



## **PARAMETRIZAÇÃO DE UM MODELO DE BALANÇO HÍDRICO DE CISTERNAS RURAIS**

**Dennyale Alves Gama<sup>1</sup>, Rodolfo Luiz B. Nóbrega<sup>2</sup> e Carlos de Oliveira Galvão<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

Os sistemas de captação de água de chuva, através de cisternas em áreas rurais do Nordeste brasileiro, são cada vez mais numerosos. A eficiência de tais sistemas está ligada às condições de manejo e manutenção de seus componentes, de forma que, se bem conservados e manejados, podem garantir água em quantidade e qualidade ao longo do ano. Equações de balanço hídrico podem simular o seu comportamento utilizando séries históricas de precipitação, e assim avaliar se o sistema é adequado para o uso de cada família. Para uma simulação precisa, é necessário parametrizar estas equações. Neste artigo, apresenta-se o processo de parametrização para sistemas no semiárido da Paraíba. Os resultados mostram que a simulação representa de forma satisfatória o comportamento observado dos sistemas. Os erros são avaliados e caracterizados.

**Palavras-chave:** água de chuva, monitoramento, semiárido.

## **PARAMETERISATION OF A WATER BALANCE MODEL FOR RURAL RAINWATER CISTERNS**

### **ABSTRACT**

Rainwater catchment systems using cisterns are very numerous in the Brazilian northeastern region. The efficiency of those systems is related to the maintenance and management of their components, so that, if well managed and preserved will guarantee water supply in adequate quantity and quality throughout the year. Water balance equations can simulate their behavior using historical time series of rainfall and, thus, evaluate whether the system is appropriate for each family usage. For a precise simulation it is necessary to parameterize those equations. In this paper, the parameterization process is presented for systems in the semiarid region of the State of Paraíba. The results show that the simulation represents satisfactorily the observed behavior of the systems. The errors are evaluated and characterized.

**Keywords:** rainwater, monitoring, semiarid.

### **INTRODUÇÃO**

A variabilidade climática ocorrente na região Nordeste está associada à má distribuição tanto espacial quanto temporal dos totais pluviométricos. Esta tem seu período chuvoso concentrado em 4 meses do ano, sendo os demais caracterizados por grandes períodos de escassez. Dentro desta perspectiva, o uso de sistemas que capturem e armazenem a água de chuva para os demais períodos surge como forma de mitigar os efeitos causados pelos meses de estiagem, além de garantir uma água de boa qualidade para todo o ano (Palmier e Gnadlinger, 2005; Brito *et al.* 2007). As cisternas, como sistema para captação de águas pluviais para consumo humano, têm sido bastante utilizadas, pelo seu baixo custo de instalação comparado à sua eficiência no atendimento das necessidades básicas. Seu uso se intensificou diante do surgimento do P1MC (Programa 1 milhão de cisternas), coordenado pela Articulação do Semiárido (ASA), que, como o próprio nome diz, propõe a construção de 1 milhão de cisternas na região semiárida brasileira.

<sup>1</sup> Aluna de Curso de Engenharia Civil, Depto. de Eng., UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: dennyale@hidro.ufcg.edu.br

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, Mestrando, Depto. de Eng. Civil, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: rodolfo@hidro.ufcg.edu.br

<sup>3</sup> Engenheiro Civil, Professor, Depto. de Engenharia Civil, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: galvao@dec.ufcg.edu.br

A eficiência deste sistema, porém, está condicionada às suas condições de uso, manejo e manutenção, que quando bem conservado e dimensionado poderá garantir água de boa qualidade para atendimento de uma família durante todo um ano. Como forma de aperfeiçoá-lo, através de equações de balanço hídrico para o reservatório é possível avaliar se a água captada será suficiente para o atendimento da demanda da família segundo sua capacidade de captação e armazenamento.

O projeto “Melhoramentos tecnológicos e educação ambiental para a sustentabilidade dos projetos de armazenamento de água de chuva em cisternas do Nordeste semiárido”, financiado pela FINEP/CT-HIDRO, ao qual estão vinculados os resultados relatados neste trabalho, dentre suas metas desenvolve estudos de estimativas dos riscos de desabastecimento das cisternas utilizando as previsões de chuva, através de balanço hídrico. Dentro desta meta, realizou-se o acompanhamento mensal volumétrico de sistemas de captação de água de chuva localizados em comunidades do semiárido paraibano para, a partir deste, calibrar os parâmetros utilizados no balanço hídrico das cisternas, avaliando sua representatividade como um modelo de um sistema real.

## **O USO DE CISTERNAS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA**

O semiárido brasileiro compreende uma extensão de quase 1 milhão de quilômetros quadrados desde o Vale do Jequitinhonha e o norte dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo até o sertão dos estados nordestinos, onde chove de 500 a 700 mm por ano. Esta precipitação pode ser aproveitada através da captação em diferentes superfícies – como estradas, coberturas de residências, ginásios de esporte, postos de combustível, shoppings, estacionamentos, entre outras – e do armazenamento da água captada em reservatórios comumente denominados de cisternas (Moura *et al.*, 2007; Souza *et al.*, 2008).

Estes reservatórios são dimensionados levando em conta a pluviosidade, a dimensão e tipo do telhado, o número de pessoas na casa, as técnicas de construção e a educação dos usuários. A eficácia de um sistema de captação de água de chuva está diretamente relacionada às suas condições de manejo e manutenção. Sendo este, então, constituído por telhado, calha e cisterna; se cada um destes não cumprir sua função de forma eficiente tornará deficiente o sistema como um todo. Para consumo humano, a água necessita estar de acordo com os padrões de potabilidade, conforme a Portaria No. 518, do Ministério da Saúde (Brasil, 2004).

O P1MC em seus estudos levou em consideração uma precipitação média de 400 mm e uma área de telhado de 40m<sup>2</sup>, determinando assim que as cisternas deveriam ter capacidade de armazenamento de 16m<sup>3</sup> para abastecer uma residência com 5 pessoas, com 13 l/pessoa/dia, durante 8 meses (ASA, 2001). Estes parâmetros, porém, nem sempre são eficazes diante da precipitação média, que varia de local para local, ou até mesmo da demanda de cada família. A água captada então, que poderia abastecer uma família em épocas de escassez, não a atende de forma eficiente, sendo, portanto, um sistema que poderá vir a falhar. É neste contexto que surge a necessidade de avaliar a capacidade destes sistemas em atender às demandas de seus usuários de acordo com a localidade, condições de manutenção e manejo, dentre outras características do sistema/usuário.

Com estudos de riscos de desabastecimento associados a previsões probabilísticas de precipitação sazonal das localidades (Dantas *et al.*, 2008), é possível prever a falta de água nos sistemas e gerar mapas regionais do déficit hídrico ao longo do ano. Uma etapa importante neste processo é a simulação do balanço hídrico diário das cisternas, que é o objeto deste artigo.

## **METODOLOGIA**

### **Caracterização dos sistemas**

A área de estudo compreendeu o município de São João do Cariri, que está inserido na região semi-árida do estado da Paraíba e possui precipitação média em torno de 350 mm nos seis meses mais chuvosos do ano. Foram monitorados quatro sistemas situados em diferentes comunidades dentro do município, durante um período de 16 meses (fevereiro de 2008 a maio de 2009). Este período teve precipitações relativamente abundantes, tendo sido caracterizado como normal a chuvoso (AESA, 2008, 2009).

Os sistemas foram nomeados para melhor distinção e escolhidos de acordo com parâmetros previamente analisados importantes para melhor caracterização do modelo, como por exemplo, o recebimento de água de carro-pipa, sendo mostrados na Tabela 1. Dentre os quatro, dois receberam água de carro-pipa durante o período de observação.

A medição do volume das cisternas foi feita levando em consideração apenas seu volume interno (capacidade) e altura máxima como a do tubo de extravasamento; por isso todas elas possuem menos de

16m<sup>3</sup> apesar de todas serem construídas pelo P1MC. Conhecendo as características estruturais dos sistemas, mensalmente foram coletados dados da coluna d'água em cada cisterna para cálculo de seu volume no mês em questão; as medições foram feitas uma vez por mês, em datas pré-estabelecidas que não ultrapassassem intervalos de mais de 30 dias.

Tabela 1 – Caracterização dos sistemas de captação analisados.

	<b>SJC 1</b>	<b>SJC 2</b>	<b>SJC 3</b>	<b>SJC 4</b>
Comunidade	Curral do Meio	Sítio Pombo	Sítio Pombo	Malhada da Roça
Volume da cisterna (m <sup>3</sup> )	14,69	15,72	15,00	15,62
Área de captação (m <sup>2</sup> )	86,43	68,29	134,33	102,31
Nº pessoas (média)	4	3	5	3
Aporte de água de carro-pipa	Não	Sim	Sim	Não

O número de pessoas na família é um termo variável, podendo a cisterna abastecer outras pessoas das redondezas, sendo então um número maior ou menor em alguns meses do ano. Nas simulações esta foi considerada como a observada em cada mês e a demanda foi calculada com base na quantidade de baldes retirados diariamente por cada família. Esta quantidade foi relacionada ao número de pessoas no caso de variações mensais.

Os dados pluviométricos utilizados para o balanço hídrico foram adquiridos a partir de um pluviômetro instalado na comunidade de Curral do Meio, e na falta de dados disponíveis deste em alguns meses, a partir de dados coletados na Bacia Escola instalada em São João do Cariri.

### **Coefficiente de escoamento superficial**

O coeficiente de escoamento superficial foi calculado a partir de dados de um sistema piloto, onde foi medido o volume de água da cisterna antes e após um evento de chuva, durante dias consecutivos. Desta forma, calculou-se a quantidade de água captada no telhado e a quantidade armazenada na cisterna, obtendo-se assim uma média de 73%, significando que 27% da água captada é perdida durante o seu percurso até ser armazenada na cisterna.

### **Modelo de Balanço Hídrico**

O modelo de balanço hídrico utilizado tem por base o uso de equações que relacionem a quantidade de água precipitada, captada e utilizada, dando um total de água armazenada pela cisterna. Para o cálculo usa-se a seguinte equação expressa em unidades volumétricas:

$$V_{cap} = A_c \times C \times P_t \quad (1)$$

onde  $A_c$  é a área de captação;  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial da área de captação;  $P_t$  é a precipitação ocorrida no período entre os instantes  $t-1$  e  $t$ .

$$V_{dt} = \text{Máx} (\text{Min} (V_{olc}; V_{cap_t} + V_{d_{t-1}} - V_{con_t})) \quad (2)$$

onde  $V_{dt}$  é o volume disponível no instante  $t$ ;  $V_{dt-1}$  é o volume disponível no instante  $t-1$ ;  $V_{cap_t}$  é o volume captado durante o período entre os instantes  $t-1$  e  $t$ ;  $V_{con_t}$  é o volume consumido no período entre os instantes  $t-1$  e  $t$ .

Considera-se que a demanda requerida irá ser consumida ao mesmo passo que o volume captado abastece a cisterna. Deste modo o cálculo do volume disponível é realizado com o uso destes dois valores calculados numa mesma etapa, sendo que esta pode ser variável em determinados meses do ano. Ocorrendo essa variação, o novo valor da demanda é inserido no início do mês em questão e calculado

para este; assim, ocorrendo variação em meses consecutivos, os novos valores são inseridos a partir do dia primeiro de cada mês.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através das equações, da série histórica atualizada para cada mês do período de observação e dos parâmetros de cada sistema, realizou-se o balanço hídrico diário para cada cisterna, obtendo dados de volume disponível para cada dia de observação. Foi então possível comparar os valores obtidos com os observados nas medições nas datas respectivas.

A demanda foi variada em alguns casos em certos meses do ano e destaca-se também o recebimento de água de carro-pipa nas cisternas SJC 2 e SJC 3. Nas tabelas no ANEXO 1 são mostrados o volume real observado e o obtido através de cálculo do balanço hídrico para a mesma data, destacando-se a variação do número de pessoas que utilizam água da cisterna e o recebimento de água de carro-pipa.

### Medição dos níveis

A partir dos resultados diários de volumes calculados através do balanço hídrico e dos dados de volumes observados (Figura 1) durante os 16 meses, foi possível mostrar o comportamento do modelo utilizado e avaliar sua destreza na reprodução da situação real observada.

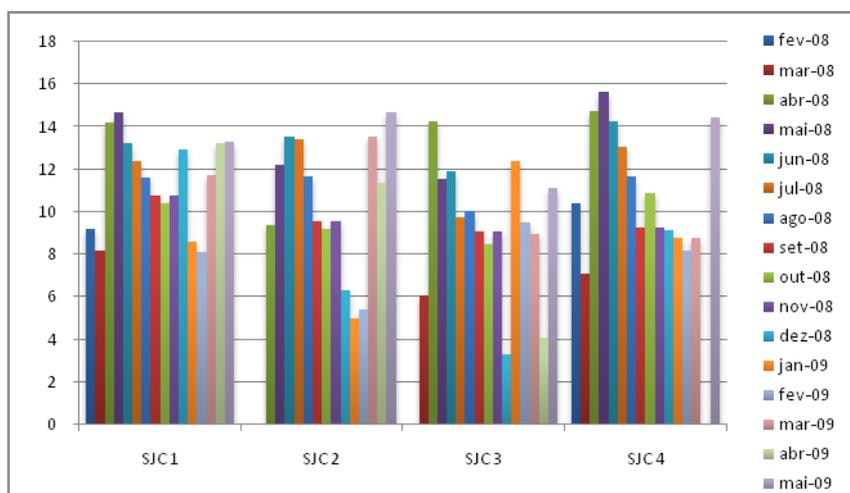


Figura1 – Volumes armazenados nas cisternas no período de fevereiro de 2008 a maio de 2009.

No sistema SJC 1 (Figura 2), há um aumento na quantidade de pessoas utilizando a água da cisterna entre os meses de maio de 2008 a janeiro de 2009 (Tabela 2 - ANEXO). A cisterna não recebeu água de carro-pipa durante todo o período em que foi monitorada. Observa-se que o modelo de balanço hídrico segue certa tendência em relação ao volume observado, se mostrando eficaz para este caso, porém superestimando o volume real do sistema. Apenas no mês de maio de 2008 o volume observado (16,42 m<sup>3</sup>) foi maior que o calculado (14,65 m<sup>3</sup>) havendo um pequeno aumento na demanda. Neste caso, entende-se que não houve um aumento expressivo na quantidade de água retirada no mês, apesar do aumento do número de pessoas, ou que, conforme explicitado, qualquer variação na demanda é utilizada para todo o mês, que neste caso pode ter ocorrido apenas por alguns dias, incluindo o dia em que foi feita medição.

Na Figura 3, há discrepâncias significativas nos dois meses iniciais de observação, quando os volumes observados foram nulos, mas as estimativas do modelo de simulação foram de grande aporte. Não se conseguiu identificar as causas destas diferenças, podendo ser atribuídas a erro no monitoramento, perdas excepcionais ou grande consumo. Como no caso da cisterna SJC 1, há uma certa tendência de superestimativa do volume armazenado. Destaca-se o recebimento de água de carro-pipa nos meses de fevereiro e março de 2009, meses subseqüentes a um aumento expressivo na quantidade de pessoas utilizando água da cisterna.

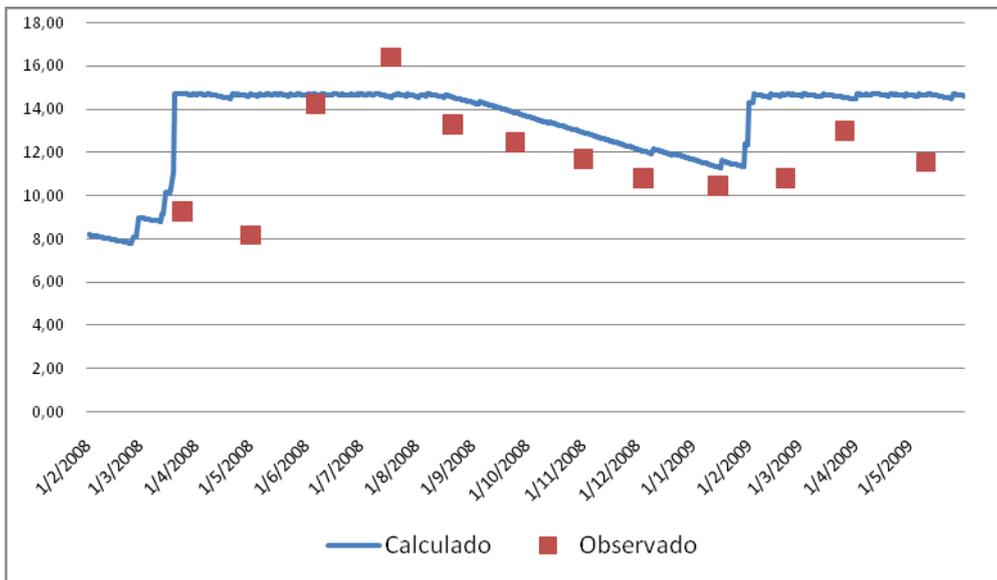


Figura 2 – Balanço diário e volume observado para SJC 1.

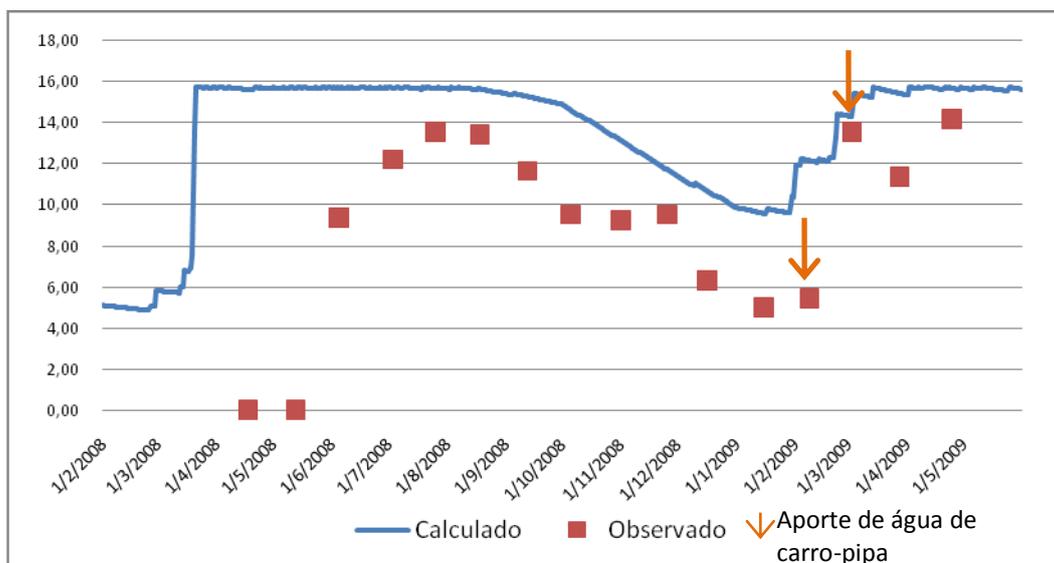


Figura 3 – Balanço diário e volume observado para SJC 2.

O sistema da Figura 4 é caracterizado pelo expressivo aporte de água de carro-pipa ao longo do período de observação. É mostrado como o balanço hídrico simula o comportamento da cisterna diante da variação de demanda e das condições parametrizadas. Porém, diante do recebimento de água de carro-pipa (que não é considerado nos cálculos) há uma grande discrepância entre os valores observados e calculados. Neste caso, há também uma grande variação da demanda entre os meses de junho, julho, novembro e dezembro de 2008, considerada no modelo, mas talvez de forma imprecisa, já que houve necessidade de reabastecimento através da água de carro-pipa, provavelmente em decorrência de excessivo uso da água.

Assim como a cisterna SJC 1, a SJC 4 (Figura 5) não recebeu água de carro-pipa. Diferentemente das demais cisternas observadas, não houve variação da demanda neste sistema durante todo o período de observação (3 pessoas). Até o mês de junho de 2008, o balanço dá resultados bem diferentes do observado, subestimando ou superestimando em meses consecutivos. A partir daquele mês torna-se mais consistente, como nos sistemas anteriores, até com um erro menor.

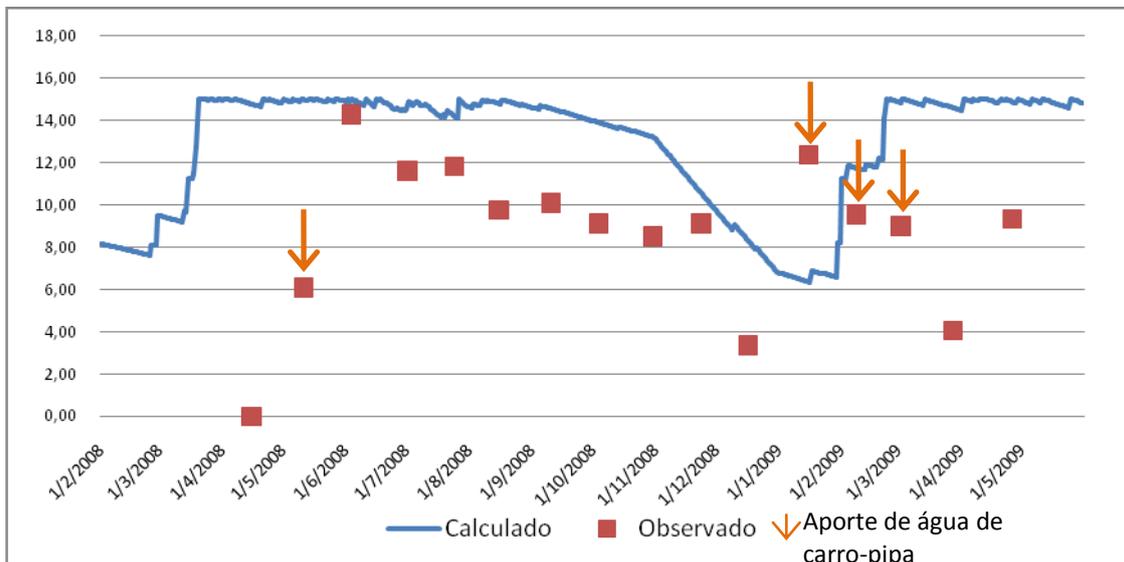


Figura 4 – Balanço diário e volume observado para SJC 3.

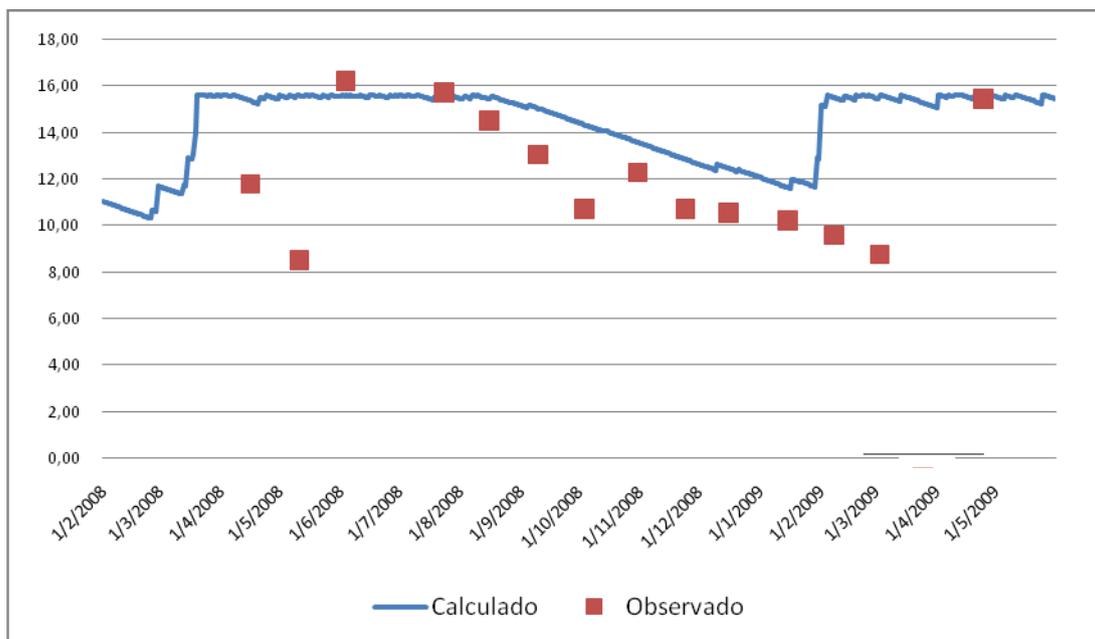


Figura 5 – Balanço diário e volume observado para SJC 4.

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados, considera-se que as equações utilizadas para o balanço hídrico das cisternas fornecem resultados satisfatórios. Sendo os parâmetros calibrados de maneira correta (variação mensal da demanda e coeficiente de escoamento superficial) irão fornecer resultados cada vez mais precisos e correspondentes com cada realidade.

Destaca-se que cada sistema possui sua individualidade, cada usuário possui uma forma própria de uso e manejo da água disponível e cuidados com os componentes do sistema. Esta variabilidade influi no resultado final, tanto em relação à qualidade da água que está sendo usada quanto à quantidade que vai ser disponibilizada através da cisterna.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o suporte do MCT, através do projeto CISTERNAS (MCT/CT-Hidro/FINEP) e de bolsa concedida pelo Programa PIBIC/UFCEG/CNPq.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASA. **Articulação do Semiárido**. Disponível em <<http://www.asa.org.br>> Acesso em: 29 jul. 2009.
- BRITO, L. T. de L. *et al* (2007). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. In: Luiza Teixeira de Lima Brito; Magna Soelma Beserra de Moura; Gislene Feitosa Brito Gama. (Org.). 1ª ed. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, v. 1.
- DANTAS, M. S.; GAMA, D. A.; NÓBREGA, R. L. L.; GALVÃO, C. O. (2008). **Estimativa de desabastecimento de cisternas usando previsões probabilísticas de precipitação sazonal**. In: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador.
- GROUP RAINDROPS (2002). **Aproveitamento da água da chuva**. Editora Organic Trading, Brasil. 32p.
- 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 jul. 2009.
- MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SILVA, A. S.; SÀ, I. I.; LEITE, W. M. (2007). **Influência da precipitação pluviométrica das áreas de captação de água de chuva na Bahia**. In: 6º Simpósio Brasileiro de manejo e captação de água de chuva, Belo Horizonte.
- PALMIER, L. R.; GNADLINGER, J. (2005). **Tecnologias de captação e manejo de água de chuva para o semi-árido brasileiro**. In: Encuentro por una nueva cultura del agua en América Latina, Fortaleza.
- SOUZA, S. H. B.; SANTOS, S. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ORLANDO, R.; NÓBREGA, R. L. B. (2008). **Instalação de modelos piloto para captação de águas de Chuva no semi-árido pernambucano**. In: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador.

## ANEXO

Tabela 2 – Volume Real e Observado (SJC 1)

Data	Observado (m <sup>3</sup> )	Calculado (m <sup>3</sup> )	Carro-pipa	Nº pessoas
15/02/2008	9,21	7,95	não	4
17/03/2008	8,17	10,11	não	4
14/04/2008	14,20	14,57	não	4
20/05/2008	16,42	14,65	não	5
17/06/2008	13,23	14,69	não	4
15/07/2008	12,40	14,60	não	5
15/08/2008	11,64	14,56	não	6
13/09/2008	10,74	14,13	não	6
16/10/2008	10,39	13,33	não	6
15/11/2008	10,74	12,56	não	6
13/12/2008	12,96	12,07	não	6
19/01/2009	8,59	11,56	não	6
17/02/2009	8,11	14,62	não	4
17/03/2009	11,71	14,64	não	4
14/04/2009	13,23	14,69	não	4
22/05/2009	13,3	14,52	não	4

Tabela 3 – Volume Real e Observado (SJC 2)

Data	Observado (m <sup>3</sup> )	Calculado (m <sup>3</sup> )	Carro-pipa	Nº pessoas
15/02/2008	0,00	4,97	não	3
17/03/2008	0,00	6,78	-	3
14/04/2008	9,36	15,65	não	3
20/05/2008	12,23	15,70	não	3
17/06/2008	13,53	15,72	não	3
15/07/2008	13,4	15,68	não	3
15/08/2008	11,69	15,62	não	6
13/09/2008	9,57	15,27	não	6
16/10/2008	9,23	14,04	não	17
15/11/2008	9,57	12,31	não	17
13/12/2008	6,29	10,87	não	17
19/01/2009	4,99	9,79	não	6
17/02/2009	5,4	12,15	sim	3
17/03/2009	13,53	15,66	sim	3
14/04/2009	11,35	15,72	não	3
22/05/2009	14,15	15,58	não	4

Tabela 4 – Volume Real e Observado (SJC 3)

<b>Data</b>	<b>Observado (m³)</b>	<b>Calculado (m³)</b>	<b>Carro-pipa</b>	<b>Nº pessoas</b>
15/02/2008	0,00	7,83	não	4
17/03/2008	6,06	11,52	sim	5
14/04/2008	14,24	14,77	não	5
20/05/2008	11,56	14,92	não	5
17/06/2008	11,84	15,00	não	15
15/07/2008	9,77	14,30	não	15
15/08/2008	10,05	14,80	não	5
13/09/2008	9,08	14,50	não	5
16/10/2008	8,46	13,64	não	5
15/11/2008	9,08	11,53	não	20
13/12/2008	3,3	8,72	não	20
19/01/2009	12,39	6,83	sim	5
17/02/2009	9,5	11,81	sim	5
17/03/2009	8,95	14,92	sim	4
14/04/2009	4,06	15,00	não	6
22/05/2009	9,36	14,66	não	4

Tabela 5 – Volume Real e Observado (SJC 4)

<b>Data</b>	<b>Observado (m³)</b>	<b>Calculado (m³)</b>	<b>Carro-pipa</b>	<b>Nº pessoas</b>
15/02/2008	11,80	10,62	não	3
17/03/2008	8,48	12,86	não	3
14/04/2008	16,19	15,41	não	3
20/05/2008	18,45	15,56	não	3
17/06/2008	15,69	15,61	não	3
15/07/2008	14,49	15,50	não	3
15/08/2008	13,08	15,47	não	3
13/09/2008	10,67	14,96	não	3
16/10/2008	12,30	14,03	não	3
15/11/2008	10,67	13,12	não	3
13/12/2008	10,53	12,55	não	3
19/01/2009	10,18	11,95	não	3
17/02/2009	9,61	15,46	não	3
17/03/2009	8,77	15,53	não	3
14/04/2009	-	15,62	não	3
22/05/2009	15,42	15,32	não	3