

Comparação entre Diferentes Metodologias para Dimensionamento de Sistemas de Captação de Água de Chuva em Meso-regiões do Estado de Pernambuco/Brasil

*Arthur Paiva Coutinho¹, Paulo T.R. de Gusmão², Suzana M.G.L. Montenegro³,
Antonio C.D. Antonino⁴, Fernandha B. Silva⁵ & Jaime J.S.P Cabral⁶*

ABSTRACT: The quantification of the volumes of reservoirs to use systems of rainwater involves different aspects such as the service demand and water sustainability. In this context, this study aims at comparing three methods of reservoir design. Design methods recommended by Annex A of the Rainwater Brazilian Standard – Exploitation of coverage in urban areas for non-potable purposes - NBR 15527 (ABNT, 2007), Fendrich and Monte Carlo Methods were analyzed. The comparative analysis consisted of simulating the application of design methods for different cities of meso-regions of the state of Pernambuco for a situation of non-potable use (discharge of the toilet flushing). The application of the methodologies presented reservoirs with capacity ranging from 2 m³ to 50 m³ of water.

Key – words: rainwater, reservoirs design, NBR 15527/2007.

-
- 1) Mestrando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: arthur.coutinho@hotmail.com
 - 2) Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: ptgusmao@oi.com.br
 - 3) Professora Doutora do Departamento de Engenharia Civil, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: suzanam.ufpe@gmail.com
 - 4) Professor Doutor do Departamento de Engenharia Nuclear, DEN/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: acdantonino@gmail.com
 - 5) Mestranda em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: fernandha.batista@gmail.com
 - 6) Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil, DEC/CTG/UFPE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife - PE, Brasil, Caixa Postal 7800, CEP: 50.741-530, e-mail: jcabral@ufpe.br

INTRODUÇÃO

Os reservatórios de água de chuva, também denominados “cisternas”, têm por finalidade acumular parte dos volumes de água disponíveis nos períodos chuvosos, para compensar as deficiências nos períodos de estiagem. A utilização desse tipo de dispositivo no Nordeste brasileiro, particularmente na região do semi-árido, é de grande importância, uma vez que essa região é caracterizada por distribuição irregular das chuvas no tempo, altas taxas de evaporação, solos rasos, rios intermitentes e escassos recursos hídricos subterrâneos.

Tal irregularidade caracteriza-se pela concentração da estação chuvosa em alguns meses do ano, particularmente num período de aproximadamente 3 a 4 meses. A precipitação que ocorre nessa estação chuvosa corresponde a aproximadamente 70% do total precipitado no ano.

Segundo Cirilo et al.(2007), face às características climáticas e fisiográficas do Nordeste brasileiro, o aproveitamento de água de chuva tem sido uma estratégia importante para suprir as populações rurais difusas,notadamente por meio de cisternas rurais .

Em pesquisa realizada pelo IBGE (2008) no Plano Nacional de Saneamento Básico, observou-se que 33% dos municípios brasileiros não possuem sistema de abastecimento de água, sendo que 63,3% deles estão na região Nordeste. Na zona rural do semi-árido nordestino a realidade é ainda mais grave, pois nessa região, praticamente, não existem sistemas de abastecimento de água.

A Figura 1 ilustra o período típico da estação chuvosa para o Estado de Pernambuco. Observa-se que nos meses de março a agosto a estação chuvosa se concentra no Litoral e na região Agreste, enquanto que na região do Sertão o período chuvoso corresponde aos meses de janeiro a abril.

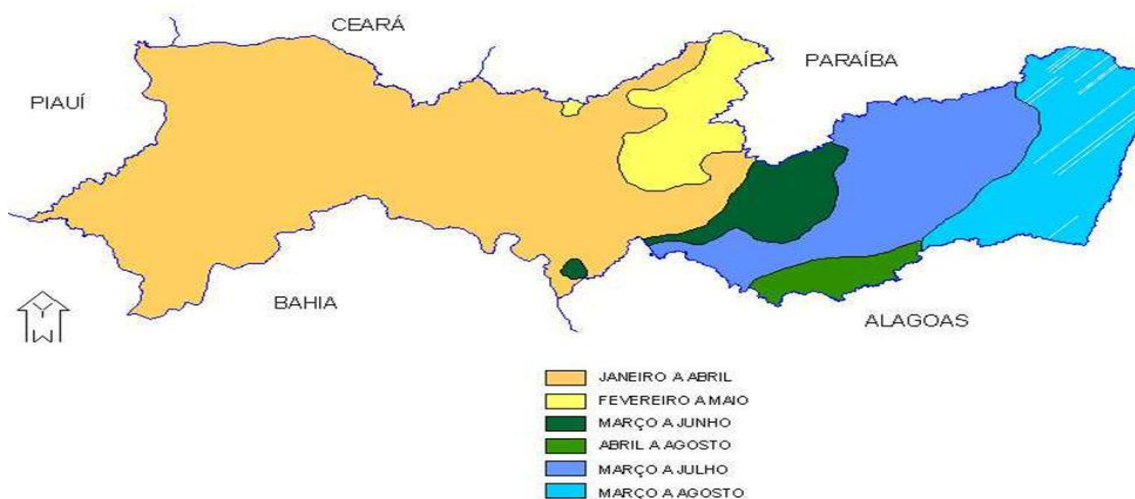


Figura 1 – Estações chuvosas no Estado de Pernambuco. Fonte: (PERH, 1998)

A utilização de cisternas – uma forma secular de armazenamento de águas pluviais – está sendo objeto de uma ação do Governo Federal – Programa P1MC (Programa de 1 Milhão

de Cisternas). Isso porque as cisternas, em comparação com outras formas alternativas de combate à escassez de água na região (poços, micro-barragens, barragens subterrâneas), apresentam melhor relação custo/benefício. Por meio desse Programa pretende-se construir 1 milhão de cisternas na região semi-árida do nordeste brasileiro. Para determinação da capacidade das cisternas a serem construídas, foi realizado, no P1MC, estudo levando em consideração: precipitação pluviométrica de 400 mm; área de telhado (captação) de 40 m²; e atendimento a uma família de 5 pessoas. Os resultados desse estudo indicaram que as cisternas deveriam ser construídas com capacidade para armazenar 16 m³ (ASA, 2008).

Diante desse contexto, o Nordeste apresenta uma condição especial para utilização de sistemas de captação e armazenamento de água de chuva e, conseqüentemente, do uso de cisternas. A captação da água de chuva constitui alternativa eficaz, como forma de disponibilizar água “de boa qualidade” em diversas regiões e ainda controlar a vazão nos escoamentos superficiais das cidades (Alt, 2009). Para May (2004), a viabilidade do uso de água de chuva em edificações é caracterizada pela diminuição da demanda de água fornecida pelas companhias de saneamento, tendo como consequência a diminuição dos custos com água potável e a redução dos riscos de enchentes no caso de chuvas fortes.

Devido à concentração das chuvas em períodos curtos (3 a 4 meses) podem ser necessárias cisternas de grandes volumes, cujos custos podem inviabilizar sua utilização. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo analisar comparativamente três metodologias de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais, visando aproveitamento não-potável em descargas de vasos sanitários.

METODOLOGIA

Foram utilizadas neste trabalho, as séries históricas consistidas de precipitações pluviométricas, disponíveis no website do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco (LAMEPE). Foram selecionadas as precipitações totais mensais do período compreendido de janeiro de 1994 a dezembro de 2009, ou seja, quinze anos de precipitações mensais para 6 estações pluviométricas do Estado de Pernambuco. Essas estações pluviométricas foram selecionadas em função de sua representatividade em relação às cinco meso-regiões do estado (Metropolitana, Mata, Agreste, Sertão e São Francisco), conforme a Figura 2.



Figura 2 – Meso-regiões do Estado de Pernambuco. Fonte: Adaptado de FIDEM (2006).

Na Tabela 1 estão indicadas as características das estações de monitoramento das precipitações pluviométricas selecionadas para este trabalho.

Tabela 1 – Características das estações pluviométricas selecionadas

Estação	Município	Orgão Responsável	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Recife (Várzea)	Recife	APAC*	8° 0' 3"	34° 0' 55"	4
Vitória	Vitória de Santo Antão	IPA	8° 42' 7"	35° 10' 18"	137
Caruaru	Caruaru	APAC	8° 18' 18"	35° 57' 54"	545
Serra Talhada	Serra Talhada	IPA	7° 50' 55"	38° 20' 17"	429
Arcoverde	Arcoverde	IPA	8° 1' 26"	37° 20' 3"	663
Petrolina	Petrolina	INMET	9° 0' 23"	40° 0' 30"	385

*APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima

Para a obtenção da parametrização do consumo adotou-se como referência uma residência unifamiliar, com um pavimento e área de cobertura ou coleta (A) de 100m², habitada por cinco pessoas. Considerou-se que as águas pluviais coletadas seriam utilizadas para descargas em bacia sanitária com caixa acoplada de 6 litros. Estimou-se ainda que cada habitante efetuará, por dia, cinco acionamentos da caixa acoplada, perfazendo uma demanda diária de 150 litros. Adicionando-se, a esse volume, 7,5 litros por dia, correspondentes a perdas de 5% por vazamento, foi obtida demanda total de 4,73 m³ de água da chuva por mês.

Para determinação do volume do reservatório de água de chuva, foram utilizados: o método de Rippl, o método Azevedo Neto, o método Prático Alemão e o método Prático Inglês, todos recomendados pela NBR 15527/2007, que define os requisitos para aproveitamento de águas pluviais em áreas urbanas, para fins não potáveis. Além desses métodos, foram também utilizados, para comparação, o método proposto por Fendrich (2002) e o método de Rippl combinado com a metodologia de Monte Carlo. A seguir são descritos esses métodos:

Método de Rippl (NBR 15527/2007)

Nesse método podem ser utilizadas as séries históricas de precipitação mensais ou diárias. O volume do reservatório deve ser determinado utilizando-se as seguintes expressões, sendo: $\Sigma D(t) < \Sigma Q(t)$.

- $V = \Sigma S(t)$, somente para valores $S(t) > 0$;
- $S(t) = D(t) - Q(t)$;
- $Q(t) = C \times P \times A$;

onde:

- V = volume do reservatório;
- $S(t)$ = volume de água no reservatório no tempo t ;
- $D(t)$ = demanda ou consumo no tempo t ;
- $Q(t)$ = volume de chuva aproveitável no tempo t ;
- C = coeficiente de escoamento superficial;
- P = precipitação da chuva no tempo (t) ;
- A = área de captação

Método Azevedo Neto (NBR 15527/2007)

Nesse método o volume do reservatório pode ser determinado pela seguinte equação:

- $V = 0,042 \times P \times A \times T$; onde:
- V = valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L);
- P = valor numérico da precipitação média anual, expresso em mm;
- A = valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em m^2 ;
- T = valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca.

Método Prático Alemão (NBR 15527/2007)

Trata-se de um método empírico, no qual o volume a ser adotado para o reservatório deve ser 6% do menor valor entre V e D , ou seja:

- $V_{\text{adotado}} = \min(V; D) \times 0,06$; onde:
- V_{adotado} = valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros;
- V = valor numérico do volume anual aproveitável de água pluvial, expresso em litros;
- D = valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros.

Método Prático Inglês (NBR 15527/2007)

Nesse método o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

- $V = 0,05 \times P \times A$; onde:
- V = valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L);
- P = valor numérico da precipitação média anual, expresso em mm;
- A = valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em m^2 .

Método de Fendrich (Fendrich, 2002)

Fendrich (2002) desenvolveu estudo sobre a aplicabilidade da coleta, utilização e retenção das águas pluviais na bacia hidrográfica urbana do Rio Belém localizada no Município de Curitiba – PR. Esse trabalho visou o controle de enchentes urbanas e foi contextualizado no princípio da retenção distribuída das águas pluviais, componente importante no processo de conservação dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. O trabalho fundamentou-se na observação de 25 eventos pluvio-fluviométricos críticos, no período de 1987 a 2001, correspondente a uma série histórica de 25 anos e teve como objetivo o retardamento do escoamento superficial, associado à redução dos níveis máximos de enchentes na respectiva bacia hidrográfica. O estudo culminou com a determinação, para a bacia hidrográfica do Rio Belém, do coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba (C_r) para reservatórios de retenção distribuída, tendo sido obtido o valor de 20,5 litros por metro quadrado de telhado, ou seja, $C_r = 20,5$ litros/ m^2 . Segundo Fendrich (2009) a determinação do volume dos reservatórios de retenção distribuída das águas pluviais, em Curitiba – PR deve ser calculada por meio da equação:

- $V = C_r \times A_c$; onde:
- V = capacidade do reservatório de retenção, em litros;
- C_r = coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba (= 20,5 litros/ m^2);
- A_c = área de coleta das águas pluviais, em m^2 .

Método de Monte Carlo.

O método de Monte Carlo é um modelo estocástico que trabalha com simulações estatísticas de diferentes variáveis. No caso de se dimensionar reservatórios para o uso de água pluviais, o parâmetro geralmente utilizado é a precipitação. Pelo método de Monte Carlo, uma série histórica de alturas de precipitação (diárias ou mensais), é submetida a um modelo estocástico, de modo a se obter uma série de precipitações associadas a uma probabilidade de ocorrência (série sintética). Essa série sintética pode ser utilizada, então, como dado de entrada principal em um modelo de simulação.

De acordo com Tomaz (2003), o método de Monte Carlo é executado em três fases: na primeira fase são determinados os dados de entrada (série histórica e série sintética de precipitações); na segunda fase são calculados os dados de saída, através de um modelo de simulação como, por exemplo, o método de Rippl; e na terceira fase são avaliados os dados de saída, em geral por meio de um gráfico do tipo “Probabilidade de ocorrência da série sintética x Volume do reservatório” (Figura 3).

Quando o volume de um reservatório é determinado pelo método de Rippl da forma usual, ou seja, a partir da série de precipitações médias mensais, não fica determinada a probabilidade de utilização completa do volume desse reservatório; em outras palavras, resultam incertezas a respeito da suficiência ou insuficiência do mesmo, frente às precipitações que de fato ocorrerão. A vantagem da utilização do método de Rippl combinado com o método de Monte Carlo, é que, como resultados, são obtidos os valores dos volumes dos reservatórios associados às probabilidades de ocorrência das precipitações.

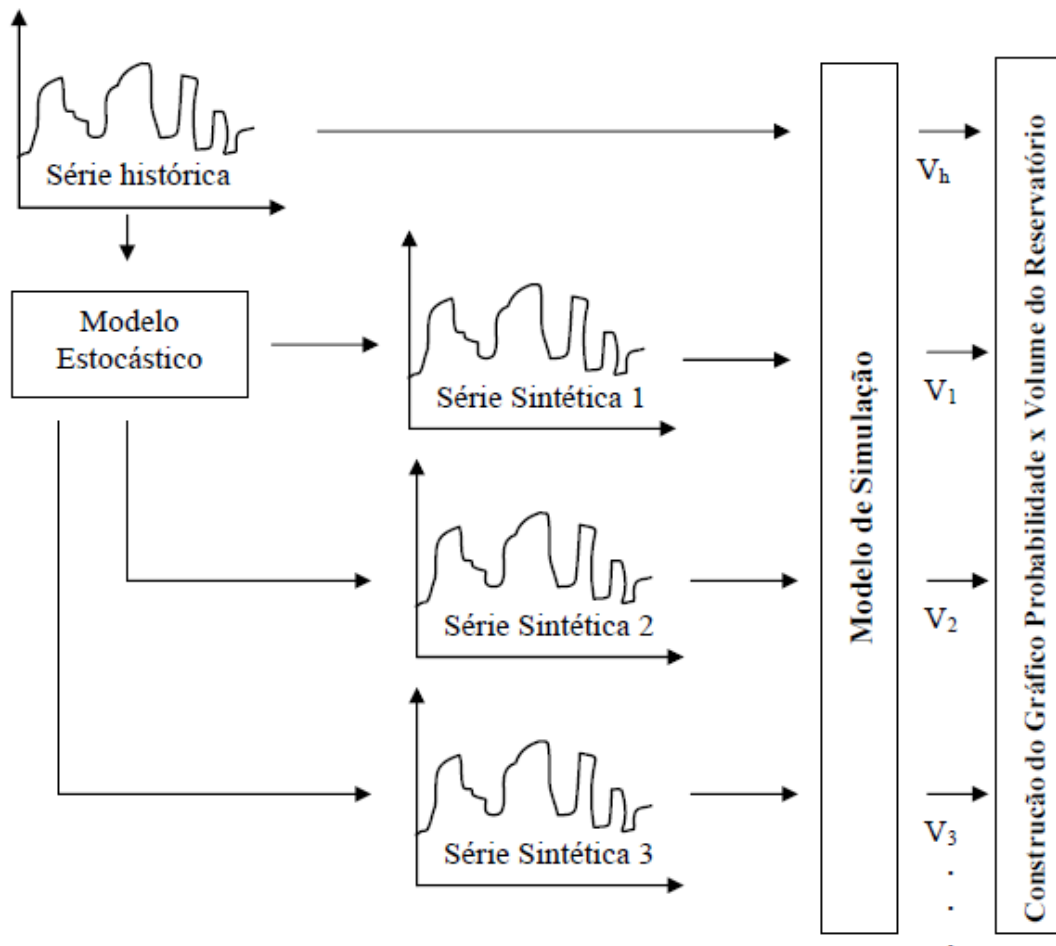


Figura 3 – Esquema de aplicação do Método de Monte Carlo. Fonte: Adaptado de Tomaz (2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a utilização do método de Rippl, foram calculadas as precipitações médias mensais, para o período 1994-2009, referentes a cada uma das estações selecionadas: Recife, Vitória de Santo Antão, Caruaru, Serra Talhada, Arcoverde e Petrolina (Tabela 2). Por outro lado, para aplicação dos métodos Azevedo Neto, Prático Alemão e Prático Inglês, foram determinados os valores das precipitações médias anuais, no mesmo período (1994-2009) e nas mesmas estações. Esses valores estão apresentados na Tabela 3, que traz, ainda, os desvios padrões anuais e os números médios de meses de estiagem. Observa-se na Tabela 3 que a cidade do Recife é a que detém a maior média de precipitação anual, o que se deve a sua proximidade do oceano por ser uma cidade litorânea. Verifica-se, ainda, que as cidades de Caruaru, Serra Talhada e Arcoverde apresentam precipitação média anual em torno de 727 mm. Além disso, para as cidades de Caruaru e Serra Talhada, os desvios padrões anuais são muito próximos.

Tabela 2 – Precipitações médias mensais (em mm), para o período 1994-2009.

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Recife	112,0	146,9	211,7	288,6	304,3	487,7	341,5	233,5	103,7	42,3	38,0	73,6
Vitória	88,3	74,0	89,2	107,8	119,0	259,8	129,4	119,3	38,4	17,5	19,1	48,6
Caruaru	59,5	84,2	74,9	75,8	88,0	122,3	81,0	69,1	26,6	10,6	9,4	25,9
Serra Talhada	114,2	153,4	159,2	97,2	88,7	30,3	24,6	9,9	2,3	7,4	14,4	34,2
Arcoverde	67,3	77,5	111,7	72,3	87,3	105,9	61,3	60,7	15,1	10,3	10,0	38,0
Petrolina	100,3	105,4	96,4	57,6	19,1	7,3	3,1	3,1	3,0	13,4	33,6	47,4

Tabela 3 - Precipitações médias anuais (em mm), desvio padrão anual e número médio de meses de estiagem, para o período 1994-2009.

Estação	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio Padrão Anual (mm)	Nº Médio de meses de estiagem
Recife (Várzea)	2380,64	444,41	4,8
Vitória (IPA)	1110,64	260,94	10,4
Caruaru	727,24	181,21	4,8
Serra Talhada (IPA)	735,71	180,14	10,4
Arcoverde (IPA)	717,67	280,56	10,4
Petrolina (INMET)	489,92	171,6	10,6

Obs.: * Foram considerados como períodos de estiagem meses com total precipitado inferior a 100 mm.

Método de Rippl

Após o cálculo das precipitações médias mensais, foram determinados os volumes captados, em todas as cidades, para a área correspondente ao telhado (100 m²). Foi adotado coeficiente de escoamento de 0,80, representando a característica média de uma cobertura de telhado padrão (fibro-cimento ou cerâmico); está incluído nesse coeficiente o descarte do primeiro fluxo de água contaminada (TOMAZ, 2003). Na Tabela 4, onde estão resumidos os valores dos volumes dos reservatórios obtidos para cada cidade pelo método de Rippl, é possível observar que o volume mínimo necessário para armazenamento (volume do reservatório) é menor para a cidade do Recife que para as demais cidades. Isso se deve ao fato de que a relação entre o volume de oferta (que é função das características de distribuição temporal das chuvas) e o volume de demanda é menor nessas cidades que em Recife. Assim, nessas cidades, pela abordagem do próprio método de Rippl, há necessidade de maiores volumes para armazenamento. Não foi possível determinar o volume do reservatório para Petrolina, pelo método de Rippl, porque, no caso dessa cidade, o volume correspondente à demanda anual é superior ao volume correspondente à oferta anual, ou seja, $\Sigma D (t) > \Sigma Q (t)$.

As Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 ilustram a relação oferta (volume captado) x demanda, em cada uma das cidades selecionadas. No caso da Figura 4 – referente à cidade do Recife – observa-se que a oferta de água pluvial, em cada um dos meses no intervalo compreendido entre janeiro e setembro, é muito superior a demanda mensal adotada neste trabalho (4,73 m³). A Figura 4 permite, também, observar o potencial de armazenamento de água de chuva da cidade do Recife na maior parte do ano. Isso significa que o armazenamento de água para fins não potáveis pode ser ampliado em face da elevada oferta disponibilizada pelo regime de precipitação local. O método de Rippl determina, portanto, o volume mínimo relativo a uma determinada demanda, podendo o usuário atender a uma demanda maior, mediante o aumento de sua área de captação e do volume do reservatório.

Tabela 4 – Volumes (m³) calculados para os reservatórios, de acordo com os métodos avaliados

Estação	Ripl	Azevedo Neto	Prático Alemão	Prático Inglês	Fendrich	Monte Carlo/Rippl*
Recife	3,03	47,99	3,40	11,9	2,05	12,18
Vitória	8,99	48,52	3,41	5,55	2,05	22,19
Caruaru	13,09	14,66	3,42	3,64	2,05	27,39
Serra Talhada	23,23	32,14	3,43	3,68	2,05	35,56
Arcovede	13,00	31,55	3,44	3,59	2,05	33,81
Petrolina	-	21,81	2,35	2,50	2,05	-

*Volume referente a uma probabilidade de ocorrência de precipitação de 75%

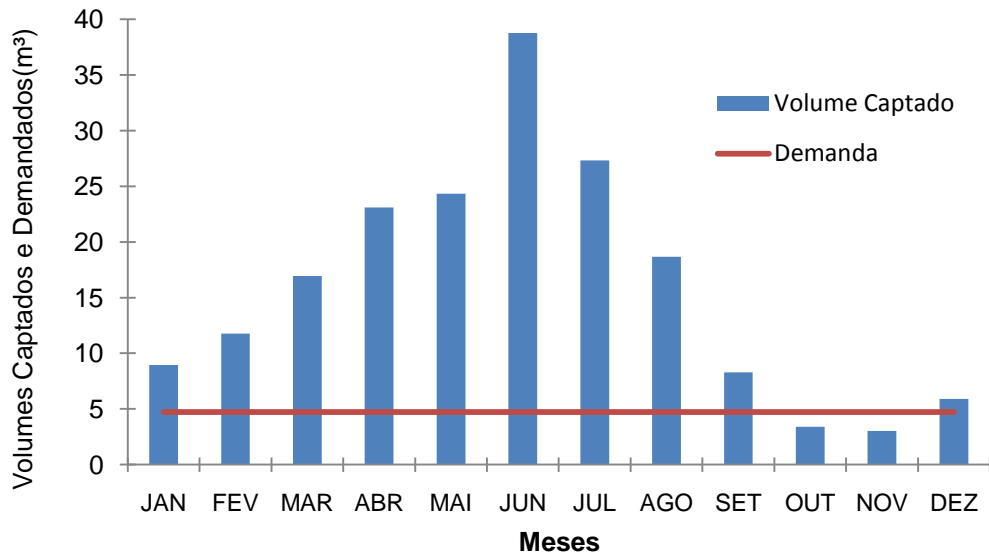


Figura 4 – Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade do Recife.

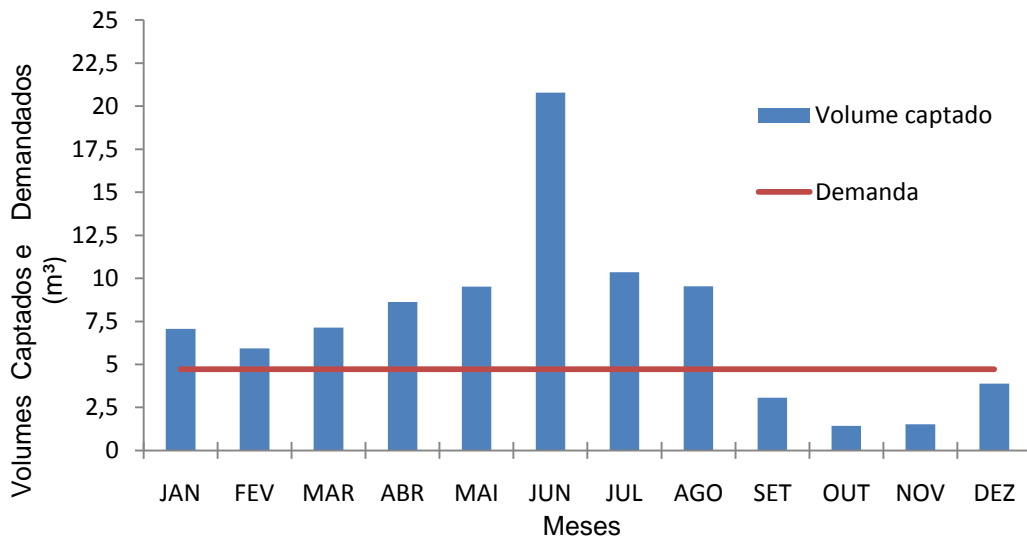


Figura 5 – Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Vitória de Santo Antão.

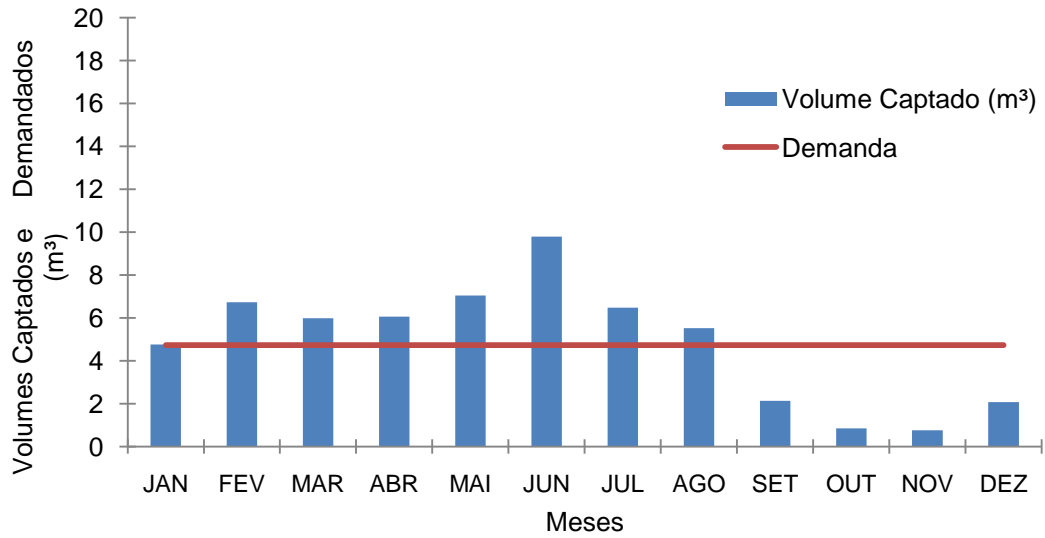


Figura 6 – Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Caruaru.

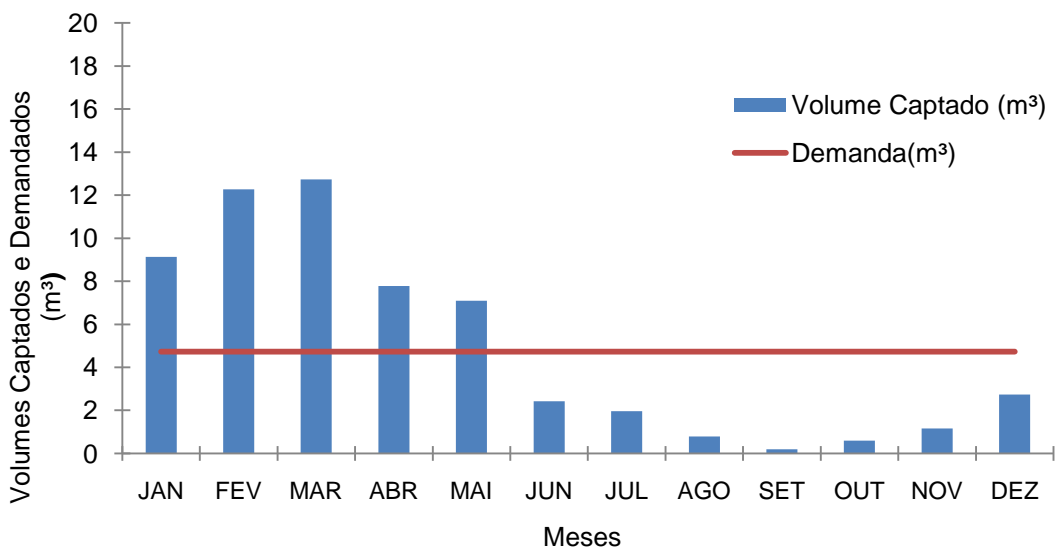


Figura 7 – Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Serra Talhada.

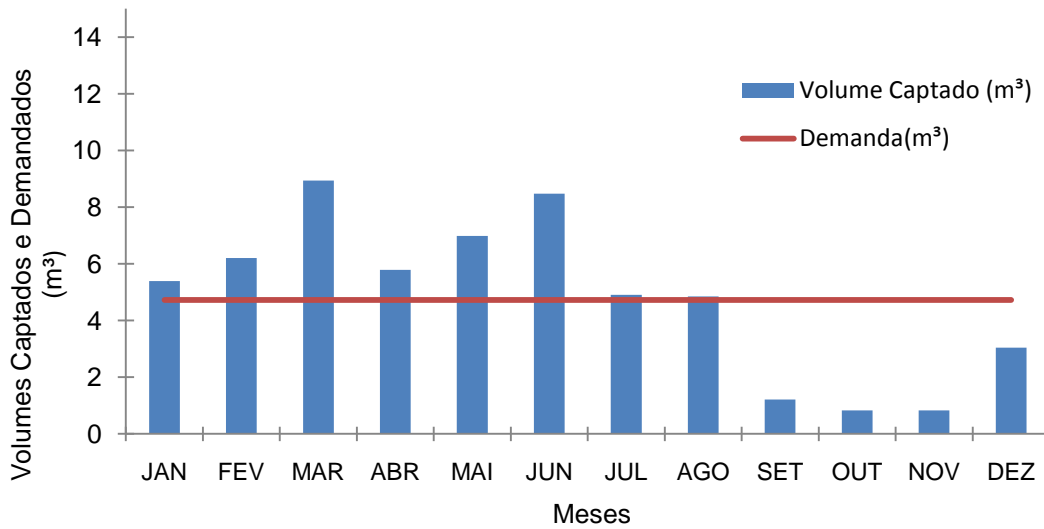


Figura 8 – Aplicação Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Arcoverde.

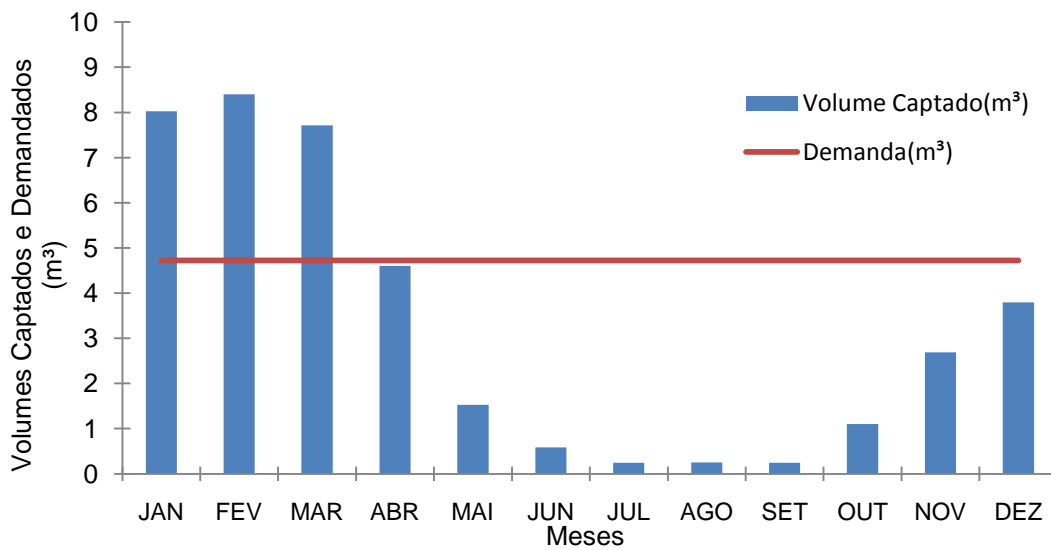


Figura 9 – Relação Oferta (volumes captados) x Demanda, para a cidade de Petrolina.

Método Azevedo Neto

O método Azevedo Neto, foi o que apresentou os maiores volumes de reservatórios, em todas as cidades (Tabela 4). No caso da cidade de Caruaru, o valor do volume calculado por esse método se aproxima do valor determinado pela metodologia de Rippl.

Método Prático Alemão

A demanda anual de água para fins não potáveis foi fixada em 56.760 litros. Esse volume é inferior ao volume anual de água aproveitável, no caso das cidades de Recife, Vitória de Santo Antão, Caruaru, Serra Talhada e Arcoverde. Portanto, pelo método Prático Alemão, para essas cidades o volume do reservatório foi definido como sendo 6% de 56.760 litros, ou

3.402 litros. No caso de Petrolina, como o volume anual de oferta de água pluvial (39.185,6 litros) mostrou-se inferior ao volume correspondente à demanda anual (56.760 litros), o volume do reservatório foi definido como sendo 6% de 39.185,6 litros, ou 2.351 litros (Tabela 4).

Método Prático Inglês

De acordo com o método Prático Inglês, o volume do reservatório é diretamente proporcional à precipitação média anual das cidades, resultando em volumes maiores nas cidades com maior média de precipitação - Recife e Vitória de Santo Antão. Além disso, nas cidades com maior necessidade hídrica de armazenamento, como Petrolina e Serra Talhada (Figuras 6 e 8), o método determina volumes de reservatórios menores que nas cidades com maior disponibilidade hídrica - Recife, por exemplo (Tabela 4). Tal fato pode gerar problemas de abastecimento (para fins não potáveis) nessas regiões, nos períodos de estiagem, uma vez que o método Prático Inglês não leva em consideração a demanda.

Método de Fendrich

Ao contrário do Método Azevedo Neto, a metodologia proposta por Fendrich (2002) resultou, em todas as cidades, nos menores valores para o volume armazenado: 2,05 m³, resultado próximo aos obtidos pelo método Prático Alemão (Tabela 4). Como o método de Fendrich representa o produto da área de captação por um coeficiente de escoamento superficial (20,5 L/m²), determinado para a bacia do rio Belém, no estado do Paraná, é de se esperar que este método apresente discrepâncias quando utilizado numa região como o Nordeste, principalmente em micro-regiões tão distintas como o litoral, o agreste e o sertão do estado de Pernambuco.

Método de Monte Carlo

Para a aplicação do método de Monte Carlo, foram, inicialmente, determinadas as séries sintéticas de precipitação, para os meses de janeiro a dezembro, a partir das séries históricas mensais de precipitação dos municípios de Recife, Vitória, Caruaru, Serra Talhada, Arcoverde e Petrolina. Em seguida, para probabilidades de ocorrência da precipitação de 5 a 95%, foram determinados os volumes dos reservatórios para as cidades acima citadas (exceto Petrolina), utilizando-se como modelo o Método de Rippl e considerando-se uma demanda mensal constante no valor de 4,73 m³.

Os resultados obtidos foram plotados no gráfico apresentado na Figura 10, o qual mostra que para precipitações com 95% de chance de ocorrer, ou seja, para chuvas bastante frequentes (que são as precipitações com total mensal baixo), há necessidade de armazenamento de água de chuva de aproximadamente 48,5 m³ para a cidade de Arcoverde, que é a segunda cidade com menor média anual de precipitação (Tabela 3). Por outro lado, para a cidade do Recife, observa-se que a aplicação do Método de Rippl para chuvas frequentes resulta em reservatórios com volume de, no mínimo, 20 m³. Como o regime pluviométrico no Recife é bem mais intenso que nas demais cidades, existe a possibilidade de um aproveitamento bem maior. No entanto, outros fatores como a análise econômica da relação entre o custo da construção do reservatório e o benefício da conservação da água com o aproveitamento, devem ser observados.

O gráfico apresentado na Figura 10 permite verificar também que os volumes dos reservatórios obtidos com o método de Rippl (Tabela 4), em geral correspondem a probabilidades de ocorrência das precipitações inferiores a 50% : 42,78% (Recife); 36,09%

(Vitória de Santo Antão); 32,03% (Caruaru); 60,35% (Serra Talhada); e 30,21% (Arcoverde). Esses percentuais mostram que a utilização de valores médios de precipitação como dados de entrada nesse método, resultam em subestimativa dos volumes dos reservatórios.

Com relação às probabilidades de séries sintéticas, Vyas (2001) considera 75% como um valor tolerável; 85% como um valor confiável e 95% como um valor extremamente confiável. Adotando-se uma probabilidade de 75% (tolerável), os volumes dos reservatórios, nas meso-regiões estudadas, variam de 12,18 m³, em Recife, a 42,26 m³, em Petrolina.

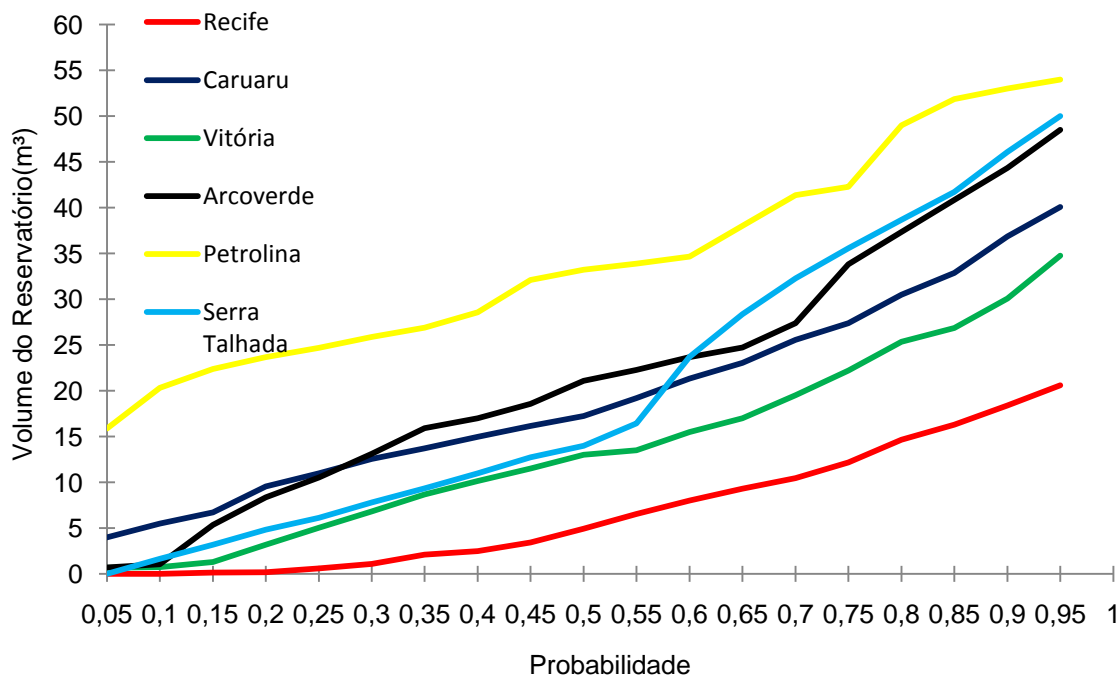


Figura 10 – Aplicação do método de Monte Carlo para as cidades das Meso-regiões do Estado de Pernambuco

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem as seguintes conclusões:

- Os volumes dos reservatórios calculados pelo método de Rippl, que variaram de 3,03 a 23,23 m³, mostraram-se coerentes com as diferentes características dos regimes pluviométricos nas meso-regiões do Estado de Pernambuco. Entretanto, considerando-se as recomendações da norma NBR 15527/2007 “Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos”, não foi possível determinar o volume do reservatório para Petrolina por meio desse método, uma vez que, no caso dessa cidade, o volume correspondente à demanda anual mostrou-se superior ao volume correspondente à oferta anual.
- O método Azevedo Neto resultou nos maiores volumes dos reservatórios, em todas as regiões estudadas, variando de 21,81 a 48,52 m³.
- Os volumes dos reservatórios determinados pelo método Prático Alemão variaram de 2,35 a 3,40 m³. A aplicação desse método em situações onde a demanda é muitas vezes superior ao volume captável de chuvas, pode produzir resultados insatisfatórios do ponto de vista de atendimento ao consumo.

- Os volumes dos reservatórios determinados pelo método Prático Inglês, que variaram de 2,50 a 11,90 m³, são diretamente proporcionais às precipitações anuais nas mesoregiões do Estado de Pernambuco e não levam em consideração as demandas, o que pode trazer problemas de insuficiência de armazenamento nos períodos de estiagem.
- A aplicação do método de Fendrich resultou em volume de armazenamento constante para todas as regiões (2,05 m³) e inferior aos volumes determinados pelos demais métodos. No entanto, esse método utiliza um coeficiente de escoamento superficial determinado para a bacia do rio Belém, no estado do Paraná, de modo que sua utilização em outras regiões do país pode não se mostrar adequada.
- Os volumes dos reservatórios determinados pelo método de Rippl combinado com a metodologia de Monte Carlo variaram de 12,18 a 35,56 m³ e resultaram superiores aos volumes dos reservatórios calculados pelo método de Rippl. No entanto, esses volumes correspondem à probabilidade de ocorrência das precipitações de 75%, considerada a mínima tolerável, enquanto que os volumes calculados pelo método de Rippl, considerando as precipitações médias mensais, correspondem a probabilidades de ocorrência de precipitações variando entre 30% e 61%. Essa informação deve subsidiar decisões relativas aos custos e aos riscos de falhas - subestimativa ou superestimativa dos volumes do reservatório.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FACEPE (Fundação de Amparo a Ciência do Estado de Pernambuco) pelas concessões de bolsas de mestrado e o CNPq pela concessão de bolsas de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ASA-ARTICULAÇÃO DO SEMI - ÁRIDO. (2008). Disponível em <http://www.asabrasil.org.br/portal/Default.asp>. Acessado em 01/08/2010.

AGÊNCIA CONDEPE/FIDEM. (2006). Rio Una, GL 4 e GL 5. Recife: 2006. 85 p.

ALT, R.(2009). *Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.* Disponível em http://www.trt24.jus.br/arq/download/comissoes/publicacoes/COM86_Aproveitamento_de_agua_da_chuva.pdf. Acessado em 01/08/2010

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

CIRILO, J.A. NETTO, M.S.C.C. MONTENEGRO, S.M.G.L. ASFORA, M.C. (2007). O Uso Sustentável dos Recursos Hídricos em Regiões Semi - áridas.Org. por Cirilo, J.A, Cabral, J.J.SP ... et al; Recife:Ed.Universitária da UFPE,2007.508 p.

em

FENDRICH, R.(2002). *Aplicabilidade do armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana.* Curitiba, 2002. 504f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

FENDRICH, R.(2009). *Manual de Utilização de águas Pluviais (100 Maneiras Práticas)*. Curitiba, Chain Editora.2ª Ed-ampliada.190 p.2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.(2008). "Plano Nacional de Saneamento Básico". Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf. Acessado em 7 de outubro de 2010.

LAMEPE. Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco. Dados disponíveis em <http://www.itep.br/LAMEPE.asp>, acessado em 29/09/2010.

MAY, S.(2004). *Estudo da viabilidade para aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações*. São Paulo, 2004.159p. Dissertação de Mestrado. PUC.

PERH/PE. (1998). *Plano Estadual de Recursos Hídricos, Pernambuco, Secretaria de Recursos Hídricos: Documento Síntese*.

TOMAZ, P.(2003). *Aproveitamento de Água de Chuva: Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não Potáveis*. Navegar Editora – Guarulhos/SP – Brasil, 180p.

VYAS, V. (2001). *Modelling Temporal Variability in natural resources – Rainwater harvesting systems as an example*. Índia, Nova Delhi :11 p.