



## IV-065 – A IMPORTÂNCIA DO INTERVALO DE TEMPO NA SIMULAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DE UM RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE TELHADO

**Eduardo Cohim** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Sanitarista – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia (EP/UFBA). Mestre em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – (EP/UFBA). Consultor, Professor na Faculdade de Ciência e Tecnologia (FTC). Pesquisador da Rede de Tecnologias Limpas e Minimização de Resíduos (TECLIM), Departamento de Engenharia Ambiental, (EP/UFBA).

**Clériston Oliveira**

Graduando em Engenharia Ambiental (FTC-SSA)

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Aristides Novis, nº 02, 4º andar. Escola Politécnica - Departamento de Engenharia Ambiental – DEA. Federação. CEP 40210-630. Salvador – Bahia. Tel.: 3203-9452 / 3235-4436 - e-mail: [ecohim@ufba.br](mailto:ecohim@ufba.br)

### RESUMO

Os grandes centros urbanos já enfrentam crises no abastecimento de água, tornando necessário se buscar maiores volumes em mananciais cada vez mais distantes, evidenciando, entre outras, a necessidade de uso racional deste recurso. Neste sentido, medidas tecnológicas de uso racional mostram-se mais eficazes a curto prazo, sem necessidade de mudança de hábitos (educativas). Entre estas medidas, a captação de água de chuva é uma importante fonte alternativa para abastecimento com um custo energético global inferior ao da água dos sistemas públicos, com resultados ambientais positivos diversos. Cabendo, portanto, a contínua investigação dos métodos de dimensionamento dos reservatórios de acumulação de água de chuva que resultem no volume adequado, nem super ou sub-dimensionado, visto que entre os itens que compõem um sistema de aproveitamento de água de chuva, o reservatório é, em geral, o item isolado responsável pelo custo final e definidor da eficiência de aproveitamento. Neste sentido, este trabalho analisou o modelo comportamental (MC) e seu algoritmo mais generalizado e aqui denominado de comportamental genérico (CG), utilizando dados diários e tri-horários de precipitação. Os resultados obtidos sugerem que a utilização de dados de precipitação inferiores a 24 horas para dimensionamento de reservatórios de água de chuva somente seja necessária para pequenos volumes ou elevadas demandas. Sendo que a utilização do CG, utilizando dados de precipitação diária, além da confiança necessária, apresenta a oportuna vantagem de se manipular uma quantidade significativamente inferior de dados, e de fácil obtenção.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água de telhado, reservatório, dimensionamento.

### INTRODUÇÃO

O crescente aumento das demandas localizadas e níveis de degradação tem levado, especialmente, os grandes centros urbanos a condições de insustentabilidade. Como exemplo, Tucci *et al.* (2000) cita a região metropolitana de São Paulo, que importa a maior parte da água da bacia do rio Piracicaba devido à contaminação dos mananciais vizinhos e que está praticamente sem opções de novos mananciais. Cohim *et al.* (2007) cita a cidade de Salvador, onde a demanda atual é suprida por mananciais distantes, incluindo o Rio Paraguassu, cuja bacia hidrográfica está inserida no semi-árido baiano, onde os conflitos e os problemas sociais devidos à escassez de água são de conhecida gravidade. Deste modo, enquanto a disponibilidade *per capita* de água potável de boa qualidade tem diminuído ou no mínimo se tornado menos acessível e, portanto, mais custoso, a demanda pela mesma água aumenta em função do ainda crescente contingente populacional, associado a seus demasiadamente elevados hábitos higiênicos, utilização de equipamentos com elevado consumo de água e baixo nível educacional. E isso já é suficiente para caracterizar um indicativo de crise no abastecimento de água e que, de acordo com Silva *et al.* (1999), gera a necessidade de se buscar alternativas capazes de reverter o estado atual de uso deste recurso e que contribuam para o uso eficiente da água pela sociedade.

Entre estas alternativas está o aproveitamento da água de chuva que, “mais do que uma tendência isolada, vem sendo considerada uma fonte alternativa, para fins potáveis ou não potáveis, dependendo da necessidade [...] (PHILIPPI *et al.*, 2006, p. 83)” e uma prescrição contra racionamentos (GROUP RAINDROPS, 2002).



Segundo Cohim e Kiperstok (2008), a captação das águas de chuva em regiões urbanas, como uma fonte substitutiva e complementar àquela fornecida pela concessionária, diminui a pressão da demanda nos mananciais locais e regionais, permitindo o direcionamento destes recursos para o atendimento dos consumos mais nobres, para uma parcela maior da população. Desta forma, considerando que o consumo de água destinado a usos não potáveis em uma residência pode chegar a 41% do total de água consumida (The Rainwater Technology Handbook, 2001, *apud* TOMAZ, 2003), a captação das águas pluviais mostra-se economicamente atraente e ambientalmente desejável. Além disso, o conceito de substituição de fontes é a alternativa mais plausível para satisfazer as demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres (ANA, 2005). Sendo, entretanto, necessário haver viabilidade econômica na implantação de Sistemas de Captação de Água de Chuva – SCAC, de modo a se ampliar sua utilização entre a população. E o principal item responsável pelo custo final e definidor da eficiência de aproveitamento de SCAC é o reservatório de armazenamento, já que todos os outros itens que compõem o sistema (calhas, tubulações verticais, etc.) têm valor fixo e independem do volume de reservação pretendido. Deste modo, cabe a investigação de seus métodos de dimensionamento de maneira a resultar no volume adequado, nem super ou sub-dimensionado. Cabe ressaltar, ainda, que diversos autores (PHILIPPI *et al.*, 2006, pg. 117, por exemplo) sugerem que o uso de intervalos de tempo menores na modelagem do funcionamento do reservatório leva a resultados mais confiáveis e econômicos.

### MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados os dados pluviométricos tri-horários de Salvador de uma série histórica de 9 anos (1999-2007), disponíveis no site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. Os dados foram trabalhados para se obter, também, uma série com duração diária.

Em todos os casos, adotou-se demandas constantes, médias, ao longo do tempo. Para as simulações com dados diários, foram utilizadas demandas de 80, 100 e 120 L/pessoa.dia. Para as simulações com dados tri-horários, essas demandas foram distribuídas ao longo do dia em intervalos de 3 horas conforme percentuais mostrados no Quadro 1. Em todos os casos, adotou-se uma taxa de ocupação de 4 pessoas por casa.

Quadro 1 – Distribuição percentual de consumo

Hora	3 a 6	6 a 9	9 a 12	12 a 15	15 a 18	18 a 21	21 a 24	24 a 3
Percentual	3,4%	4,6%	19,0%	18,3%	13,6%	13,8%	15,9%	11,3%

Na simulação, variou-se a área de captação de 40 a 140 m<sup>2</sup> em intervalos de 20 m<sup>2</sup>.

Os volumes de reservatório simulados foram de 250 a 10.000 litros, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Volumes dos reservatórios de água de chuva (L)

250	500	1000	3000	5000	10000
-----	-----	------	------	------	-------

Para a simulação utilizou-se o modelo comportamental. Esse modelo simula a operação do reservatório num período de tempo, simulando fluxos de massas com algoritmos que descrevem a operação de um reservatório. Os dados de entrada são baseados em intervalos de tempo que podem ser de minutos, horas, dias ou meses (ANNECCHINE, 2005).

Neste modelo um algoritmo descreve a regra de produção antes do enchimento do reservatório (PAE) e o outro descreve a regra de produção depois do enchimento (PDE) do reservatório, conforme equações abaixo (JENKISN, 1978 *apud* FEWKES, 1999):

#### Produção antes do enchimento (PAE)

$$Y_t = \min \left\{ \begin{matrix} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{matrix} \right. \tag{Equação (1)}$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{matrix} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S \end{matrix} \right. \tag{Equação (2)}$$

**Produção depois do enchimento (PDE)**

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} \end{array} \right. \quad \text{Equação (3)}$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{array} \right. \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Y : Produção de chuva no sistema, responsável por suprir a demanda (m3)

D: Demanda (m3)

V: Volume de chuva no reservatório de armazenamento (m3)

Q: Volume total de chuva coletado pelo sistema (m3)

S: Volume do reservatório de armazenamento (m3)

Latham (1983 apud FEWKES, 1999), utilizando o Modelo Comportamental, estabeleceu um outro modelo mais genérico para dimensionamento do reservatório, definindo um algoritmo mais generalizado para a operação do reservatório, conforme equações abaixo:

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + \theta Q_t \end{array} \right. \quad \text{Equação (5)}$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} (V_{t-1} + Q_t - \theta Y_t) - (1 - \theta) Y_t \\ S - (1 - \theta) Y_t \end{array} \right. \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$\theta$  é um parâmetro entre 0 e 1. Utilizando  $\theta = 0$  o algoritmo descreve a regra de operação de PDE e com  $\theta = 1$  o algoritmo descreve a regra de operação de PAE.

Nesse último modelo, aqui chamado de comportamental genérico (CG), utilizou-se o método de Monte Carlo para simular o valor de  $\theta$  entre 0 e 1.

Foram feitas, para a série de chuvas, seis grupos de simulação: Tri horários PAE, PDE e CG; diários PAE, PDE e CG. Para cada simulação, foi gerado um resultado expresso como percentual da demanda atendida no período da série de precipitação utilizado.

No dimensionamento dos reservatórios não foi considerada a água perdida pelo descarte inicial.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O Quadro 03 apresenta os resultados para as simulações realizadas.

Observa-se que o modelo comportamental quando utilizado com dados diários e o algoritmo PAE resulta na super-estimativa da eficiência de aproveitamento enquanto que o algoritmo PDE resulta em sub-estimativa. A diferença relativa entre os resultados obtidos pelos dois algoritmos cresce com o crescimento da demanda e com a área de captação e com a redução do volume do reservatório, chegando a cerca de 200%. Essas diferenças tendem a diminuir com o aumento do volume do reservatório, ficando sempre abaixo de 10% para volumes superiores a 3.000 L.

Comportamento similar é observado quando são utilizados intervalos de três horas para o balanço. Entretanto, nesse caso, as diferenças são menores, limitando-se, no caso extremo a 20%, o que é indicador de maior confiabilidade dos resultados. Os resultados mostram que, com volumes de 500 L, a diferença entre os resultados obtidos com os dois algoritmos é inferior a 10% em todos os casos.

Tais resultados sugerem a utilização de intervalos de balanço com duração inferior a 1 dia quando se quer simular o uso de reservatórios de pequeno volume e/ou grandes demandas para se obter resultados confiáveis, o que representaria um ônus de tempo no manuseio de uma quantidade maior de informações.



**Quadro 03. Percentuais de atendimento da demanda**

320,0 l/dia															
Área	Vol.	PDE-TH	PAE-TH	PDE-D	PAE-D	CG-TH	CG-D	Área	Vol.	PDE-TH	PAE-TH	PDE-D	PAE-D	CG-TH	CG-D
40m <sup>2</sup>	250	23,89%	26,22%	15,54%	30,01%	25,32%	24,49%	100m <sup>2</sup>	250	32,27%	36,14%	19,10%	43,63%	34,64%	34,50%
	500	29,72%	30,94%	23,98%	33,16%	30,43%	30,02%		500	42,54%	44,81%	32,37%	49,58%	43,93%	43,52%
	1000	35,38%	36,07%	32,32%	37,24%	35,78%	35,57%		1000	53,33%	54,53%	47,80%	57,28%	54,04%	53,84%
	3000	44,02%	44,19%	42,93%	44,27%	44,13%	43,79%		3000	69,55%	69,89%	67,84%	70,50%	69,77%	69,56%
	5000	46,61%	46,68%	45,88%	46,32%	46,66%	46,12%		5000	75,83%	76,02%	74,44%	75,75%	75,97%	75,32%
	10000	48,40%	48,42%	47,91%	48,03%	48,42%	47,98%		10000	84,17%	84,28%	83,01%	83,80%	84,25%	83,53%
60m <sup>2</sup>	250	27,86%	30,86%	17,29%	36,40%	29,69%	29,02%	120m <sup>2</sup>	250	33,62%	37,73%	25,37%	45,90%	36,16%	36,33%
	500	35,68%	37,36%	27,93%	40,87%	36,68%	36,34%		500	44,56%	46,96%	33,75%	52,06%	46,04%	45,95%
	1000	43,78%	44,69%	39,57%	46,48%	44,31%	44,10%		1000	55,97%	57,20%	50,28%	60,18%	56,70%	56,73%
	3000	56,20%	56,49%	54,46%	56,77%	56,38%	56,01%		3000	73,25%	73,60%	71,44%	74,20%	73,50%	73,27%
	5000	61,18%	61,33%	60,35%	61,44%	61,27%	61,04%		5000	80,04%	80,25%	78,43%	80,00%	80,20%	79,44%
	10000	67,26%	67,31%	66,36%	66,80%	67,29%	66,60%		10000	87,93%	88,03%	86,70%	87,43%	88,00%	87,17%
80m <sup>2</sup>	250	30,46%	33,99%	18,37%	40,68%	32,62%	32,19%	140m <sup>2</sup>	250	34,70%	39,00%	20,05%	47,67%	37,37%	37,80%
	500	39,72%	41,80%	30,51%	46,08%	40,98%	40,50%		500	46,18%	48,70%	34,82%	54,08%	47,73%	47,80%
	1000	49,54%	50,66%	44,51%	52,98%	50,19%	49,91%		1000	58,03%	59,31%	52,28%	62,45%	58,78%	59,02%
	3000	64,28%	64,64%	62,54%	65,12%	64,52%	64,19%		3000	75,68%	76,06%	73,70%	76,64%	75,94%	75,66%
	5000	70,24%	70,43%	68,99%	70,31%	70,38%	69,84%		5000	83,11%	83,33%	81,34%	82,93%	83,27%	82,38%
	10000	78,22%	78,34%	77,06%	77,85%	78,31%	77,57%		10000	90,49%	90,58%	89,21%	89,89%	90,55%	89,58%
400,0 l/dia															
Área	Vol.	PDE-TH	PAE-TH	PDE-D	PAE-D	CG-TH	CG-D	Área	Vol.	PDE-TH	PAE-TH	PDE-D	PAE-D	CG-TH	CG-D
40m <sup>2</sup>	250	20,03%	22,40%	12,43%	25,93%	21,51%	20,62%	100m <sup>2</sup>	250	27,59%	31,73%	15,28%	39,26%	30,14%	30,00%
	500	24,91%	26,19%	19,34%	28,28%	25,70%	25,10%		500	36,67%	39,17%	26,25%	44,20%	38,23%	37,67%
	1000	29,59%	30,23%	26,47%	31,37%	29,96%	29,63%		1000	46,28%	47,70%	40,09%	50,66%	47,11%	46,82%
	3000	36,05%	36,20%	35,05%	36,27%	36,16%	35,84%		3000	61,36%	61,82%	59,23%	62,65%	61,66%	61,47%
	5000	37,90%	37,95%	37,25%	37,66%	37,94%	37,47%		5000	67,82%	68,07%	66,36%	68,12%	67,99%	67,49%
	10000	39,08%	39,09%	38,68%	38,78%	39,09%	38,76%		10000	75,35%	75,49%	74,25%	75,23%	75,45%	74,85%
60m <sup>2</sup>	250	23,57%	26,70%	13,83%	31,90%	25,51%	24,78%	120m <sup>2</sup>	250	28,84%	33,31%	15,71%	41,58%	31,62%	31,80%
	500	30,27%	32,04%	22,57%	35,29%	31,35%	30,83%		500	38,74%	41,41%	27,42%	46,90%	40,40%	39,99%
	1000	36,89%	37,86%	32,60%	39,63%	37,45%	37,26%		1000	49,18%	50,67%	42,41%	53,96%	50,06%	49,75%
	3000	47,61%	47,91%	45,86%	48,32%	47,80%	47,56%		3000	65,59%	66,07%	63,47%	67,01%	65,91%	65,79%
	5000	52,04%	52,21%	50,98%	52,24%	52,14%	51,81%		5000	72,25%	72,48%	70,78%	72,61%	72,41%	71,98%
	10000	56,02%	56,07%	55,26%	55,57%	56,05%	55,47%		10000	80,45%	80,59%	79,13%	80,23%	80,55%	79,84%
80m <sup>2</sup>	250	25,92%	29,61%	14,69%	36,16%	28,19%	27,75%	140m <sup>2</sup>	250	29,85%	34,57%	16,04%	43,44%	32,80%	33,32%
	500	33,95%	36,14%	24,70%	40,39%	35,30%	34,76%		500	40,33%	43,13%	28,32%	49,00%	42,08%	41,88%
	1000	42,29%	43,52%	36,92%	45,98%	43,01%	42,80%		1000	51,33%	52,90%	44,31%	56,35%	52,27%	52,10%
	3000	55,47%	55,86%	53,48%	56,42%	55,72%	55,41%		3000	68,83%	69,29%	66,52%	70,26%	69,14%	69,06%
	5000	61,18%	61,39%	59,92%	61,58%	61,32%	61,03%		5000	75,70%	75,92%	74,27%	76,04%	75,85%	75,51%
	10000	67,94%	68,05%	66,99%	67,78%	68,00%	67,47%		10000	83,91%	84,04%	82,59%	83,56%	84,00%	83,23%
480,0 l/dia															
Área	Vol.	PDE-TH	PAE-TH	PDE-D	PAE-D	CG-TH	CG-D	Área	Vol.	PDE-TH	PAE-TH	PDE-D	PAE-D	CG-TH	CG-D
40m <sup>2</sup>	250	17,24%	19,64%	10,36%	22,92%	18,78%	17,87%	100m <sup>2</sup>	250	24,13%	28,45%	12,74%	35,84%	26,78%	26,72%
	500	21,48%	22,77%	16,17%	24,81%	22,29%	21,59%		500	32,22%	34,85%	22,02%	39,84%	33,84%	33,22%
	1000	25,47%	26,08%	22,35%	27,16%	25,84%	25,41%		1000	40,72%	42,20%	34,31%	45,25%	41,58%	41,35%
	3000	30,50%	30,64%	29,55%	30,66%	30,60%	30,29%		3000	54,46%	54,94%	52,06%	55,74%	54,77%	54,49%
	5000	31,79%	31,83%	31,25%	31,62%	31,82%	31,44%		5000	60,53%	60,82%	58,87%	61,09%	60,72%	60,33%
	10000	32,60%	32,61%	32,31%	32,37%	32,61%	32,35%		10000	67,53%	67,66%	66,56%	67,49%	67,61%	67,13%
60m <sup>2</sup>	250	20,44%	23,69%	11,53%	28,55%	22,44%	21,76%	120m <sup>2</sup>	250	25,28%	30,01%	13,09%	38,27%	28,21%	28,47%
	500	26,32%	28,16%	18,89%	31,21%	27,43%	26,76%		500	34,20%	37,10%	23,03%	42,77%	35,99%	35,45%
	1000	32,01%	32,98%	27,66%	34,71%	32,57%	32,31%		1000	43,71%	45,33%	36,49%	48,84%	44,66%	44,32%
	3000	41,09%	41,43%	39,39%	41,89%	41,30%	41,04%		3000	58,88%	59,43%	56,46%	60,55%	59,23%	59,02%
	5000	44,67%	44,81%	43,68%	44,80%	44,76%	44,41%		5000	65,60%	65,90%	63,98%	66,25%	65,81%	65,43%
	10000	47,61%	47,64%	46,89%	47,20%	47,63%	47,06%		10000	73,22%	73,38%	72,09%	73,18%	73,33%	72,78%
80m <sup>2</sup>	250	22,60%	26,43%	12,24%	32,74%	24,96%	24,57%	140m <sup>2</sup>	250	26,22%	31,26%	13,37%	40,18%	29,35%	29,96%
	500	29,71%	31,99%	20,70%	36,13%	31,10%	30,45%		500	35,77%	38,87%	23,80%	44,98%	37,70%	37,28%
	1000	36,95%	38,18%	31,45%	40,65%	37,66%	37,45%		1000	46,00%	47,74%	38,24%	51,48%	47,04%	46,64%
	3000	48,65%	49,05%	46,55%	49,68%	48,90%	48,64%		3000	62,38%	62,93%	59,89%	64,23%	62,74%	62,66%
	5000	53,65%	53,88%	52,29%	54,15%	53,80%	53,54%		5000	69,32%	69,62%	67,77%	70,00%	69,53%	69,17%
	10000	59,35%	59,44%	58,54%	59,09%	59,40%	58,87%		10000	77,41%	77,56%	76,05%	77,21%	77,52%	76,80%

Para ilustrar o que foi dito, no gráfico da Figura 01 podem ser observadas as diferenças percentuais de atendimento da demanda entre os algoritmos PDE e PAE, para a área de captação de 80 m<sup>2</sup> e todas as demandas simuladas. É importante salientar que estas diferenças aumentam com a área de captação.



Área de 80m<sup>2</sup>

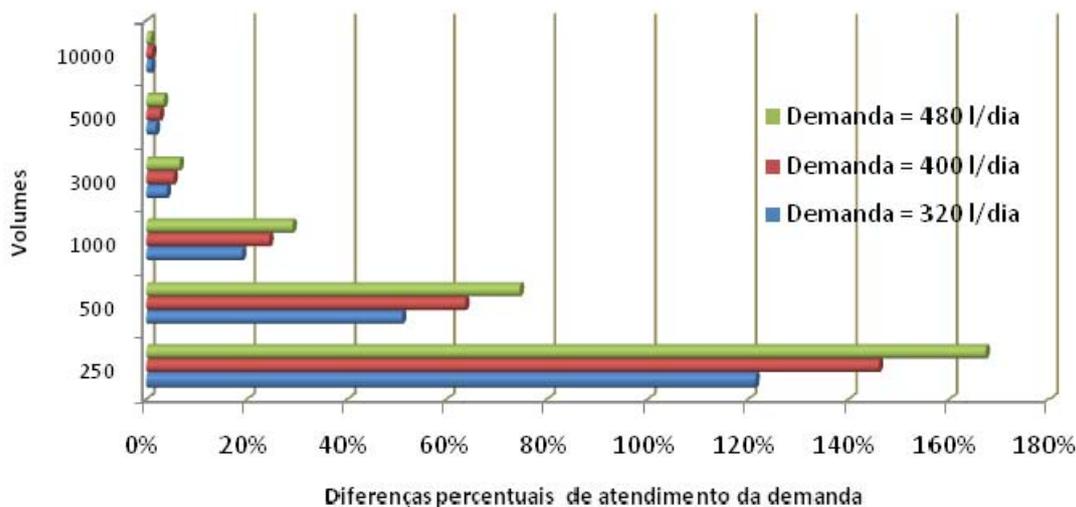


Figura 01. Diferenças percentuais de atendimento da demanda entre os algoritmos PDE e PAE

Isso fica mais claro quando as diferenças entre os resultados obtidos pelos dois algoritmos são apresentadas como uma função de parâmetros normalizados, conforme mostrado no Quadro 04. Os volumes (V) e as demandas (D) são expressos como uma parcela do produto da área de captação e da precipitação média anual. Os resultados são expressos pela relação entre o percentual de atendimento calculado pelos algoritmos PAE e o PDE

Quadro 04. Relação entre os percentuais de atendimento para algoritmos PAE e PDE para parâmetros normalizados

V/(A.P)	D/(A.P)											
	0,25		0,5		0,75		1		1,5		2	
	TH	D	TH	D	TH	D	TH	D	TH	D	TH	D
0,0025	1,017	1,144	1,045	1,439	1,072	1,754	1,099	2,018	1,141	2,426	1,187	2,732
0,005	1,007	1,051	1,018	1,153	1,032	1,283	1,044	1,413	1,063	1,620	1,082	1,782
0,01	1,002	1,018	1,007	1,055	1,013	1,105	1,018	1,152	1,029	1,239	1,035	1,311
0,025	1,000	1,003	1,002	1,016	1,003	1,025	1,006	1,042	1,008	1,069	1,012	1,099
0,05	1,000	1,000	1,001	1,008	1,002	1,012	1,002	1,016	1,003	1,030	1,004	1,034
0,1	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001	1,007	1,001	1,008	1,001	1,009	1,001	1,008

Analisando-se os dados da Tabela 02, observa-se ainda que os resultados obtidos pelo método comportamental genérico apresentam valores intermediários entre os algoritmos PAE e PDE, tanto para os dados diários quanto para os tri-horários. Tal fato sugere que esse método se afasta dos extremos de super e sub estimativa, sendo, portanto, mais confiáveis.

Nota-se também que os percentuais de atendimento obtidos através do método comportamental genérico utilizando-se os dados diários não apresentam grande diferença quando comparados aos obtidos com os dados tri-horários, podendo-se atribuir a ambos o mesmo grau de confiabilidade. Esse fato é relevante uma vez que os dados diários são de obtenção muito mais fácil que os de intervalos inferiores a um dia e requerem menor espaço para armazenamento de informações.



Para as demandas médias de 320 l/dia e 480 l/dia e área de captação de 120m<sup>2</sup>, observa-se nas Figuras 02 e 03 que as diferenças percentuais de demanda entre os dois algoritmos (PDE e PAE) são demasiadamente elevadas para volumes inferiores a 3000 litros. Tais diferenças chegam ao extremo de 192,25% para o menor volume de reservatório e a maior demanda simulada.

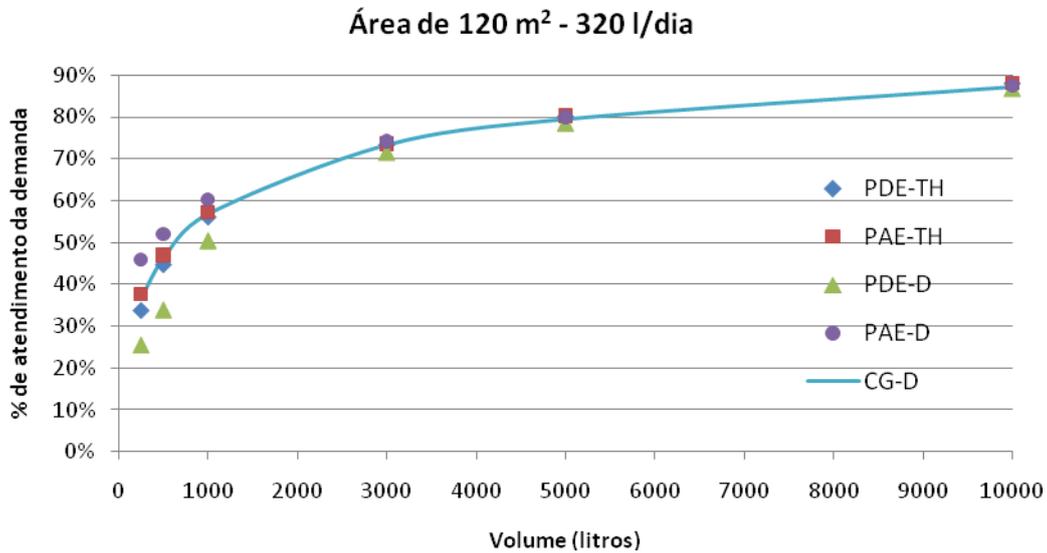


Figura 02. Percentuais de atendimento da demanda simulados

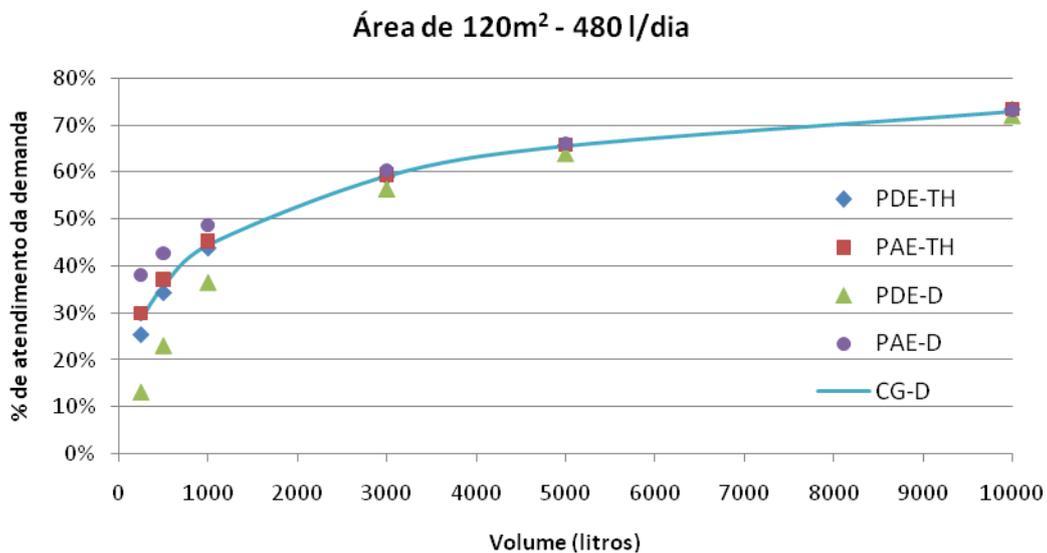


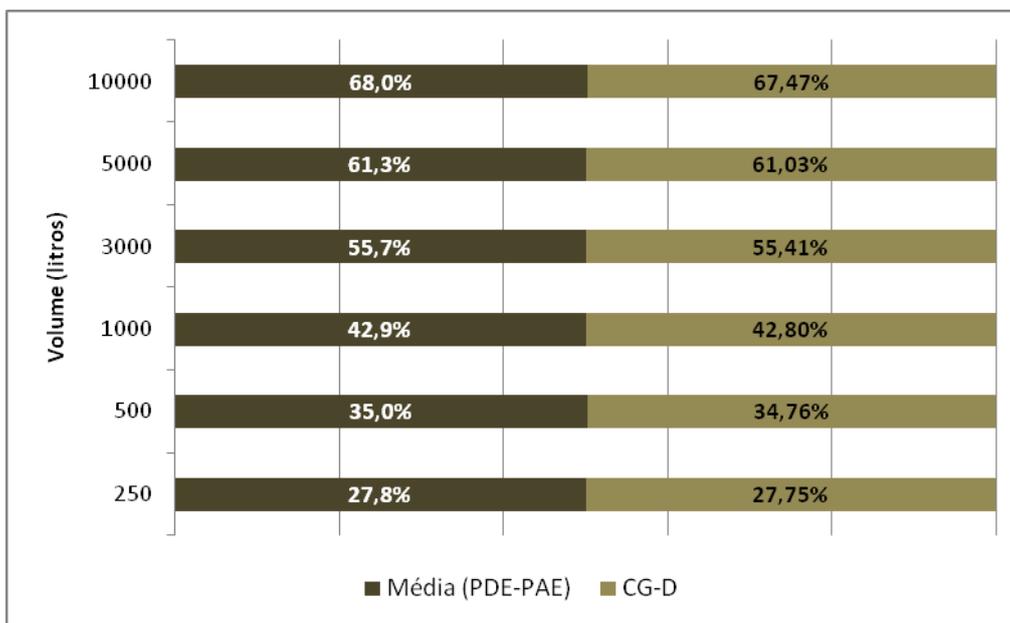
Figura 03. Percentuais de atendimento da demanda

Se fixados os percentuais de atendimento da demanda em 50, 70 e 90%, com uma demanda média de 100 L/hab.dia, área de captação de 100m<sup>2</sup>, verificam-se os seguintes volumes de reservação capazes de atendê-la: 1,70; 7,0; e 40,2m<sup>3</sup> (algoritmo PDE) e 0,96; 6,2; e 39,22m<sup>3</sup> (algoritmo PAE); sob as mesmas condições, verifica-se os seguintes resultados para dados de precipitação tri-horários: 1,29; 6,12; e 35,28m<sup>3</sup> (algoritmo PDE) e 1,19; 6,0; e 35,17m<sup>3</sup> (algoritmo PAE).



Quando comparadas as diferenças percentuais entre estes volumes necessários para atendimento das demandas (50, 70 e 90%) entre os dois algoritmos utilizando dados diários obtemos: 77,1%; 12,9%; e 2,5%. Enquanto que utilizando, sob as mesmas condições, dados de precipitação tri-horários estes percentuais são de: 8,4%; 2,0%; e 0,31%.

A Figura 04 trás os percentuais de atendimento da demanda obtidos com CG e a média entre PDE e PAE com dados tri-horários (somente a título de comparação) para a área de captação de 80m<sup>2</sup> e demanda de 400 l/dia.



**Figura 04.** Ajustamento do CG com dados diários em relação à média entre PDE e PAE com dados TH.

Os resultados mostrados até aqui, portanto, ratificam a afirmação de que a utilização de intervalos de dados menores, como os aqui utilizados, resultam em dimensionamentos mais confiáveis, independentemente da regra de produção considerada, já que as diferenças percentuais de atendimento da demanda entre elas chegam a ser desprezíveis quando comparadas com as simulações com dados diários. Todavia, quase sempre, séries históricas com intervalos de dados de precipitação inferiores a um dia, consistidas e longas o suficiente para caracterizarem a sazonalidade de determinada região objeto de implantação do aproveitamento de água de chuva, são de difícil obtenção, especialmente em nosso país. Ainda, os resultados obtidos com o MC sugerem a utilização de intervalos de balanço com duração inferior a 1 dia somente quando se quer simular o uso de reservatórios de pequeno volume ou grandes demandas para se obter resultados confiáveis.

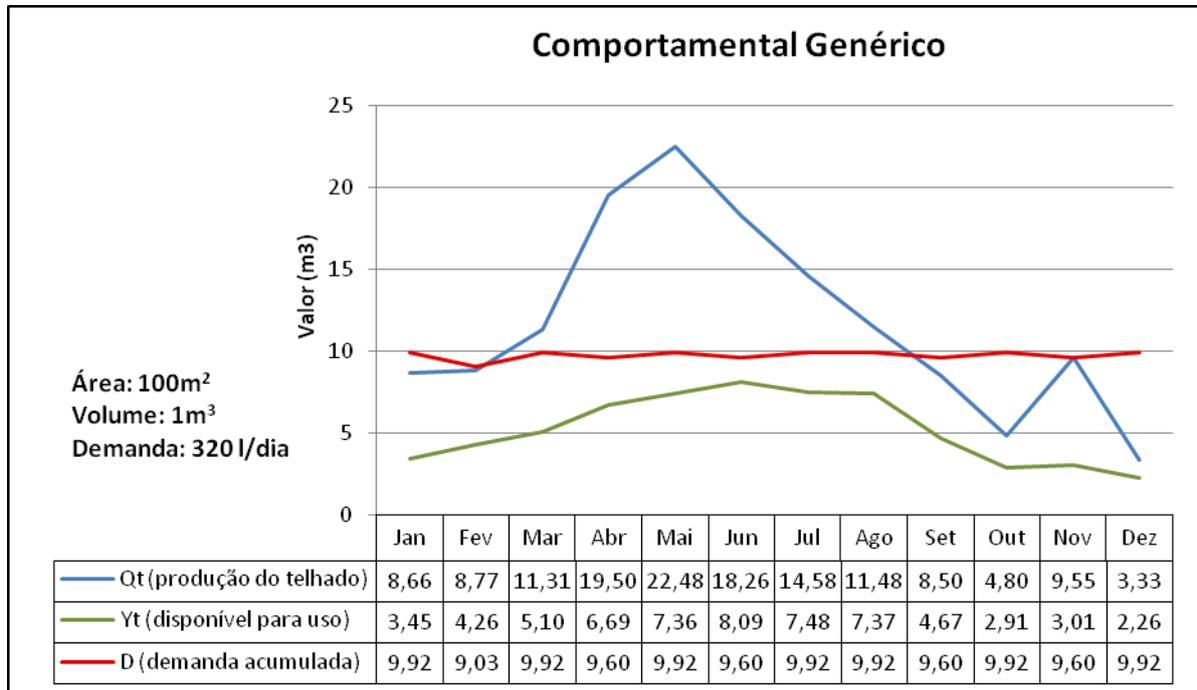
Diferentemente do Modelo Comportamental, que considera duas situações distintas, PDE ou PAE, o Comportamental Genérico, como aqui utilizado, desconsidera o que se poderia chamar de apenas o sistema binário dos valores de theta, e, utilizando o Método de Monte Carlo, opera com regras de produção mais flexíveis, considerando toda a faixa de possibilidades entre os extremos, e isso, como evidenciado pelos resultados, resulta em valores de reservação realistas e confiáveis, sem super-dimensionar ou sub-dimensionar o reservatório e com a oportuna vantagem de se trabalhar com dados de precipitação diários e de fácil obtenção.

A Figura 18, apresenta o volume mensal que escoo pelo telhado (Qt), o volume mensal produzido (Yt) e a demanda mensal para o período simulado (199-2007). O volume do reservatório de armazenamento, demanda a ser atendida com água de chuva e área de captação utilizados na simulação foram, respectivamente: 1000 litros; 80 litros/hab.dia; e 100 m<sup>2</sup>.

Nesta simulação (figura 18) a confiança esperada para o sistema é de 59,0%, enquanto que a eficiência é de 44,4%. O percentual médio de atendimento da demanda é de 53,61%. Nota-se o elevado transbordo esperado,



em função da elevada produção do telhado e reservatório de pequenas dimensões, produzindo esta confiança e eficiência.



## CONCLUSÕES

Os resultados demonstrados neste estudo evidenciaram a importância do intervalo de tempo dos dados da série histórica utilizados no dimensionamento do reservatório.

Contudo, demonstraram também a adoção do modelo de dimensionamento comportamental genérico permite a obtenção de resultados tão confiáveis quanto os obtidos com dados de menor intervalo. E isso significa ganho sem perda de qualidade.

O método comportamental genérico é suficientemente confiável para a escolha do volume de reservatórios de armazenamento de água de chuva utilizando-se dados de precipitação diária.

O mesmo não acontece com o modelo nos seus algoritmos PAE e PDE cujos resultados levam a valores superestimados ou sub-estimados da eficiência de aproveitamento, respectivamente.

O uso do modelo comportamental genérico, conforme proposto aqui, apresenta a vantagem de gerar resultados confiáveis com dados de fácil obtenção e requerer o manuseio de uma quantidade inferior de dados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA - AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Conservação e reuso da água em edificações. São Paulo: ANA/ FIESP/ SindusCon-SP, 2005.
2. ANNECCHINI, KARLA PONZO VACCARI. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES). Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Vitória: 2005.
3. COHIM, E. *et al.* Captação direta de água de chuva no meio urbano para usos não potáveis. in: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2007. CD-ROOM.



4. COHIM, E. e KIPERSTOK, A. Produção Limpa e Eco-Saneamento. In: KIPERSTOK, A. (Coord.). Salvador, Rede de Tecnologias Limpas da Bahia – Teclim/Universidade Federal da Bahia, 2008. 446 p. Título Original: Prata da Casa: construindo produção limpa na Bahia.
5. FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water* v.1, n. 4, p. 323-333, 1999.
6. PHILIPPI, L. S. *et al.* Aproveitamento da Água de Chuva. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006. v.5. 352 p. (Projeto PROSAB, Edital 4). Título original: Tecnologias de segregação e tratamento de esgotos domésticos na origem, visando a redução do consumo de água e da infra-estrutura de coleta, especialmente nas periferias urbanas.
7. GONÇALVES, R. F.; ANNECCHINI, K. P. V.; FERNANDES, B. C.; SILVA, P. M. V. da S. ZANDONADE, E. Estudo do potencial de aproveitamento da água de chuva para sua utilização em edificações na região metropolitana de Vitória (ES). in: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2007. CD-ROOM.
8. GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da água da chuva. Curitiba: Organic Trading, 2002. 196 p. Título original: Yatte Amamizu Riyo.
9. PETERS, MADELON RABELO. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Florianópolis: UFSC, 2006.
10. TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva – Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis. SP: Navegar, 2003.
11. TUCCI, C. E.M., HESPANHOL, I., NETTO, O. de C. Cenários da Água no Brasil: Uma Contribuição para a “Visão Mundial da Água”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 5. n. 3. Jul/Set, 2000.