



# REVISTA AIDIS

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

## CONFIABILIDADE VOLUMÉTRICA DE RESERVATÓRIOS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA DIMENSIONADOS COM SÉRIES HISTÓRICAS MENSAIS

\* Cinthya Santos da Silva <sup>1</sup>  
Gilson Barbosa Athayde Júnior <sup>2</sup>

## VOLUMETRIC RELIABILITY OF RAINWATER ACCUMULATION RESERVOIRS DIMENSIONED WITH MONTHLY HISTORICAL SERIES

Recibido el 23 de agosto de 2018; Aceptado el 29 de marzo 2019

### Abstract

*In order to analyze the difference between the usable volume of water calculated on the basis of monthly and daily precipitation averages, this paper proposes calculating reliability coefficients to the monthly pluviometric series, for different volumes of reservoir. The conclusion that the reliability tends to increase with decreasing of the catchment area and increase of the reservoir volume, occurring however, some exceptions. Important point observed also is that the reliability coefficients can not be used without due consideration of the precipitation conditions of the region, as these can vary considerably in a country. Thus, in future studies about the sizing of the reservoir with monthly historical series, where the reliability thereof is searched, this factor should be taken into account.*

**Keywords:** precipitation, reliability, reservoir.

<sup>1</sup> Instituto Federal da Paraíba, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

\*Autor correspondente: Instituto Federal da Paraíba, campus Cajazeiras, R. José Antônio da, R. José Leôncio da Silva, 300 - Lot. Jardim Oasis, Cajazeiras - PB, CEP: 58900-000. Email: [santossynthia@gmail.com](mailto:santossynthia@gmail.com)

### Resumo

Com o intuito de analisar a diferença entre o volume aproveitável de água calculado com base em valores mensais e diários de precipitação, este trabalho propõe o cálculo de coeficientes de confiabilidade para as séries pluviométricas mensais, em diferentes volumes de reservatório. Chegou-se à conclusão de que a confiabilidade do volume aproveitável obtido, com dados mensais, tende a aumentar com a diminuição da área de captação e o aumento do volume do reservatório, ocorrendo porém, algumas exceções. Ponto importante observado também é que os coeficientes de confiabilidade não podem ser utilizados sem a devida consideração das condições de precipitação da região, pois os mesmos podem variar de forma considerável dentro de um mesmo país. Assim, em estudos futuros sobre dimensionamento de reservatórios com séries históricas mensais, os coeficientes de confiabilidade podem ser utilizados como meio de melhoramento da precisão no cálculo do volume de água aproveitável a ser armazenada, uma vez que os valores determinados permitem o alcance de uma precisão de dados discretizados diariamente para os dados mensais.

**Palavras chave:** confiabilidade, precipitação, reservatório.

### Introdução

A água é recurso indispensável para sobrevivência humana; seja para consumo direto, irrigação ou produção de energia, dentre outros usos; pode-se afirmar de forma incontestável que a qualidade de vida da população está diretamente ligada ao fornecimento de água de qualidade e em quantidade suficiente (Silva *et al.*, 2019).

A crise no abastecimento, até então sempre relacionada à região Nordeste do Brasil, historicamente assolada por longos períodos de estiagem; atingiu no início do século estados do Sudeste do país. Causada não só pela falta de uniformidade na distribuição de água no território brasileiro, mas também pelo crescimento urbano acentuado nos últimos anos; Tucci *et al* (2001).

Associada à distribuição heterogênea da água, existe ainda o agravante das demandas pelas concentrações populacionais e suas distribuições espacialmente diferenciadas no território. Apesar das cidades apresentarem a tendência histórica de ocupar locais às margens de cursos d'água para desenvolvimento; a expansão urbana não se limita a esta, a exemplo do semiárido brasileiro que abriga mais de 10% da população nacional (Ibge, 2010), e se propaga para regiões com dificuldades de abastecimento devido à sua distância as zonas fornecedoras. Como consequência, surgem as crises hídricas presentes em diferentes regiões e magnitudes nos últimos anos, a exemplo do estado de São Paulo, localizado na região Sudeste do país, que entre os anos 2014-2015 enfrentou problemas no abastecimento da população.

Diante dessa necessidade latente, preocupações com o gerenciamento do uso da água ganham destaque, e pesquisas que buscam fontes alternativas de captação deste recurso surgem constantemente no meio científico.

Visando a mitigação desse problema o Cnrh (2016) estabelece, como uma de suas prioridades, o desenvolvimento de ações que promovam o uso sustentável e o reuso da água; possuindo como uma de suas ações a promoção de projetos e unidades experimentais de reuso e captação de água da chuva em bacias hidrográficas críticas.

Partindo do princípio que a água utilizada em domicílios não necessita se enquadrar nos padrões de potabilidade para algumas atividades; abrem-se possibilidades para o abastecimento residencial; a exemplo da utilização de água da chuva.

Ouriques (2009) classifica as partes constituintes do sistema de águas pluviais em: captação, condução, tratamento, armazenamento, tubulações sob pressão, sistema automático ou manual de comando e utilização.

Destas partes, Rupp *et al* (2011) afirmam que um dos pontos críticos da instalação é o reservatório de armazenamento, pois além deste ser um dos itens mais caros da instalação, o que impacta diretamente no tempo de retorno do investimento, é fator primordial na eficiência do sistema. Ou seja, um eficiente dimensionamento do reservatório pode garantir que a água armazenada será suficiente para o atendimento da demanda.

Diante das diversas opções para dimensionamento, vários estudos propõem análises comparativas entre metodologias. Rupp *et al* (2011) realizaram trabalho no qual comparou-se os métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais propostos na norma brasileira, NBR 15527 (2007), para residências localizadas em três cidades brasileiras com características de precipitação diferentes, com o objetivo de analisar como os diferentes métodos respondem às variações de precipitação.

A irrestrita aplicabilidade dos métodos, porém já se mostrou inviável em diversas pesquisas. Ao aplicarem os métodos sugeridos na norma brasileira para cinco cidades do estado da Bahia com características pluviométricas distintas, para uma mesma residência fictícia com 100 m<sup>2</sup> de área de captação e quatro moradores; Cohim *et al*. (2008) concluíram que determinados métodos não apresentaram eficiência satisfatória, refletindo em diferentes volumes para armazenamento. Conclusão similar foi observada por Bezerra *et al*. (2010), aplicando as metodologias na cidade de Curitiba.

Isto pode ser justificado pelo fato de os métodos de dimensionamento sugeridos pela norma brasileira se basearem na média mensal ou anual das precipitações, o que desconsidera a característica de variabilidade da chuva e pode também suavizar os picos de precipitação. Nesse sentido o volume do reservatório pode ser determinado de forma equivocada, e pode não atender à demanda e/ou ter situações de transbordamento não previstas durante os momentos de pico, diários e/ou horários. Em outras palavras, o cálculo do volume de água aproveitada pode

ser mascarado, o que dificulta a real obtenção do valor economizado trazido pela implantação do sistema e do tempo de retorno financeiro do mesmo.

Por este motivo Dias (2007), em estudo sobre a viabilidade econômica de reservatórios para armazenamento de água de chuva na cidade de João Pessoa/PB, determinou coeficientes de confiabilidade volumétrica através do quociente entre o volume de água da chuva aproveitável na edificação com base em dados diários e mensais, para reservatórios com diferentes capacidades de armazenamento. O intuito deste coeficiente foi o de calcular um volume de água aproveitada mais preciso quando do dimensionamento com base em dados mensais; assim, com base na precipitação de cada ano, a confiabilidade de cada reservatório foi determinada para a cidade de João Pessoa.

Não se pode considerar porém, que em um país com dimensões continentais como o Brasil a chuva se comporte de forma semelhante em todas as regiões. E como a intensidade e variabilidade da mesma pode influenciar na eficiência do reservatório, este trabalho propõe analisar a confiabilidade do volume aproveitável de água da chuva calculado, quando da utilização de dados pluviométricos mensais, para cinco cidades brasileiras com diferentes características na distribuição do regime pluviométrico, Manaus/AM, Irecê/BA, Campos do Jordão/SP, João Pessoa/PB e Porto Alegre/RS; além de considerar diferentes valores de consumo e área de captação; pois espera-se descobrir o impacto que a variação destes fatores tem no valor do citado coeficiente.

### Metodologia

Um balanço hídrico foi o escolhido para cálculo do volume de água aproveitável neste trabalho. Tal método se constitui de um balanço de massa entre o volume de água captado e o volume de água consumido. Para aplicação do método utilizou-se um coeficiente de Runoff no valor de 0.85, o que considera superfície de captação em telha de fibrocimento ou cerâmica e já inclui a minoração do volume de água descartada no primeiro fluxo como recomenda Tomaz (1997).

Foram considerados três padrões de consumo com o intuito de variar-se a demanda de águas pluviais para uso não potável na edificação, aqui chamados de popular, médio e alto e considerados 110L/hab. dia, 142 L/hab. dia e 172.83 L/hab. dia, respectivamente, segundo sugestão de Dias (2007). Para cada padrão de consumo considerado foram arbitradas três áreas de captação diferentes, escolhidas com base nos padrões construtivos observados; e consideradas 4 pessoas por unidade habitacional. O resumo dos valores de área de captação e demanda adotados estão representados na tabela 1. Todos os dados foram trabalhados no período de janeiro de 1990 a dezembro de 2014, perfazendo 25 anos de séries diárias, nos quais todos os meses foram considerados com a exata quantidade de dias, com exceção do dia 29 de fevereiro que ocorreu apenas seis vezes no período estudado.

**Tabela 1.** Áreas de captação e consumos considerados

Padrão Popular	Área de captação	50m <sup>2</sup>	60m <sup>2</sup>	70m <sup>2</sup>
	Demanda		110L/hab.dia	
Padrão Médio	Área de captação	80m <sup>2</sup>	100m <sup>2</sup>	120m <sup>2</sup>
	Demanda		142 L/hab.dia	
Padrão Alto	Área de captação	150m <sup>2</sup>	200m <sup>2</sup>	300m <sup>2</sup>
	Demanda		172.83L/hab.dia	

Para o preenchimento de falhas existentes nos dados diários, foi considerado um sistema de substituição do valor faltante por uma constante, neste caso a imputação do valor zero; escolha que se justifica diante do tamanho banco de dados, um total de 9131 dias para cada cidade, e da quantidade irrisória de falhas presentes; menos de 1% para todas as cidades com exceção de Irecê/BA, na qual 7,92% dos dias não possuíam registro; esta apresentou porém valores de precipitação nula registrados em mais de 86% dos seus dias, logo o valor zero é o mais provável de ocorrência. Para as séries mensais não houve necessidade de preenchimento de falhas.

O volume transbordado varia de acordo com o volume de armazenamento do reservatório; para este estudo foram considerados quatro reservatórios diferentes com volumetria pré definida em 5m<sup>3</sup>, 10m<sup>3</sup>, 20m<sup>3</sup> e 30m<sup>3</sup>.

O coeficiente de confiabilidade determinado indica qual o percentual de volume de água a ser armazenada pelo sistema, dimensionado com dados diários, quando comparado com o sistema dimensionado com dados mensais, considerando iguais as demais condições de projeto. Ou seja, este parâmetro posteriormente aplicado a um volume alcançado com dados mensais possibilitaria a adequação da quantidade de água reservada, uma vez que traz atrelado a si um menor intervalo de discretização dos dados. Seu foi calculado para cada ano, padrão de consumo e área de captação considerados, através da equação (1) sugerida por Dias (2007), para i variando de 1 a 25:

$$C_{vi} = (V_{i(D)} / V_{i(M)}) \times 100$$

**Equação (1)**

Onde:

$C_{vi}$  é o coeficiente de confiabilidade, adimensional;

$V_{i(D)}$  é o volume aproveitado com dados em base diária, expresso em litros (L);

$V_{i(M)}$  é o volume aproveitado com dados em base mensal, expresso em litros (L);

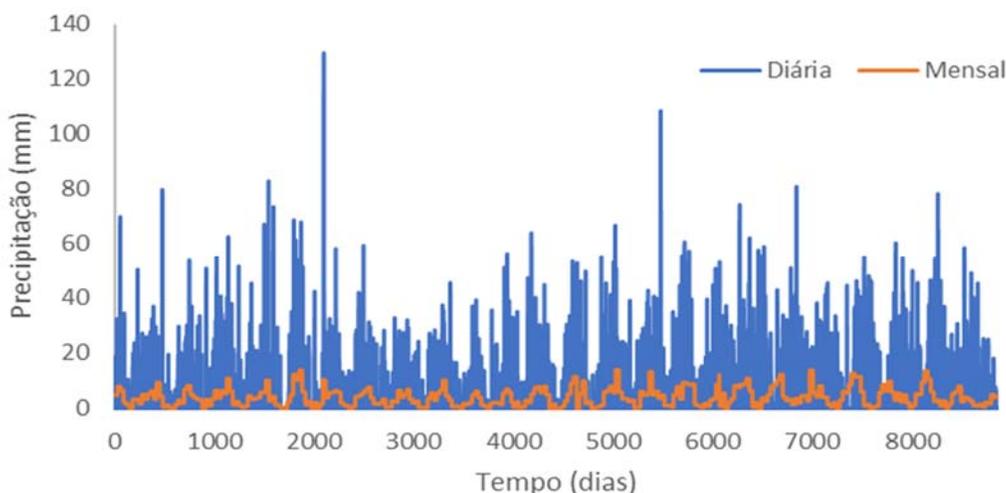
De posse dos coeficientes para cada ano, em cada área de captação e cidade foi determinada a média aritmética destes. Ou seja, para cada padrão de consumo e área de captação foi calculado o valor médio do coeficiente, durante o intervalo de estudo, em cada reservatório considerado.

O volume médio de água aproveitável, foi calculado com base nas médias mensais de precipitação, através de média aritmética dos valores de volumes aproveitáveis anteriormente calculados; para cada volume de reservatório, consumo e área de captação. Posteriormente, o produto deste volume médio pelo coeficiente médio correspondente, proporcionará um volume de água aproveitável tão preciso quanto o obtido com dados diários.

## Resultados

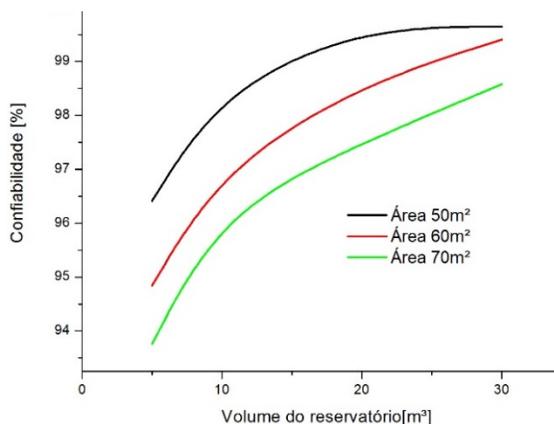
As diferentes cidades estudadas foram escolhidas em função das suas diferentes características de distribuição pluviométrica; além da disponibilidade das séries históricas de precipitações mensais e diárias confiáveis.

Através da plotagem dos valores diários de precipitação, com base em dados mensais e diários (figura 1), pode-se visualizar a disparidade entre o volume de água da chuva aproveitável calculado, quando usadas as séries históricas diárias ou mensais. O volume transbordado calculado com base nos dados diários tende a ser mais preciso que o outro, pois trabalha um menor intervalo de tempo o que permite a visualização de forma mais exata da distribuição da chuva ao longo do tempo.

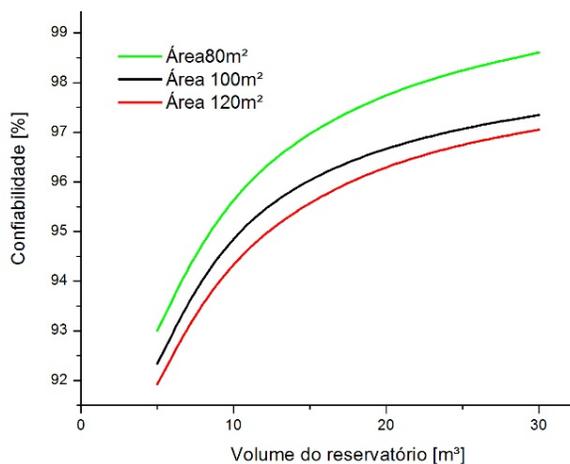


**Figura 1.** Precipitação mensal e diária de 1990 a 2014 Campos do Jordão.

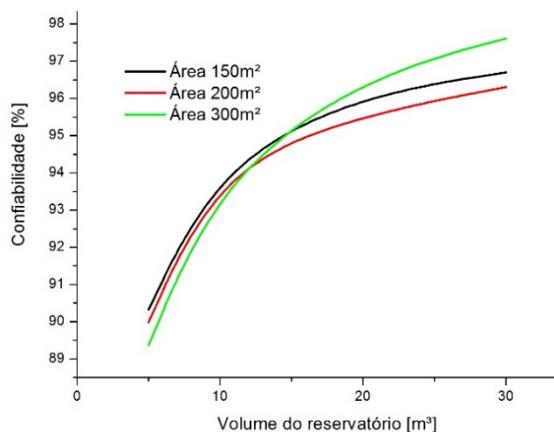
Para atenuar esta imprecisão foram calculados os coeficientes de confiabilidade, que ao serem multiplicados pelo volume de água aproveitável, calculado com base em dados mensais; fornecem um volume aproveitável tão preciso quanto o calculado com base em dados diários. Valores destes estão plotados nos gráficos apresentados nas figuras de 02 a 05 para a cidade de Manaus/AM.



**Figura 2.** Confiabilidade padrão residencial popular Manaus



**Figura 3.** Confiabilidade padrão residencial médio Manaus



**Figura 4.** Confiabilidade padrão residencial alto Manaus

Os valores de coeficientes para as demais cidades estudadas estão apresentados na tabela 2.

**Tabela 2.** Coeficientes de confiabilidade

Áreas de captação:		50m <sup>2</sup>				80m <sup>2</sup>				150m <sup>2</sup>			
Reservatórios:		5m <sup>3</sup>	10m <sup>3</sup>	20m <sup>3</sup>	30m <sup>3</sup>	5m <sup>3</sup>	10m <sup>3</sup>	20m <sup>3</sup>	30m <sup>3</sup>	5m <sup>3</sup>	10m <sup>3</sup>	20m <sup>3</sup>	30m <sup>3</sup>
Irecê (BA)	Popular	92.80	97.70	99.61	99.71	89.51	94.46	98.99	100.17	85.81	91.83	95.92	97.71
	Médio	84.14	91.78	95.75	98.11	80.24	84.99	89.67	92.22	75.68	81.12	84.68	84.88
	Alto	72.91	77.23	79.71	80.02	67.75	68.23	69.60	68.09	61.98	56.44	55.35	52.52
Campos do Jordão (SP)	Popular	98.95	99.90	99.90	99.90	98.17	99.52	99.90	99.90	97.20	98.96	99.79	99.90
	Médio	97.07	98.98	99.76	99.90	94.61	98.05	99.28	99.76	92.52	96.23	98.83	99.36
	Alto	90.70	95.22	97.75	99.14	89.03	93.92	96.15	96.97	86.86	92.51	94.76	95.80
João Pessoa (PB)	Popular	87.99	92.51	94.78	95.68	87.81	91.94	94.11	94.67	87.56	92.30	94.26	94.66
	Médio	91.66	95.71	96.97	97.81	89.98	93.78	96.02	96.85	89.62	93.39	95.37	96.06
	Alto	87.99	92.51	94.78	95.68	87.81	91.94	94.11	94.67	87.56	92.30	94.26	94.66
Porto Alegre (RS)	Popular	99.69	99.99	99.99	99.99	98.60	99.99	99.99	99.99	96.62	99.91	99.99	99.99
	Médio	96.00	99.88	99.99	99.99	91.11	98.71	99.99	99.99	86.45	96.07	99.62	99.88
	Alto	82.36	93.22	99.07	99.77	78.90	89.44	95.94	97.60	78.85	89.27	94.63	96.04

Em se tratando dos valores de confiabilidade encontrados estes apresentaram valores crescentes com o aumento do volume do reservatório considerado; o que condiz com a realidade, uma vez que quanto maior a capacidade de armazenamento menor o volume de água transbordado, ou seja, maior o volume de água aproveitável reservado; porém, não se pode simplesmente majorar o volume do reservatório com intuito de aumentar a eficiência do sistema, pois em contrapartida deve se pesar o custo de implantação; visto que o reservatório é o item de maior custo no sistema; além do que, grande volume de reservatórios levam a períodos de retorno do investimento mais longos.

Para padrões populares e pequenas áreas de captação o valor de confiabilidade é da ordem de 99% para todas as áreas de captação consideradas nas cidades de Irecê, Campos do Jordão e Porto Alegre; isso indica que para volumes de água da chuva reduzidos o reservatório pode ser dimensionado pelas médias mensais de precipitação e mesmo assim terá uma precisão tão boa quanto a obtida com base em dados diários.

Ponto importante observado é que para a cidade de Manaus, em todos os padrões de consumo considerados, e as cidades de Campos do Jordão, Porto Alegre e João Pessoa, considerando o padrão de consumo alto; a confiabilidade pouco variou com a modificação da área de captação, ou seja, em análises futuras os mesmos valores de coeficientes podem ser aplicados para diferentes áreas, uma vez que esta não foi fator determinante.

A ocorrência desta baixa variabilidade para altos volumes de água captada pelo sistema; pois Manaus possui precipitação média anual alta em comparação as demais cidades aqui estudadas; se dá porque o valor da diferença entre volume aproveitável calculado com base nas médias mensais e diárias pouco varia com a modificação da área, uma vez que os cálculos de ambos são alterados na mesma proporção, ou seja, o acréscimo ou decréscimo de volume no sistema não impacta nesta variabilidade quando este volume em questão é alto.

Na cidade de Irecê o reservatório passou boa parte do ano vazio, visto a característica de clima semiárido da região, por isto nesta cidade para o padrão residencial alto encontra-se o menor valor de confiabilidade, de 66,19%. Isso indica que a chuva se concentrou em apenas alguns momentos, e o volume captado ultrapassou em diversas vezes a capacidade de armazenamento do reservatório, provocando o transbordamento; valor este que não é contabilizado quando do cálculo com base nas médias mensais.

Mesmo na cidade de Manaus, onde as chuvas são mais bem distribuídas ao longo do ano, a confiabilidade variou entre 89,99% e 99,64%, ou seja, um erro de até cerca de 10% quando do dimensionamento com dados mensais. Além do que, quando considerados os diferentes valores de consumo se observa uma diferença de quase 10% entre os valores de confiabilidade máximos e mínimos de uma mesma cidade; o que mostra a importância das considerações de consumo a serem feitas quando da aplicação do método. Esta cidade, de clima equatorial, apresentou coeficientes menores, o que implica em menos precisão no cálculo do volume de água aproveitável com dados mensais, que a cidade de Porto Alegre por exemplo. Nesta última o uso de dados mensais se mostra satisfatório para baixas demandas associadas à volumes de reservatórios de no mínimo 10m<sup>3</sup>.

### **Conclusão**

A dificuldade de processamento de grandes bases de dados e de obtenção de séries longas e confiáveis podem ser algumas das grandes dificuldades em estudos com dados hidrológicos; dificuldade esta que cresce com o aumento do intervalo de discretização dos dados.

No estudo do dimensionamento de reservatórios de água de chuva o ideal é a utilização de dados coletados com o menor intervalo de tempo possível, pois quanto menor este mais próximo da realidade é o volume aproveitável calculado. Seria então desejável a utilização, em ordem crescente de precisão; de dados horários, diários, mensais e anuais. Para tanto, surge a necessidade de desenvolvimento de coeficientes que tornem dados menos precisos mais confiáveis.

Desta forma, este trabalho definiu coeficientes que possibilitam um dimensionamento de reservatório com dados mensais de precipitação tão preciso quanto o realizado com dados diários. Observou-se entretanto, que os coeficientes de confiabilidade não podem ser utilizados sem a devida consideração das condições de precipitação da região, pois os mesmos podem variar de forma apreciável dentro de um mesmo país.

É observado também, que para determinadas características climáticas e padrões socioeconômicos, a variação da área de captação em pouco altera o valor de confiabilidade encontrado, assim, valores diferentes de área podem ser estudados com estes coeficientes aqui encontrados, fazendo-se apenas as devidas considerações de volume de reservação e demanda.

O cálculo do volume de água aproveitado na residência é de fundamental importância, pois é através deste volume, junto com o valor da taxa de fornecimento d'água, que se pode chegar ao tempo de retorno financeiro do sistema implantado.

Desta forma, os coeficientes de confiabilidade aqui encontrados podem ser aplicados a cidades com características pluviométricas semelhantes às das cidades aqui estudadas, quando do dimensionamento de reservatórios com base em dados mensais; permitindo o cálculo de um volume aproveitável de água mais preciso e conseqüentemente um cálculo mais aproximado do investimento financeiro a ser feito e um tempo de retorno mais próximo do real.

É desejável ainda que estudos semelhantes com dados diários e horários sejam realizados no futuro.

### Referências bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2007) NBR 15527. *Água da chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*. Rio de Janeiro.
- Bezerra, S. M. C., Christan, P., Teixeira, C. A., Farahbakhsh, K. (2010) Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, 10(4), 219-231.
- CNRH, Conselho Nacional de Recursos Hídricos (2016) Resolução nº 181, de 7 de dezembro de 2016.
- Cohim, E., Garcia, A., Kiperstok, A. (2008) Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. In: *IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Salvador – BA.
- Dias, I. C. S (2007). *Estudo da Viabilidade Técnica, Econômica e Social do Aproveitamento de Água da Chuva na Cidade de João Pessoa*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010) Censo 2010. Acesso em março de 2019. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas>

- Ouriques, R. Z., Barroso, L. (2009) *Águas Pluviais: Uma Alternativa para o Futuro das Cidades*. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, **10**(1).
- Rupp, F. R., Munarin, R., Ghisi, R. (2011). Comparação de Métodos par Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, **11**(4), 47-64.
- Tomaz, P (1997). *Conservação da água*. Editora Navegar. São Paulo.
- Tucci, C. E. M., Hespanhol, I., Cordeiro Netto, O. M. (2001) *Gestão da água no Brasil*. – Brasília : UNESCO, 156 pp.
- Silva, C., Athayde Júnior, G., Melo, T. (2019) Influência da demanda e da área de captação no dimensionamento de reservatórios de água de chuva em regiões semiáridas. *In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Foz do Iguaçu – PR.