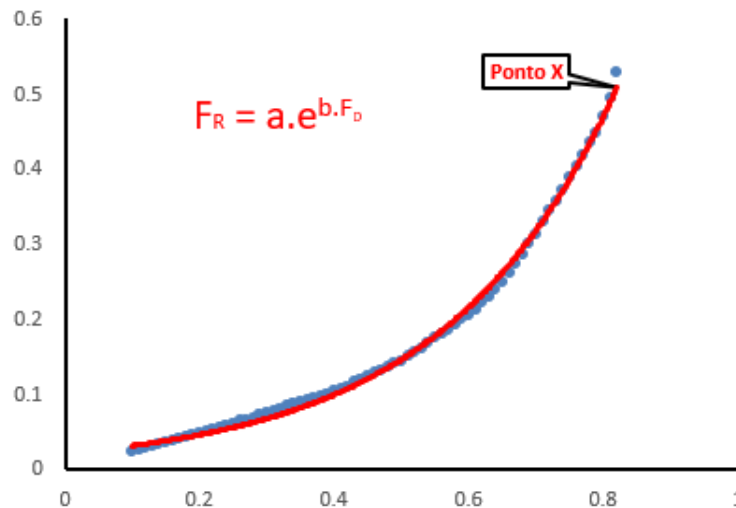


Figura 1. Curva que descreve o comportamento exponencial da curva $F_R \times F_D$ para o posto de Euclides da Cunha (Bahia).

Os dois coeficientes da curva, a e b (Equação 6) foram calculados a partir do estudo de regressão dos pontos encontrados por meio do balanço hídrico, em que os valores de F_D variaram de 0 até o Ponto X, ou seja, ponto em que a confiabilidade se torna independente do aumento no volume do tanque.

$$F_R = a \times e^{b \times F_D} \quad \text{Equação (6)}$$

Verificou-se casos em que a demanda por abastecimento de água seria maior que o possível volume captado, o que impossibilitaria o enchimento do reservatório, sendo mais oportuna uma ampliação inicial na área de captação ao invés do aumento do volume. Para calcular a área necessária de ampliação (Ad) que for necessária, foi utilizada a Equação 7.

$$Ad = \left(\frac{D}{p \times F_{dr}} - A \right) \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

Ad : Área de captação adicional.

As informações sobre o número de habitantes e áreas de abrangências de implantação do programa foram obtidas no banco de dados da ASA, com um total de 23,983 cisternas cadastradas. Foram utilizados dados de precipitação de 180 postos distribuídos espacialmente no Estado da Bahia, das quais 92 estações possuem série histórica de 1998-2012 e 88 postos

possuem série de 1980-2012, obtidos no site da Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) com preenchimento de falhas realizadas pelo método de médias regionais desenvolvido por Paulhus e Kohler (1952) baseado nos registros pluviométricos das três estações mais próximas e espaçadas do registro falhado, calculado por Simões; Cohim e Araújo (2017).

Os agrupamentos dos postos pluviométricos foram definidos segundo divisão de Simões; Cohim e Araújo (2017), que observaram na divisão do IBGE (1990), para o Estado da Bahia, uma ampla heterogeneidade no Grau de Concentração de Precipitação (GCP), no Período de Concentração de Precipitação (PCP) e na precipitação anual em uma mesma mesorregião, propondo uma atualização nas zonas pluviométricas já existente e dividindo o Estado em 10 diferentes mesorregiões (Figura 2).

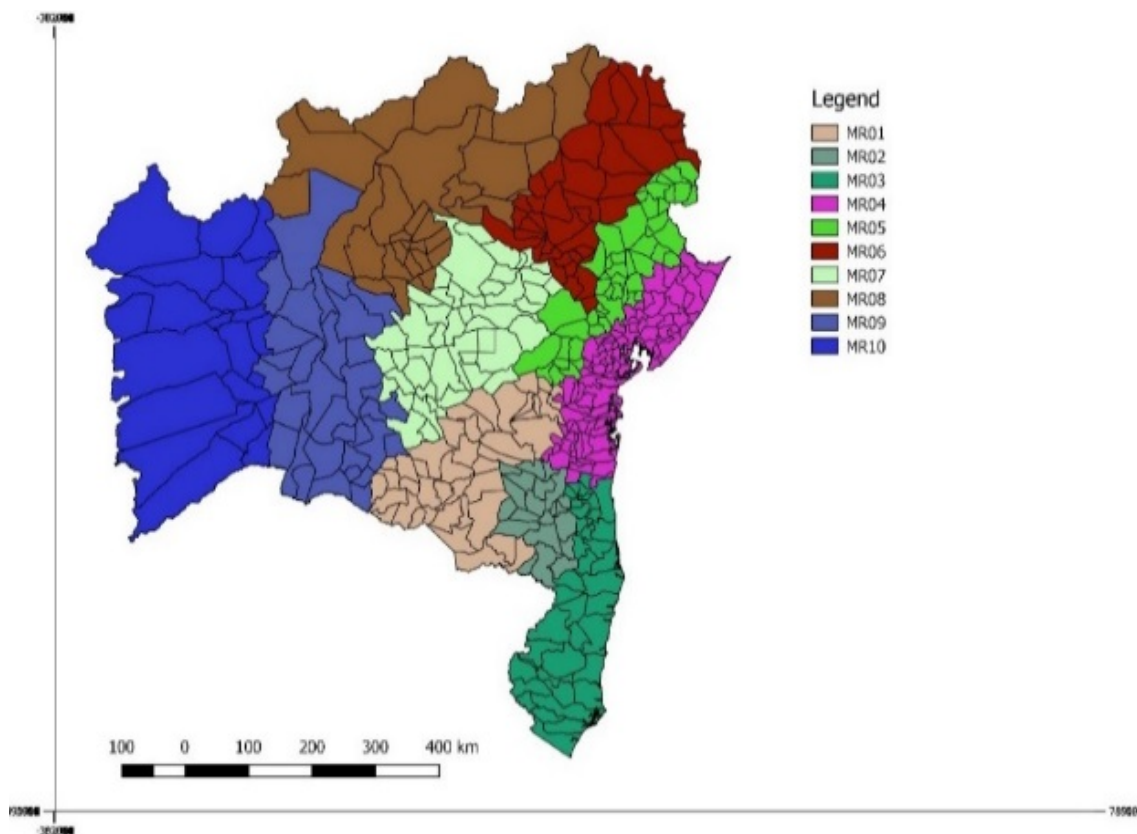


Figura 2. Divisão de grupos pluviométricos no estado da Bahia (Simões et al. 2017).

As mesorregiões 02, 03 e 10, não tiveram domicílios atendidos pelo P1MC por não fazerem parte da área de atuação do programa. Calculou-se a média em cada uma das mesorregiões e a uma confiabilidade de 95% para que os sistemas atendem à demanda plenamente, que necessitam do aumento na área de captação e que necessitam de reservatórios maiores que 16,000 litros. Para calcular o preço de execução das cisternas foi utilizada a Equação 8, que representa uma curva para o custo de cisternas de placas elaborada por Veloso e Cohim (2018) por meio de uma composição dos custos de materiais e serviços com valores das bases de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SNAPI) e o Orçamento de Obras de Sergipe (ORSE).

$$y = 1266.2 \times V^{0.4839}$$

Equação (8)

Onde:

 y = o custo das cisternas em R\$ (reais); V é o volume em m³.

Existem vários estudos e recomendações sobre a quantidade mínima de água para atender as necessidades básicas humanas (Gleick, 1996; Well, 1998; WHO/UNICEF, 2000) e, apesar do P1MC adotar o critério de um consumo de água próximo de 15 L.p⁻¹.d⁻¹, utilizou-se, para esse trabalho, o valor de 20 L/(p.d) recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) (Reed e Reed, 2013) para atender a todas as necessidades básicas em situações emergenciais.

Resultados e discussões

A Figura 3 apresenta a quantidade de sistemas de captação por mesorregião implementados pelo P1MC que, atingem a demanda de água solicitada. Apresenta também a proporção de sistema que não atendem à demanda solicitada devido à necessidade de aumento na área de captação, ou à necessidade de aumento no volume das cisternas.

Observa-se que, em média, 40% dos sistemas poderiam ter suas demandas de água atendidas com reservatórios menores que 16,000 litros e que 49% dos sistemas precisariam de um aumento na área de captação. Percebe-se nesses casos que a demanda por abastecimento de água é maior que o possível volume captado, impossibilitando o enchimento completo do reservatório e evidenciando a necessidade de aumentar a área de captação. Isto se deve ao fato de que a incorporação de um volume maior de armazenamento não melhoraria a confiabilidade do sistema, pois, já não seria possível coletar uma quantidade de água referente ao consumo, o que resulta em uma capacidade ociosa no volume das cisternas. Apenas 11% das cisternas necessitariam de reservatórios maiores que 16,000 litros.

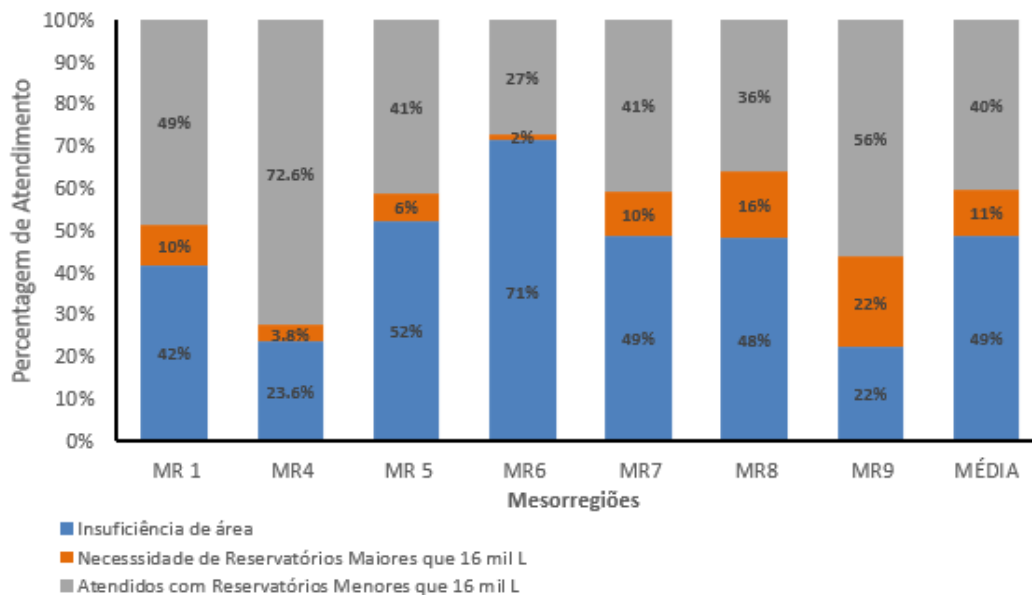


Figura 3. Resumo característico da porcentagem de atendimento das demandas básicas de água para o Estado da Bahia no âmbito do P1MC.

A dificuldade no provimento de 20 L/(p.d) de água, presente em 60% das casas estudadas (Figura 3), é recorrente em projetos que não analisam todas as variáveis envolvidas nos sistemas podendo comprometer a eficácia do programa, pois, uma quantidade insuficiente de água gera hábitos higiênicos inadequados além de propiciar procura por fontes alternativas de abastecimentos que podem constituir potenciais riscos à saúde. A Tabela 1 informa por mesorregião, em números absolutos, a situação dos sistemas em cada residência.

Conforme apresentado na Tabela 1, a Mesorregião 6 possui a maior quantidade relativa de municípios, 71% residências (3.282), nas quais, o aumento na área de captação seria necessário. Já a mesorregião 9 tem proporcionalmente o maior número de domicílios que necessitariam reservatórios maiores que 16.000 litros, com um total de 778 dos domicílios, representando 22% das residências.

Observa-se na Figura 1 que o valor de FR aumenta até o ponto em que FD assume seu valor máximo teórico (Ponto X). Após este valor, o sistema de captação não pode mais atender plenamente a demanda de água a uma confiabilidade de 95%.

Tabela 1. Quantidades Absolutas de Residências por Municípios.

Municípios	MR	Domicílios Cadastrados	Atendidos com Volumes ≤ 16,000 L	Necessitam de Volumes > 16,000 L	Necessitam de acréscimo na área de captação
Brumado	01	1,775	873	154	748
Condeúba	01	90	52	6	33
Vitória da Conquista	01	168	72	31	65
Cândido Sales	01	30	20	4	6
Anagé	01	150	59	20	72
Total	01	2,213	1074	215	924
Inhambupe	04	199	144	8	47
Araci	05	1,540	406	135	999
Paripiranga	05	1,659	747	39	873
Antas	05	21	7	0	14
Heliópolis	05	100	43	28	29
R, Pombal	05	220	106	27	87
Sátiro Dias	05	280	163	41	76
Itapicuru	05	529	271	14	244
Serrinha	05	210	137	7	66
Ipirá	05	30	11	6	13
Total	05	4,589	1,891	297	2,401
Conceição do Coité	06	1,754	656	0	1,098
Paulo Afonso	06	400	151	17	232
Santa Luz	06	1,350	206	11	1,133
E, da Cunha	06	191	93	16	82
Queimadas	06	120	16	7	97
Jeremoabo	06	317	89	5	223
Monte Santo	06	110	14	17	80
Coronel João de Sá	06	180	6	2	172
Pedro Alexere	06	180	11	4	165
Total	06	4,602	78	1,242	3,282
Souto Soares	07	997	302	34	662
Mairi	07	244	90	23	131
Morro do Chapéu	07	75	18	0	57
Earaí	07	30	20	3	7
L, Nossa Senhora	07	120	51	28	41
Mundo Novo	07	217	157	17	43
Baixa Gree	07	681	248	166	267
Ruy Barbosa	07	488	277	15	196
Itaberaba	07	243	104	35	104
Utinga	07	28	10	2	16
Total	07	3,123	1,277	322	1,524

Municípios	MR	Domicílios Cadastrados	Atendidos com Volumes ≤ 16,000 L	Necessitam de Volumes > 16,000 L	Necessitam de acréscimo na área de captação
Uibaí	08	152	44	30	78
Gentio do Ouro	08	948	438	188	322
Canarana	08	1,507	582	146	779
Irecê	08	48	16	10	22
Ibititá	08	328	62	42	224
Rodelas	08	9	2	0	7
Xique-Xique	08	150	35	9	106
Sento Sé	08	400	113	48	239
Juazeiro	08	90	23	4	63
Casa Nova	08	360	113	75	172
Barra do Mendes	08	1,669	612	330	727
Total	08	5,661	2,041	881	2,739
Morpará	09	211	136	34	41
Santana	09	447	282	94	71
Brotas de Macaúbas	09	430	277	69	84
Bom Jesus da Lapa	09	30	16	10	4
Serra do Ramalho	09	100	32	14	54
Riacho de Santana	09	190	102	44	44
Parapirim	09	90	40	40	10
Carinhanha	09	74	36	19	19
Palmas do Monte Alto	09	190	94	51	45
Caetité	09	60	38	13	9
Urei	09	600	329	177	94
Guanambi	09	1,174	638	213	323
Total	09	3,596	2,020	778	798
TOTAL	-	23,983	9,692	2,576	11,715

A Tabela 2 apresenta os resultados para os coeficientes a e b e também para o valor do F_D máximo teórico (Equação 6), para cada um dos postos pluviométricos analisados. Todas as curvas de balanço da Fração de Reservação (F_R) em função de Fração de Demanda (F_D) representadas pela Figura 1, referente aos municípios listados (Tabela 2), apresentaram boa adaptação ao modelo de regressão ajustado, pois, os valores para coeficiente de determinação R^2 estão acima de 0.95, com exceção da cidade de Ruy Barbosa, que possui R^2 igual a 0.861.

Para melhoria da eficiência dos sistemas do P1MC como também a abrangência do programa, pois, o P1MC adotou mínimo de 40 m² de área de telhado necessárias para construir a cisterna, resultando na exclusão de 6.2% de famílias que poderiam ser atendidas (TCU, 2006), é necessário acréscimo na área de captação, a variação da necessidade de aumento nas áreas de captação para atendimento a demanda de água é apresentada na Figura 4.

Tabela 2. Coeficientes a e b , coeficiente de determinação R^2 e mesorregião por Posto Pluviométrico.

Posto Pluviométrico	R^2	F_D máximo	a	b	Mesorregião
Brumado	0.975	0.64	0.041	4.09	01
Condeúba	0.980	0.72	0.041	3.70	01
Vitória da Conquista	0.954	0.81	0.014	4.80	01
Cândido Sales	0.966	0.81	0.018	4.51	01
Anagé	0.988	0.66	0.033	4.86	01
Inhambupe	0.988	0.76	0.007	5.28	04
Araci	0.992	0.74	0.010	5.66	05
Paripiranga	0.998	0.33	0.008	8.31	05
Antas	0.990	0.45	0.011	6.34	05
Heliópolis	0.987	0.76	0.013	4.60	05
Ribeira do Pombal	0.986	0.69	0.012	5.45	05
Sátiro Dias	0.990	0.81	0.020	3.90	05
Itapicuru	0.986	0.74	0.020	4.17	05
Serrinha	0.989	0.71	0.010	4.96	05
Ipirá	0.986	0.77	0.014	5.44	05
Conceição do Coité	0.989	0.75	0.013	5.54	06
Paulo Afonso	0.970	0.70	0.016	4.95	06
Santa Luz	0.988	0.64	0.021	4.65	06
Euclides da Cunha	0.992	0.82	0.020	3.90	06
Queimadas	0.987	0.80	0.011	5.14	06
Jeremoabo	0.969	0.73	0.018	4.07	06
Monte Santo	0.970	0.70	0.016	4.95	06
Coronel João de Sá	0.995	0.49	0.035	5.30	06
Pedro Alexere	0.987	0.61	0.027	5.31	06
Souto Soares	0.978	0.78	0.036	3.93	07
Mairi	0.994	0.69	0.010	6.37	07
Morro do Chapéu	0.987	0.73	0.008	5.75	07
Eraí	0.957	0.72	0.009	5.83	07
Livramento de Nossa Senhora	0.974	0.80	0.044	3.58	07
Mundo Novo	0.995	0.77	0.017	4.37	07
Baixa Gree	0.986	0.59	0.019	6.95	07
Ruy Barbosa	0.861	0.80	0.147	3.99	07
Itaberaba	0.995	0.69	0.019	6.02	07
Utinga	0.989	0.74	0.026	4.44	07
Uibaí	0.993	0.72	0.034	4.66	08
Gentio do Ouro	0.985	0.83	0.045	3.40	08
Canarana	0.987	0.75	0.039	4.12	08
Irecê	0.975	0.78	0.048	3.43	08
Ibititá	0.992	0.73	0.040	4.26	08
Rodelas	0.991	0.66	0.041	4.69	08
Xique-Xique	0.975	0.80	0.049	3.46	08
Sento Sé	0.983	0.81	0.049	3.52	08
Juazeiro	0.975	0.78	0.040	3.81	08
Casa Nova	0.985	0.79	0.045	3.69	08
Barra do Mendes	0.991	0.73	0.037	4.29	08

Posto Pluviométrico	R ²	F _D máximo	a	b	Mesorregião
Morpará	0.970	0.82	0.042	3.30	09
Santana	0.978	0.78	0.039	3.55	09
Brotas de Macaúbas	0.971	0.80	0.039	3.52	09
Bom Jesus da Lapa	0.964	0.70	0.045	3.42	09
Serra do Ramalho	0.975	0.76	0.046	3.36	09
Riacho de Santana	0.977	0.68	0.042	3.64	09
Parapirim	0.994	0.72	0.037	4.45	09
Carinhanha	0.967	0.81	0.044	3.25	09
Palmas do Monte Alto	0.965	0.77	0.051	3.11	09
Caetité	0.967	0.72	0.034	3.87	09
Urei	0.985	0.61	0.025	4.64	09
Guanambi	0.972	0.76	0.049	3.28	09

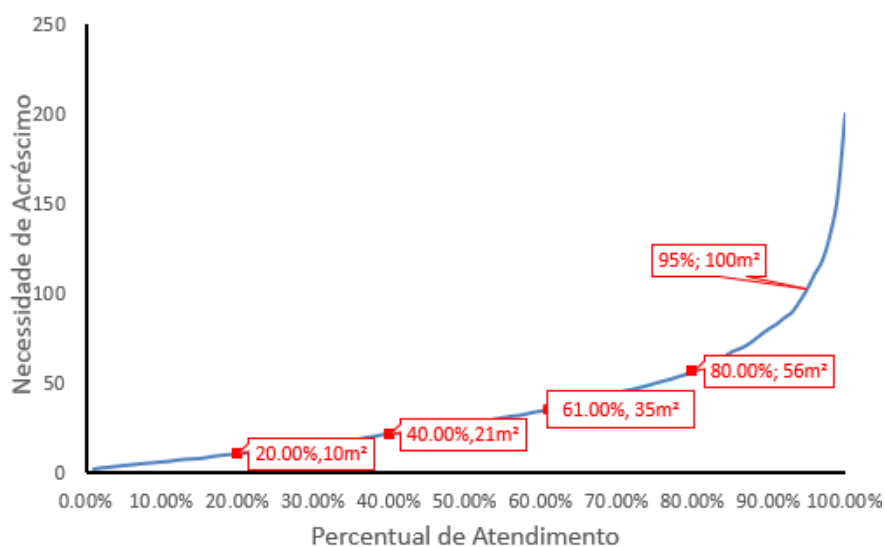


Figura 4. Variação da necessidade de acréscimo de área de captação.

A redução da capacidade ociosa no volume das cisternas e melhoraria da eficiência hídrica dos sistemas poderiam ser obtidas com o aumento na área de captação nas 11,715 (Tabela 1) das residências estudadas. A Figura 4 mostra que 2.343 das residências precisariam de um aumento de 10 m², 2,343 de 21 m², 2,460 de 35 m², 2,226 m² de 56 m² e 1,757 m² de 100 m².

Como a maior parte do custo e da eficiência relacionado aos sistemas de coleta de águas de chuva está no dimensionamento do volume do reservatório propõe-se melhor uso dos recursos financeiros do programa a partir do emprego de diferentes padrões de volumes de cisternas, nas quais, o uso de volumes menores compensaria o uso dos volumes maiores. A Figura 5 mostra uma sugestão de uma nova padronização nos volumes das cisternas.

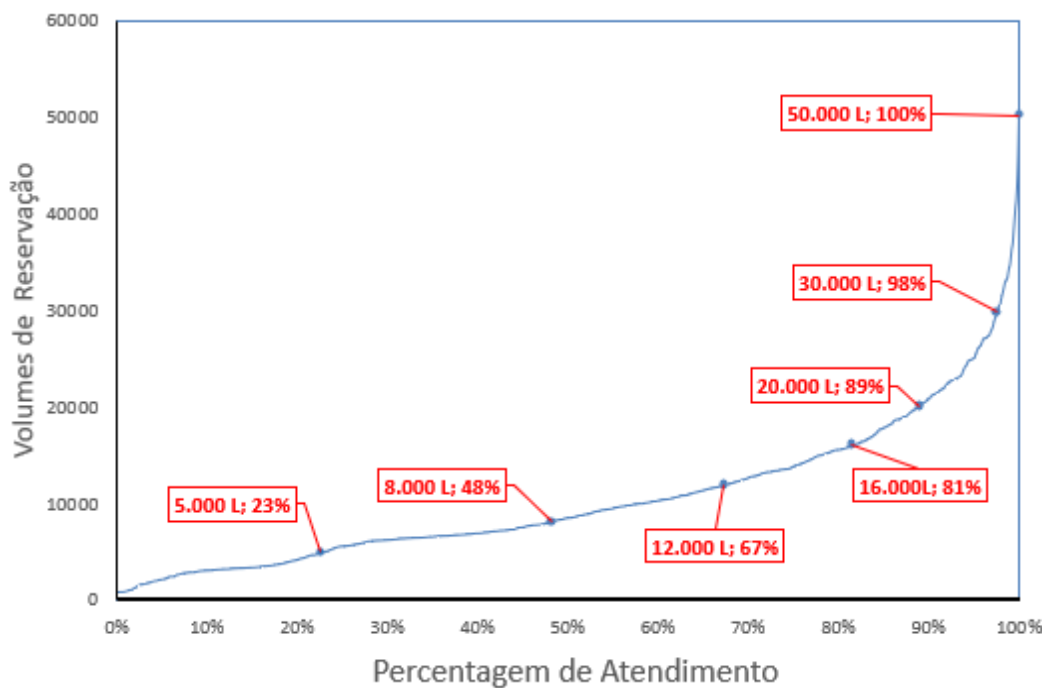


Figura 5. Frequência acumulada da porcentagem de atendimento por volumes das cisternas.

Assim no Estado da Bahia, de acordo com a Figura 5, cisternas de 5,000; 8,000; 12,000; 16,000; 20,000; 30,000 litros poderiam ser usados sem redução da confiabilidade dos sistemas. Esses volumes representam um atendimento de, respectivamente, 2,822; 3,067; 2,331; 1,718; 981; 1,104 das residências estudadas. Os outros 246 sistemas só teriam suas demandas atendidas com reservatórios de 50,000 litros

Compatível com o trabalho de Doss-Gollin *et al.* (2016), que apesar de admitirem a área de captação como uma variável importante para a garantia da confiabilidade dos sistemas do P1MC, sugerem apenas a variação de 8,000; 16,000; 30,000 e 50,000 nos volume das cisternas para melhor adaptação à sazonalidade das chuvas.

O custo de todas as cisternas construídas com 16,000 L foi de 59.427 milhões de reais. Com a alteração no volume das cisternas, o custo total (Equação 8) para atender a uma população semelhante seria de 51.2 milhões de reais, o que representaria uma economia de 8.3 milhões de reais, aproximadamente 14%, nos recursos financeiros do programa, ou alternativamente um acréscimo de 14% de beneficiados.

A mudança na padronização no volume das cisternas dos sistemas de captação de água de chuva, para um modelo com base na igualdade do atendimento da demanda, poderia reduzir as diferenças de oferta de água, no âmbito do P1MC para o Estado da Bahia, garantindo a todos uma quantidade mínima de água necessária para sobrevivência, reduzindo o risco da população à exposição de fontes não tratadas, e de diminuir os custos referentes à construção de novas cisternas.

A maior disponibilidade de água no domicílio reduz o tempo gasto pelas pessoas, em especial a mulher, no deslocamento diário para fontes de água, o que permite maior atenção aos filhos e realizar outras atividades produtivas a exemplo da própria agricultura, costura, confecção de artefatos, capacitação profissional, etc, ou simplesmente o descanso necessário.

São impactos sociais e econômicos que podem ocorrer nessa população, além da comodidade de se ter água com mais quantidade, próximo à sua residência. Esses impactos repercutem também na economia do município, na menor demanda aos serviços de saúde e na permanência da população na zona rural, reduzindo assim a pressão do crescimento urbano, o qual requer ao poder público, custo bem maiores de implantação, operação e manutenção das infraestruturas

Conclusões

Para um uso mais efetivo e mais eficiente da captação de água de chuva, e um aumento da segurança hídrica para o semiárido brasileiro, é necessário a consideração de todas as variáveis envolvidas no sistema em questão. O P1MC teve sucesso no cumprimento de seus objetivos, que previam o fornecimento de uma quantidade de água apenas para beber e não para a todas as necessidades domésticas. Mas dando seguimento à melhoria da qualidade de vida dos habitantes da zona rural do semiárido brasileiro, verifica-se que o aumento da oferta demandará o aumento da área de captação, e/ou o aumento do volume das cisternas em função da região do semiárido.

Nesse estudo constatou-se que volumes de cisternas, varia em 5,000; 8,000; 12,000; 16,000; 20,000; 30,000 e 50,000 litros, podem garantir o fornecimento de água a uma quantidade de 20 L (p.d) com uma confiança no provimento de água de 95% aos sistemas.

Nos sistemas com cisternas que possuem volumes ociosos, 2,343 destas, necessitariam de um incremento de 10 m² na área de captação; 2,343 de 21 m²; 2,460 de 35 m² e 2,226 m² de 56 m². Outros 1,757 domicílios precisariam de um aumento da área de captação de até 100 m².

Em uma projeção com base nos sistemas já implantados a construção de novos sistemas seguindo o critério de volumes variáveis resultaria em uma economia de 8.26 milhões de reais, além da maior disponibilidade da água. Além de uma melhor aplicação de seus recursos financeiros, possibilitaria também o fornecimento de água para agricultura familiar de subsistência.

A consideração de todas as variáveis presentes na análise dos sistemas de captação de água de chuva, no âmbito do P1MC pode representar um aumento no provimento de água para maioria dos domicílios estudados, além de reduzir a dependência de água de outras fontes, diminuindo os riscos de contaminação e portanto menor incidência de doenças gastrointestinais.

O aumento de disponibilidade de água no domicílio proporciona, principalmente à mulher e crianças, outras possibilidades de trabalho ou simplesmente o descanso necessário. São impactos que repercutem também na economia do município, pela redução de incidência de doenças de origem gastrointestinais, por um aumento na produção agrícola e na permanência das famílias na zona rural.

Sugestões e recomendações

Sugere-se que as unidades a serem construídas devam basear-se nas características climáticas e demográficas de cada mesorregião do semiárido brasileiro

O estudo aqui apresentado utilizou informações climáticas e demográficas do Estado da Bahia. Para aplicação em outras áreas do semiárido, é necessário se fazer também o estudo para definição das mesorregiões pluviométricas e utilizar os dados demográficos locais.

Recomenda-se se estudar os locais em que tem havido a necessidade de abastecer cisterna com água do caminhão pipa e a sua frequência de modo a se ter dados operacionais dos sistemas já instalados para melhor dimensionamento das futuras unidades.

Referências bibliográficas

- ANA, Agência Nacional de Águas (2018) *Conjuntura Dos Recursos Hídricos No Brasil 2017: Relatório Pleno*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 126 pp.
- Araujo, J. F., Cohim, E. (2017) A Influência Da Variação Sazonal Das Chuvas No Volume De Cisternas de Água No Estado da Bahia, *XXI Seminário de Iniciação Científica*. Feira de Santana, Brasil.

- ASABRASIL, Articulação no Semiárido (2019) *Programa 1 Milhão de Cisterna*. Acesso em: 2 de nov. 2019, disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>
- Assis, T. R de P. (2012) Sociedade civil e a Construção de Políticas Públicas na Negição Semiárida Brasileira: O Caso do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), *Revista de Políticas Públicas*, **16**(1), 179-189.
- Brasil (2016) *Programa Cisternas democratiza acesso à água no Semiárido*. Acesso 18 de Outubro de 2018, disponível em: <http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2016/05/programa-cisternas-democratiza-acesso-a-agua-no-semiarido>
- Bonifácio, S. N. (2011) *A percepção dos beneficiários do p1mc quanto à utilização das cisternas de água de chuva no semiárido mineiro*, Tese de mestrado, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 138 pp.
- Cohim, E., Orrico, S. R. M. (2015) A Confiabilidade Do Volume Das Cisternas Da Zona Rural Para Reservar Água de Chuva, *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, **3**(2), 91-99.
- Dantas, S. et al (2008) Estimativas de Desabastecimento de Cisternas Uso e Previsões Probabilísticas de Precipitações Sazonal, *IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Salvador, Brasil.
- Domènech, L., Heijnen, H. e Saurí, D. (2012) Rainwater harvesting for human consumption e livelihood improvement in rural Nepal: Benefits e risks, *Water e Environment Journal*, **26**(4), 465-472. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2011.00305.x>
- Doss-Gollin, J., de Souza Filho, F. de A., da Silva, F. O. E. (2016), Analytic Modeling of Rainwater Harvesting in the Brazilian Semiarid Northeast, *Journal of the American Water Resources Association*, **52**(1), 129-137.
- Elliott, M. et al. (2017) Multiple Household Water Sources e Their Use in Remote Communities With Evidence From Pacific Isle Countries, *Water Resources Research*, **53**(11), 9106-9117. doi: <https://doi.org/10.1002/2017WR021047>
- Fewkes, A. (1999) Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach, *UrbanWater*, **1**(4), 323-333.
- Gleick, P. H. (1996) Basic Water Requirements for Human Activies: Meeting Basic Needs, *Water International*, **21**(1), 83-92.
- Graham, J. P., Hirai, M. and Kim, S. S. (2016) An analysis of water collection labor among women and children in 24 sub-Saharan African countries, *PLoS ONE*, **11**(6), 1-14. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155981>
- Hanson, L. S., Vogel, R. M. (2014) Generalized storage-reliability-yield relationships for rainwater harvesting systems, *Environmental Research Letters*, **9**(7), 1-10.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1990) *Divisão Do Brasil Em Mesorregiões E Microrregiões Geográficas*, 1a ed., Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, 135 pp.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) *Índice de Gini da renda domiciliar per capita segundo Região, Unidade da Federação e Região Metropolitana*. Acesso em: 2 nov. 2019, disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/censo/bases/giniuf.htm>
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. Brasília: Ministério do Planejamento Orçamento e Gestão. Acesso em 20 de junho 2019, disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/territorio>
- Imteaz, M. A., Adeboye, O. B., Rayburg, S., Shanableh, A. (2012) Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model, *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B.V., **62**, 51-55. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.02.007>
- Imteaz, M. A., Ahsan, A., Shanableh, A. (2013) Reliability analysis of rainwater tanks using daily water balance model: Variations within a large city, *Resources, Conservation e Recycling*, **77**, 37-43.
- Luna, C. F., Brito, A. M., Costa, A. M., Lapa, T. M., Flint, J. A. e Marcynuk, P. (2011) impacto do uso da água de cisternas na ocorrência de episódios diarreicos na população rural do agreste central de pernambuco, Brasil, *Revista Brasileira de Saude Materno Infantil*, **11**(3), 283-292. doi: <https://doi.org/10.1590/S1519-38292011000300009>

- Mahmood, A. e Hossain, F. (2017) Feasibility of managed domestic rainwater harvesting in South Asian rural areas using remote sensing, *Resources, Conservation e Recycling*. Elsevier, **125**(June), 157-168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.06.013>
- Medeiros, S. S. et al (2014) *Abastecimento Urbano de Água: Panorama para o Semiárido Brasileiro*, INSA, Campina Gree, 35-34.
- Orrico, S. (2003) Sistema associativo de saneamento e seus efeitos sobre a população em comunidades do semi-árido baiano, Tese de Doutorado, Faculdade de Saúde Pública, Departamento de Saúde Ambiental, Universidade de São Paulo, p. 185.
- Paulhus, J. L. H.; Kohler, M. A (1952) Interpolation of Missing Precipitation Records, *Monthly Weather Review*, **80**(8), 129-133.
- Quigley, N., Beavis, S. G., White, I (2016) Rainwater harvesting augmentation of domestic water supply in Honiara, Solomon Isles, *Australian Journal of Water Resources*, **20**(1), 65-77.
- Rahman, S. et al. (2014) Sustainability of rainwater harvesting system in terms of water quality, *The Scientific World Journal*, **14**(1), 10. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/721357>
- Reed, B. e Reed, B. (2013) How much water is needed in emergencies. *Technical Notes on Drinking-Water, Sanitation e Hygiene in Emergencies*, **9**, 1-4.
- Schvartzman, A. S.; Palmier, L. R. (2007) Sugestões Para O Aprimoramento dos Sistemas De Captação Água de Chuva Por Meio de Cisternas Na Região Semiárida de Minas Gerais, *6o. Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*. Belo Horizonte, Brasil.
- Silva, R. M. A. Da (2007) Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido políticas públicas e transição paradigmática, *Revista Econômica do Nordeste*, **38**, 466-485.
- Simões, Y. De S.; Cohim, E.; Araújo, H. A. De (2017) Rainfall zoning of Bahia State Brazil: an update proposal. *Revista Ambiente e Água*, **13** (1), 1-18.
- SUDENE, Superintendencia do Desenvolvimento do Nordeste (2018) *Delimitação do Semiárido*. Acesso em: 1 novembro de 2019, Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>
- Taffere, G. R. et al (2016) Reliability analysis of roof rainwater harvesting systems in a semi-arid region of sub-Saharan Africa: case study of Mekelle, Ethiopia, *Hydrological Sciences Journal*, **61**(6), 1135-1140.
- TCU, Tribunal de Contas da União (2006) *Avaliação da ação de construção de cisternas para armazenamento de água*. Acesso em 04 de Julho de 2018, Brasília - DF disponível em: <https://siga.apps.tcu.gov.br/?contexto=lumis&URL=https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?inline=1&fileId=8A8182A14D92792C014D92817259532F>
- Veloso, V. V. B. G.; Cohim, E. (2018) Dimensionamento E Otimização De Volumes De Reservatórios De Água Da Chuva Para Uso Pecuário Na Região De Feira De Santana - Ba, *11º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva*. Campina Gree, Brasil.
- Well, Water E Environmental Health At London E Loughborough (1998) *Guidance manual on water supply e sanitation programmes*. Manual, 356 pp.
- WHO/UNICEF, World Human Organization (2000) *Global water supply e sanitation assessment 2000 report*. Acesso em: 23 de novembro de 2018. Disponível em: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp2000/en