SISPRED 2021
XIV Simpósio Nacional de Sistemas Prediais
Gestão, Eficiência e Sustentabilidade
Catalão (GO) 18 e 19 de Novembro de 2021

IMPACTOS DOS CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS NO COMPORTAMENTO DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Impacts of tank sizing criteria on the behavior of rainwater harvesting systems

PACHECO, Gabriela Cristina Ribeiro [1]; ALVES, Conceição de Maria Albuquerque [2]

Recebido em 16 de julho de 2021, aprovado em 06 de setembro de 2021, publicado em 18 de novembro de 2021

Palavras-chave:

Água pluvial;

Dimensionamento de reservatórios;

Simulação computacional.

Keywords:

Rainwater;

Tank sizing;

Computer simulation.

RESUMO: O dimensionamento adequado dos sistemas de aproveitamento de água pluvial (SAAP) é fundamental para garantir a eficácia dos mesmos. Diante dos diferentes métodos e abordagens de dimensionamento, este estudo compara a influência dos critérios de dimensionamento na eficiência, no volume extravasado e no valor presente líquido (VPL) dos sistemas. Assim, foi empregado um programa computacional para comparar esses indicadores para sistemas dimensionados considerando os seguintes critérios: eficiência, confiabilidade, VPL, VPL por volume de armazenamento e diferença entre percentuais de economia por volume de armazenamento. Verificou-se uma grande variação dos indicadores para os critérios avaliados o que faz que cada critério deva ser empregado para um objetivo. Considera-se que os sistemas dimensionados pelo VPL máximo e pela diferença entre economia por volume apresentaram uma eficiência considerável e maiores retornos econômicos para a maioria dos cenários avaliados. Assim, de forma geral são mais adequados.

ABSTRACT: The proper sizing of rainwater harvesting systems (RWHS) is essential to guarantee their effectiveness. Given the different sizing methods and approaches, this study seeks to compare the influence of sizing criteria on the efficiency, spilled volume and net present value (NPV) of the systems. Thus, a computer program was used to compare these indicators for systems sized considering the following criteria: efficiency, reliability, NPV, NPV per storage volume and difference between percentages of savings per storage volume. There was a wide variation in the indicators for the evaluation criteria, which makes each criterion should be used for an objective. It is considered that systems scaled by the maximum NPV and by the difference between savings per volume presented considerable efficiency and higher economic returns for most of the evaluated scenarios. Thus, in general, they are more suitable.

CONTATO DOS AUTORES:

[1] **PACHECO, Gabriela Cristina Ribeiro**: Instituto Federal de Goiás (IFG) e Universidade de Brasíli (UnB), gabrielacrpacheco@gmail.com

[2] **ALVES, Conceição de Maria Albuquerque**: Universidade de Brasíli (UnB), cmaalves@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial (SAAP) vêm sendo cada vez mais empregados e são considerados uma alternativa em situações de estresse hídrico pois caso sejam empregados em grande escala até mesmo o sistema público de abastecimento pode ser beneficiado com a redução da demanda de água (ENNENBACH et al., 2017).

Apesar dos benefícios proporcionados, questões técnicas e econômicas muitas vezes dificultam a implantação assim como a aplicação de incentivos a essa técnica. A dependência de fatores locais torna o dimensionamento adequado dos reservatórios fundamental para a eficiência dos sistemas em termos de economia de água e retorno econômico. Além de definir o volume a ser economizado, o reservatório normalmente corresponde ao item mais caro do sistema (BEZERRA et al., 2010; LI et al., 2010).

Existem inúmeros métodos de dimensionamento de reservatórios: simplificados, estatísticos, de simulação contínua do balanço de massa e com função de custo (VARGAS et al., 2019). Métodos simplificados não consideram diversos parâmetros, portanto os reservatórios obtidos não apresentam as maiores eficiências para os SAAP. Métodos estatísticos incorporam as incertezas existentes nos SAAP para verificar como a eficiência dos sistemas pode alterar o dimensionamento, a economia gerada e a viabilidade econômica.

Métodos de simulação contínua do balanço de massa estabelecem a capacidade de armazenamento a partir do suprimento e do consumo de água de chuva. Podem ser associados a diferentes critérios para estabelecer os volumes que proporcionam maior eficiência para os sistemas. O programa Netuno usa o balanço de massa e define o reservatório ideal pela diferença entre percentuais de economia de água por volume de armazenamento (GHISI; MARCEL, 2014).

Há métodos que incorporam variáveis econômicas e determinam o volume de armazenamento que proporcionam maior viabilidade econômica. O Rain Toolbox determina para qual volume o valor presente líquido (VPL) é máximo (CAMPOS, 2012). O Sistema de Aproveitamento Racional de Água (SARA) emprega um indicador da economia de água com aumento no volume de armazenamento associado ao índice benefício custo (IBC) (SAMPAIO, 2013).

Dessa forma, a escolha do método de dimensionamento deve ser fundamentada no objetivo do sistema, na sua escala e na existência de incertezas. Também deve-se avaliar os efeitos de diferentes volumes para a seleção adequada da capacidade de armazenamento para cada sistema.

2 OBJETIVOS

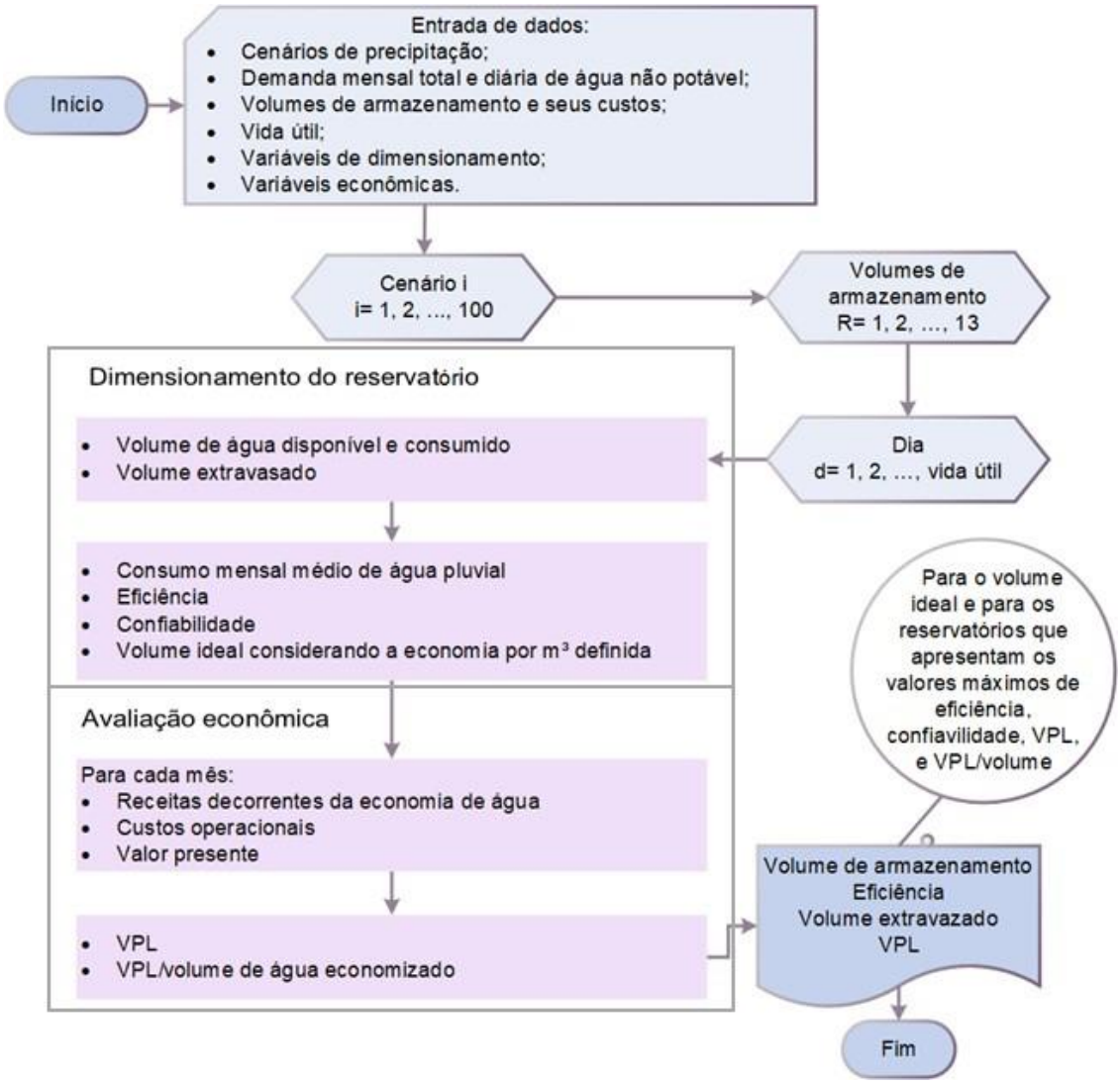
Foi definido como objetivo deste trabalho verificar a influência de diferentes critérios empregados no dimensionamento do reservatório na eficiência, no volume extravasado e nos ganhos econômicos apresentados pelos SAAP.

3 MÉTODO

Foi realizado o dimensionamento de um SAAP para quatro faixas de consumo considerando os seguintes critérios para definir os volumes ideais: eficiência, confiabilidade, VPL, VPL por volume de armazenamento e diferença entre a economia de água por metro cúbico entre um reservatório e o imediatamente superior. Para os quatro primeiros critérios foi efetuada a

maximização dos mesmos e para o último foi adotado um valor máximo de 4 %/m³. As avaliações foram realizadas em um programa computacional em Python apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do programa computacional



O programa usa o modelo de simulação contínua do balanço de massa para definir o volume de água pluvial consumido a partir do valor disponível para captação, considerando o consumo de água antes do enchimento (Θ=1). Para cada reservatório foi calculada a eficiência (percentual de água economizado), a confiabilidade (percentual de dias que a demanda total é atendida) e o volume extravasado. Então, foi estabelecido o volume ideal para cada cenário (definido pela economia por metros cúbicos de armazenamento adotada).

Foi realizada a avaliação econômica por meio do cálculo das receitas geradas pelo volume de água que deixa de ser consumido, determinado a partir das tarifas antes e após a implantação dos SAAP. Assim, com os custos de implantação e operação foram calculados os indicadores: VPL e VPL por volume economizado.

3.1 Dados adotados para o dimensionamento dos sistemas

O estudo foi realizado para o município de Rio Verde (Goiás) e foram considerados quatro tipos de edificações, indicadas na Tabela 1, definidas a partir do consumo médio das oito faixas de consumo para a categoria residencial no mês de setembro de 2020, disponibilizadas pela Saneago. O consumo não potável foi considerado como 53% do valor total, como determinado por Sant'Ana (2011) para o Distrito Federal. As áreas de captação foram estipuladas a partir de um levantamento das áreas de cobertura do município sendo considerados valores compatíveis com os consumos médios.

Tabela 1 - Consumo e área de captação

Faixa de consumo	Consumo total por economia	Consumo não potável - usos interno e externo	Área de captação
	(m^3/mês)	(m^3/mês)	(m^2)
1	5,484	2,91	60, 100
2	17,808	9,44	100, 200
3	27,806	14,74	200, 300
4	44,668	23,67	300, 400

Foram adotados 100 cenários de precipitação para avaliar se esse parâmetro tem alguma influência no dimensionamento e eficiência dos sistemas. Para isso, elaborou-se séries de precipitação de 30 anos a partir dos dados pluviométricos locais de 1996 até 2020 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021) pela reamostragem bootstrapping.

Foi efetuado o orçamento dos sistemas de acordo com os indicadores do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI, 2020) e com cotações. O orçamento incluiu além dos reservatórios inferior e superior, a bomba, filtros e acessórios do reservatório inferior. Os valores obtidos podem ser observados na Tabela 2. Os custos operacionais foram considerados de acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2019), abrangem uma tarifa de energia mensal (0,116 multiplicado pelo consumo de água pluvial), a realização semestral de ensaios (R$ 80,00) e um custo anual para inspeção dos reservatórios e do sistema (1,5% do investimento inicial).

Tabela 2 - Custo dos sistemas por volume de armazenamento

Volume (m^3)	0,31	0,5	0,6	1	1,5	1,75	2	2,5	3	5	6	10	15
Custo (R$)	R$ 2.342,88	R$ 2.481,36	R$ 2.770,20	R$ 2.860,90	R$ 3.177,07	R$ 3.324,07	R$ 3.903,55	R$ 4.110,97	R$ 5.053,01	R$ 5.074,01	R$ 5.616,96	R$ 7.938,60	R$ 11.314,80

Foi considerado um aumento anual dos custos e da taxa de desconto de 1,1% a.a. e a taxa de desconto inicial foi adotada como a taxa Selic de maio de 2021: 3,5% a.a. (BANCO CENTRAL, 2021). Foi empregada a estrutura tarifária da companhia de saneamento local em janeiro de 2021 para edificações residenciais normais (não enquadradas na tarifa social). A partir do

histórico de reajustes foi incluída uma taxa de reajuste anual da tarifa de 1,12% a.a.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após efetuar o dimensionamento dos sistemas para os cem cenários de precipitação e as oito edificações (Tabela 1) considerando os cinco critérios estabelecidos é possível verificar como a eficiência, o volume extravasado e o VPL dos sistemas variam de acordo com o método, como ilustrado na Figura 2. Destaca-se que os gráficos possuem uma direção de preferência e os volumes encontrados por meio do critério de confiabilidade foram idênticos aos valores para eficiência máxima. Desse modo, são apresentadas somente as linhas de maior eficiência que também possuem maior confiabilidade.

Percebe-se que todos os sistemas para a primeira faixa de consumo (5,484 m³/mês) apresentaram VPL negativo. Assim, para edificações com consumos semelhantes, os SAAP devem ser implementados apenas com o objetivo de conservação de água já que não geram retorno econômico para o usuário. Verifica-se que para uma mesma demanda e volume de armazenamento o aumento na área de captação gera uma maior eficiência, maiores volumes extravasados e valores do VPL.

É possível confirmar em todos os gráficos que a precipitação apresenta pouca influência nos valores de reservatórios definidos. Não há grande mudança nos volumes para um mesmo critério e diferentes cenários pluviométricos. No entanto, não houve grande alteração da precipitação média por ano, considerando que a precipitação média da série histórica corresponde a 1570 mm/ano. Para uma variação significativa possivelmente não seria observado esse resultado. De toda forma, o regime pluviométrico acarreta alterações na eficiência, no volume extravasado e no VPL dos sistemas mesmo para os mesmos volumes de armazenamento.

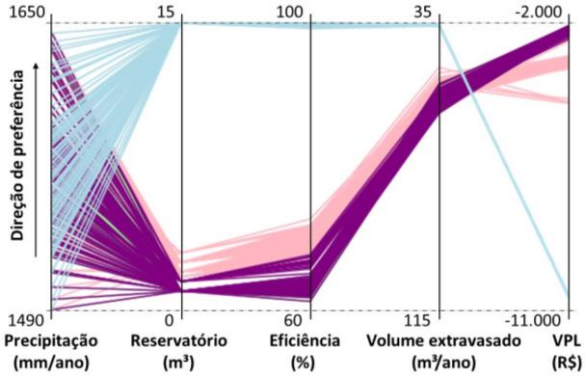
Observando apenas os reservatórios escolhidos pelos critérios de máxima eficiência e confiabilidade verifica-se que em todos os cenários foram selecionados o mesmo volume de 15 m³ (maior volume considerado). Constata-se que quanto maior a capacidade de armazenamento maior a eficiência dos sistemas. Em contrapartida, para edificações menores os volumes com maior eficiência apresentaram os menores valores do VPL. Com o aumento da demanda e da área de captação os valores do VPL apresentaram valores maiores e próximos aos indicadores máximos de cada cenário, enquanto o volume extravasado passou a apresentar valores próximos aos apresentados pelos reservatórios dimensionados pelos demais critérios.

Os reservatórios selecionados pelo critério do VPL máximo apresentaram para a primeira faixa de consumo volumes praticamente semelhantes aos adotados pelo critério de VPL por volume economizado e tornaram-se maiores com o aumento da demanda, em relação aos valores estabelecidos pelos outros critérios.

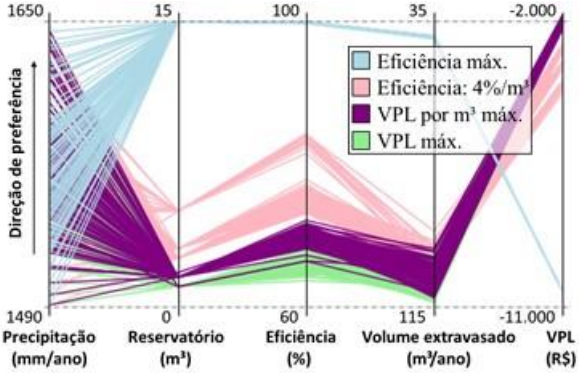
Em todos os cenários nota-se que os reservatórios encontrados pelo critério do VPL por volume economizado foram reduzidos. Isso se deve ao fato de uma maior capacidade de armazenamento resultar em maior VPL e também em maior volume economizado. Assim, considera-se que esse critério não deve ser empregado para definir o reservatório ideal de SAAP.

Figura 2 - Influência dos critérios de dimensionamento nos SAAP

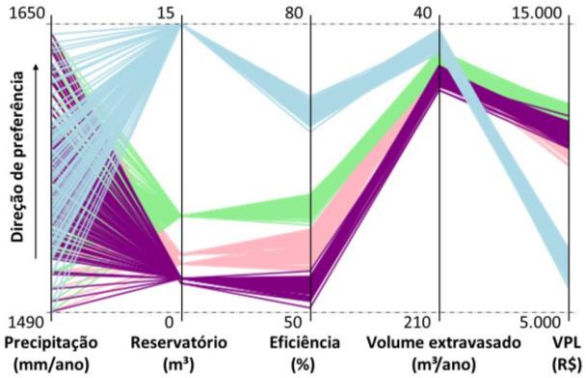
Faixa de consumo 1 - área de captação: 60 m²



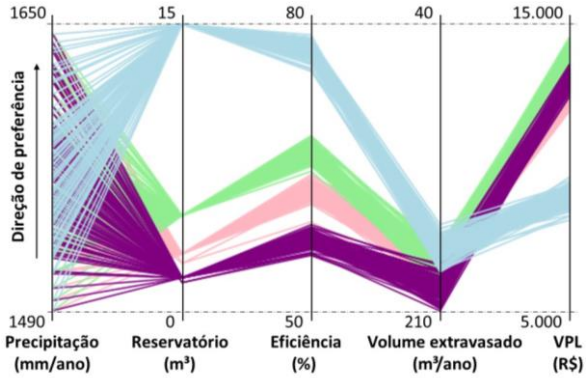
Faixa de consumo 1 - área de captação: 100 m²



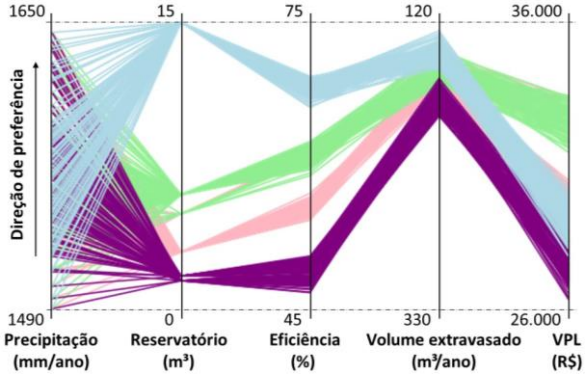
Faixa de consumo 2 - área de captação: 100 m²



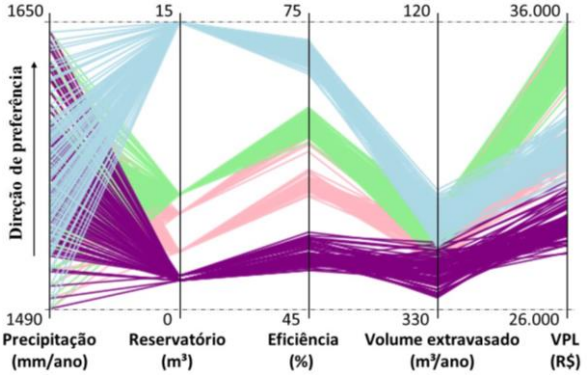
Faixa de consumo 2 - área de captação: 200 m²



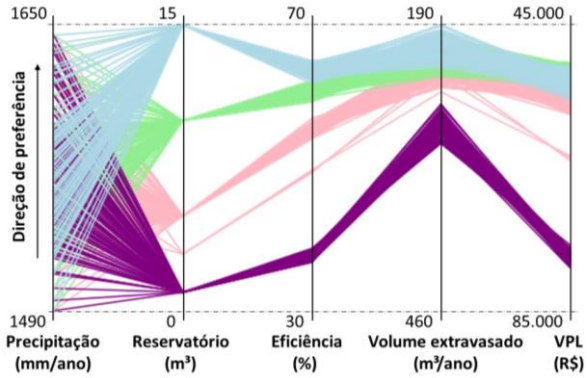
Faixa de consumo 3 - área de captação: 200 m²



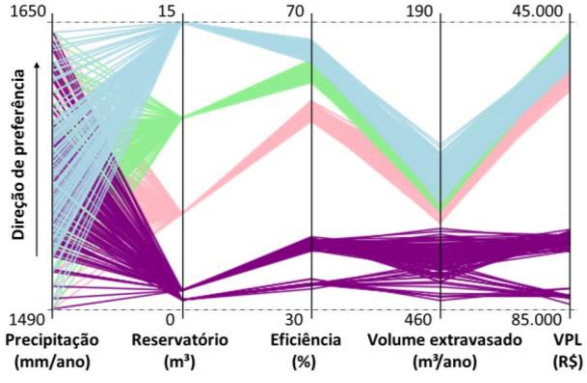
Faixa de consumo 3 - área de captação: 300 m²



Faixa de consumo 4 - área de captação: 300 m²



Faixa de consumo 4 - área de captação: 400 m²



Por fim, ao observar os volumes encontrados pelo critério de economia de água por metro cúbico de armazenamento inferior a 4 %/m³ constata-se que para a primeira faixa de consumo os volumes encontrados foram superiores aos valores obtidos pelo VPL máximo e tornaram-se menores com o aumento da demanda e da área de captação. Ressalta-se que os volumes dependem do valor adotado para este critério, quanto menor o valor maior o volume de armazenamento obtido. Ao usar este critério deve-se avaliar a edificação pois para obter o mesmo comportamento de eficiência quanto a economia de água e de retorno econômico deve-se adotar valores menores quanto maior o consumo e a oferta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises efetuadas foi possível verificar o comportamento dos SAAP quando considerados diferentes critérios para a determinação do volume adequado. Nota-se grande variação dos volumes obtidos para cada critério o que faz que cada um seja indicado com um objetivo.

De modo geral considera-se que o VPL máximo e a diferença de economia por volume de armazenamento são mais adequados pois apresentaram uma eficiência considerável e maiores retornos econômicos para a maioria dos cenários avaliados. Todavia são necessários estudos para outros regimes pluviométricos e edificações para confirmar os padrões encontrados.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527:** Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - Requisitos, segunda ed. Rio de Janeiro, 2019.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxas de juros básicas – Histórico, 2021.

BEZERRA, S. M. C.; CHRISTIAN, P.; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBAKHSH, K. Dimensionamento de reservatório de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e decreto municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 219-231, 2010.

CAMPOS, M. A. S. **Qualidade de investimentos em sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial: uso de partículas swarm optimization**. 95p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2012.

ENNENBACH, M. W.; LARRAURI, P. C.; LALL, U. County-Scale Rainwater Harvesting Feasibility in the United States: Climate, Collection Area, Density, and Reuse Considerations. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**. p. 1-20, 2017. Doi: https://doi.org/10.1111/1752-1688.12607

GHISI, E.; MARCEL, M. **Neptuno 4 - Manual de usuário**, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, Brasil, 2014.

Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos. Disponível em: <http://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 05 de fev. 2021.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, v. 260, p. 1-8, 2010.

SAMPAIO, F. E. O. V. **Análise da viabilidade de implantação e pré-dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em centros urbanos**. 184p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SANT'ANA, D. R. **A socio-technical study of water consumption and water conservation in Brazilian dwellings**. Tese, Oxford Brookes University, 2011.

Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Relatório de Insumos e Composições Goiás - dezembro de 2020, 2020.

VARGAS, D.; DOMINGUEZ, I.; WARD, S.; OVIEDO-OCAÑA, E. R. Assisting global rainwater harvesting practitioners: a decision support tool for tank sizing method selection under uncertainty. Environmental Science: **Water Research & Technology**, 2019.