

## CONFIABILIDADE VOLUMÉTRICA DE RESERVATÓRIOS PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM MUNICÍPIOS BRASILEIROS

Natália Marques de Sousa Lacerda (\*), Gilson Barbosa Athayde Júnior

\* Universidade Federal da Paraíba – Graduanda em Eng. Civil. E-mail: [natalia.marques23@yahoo.com.br](mailto:natalia.marques23@yahoo.com.br)

### RESUMO

Estudos envolvendo a utilização da água de chuva para diversos fins não potáveis demonstram a viabilidade técnica e econômica destes sistemas, bem como a boa qualidade dessas águas quando comparadas às águas superficiais. Outra vertente bastante desenvolvida no estudo do aproveitamento das águas de chuva são os métodos de dimensionamento de reservatórios de acumulação, entre eles: Método de Rippl, Método da Simulação, Método de Azevedo Neto, Método prático alemão, Método prático inglês e Método prático australiano. A maioria desses métodos trabalha com um balanço hídrico entre a quantidade de água coletada e o seu consumo, mas poucos analisam a eficiência do reservatório em acumular a água. Este trabalho analisou a eficiência de reservatórios de acumulação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais por meio da confiabilidade volumétrica do reservatório. A confiabilidade volumétrica é definida neste trabalho como a razão entre o volume aproveitado tendo por base um balanço hídrico diário ( $V_1$ ) e o volume aproveitado tendo por base o balanço hídrico em mensal ( $V_2$ ), expressa em porcentagem. A confiabilidade volumétrica foi calculada para diversos padrões de consumo em residências (Padrão popular, Médio e Alto) em diversas localidades, para dois valores de coeficiente de *runoff* (0,85 e 0,90) e para valores fixos de volume do reservatório (40, 30, 20, 15, 10 e 5 m<sup>3</sup>). Para as cidades estudadas, a confiabilidade volumétrica variou de 100% para as situações de volumes de reservatórios muito grandes e áreas de captação pequenas à 70% para situações de pequenos volumes de reservatório e áreas de captação muito grandes. Verificou-se ainda, que os reservatórios com volumes situados na faixa de 15 a 10 m<sup>3</sup> representam um limite abaixo do qual a confiabilidade volumétrica diminui de forma intensa, sendo, portanto não recomendado o uso de reservatórios com volume inferior a esta faixa quando se deseja evitar o extravasamento devido a chuvas intensas. Por fim, enfatiza-se que se pode empregar os resultados deste estudo para corrigir o volumes aproveitados calculados pelos diversos métodos de dimensionamento que utilizaram um balanço hídrico mensal para um valor com precisão de um balanço hídrico diário.

**PALAVRAS-CHAVE:** água de chuva, confiabilidade, método de Rippl

### INTRODUÇÃO

A escassez hídrica, a perda de qualidade dos mananciais pela crescente poluição, associadas aos serviços de abastecimento público ineficientes, são fatores que têm despertado diversos setores da sociedade para a necessidade de conservação da água. Entre as práticas que envolvem a conservação da água, está o aproveitamento da água de chuva, uma vez que o consumo sustentável de água nas residências está relacionado ao uso de águas de menor qualidade para fins menos nobres. Coletar água de chuva não é apenas conservar água, mas também a energia. Estudos (LIMA, *et al.* 2011) mostram que tem-se uma redução aproximada de 25% a 45% do custo energético nas operações de abastecimento de água.

Estudos envolvendo a utilização da água de chuva para diversos fins não potáveis demonstram a viabilidade técnica e econômica (Athayde Júnior *et al.*, 2008) destes sistemas, bem como a boa qualidade dessas águas quando comparadas às águas superficiais (LUNA *et al.*, 2014).

O armazenamento da água de chuva objetiva basicamente a sua retenção, para o controle de cheias e inundações ou para mitigar a falta de abastecimento regular da mesma. Exemplos típicos de usos urbano de águas de chuvas são: em descarga de sanitários, em sistemas de resfriamento, na irrigação de áreas verdes e emergencialmente em casos de estiagens.

A viabilidade do aproveitamento das águas de chuva é dependente de um regime regular de chuvas para poder suprir a demanda de uso não potável e resultar em dimensões viáveis para o reservatório. O dimensionamento do reservatório depende de diversos fatores, dentre eles:

- Regime de chuvas local: altos índices pluviométricos e distribuições mais constantes das precipitações ao longo do ano permitem a utilização de menores volumes de reservação;
- Área de Captação: a quantidade de água que poderá ser captada é função da área disponível, sendo este um dos parâmetros necessários para o cálculo do volume do reservatório; e,
- Demanda: a quantidade e o tipo de demanda são fundamentais para determinar o tamanho do reservatório.

Os métodos de dimensionamento de reservatórios existentes na literatura são baseados no balanço de massas entre a quantidade de água de chuva captada e a demanda. Entre esses métodos, o Método de Rippl, utiliza dados pluviométricos diários ou mensais, sendo que a utilização de dados mensais é bem mais comum e simples que a de dados diários. Por outro lado, a utilização de dados mensais traz uma falsa ideia do regime pluviométrico local, isso porque o cálculo do volume do reservatório de acumulação pelas médias mensais não leva em consideração os picos de chuva (DIAS, 2007). O uso de séries mensais pode resultar num dimensionamento ineficiente dos reservatórios, uma vez que a ocorrência de um pico de chuva num dado momento pode resultar em extravasamentos não previstos quando do balanço hídrico efetuado em base mensal.

Dias (2007) utilizando dados diários de precipitação para alguns valores de volume dos reservatórios de acumulação, calculou a confiabilidade volumétrica para vários anos no município de João Pessoa-PB. A confiabilidade volumétrica (CV) definida por Dias (2007) foi (equação 1):

$$CV = 100 \frac{V_1}{V_2} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$V_1$  = Volume anual de águas pluviais aproveitado levando-se em consideração os dados em base diária para um dado ano; e,

$V_2$  = Volume anual de águas pluviais aproveitado levando-se em consideração as médias mensais de uma série histórica.

A partir da determinação do parâmetro da confiabilidade para uma dada situação de volume de reservatório, área de captação e regime pluviométrico, pode-se calcular o volume que este efetivamente se aproveitará, corrigindo-se aquele encontrado para um balanço hídrico em base mensal.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar a confiabilidade volumétrica de reservatórios para aproveitamento de água de chuva para várias situações de: área de captação, coeficiente de runoff, volumes de reservatório, demanda de água e regime pluviométricos.

## METODOLOGIA

Para a determinação da confiabilidade volumétrica, pesquisou-se séries de precipitação diárias nas quais as falhas na informação dos dados fossem as menores possíveis, além de se buscar séries que determinassem um maior número de parâmetros que caracterizam o regime pluviométrico das cidades. Os parâmetros de variabilidade escolhidos para caracterizar o regime pluviométrico das cidades foram:

- Desvio padrão dos índices diários de precipitação de séries de trinta anos;
- Desvio padrão dos índices médios mensais de precipitação de uma série de trinta anos;
- Índice anual médio de precipitação ( $H_{ANUAL}$ ) de uma série de trinta anos;
- Intensidade pluviométrica da chuva de duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos ( $I_{5/5}$ );
- Razão entre  $I_{5/5}$  e  $H_{ANUAL}$ .

Foram selecionadas 14 municípios brasileiros, para os quais as séries de precipitação foram obtidas junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e à ANA (Agência Nacional das Águas). Para abranger uma amostra representativa, o período mínimo das séries adotado foi de 30 anos (de 1984 a 2013, inclusive).

Após a escolha das séries de precipitações diárias, foi necessário fazer o preenchimento nas falhas das informações obtidas das fontes acima citadas, utilizando-se a média do mês para o qual se verificou a falha no posto pluviométrico em questão.

A partir dos dados diários obtidos, calculou-se os parâmetros que caracterizam o regime pluviométricos de cada município para o período 1984 à 2013 (Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros característicos do regime pluviométrico para os municípios estudados.

Municípios	Desvio padrão dos índices diários de precipitação (mm)	Desvio padrão dos índices médios mensais de precipitação (mm)	H ANUAL (mm/ano)	I <sub>5/5</sub> (mm/h)	I <sub>5/5</sub> / H ANUAL (adimensional)
Belém (PA)	13,729	134,664	3172	169	467
Belterra (PA)	12,511	107,590	1952	-	-
Brasília (DF)	10,555	96,874	1492	172	1010
Curitiba (PR)	10,442	38,307	1562	193	1082
Formosa (GO)	10,163	102,461	1395	176	1105
Franca (SP)	10,990	107,831	1636	-	-
Goiânia (GO)	10,750	110,887	1630	189	1016
Manaus (AM)	13,628	103,818	2350	208	775
Maringá (PR)	11,582	47,498	1612	-	-
Pato Branco (PR)	13,802	35,170	2044	165	707
Quixeramobim (CE)	7,266	60,694	741	148	1750
Recife (PE)	14,635	131,724	2323	167	630
São Luiz (MA)	15,321	172,975	2240	136	532
São Paulo (SP)	11,206	88,645	1635	172	922

Fonte: adaptado de INMET (2014); ANA (2014); (CETESB, 1986; ABNT, 1989; DISTRITO FEDERAL, 2009; COUTINHO *et al*, 2013; INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ, 2014) *apud* Lacerda (2015).

A Tabela 1 mostra os parâmetros de variabilidade para as cidades escolhidas. A intensidade da chuva de duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos não foi determinada para todos os municípios por falta de dados na literatura consultada.

Para o cálculo da confiabilidade volumétrica, foram estabelecidos as seguintes condições:

- Os volumes dos reservatórios de armazenamento foram prefixados em variando de 40 m<sup>3</sup> à 5 m<sup>3</sup> da seguinte maneira: 40, 30, 20, 15, 10 e 5 m<sup>3</sup>;
- A confiabilidade dos volumes pré-estabelecidos foi calculada para coeficientes de runoff de 0,85 e 0,90 para que o critério da escolha do tipo de material empregado na área de captação também fosse verificado.
- As áreas de captação da precipitação, assim como o consumo de água, foram classificados em 3 padrões que foram denominados como: Padrão Popular, Padrão Médio e Padrão Alto. Para cada padrão, estão listados abaixo as áreas de captação e os consumos de água utilizados no presente estudo (Tabela 2).

Neste trabalho a confiabilidade volumétrica foi determinada utilizando-se a equação 1, com apenas um diferencial: o cálculo do volume de águas aproveitado em base mensal (V<sub>2</sub>) foi feito para cada ano da série

estudada; assim, o volume aproveitado em base mensal foi determinado para um dado ano e não pela média mensal histórica como reportado por Dias (2007).

**Tabela 2: Áreas de captação e consumo para os padrões utilizados**

	Áreas de captação (m <sup>2</sup> )	Consumo (L/d)
Padrão Popular	60	460
	75	
	100	
Padrão Médio	75	750
	100	
	150	
Padrão Alto	150	1200
	200	
	300	

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para cada cidade foi feito um gráfico que relaciona os volumes dos reservatórios com as áreas de captação que caracteriza cada padrão de residência (Padrão Popular, Padrão Médio e Padrão Alto) e com cada valor de coeficiente de runoff ( $C = 0,85$  e  $C = 0,90$ ), resultando em 6 gráficos para cada cidade estudada. As Figuras de 1 a 30 mostram as confiabilidades volumétricas para os volumes dos reservatórios, áreas de captação e 5 localidades. Para as demais localidades estudadas, o leitor pode se reportar a Lacerda (2015).

Para as condições de área de captação, volumes de reservatórios, coeficientes de runoff e regimes pluviométricos das cidades estudadas, verificou-se que a confiabilidade volumétrica variou desde 100%, para os reservatórios de grandes volumes e associados a pequenas áreas de captação, à 70%, para os reservatórios de pequenos volumes e associados a grandes áreas de captação.

Para as cidades com índice pluviométrico anual menor que 2.000 mm (Belterra, Brasília, Curitiba, Formosa, Franca, Goiânia, Maringá, Quixeramobim e São Paulo), para os diversos padrões de consumo de água analisados e as diversas áreas de captação, a variação da confiabilidade volumétrica apresentou o seguinte comportamento típico: diminuição gradual e lenta para volumes de reservatório a partir de 40 m<sup>3</sup> até valores situados entre 15 e 10 m<sup>3</sup>; a partir desta faixa de volume de reservatório a variação da confiabilidade volumétrica foi mais evidente, diminuindo intensamente com a diminuição do volume de reservatório.

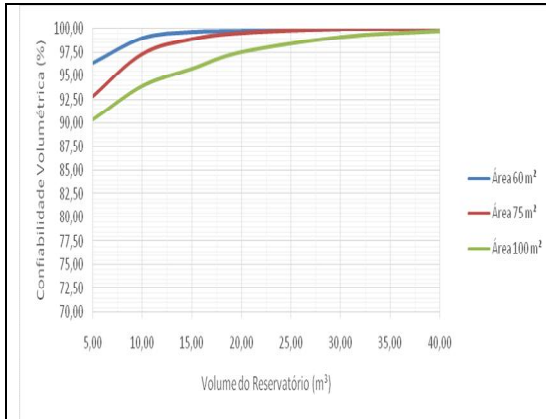
Para cidades com índice pluviométrico anual maior que 2.000 mm (Belém, Manaus, Pato Branco, Recife e São Luís) não se observou um comportamento bem definido para a variação da confiabilidade volumétrica. Em algumas situações, o que se observou foi que a confiabilidade volumétrica para as áreas de captação maiores é que apresentam o mesmo comportamento típico das cidades com índices pluviométricos anuais abaixo de 2.000 mm.

Uma vantagem da aplicação destes resultados é que os mesmos determinaram a confiabilidade volumétrica para séries diárias de precipitação, o que torna a estimativa do volume aproveitado de água de chuva mais precisa. Para a situação em que o reservatório já esteja dimensionado, a utilização do gráfico que melhor se assemelha à situação sob a qual o reservatório está ou será instalado, permite a correção do valor do volume de água aproveitado em base mensal resultante do dimensionamento pelo Método de Rippl para um valor com precisão de balanço em base diária.

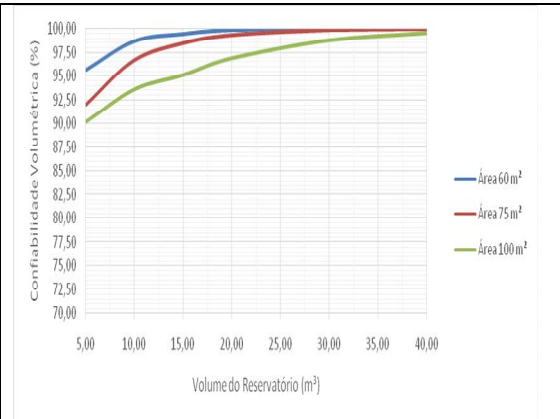
Uma aplicação importante para a utilização dos gráficos de confiabilidade volumétrica apresentados neste trabalho é, a partir de uma série de precipitação de uma cidade qualquer e dos parâmetros que caracterizam seu regime pluviométrico, buscar na Tabela 1 uma cidade com parâmetros semelhantes aos da cidade que se deseja determinar a confiabilidade volumétrica do reservatório.

<p align="center"><b>Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Popular - C = 0,85 – Belterra (PA).</b></p>	<p align="center"><b>Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Popular - C = 0,90 – Belterra (PA).</b></p>
<p align="center"><b>Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Médio - C = 0,85 – Belterra (PA).</b></p>	<p align="center"><b>Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Médio - C = 0,90 – Belterra (PA).</b></p>
<p align="center"><b>Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Alto - C = 0,85 – Belterra (PA).</b></p>	<p align="center"><b>Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Alto - C = 0,90 – Belterra (PA).</b></p>

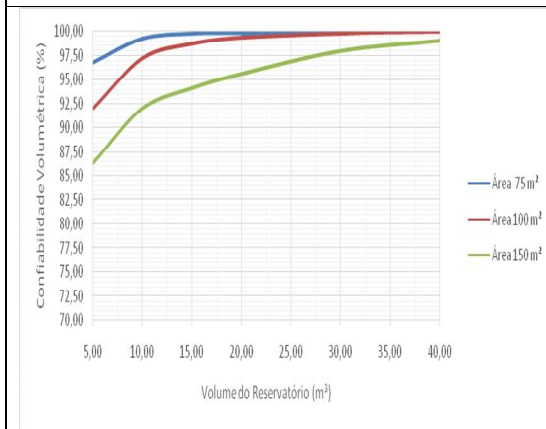




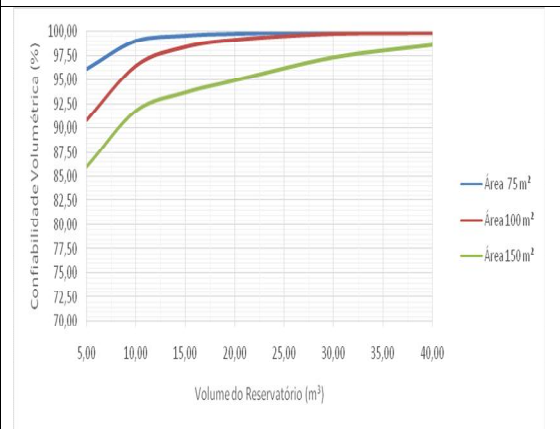
**Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Popular - C = 0,85 – Brasília (DF).**



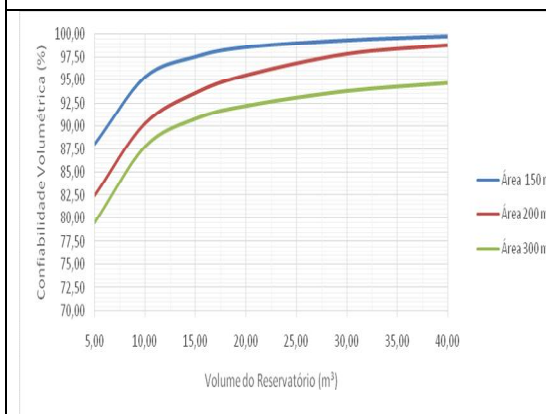
**Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Popular - C = 0,90 – Brasília (DF).**



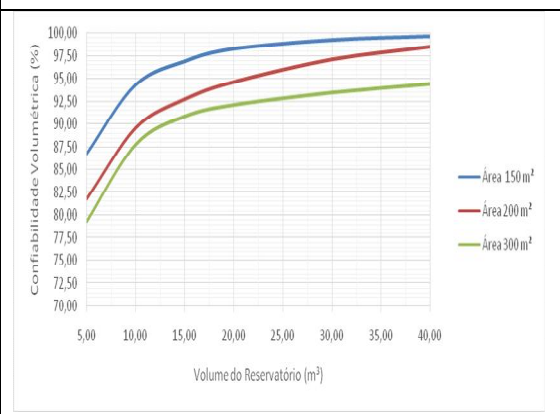
**Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Médio - C = 0,85 – Brasília (DF).**



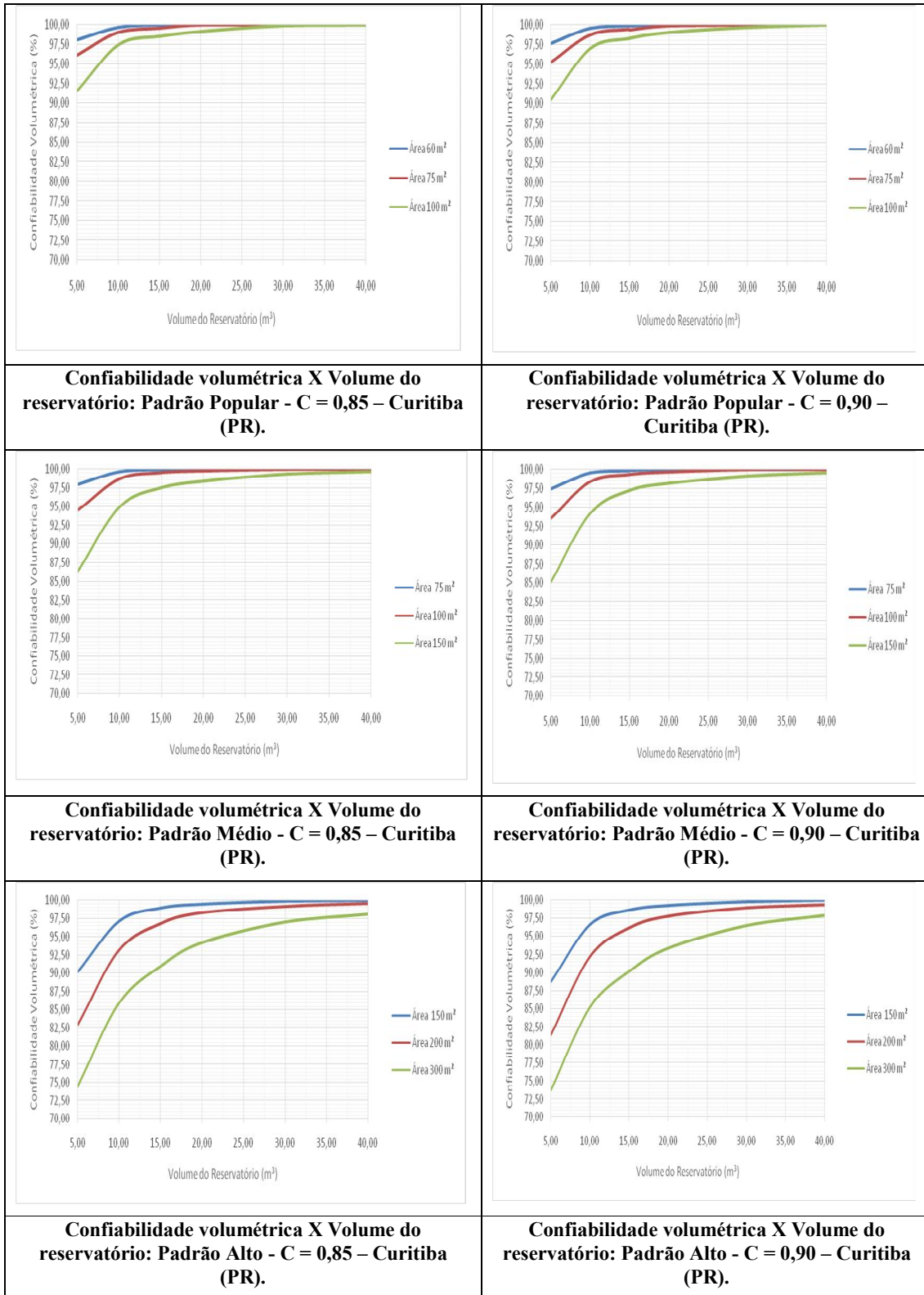
**Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Médio - C = 0,90 – Brasília (DF).**

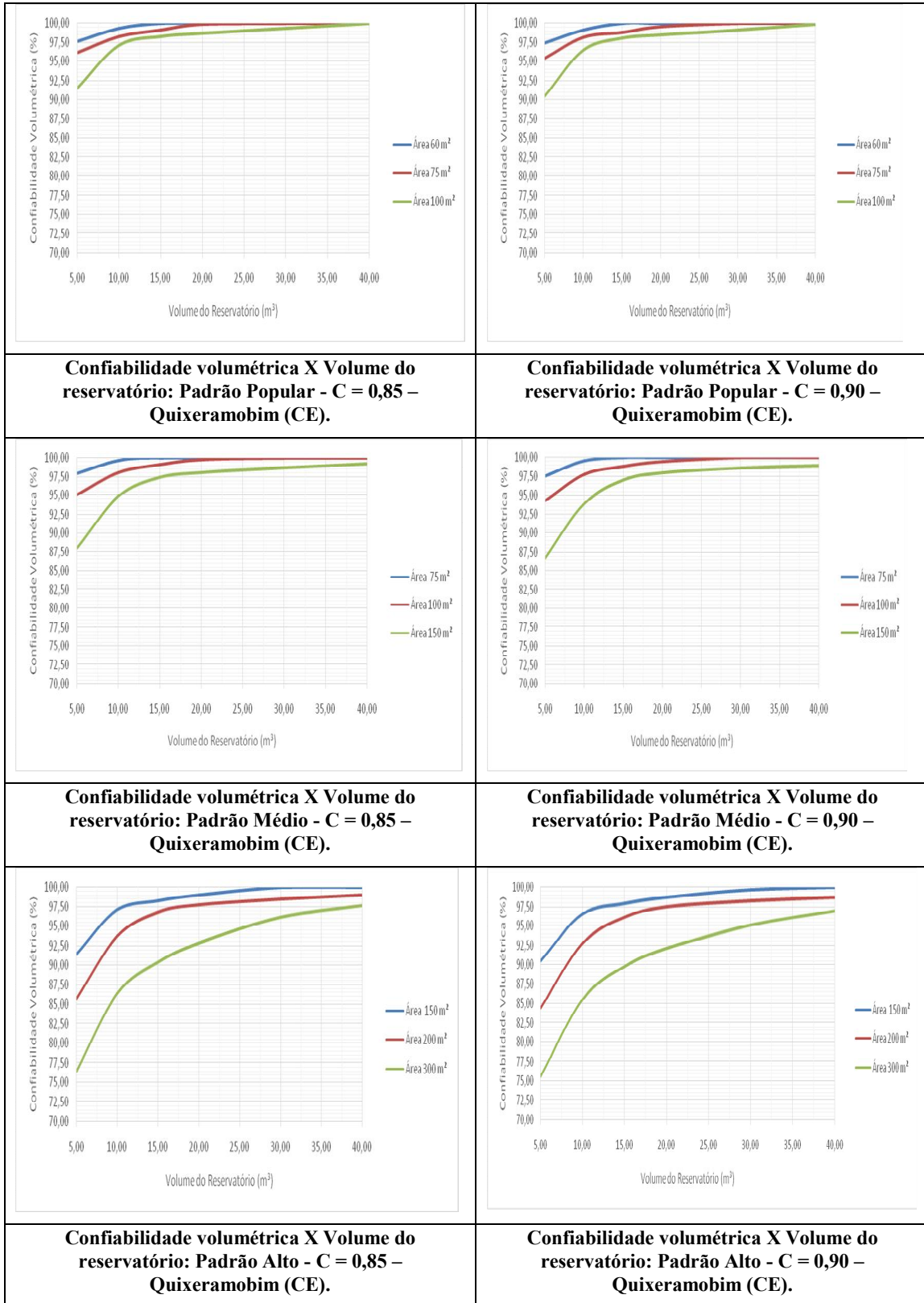


**Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Alto - C = 0,85 – Brasília (DF).**

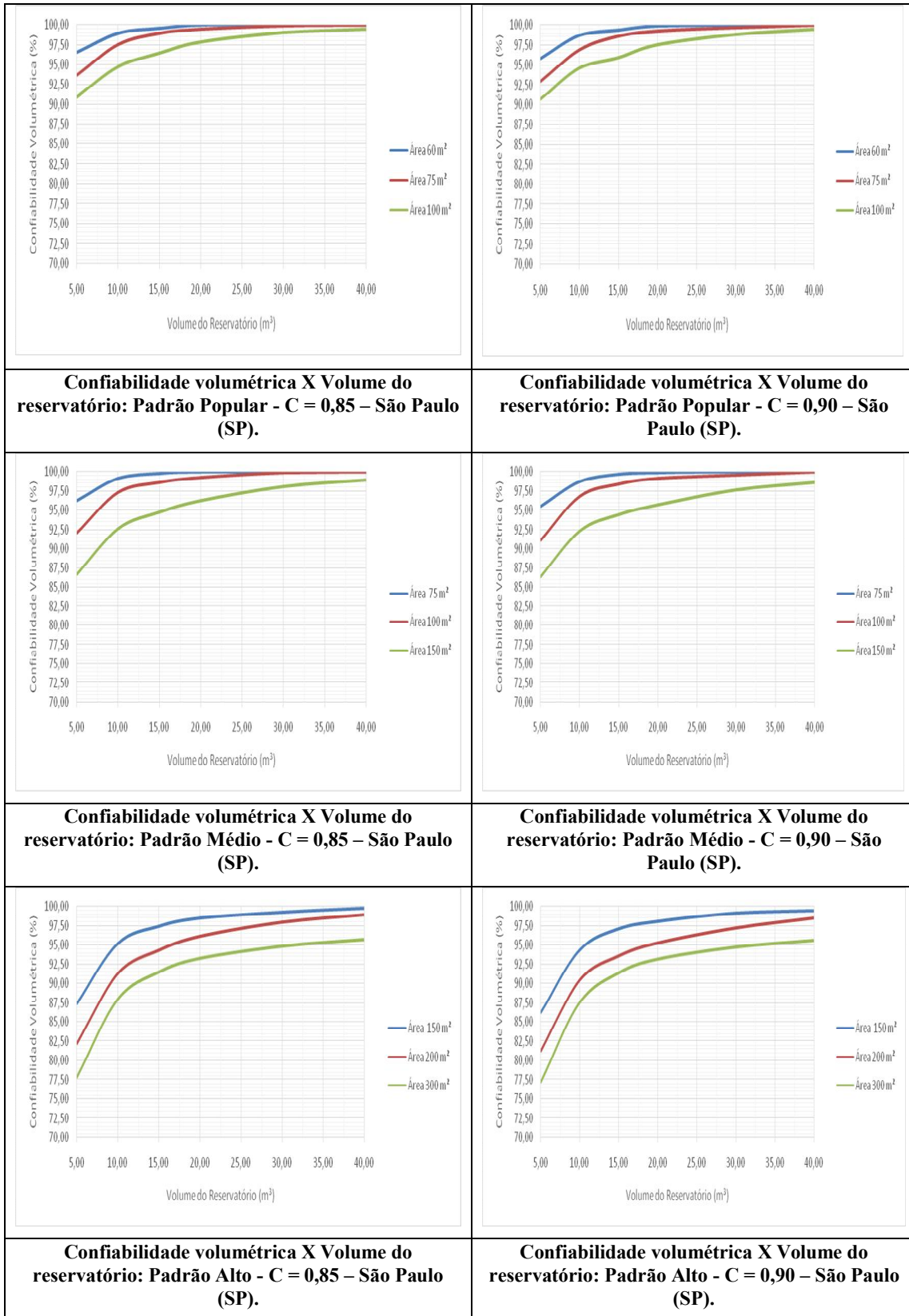


**Confiabilidade volumétrica X Volume do reservatório: Padrão Alto - C = 0,90 – Brasília (DF).**









## CONCLUSÕES

Em função de um decréscimo intenso da confiabilidade para volumes de reservatório abaixo da faixa 10- 15 m<sup>3</sup>, recomenda-se esta faixa como valor mínimo de reservatório para se minimizar o extravasamento de água devido a chuvas intensas.

Para valores de confiabilidade de 100%, pode-se utilizar as médias mensais de precipitação, incorrendo em um erro mínimo na estimativa do valor aproveitado de água de chuva, igual ao que se incorre quando do uso das séries diárias. Por outro lado, mesmo que o valor de confiabilidade não seja 100%, se pode ter ideia do erro na estimativa do volume aproveitado em relação àquele do estimado através do uso das séries diárias.

Uma vantagem da aplicação destes resultados é que os mesmos determinaram a confiabilidade volumétrica para séries diárias de precipitação, o que torna a estimativa do volume aproveitado de água de chuva mais precisa. Para a situação em que o reservatório já esteja dimensionado, a utilização do gráfico que melhor se assemelha à situação sob a qual o reservatório está ou será instalado, permite a correção do valor do volume de água aproveitada em base mensal resultante do dimensionamento pelo Método de Rippl para um valor com precisão de balanço em base diária.

Uma aplicação importante para a utilização dos gráficos de confiabilidade volumétrica apresentados neste trabalho é, a partir de uma série de precipitação de uma cidade qualquer e dos parâmetros que caracterizam seu regime pluviométrico, buscar na Tabela 1 uma cidade com parâmetros semelhantes aos da cidade que se deseja determinar a confiabilidade volumétrica do reservatório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA – Agência Nacional de Águas: Hidroweb. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 de outubro de 2014.
2. Athayde Júnior, G.B.; Dias, I.C.S.; Gadelha, C.L.M. Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. Ambiente Construído. Vol 8, n 2. pp. 85-98. 2008.
3. Dias, I. C. S. Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana. UFPB. João Pessoa – PB, 2007.
4. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia: BDMEP – Dados Históricos. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 10 de setembro de 2014.
5. Lacerda, N.M.S. Confiabilidade volumétrica de reservatórios para armazenamento de água de chuva em municípios brasileiros. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba. 2015.
6. Lima, J.A.; Dambros, M.V.R.; Antonio, M.A.P.M.; Janzen, J.G.; Marchetto, M. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol 16, n 3, pp. 291-298. 2011.
7. Luna, Y.H.D.M.; Santana, N.C.B.; Athayde Júnior, G.B.; dos Anjos Júnior, R.H. Qualidade da água de chuva em João Pessoa: estudo comparativo com diversos padrões de qualidade conforme os usos pretendidos para água em edificações residenciais. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais. Vol. 2. n 2. pp. 53-68. 2014.