

Potencial de economia de água potável devido ao uso das águas pluviais em shopping center do Recife/PE.

Potential for potable water savings due to the use of rainwater in a shopping mall in Recife/PE.

Potencial de ahorro de agua potable por el uso de agua de lluvia en un centro comercial en Recife/PE.

Ana Paula de Lima Borges

Mestranda, UPE, Brasil
apl@poli.br

Simone Rosa da Silva

Professora Doutora, UPE, Brasil.
simonerosa@poli.br

Micaella Raíssa Falcão de Moura

Professora Doutora, UNICAP, Brasil.
Micaella.moura@unicap.br

Ricardo Oliveira Bandeira de Vasconcelos

Mestrando, UFRPE, Brasil
Ricardo.obvasconcelos@ufrpe.com.br

RESUMO

A água é um dos recursos mais valiosos do mundo e indispensável para a sobrevivência humana. Diante disso, as mudanças climáticas e o crescimento populacional geram o aumento na demanda dos recursos hídricos, acarretando a escassez de água. O aproveitamento de água pluvial é uma medida mitigadora de impactos ambientais, contribui para a retenção da água da chuva e diminui a demanda de água potável. Portanto, a escassez de água estimula o desenvolvimento de alternativas para a conservação de água. O objetivo deste trabalho é estimar o potencial de economia de água potável a ser substituída por água pluvial para utilização em fins não potáveis em uma edificação de tipologia shopping center, no Nordeste do Brasil. A metodologia consistiu na simulação do volume do reservatório para armazenamento da água pluvial captada. Realizou-se um estudo dos índices pluviométricos e sua periodicidade, avaliando-se os meses de maior e menor precipitação. Posteriormente, utilizou-se o programa computacional Netuno para determinar o volume dos reservatórios. Para tal, realizou-se um estudo com diferentes áreas de captação, de maneira a definir a área que oferece o melhor potencial de suprimento das demandas hídricas. Os resultados apontaram, que o volume para o reservatório mais indicado é 117 m³, com potencial de economia de água potável de 6,02% e suprimento completo e parcial da demanda de água pluvial de 52,56%. Concluiu-se que o potencial de economia de água potável justifica a implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em um empreendimento deste porte, mostrando-se tecnicamente viável.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de água pluvial. Uso não potável. Shopping center.

ABSTRACT

Water is one of the most valuable resources in the world and indispensable for human survival. In view of this, climate change and population growth increase the demand for water resources, leading to water scarcity. The use of rainwater is a measure that mitigates environmental impacts, contributes to the retention of rainwater, and reduces the demand for drinking water. Therefore, water scarcity stimulates the development of alternatives for water conservation. This work aims to estimate the potential for saving potable water to be replaced by rainwater for non-potable purposes in a shopping center-type building in the Northeast of Brazil. The methodology consisted of simulating the volume of the reservoir for storing the captured rainwater. A study of the pluviometric indices and their periodicity was carried out, evaluating the months of greater and lesser precipitation. Subsequently, the computer program Netuno was used to determining the reservoir volume. To this end, a study was carried out with different catchment areas in order to define the area that offers the best potential for supplying water demands. The results showed that the volume for the most suitable reservoir is 117 m³, with a potable water savings potential of 6.02% and a complete and partial supply of rainwater demand of 52.56%. It was concluded that the drinkable water savings potential justifies implementing a rainwater harvesting system in an enterprise of this size, proving to be technically viable.

KEYWORDS: Rainwater harvesting. Non-potable use. Shopping mall.

RESUMEN

El agua es uno de los recursos más valiosos del mundo e indispensable para la supervivencia humana. Ante esto, el cambio climático y el crecimiento de la población generan un aumento en la demanda de recursos hídricos, lo que lleva a la escasez de agua. El aprovechamiento del agua de lluvia es una medida que mitiga impactos ambientales, contribuye a la retención de agua de lluvia y reduce la demanda de agua potable. Por lo tanto, la escasez de agua estimula el desarrollo de alternativas para la conservación del agua. El objetivo de este trabajo es estimar el potencial de ahorro de agua potable para ser reemplazada por agua de lluvia para uso con fines no potables en un edificio de tipología de centro comercial, en el Nordeste de Brasil. La metodología consistió en simular el volumen del embalse para almacenar el agua de lluvia captada. Se realizó un estudio de los índices pluviométricos y su periodicidad, evaluando los meses de mayor y menor precipitación. Posteriormente, se utilizó el programa informático Netuno para determinar el volumen de los embalses. Para ello, se realizó un estudio con diferentes cuencas hidrográficas, con el fin de definir la zona que ofrece el mejor potencial para abastecer las demandas de agua. Los resultados mostraron que el volumen para el embalse más adecuado es de 117 m³, con un potencial de ahorro de agua potable del 6,02% y un abastecimiento total y parcial de la demanda pluvial del 52,56%. Se concluyó que el potencial de ahorro de agua potable justifica la implementación de un sistema de captación de agua de lluvia en una empresa de este tamaño, demostrando ser técnicamente viable.

PALABRAS CLAVE: Uso de agua de lluvia. Uso no potable. Centro comercial.

1 INTRODUÇÃO

A água é indispensável para a sobrevivência humana; porém, em muitas situações, esse recurso valioso não está disponível em quantidade e qualidade aceitáveis devido a restrições naturais, falta de infraestrutura ou a junção de ambos (PINTO; MARQUES, 2017). As mudanças climáticas, o crescimento populacional e as atividades econômicas complexas geram o aumento na demanda dos recursos hídricos, comprometendo os escoamentos e a qualidade dos grandes ecossistemas de água doce do mundo (LIU *et al.*, 2018; AGHAKOUCHAK *et al.*, 2021; UNFRIED *et al.*, 2022).

O processo de urbanização leva à impermeabilização dos solos nas grandes cidades, alterando o ciclo hidrológico, gerando inundações, insuficiência na recarga de aquíferos, além de mudanças na qualidade da água (GALVÃO *et al.*, 2022; VANEGAS-ESPINOSA *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2014). Logo, o aumento da demanda de água agrava o estresse nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (AGHAKOUCHAK *et al.*, 2021). As retiradas em regiões que já têm escassez de água irão impor mais pressão sobre a base de recursos hídricos renováveis, ameaçando a longo prazo a disponibilidade de água doce nas diversas atividades econômicas dependentes deste recurso (NECHIFOR; WINNING, 2018).

Cabe salientar, que o intenso crescimento populacional ocorrido nas últimas décadas, gera impacto de forma direta nas dinâmicas hídricas naturais dos grandes centros urbanos. A escassez de recursos hídricos é considerada como uma grave ameaça contra a sobrevivência humana, possuindo a capacidade de restringir o desenvolvimento da economia nacional de um país, assim como tornou-se uma preocupação estratégica em todo o mundo (HASHIM *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2019). De acordo com as projeções de crescimento populacional das Nações Unidas (ONU, 2022), estima-se que a população passará de 7,9 bilhões, registradas em 2021, para 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050. Assim sendo, esse crescimento populacional pode agravar ainda mais a crise no abastecimento hídrico mundial.

Diante disso, torna-se imprescindível o uso consciente da água. Dessa forma, entende-se que a conservação da água está associada ao uso controlado e eficiente, além de contemplar medidas de uso racional e de reúso. Práticas de conservação de água são formas de aperfeiçoar e regular a demanda e a oferta desta, sem comprometer o suprimento dos corpos hídricos e a proteção ambiental (BOCANEGRA-MARTÍNEZ *et al.*, 2014; GOIS *et al.*, 2015).

As práticas de coleta de água da chuva são também consideradas como uma estratégia viável para sustentabilidade dos recursos hídricos nos centros urbanos, pois podem contribuir não só para a interceptação e armazenamento de águas pluviais, amortecendo significativamente os picos de cheias, mas também para a conservação da água potável, pois o sistema de aproveitamento de água de chuva destinado para o uso alternativo de água para fins não potáveis é uma importante ferramenta para a conservação de água em edificações (PIMENTEL-RODRIGUES; SILVA-AFONSO, 2022).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), atualizou no ano de 2019 a norma brasileira NBR 15.527/2019, a qual aborda o aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis, como irrigação de áreas para fins paisagísticos; descargas de bacias sanitárias; limpeza pisos; sistemas de resfriamento; reserva técnica de incêndio; lavagem de veículos.

No que se refere ao consumo de água em shopping centers, este tipo de edificação é normalmente caracterizada por possuir elevado consumo de água em usos finais não potáveis,

como nas torres de resfriamento, nos serviços de limpeza, na irrigação de jardins e nas descargas de vasos sanitários, demonstrando um elevado potencial para o aproveitamento da água da chuva (LEE *et al.*, 2016; SOUSA; SILVA; MEIRELES, 2017).

A inundação é o maior desafio ambiental para as cidades, logo o reservatório de água da chuva pode desempenhar um papel crucial na redução da propensão a inundações (SEPEHRI *et al.*, 2018). De acordo com Silva Junior, Silva e Alcoforado (2016), a cidade de Recife, Pernambuco-Brasil, local deste objeto de estudo, enfrenta um cenário desfavorável pelo fato de dispor de um sistema de drenagem altamente vulnerável às oscilações de maré, tornando o uso de reservatórios como alternativa essencial para a redução dos picos de cheias e consequentemente de alagamentos.

Nesta perspectiva, a captação de águas pluviais tem sido identificada como uma fonte alternativa de água não potável para a gestão sustentável dos recursos hídricos (SOUSA; SILVA; MEIRELES, 2017; BINT *et al.*, 2018; YANNOPOULOS *et al.*, 2019). Os sistemas de captação de água de chuva são capazes de mitigar o problema da escassez de água, reduzindo a dependência do abastecimento e os impactos das inundações, tendo em vista a redução do escoamento superficial (HASHIM *et al.*, 2013; SAMPLE; LIU, 2014; MORALES-PINZÓN *et al.*, 2015, SEPEHRI *et al.*, 2018).

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi estimar o potencial de economia de água potável a ser substituída por água pluvial para utilização em fins não potáveis em uma edificação de tipologia shopping center, no Nordeste do Brasil.

3 METODOLOGIA

O procedimento metodológico deste trabalho consistiu no estudo da simulação computacional usando o programa de computador Netuno 4.0, para avaliar o potencial de economia de água potável e o dimensionamento de reservatórios inferior e superior para o armazenamento de água pluvial em uma edificação de tipologia shopping center que possui projeto de rede de coleta de água pluvial. A água da chuva foi considerada para usos não potáveis, como descarga de vasos sanitários e mictórios, limpeza de banheiros e irrigação de jardins.

3.1 Caracterização do objeto de estudo e levantamento de dados

A primeira etapa do trabalho consistiu na caracterização do empreendimento, com avaliação do projeto arquitetônico e o do projeto de instalações hidráulicas /sanitárias, entre outros. Em seguida, foram levantados os dados referentes ao número máximo de usuários que frequentam a edificação e as atividades consumidoras de água.

Após coletados os dados, foi realizada a identificação do posto pluviométrico e levantamento da série histórica pluviométrica. Os dados pluviométricos, foram obtidos a partir dos dados disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), referentes ao posto pluviométrico que se localiza mais próximo da edificação e que possuía a série histórica

de dados pluviométricos mais extensa. Os dados pluviométricos incluem informações sobre precipitações diárias de 01/01/2000 a 31/12/2020.

3.2 Estimativas das demandas hídricas

O consumo de água potável da edificação foi estimado com base em um monitoramento mensal, realizado através de leituras dos hidrômetros do prédio e por meio da análise dos históricos de consumo fornecidos pelo setor administrativo do shopping, entre o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2021.

As atividades consumidoras de água não potável da edificação, passíveis de utilização da água pluvial coletada na rede de coleta de água pluvial existente, são a rega de jardim, a lavagem de pisos dos banheiros, a descarga de bacias sanitárias e mictórios, e o suprimento da central de resfriamento, sendo essas as atividades que priorizadas para fins desta pesquisa. Para a estimativa do consumo de água da rega de jardim, considere-se o consumo de água de 2 L/dia/m², segundo critérios apontados por Tomaz (2010). Foi considerado que a rega é realizada diariamente, sendo considerados 30 dias de rega por mês.

Para a estimativa do consumo de água para lavagem de piso dos banheiros, também foi adotado o consumo de água de 2 L/dia/m², conforme TOMAZ (2010). Foi considerada apenas a lavagem de piso dos banheiros de uso dos clientes e funcionários; nesta estimativa, considerou-se que a lavagem dos pisos seria realizada uma vez por dia, totalizando 30 dias por mês.

Para a estimativa do consumo de água para suprimento de demanda da central de resfriamento, considerou-se o volume de água perdida e o número de dias no mês, que ocorre realização da complementação do volume de água demandada pela central de resfriamento, com a finalidade de manter o nível de água pré-definido pelo fabricante do equipamento. O volume de água foi verificado no histórico de reposição fornecido pelo setor administrativo do shopping, entre o período de 2018 e 2021. Desta forma, considerou-se neste trabalho que a reposição de água na central de resfriamento ocorre diariamente. Em seguida, a média diária de tal consumo foi multiplicada por 30 dias do mês.

Quanto ao consumo de água com a finalidade de suprimento das bacias sanitárias e dos mictórios da edificação, foram instalados hidrômetros para medição da demanda de água específica de cada tipo de aparelho sanitário em um banheiro modelo. Desta forma, com o histórico de consumo de água por tipo de aparelho sanitário, foi verificada a média diária consumida em cada bacia sanitária e em cada mictório, conforme (GUZZO, 2017).

O volume de água demandado por uma bacia sanitária em m³/dia, foi obtido por meio da divisão do volume total de água medido das bacias sanitárias pelo número de bacias existentes no banheiro. Assim como, o volume de água demandado por um mictório em m³/dia, foi obtido por meio da divisão do volume total de água medido dos mictórios pelo número de mictórios existentes no banheiro. Em seguida, a média diária por tipo de aparelho sanitário foi multiplicada pelo número total de aparelhos sanitários existentes na edificação. Posteriormente, a média diária de tal consumo, foi multiplicada por 30 dias no mês.

3.3 Dimensionamento da área de captação

Realizou-se um estudo da tipologia construtiva com o intuito de conhecer as áreas de telhado que possibilitassem a coleta de água de chuva, considerando-se aspectos como disposição, tipo e inclinação dos telhados, bem como a existência de calhas e coletores.

A área de cobertura foi extraída do projeto arquitetônico, disponibilizado pela administração do shopping. Para efeito de cálculo da área de captação, foi considerado no trabalho apenas as áreas de cobertura, sendo descartadas as áreas dos pátios externos, devido ao acúmulo de impurezas, detritos, materiais vazados de veículos, como graxas, combustíveis e entre outros. Todas as superfícies são planas horizontais, sendo o cálculo da área de contribuição realizado através da NBR 10.844 (ABNT, 1989).

Na determinação da área de captação, realizou-se uma análise das plantas de cobertura da edificação e simulações no programa computacional Netuno, a fim de se verificar se a área máxima de captação seria necessária para compor o sistema e suprir a demanda de água não potável do prédio ou apenas parte dela.

Para dimensionamento do volume de água de chuva a ser coletado, é necessário conhecer as características da área de contribuição e o coeficiente de escoamento superficial da cobertura chamado de coeficiente de Runoff. A identificação do tipo de revestimento da área de contribuição foi realizada por meio de vistoria no local, para posterior determinação do coeficiente de escoamento superficial. Considerando que parte da cobertura do shopping é em concreto (laje descoberta impermeabilizada) e parte em telhas metálicas, adotou-se um coeficiente de escoamento equivalente a 0,90.

3.4 Dimensionamento de reservatório de aproveitamento de água de chuva

Para a simulação do dimensionamento do reservatório de água foi utilizado o programa computacional Netuno 4.0. O Netuno é um programa computacional desenvolvido pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) da Universidade Federal de Santa Catarina, que tem como objetivo determinar o potencial de economia de água potável em função da capacidade do reservatório, através da simulação do aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis (GHISI; CORDOVA, 2014). O Netuno possibilita a simulação de diversas capacidades para os reservatórios de água pluvial inferior, indicando o volume ideal para a máxima economia.

Apresentam-se como dados de entrada do programa: a área de captação, a série histórica diária de dados pluviométricos, o descarte inicial de chuva, demanda diária de água potável, número de usuários da edificação, coeficiente de escoamento superficial e percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial.

Para definir o volume do reservatório inferior, a partir do volume máximo, foram realizadas simulações no programa computacional Netuno, com volumes de reservatórios variando em intervalos de 1.000 litros. Para cada simulação realizada, foi verificado o potencial de economia de água potável gerado, concluindo as simulações quando o volume do reservatório testado atingisse um incremento igual ou inferior 0,5% de economia de água potável sobre o potencial gerado pela simulação anterior, conforme proposto por (MARINOSKI, 2007).

Em um sistema de aproveitamento de água de chuva pode ou não existir um reservatório superior e inferior. Para esse estudo, foi considerada a existência de ambos, pois a edificação possui local pré-definido para implantação do reservatório superior, assim como possui tubulações existentes exclusivas para alimentação dos ramais e sub-ramais das bacias sanitárias e dos mictórios, por gravidade. Portanto, o volume do reservatório superior será igual à demanda diária média de água pluvial. Para ambos os reservatórios de armazenamento, o volume de descarte de escoamento inicial utilizado foi adotado conforme a NBR 15.527 (ABNT, 2019).

3.5 Análise de economia monetária

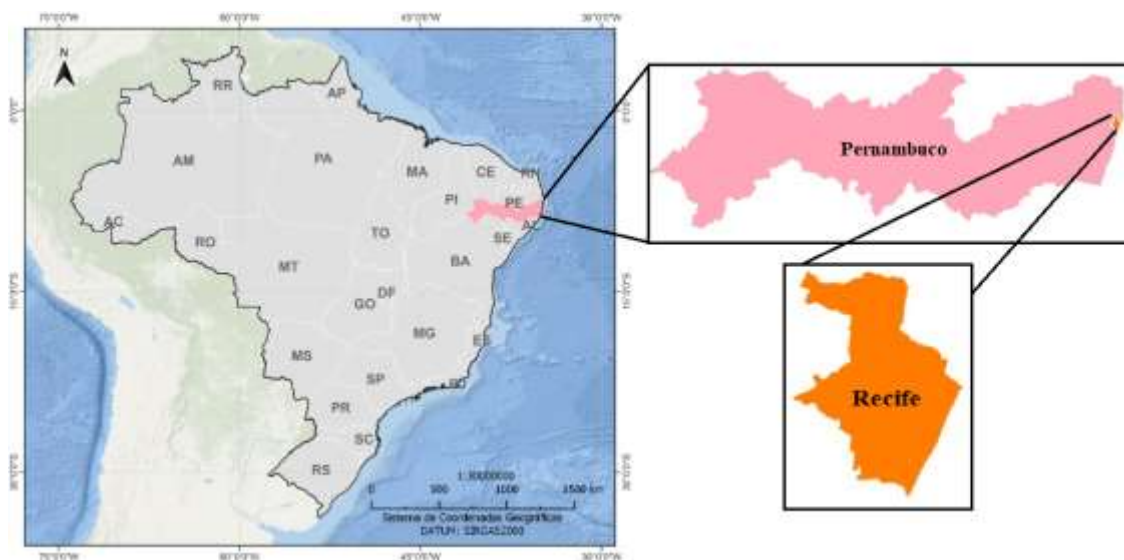
Para determinar a economia monetária mensal após a implantação do sistema, em R\$/mês, foi considerado o potencial de economia gerado pela simulação no programa computacional Netuno e a tarifa de consumo de água cobrada pela concessionária de água, a Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA, em sua estrutura tarifária para o ano de 2021 (ARPE, 2021). A economia monetária anual, em R\$/ano, foi obtida a partir da economia monetária mensal multiplicada pelo número de meses do ano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização do empreendimento e estimativas das demandas

A edificação em estudo está inserida no Município do Recife, Pernambuco – Brasil, conforme a Figura 1. O município se estende por 218,5 km², é vizinho dos municípios de Olinda, Camaragibe e Jaboatão dos Guararapes. Recife está localizada nas coordenadas geográficas de latitude 08°3'15" S e longitude 34°52'53" O, a uma altitude de 7 metros. Recife é a capital do Estado de Pernambuco.

Figura 1 – Mapa do Brasil, mapa do Estado de Pernambuco. Em destaque o município de Recife



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de IBGE, 2021.

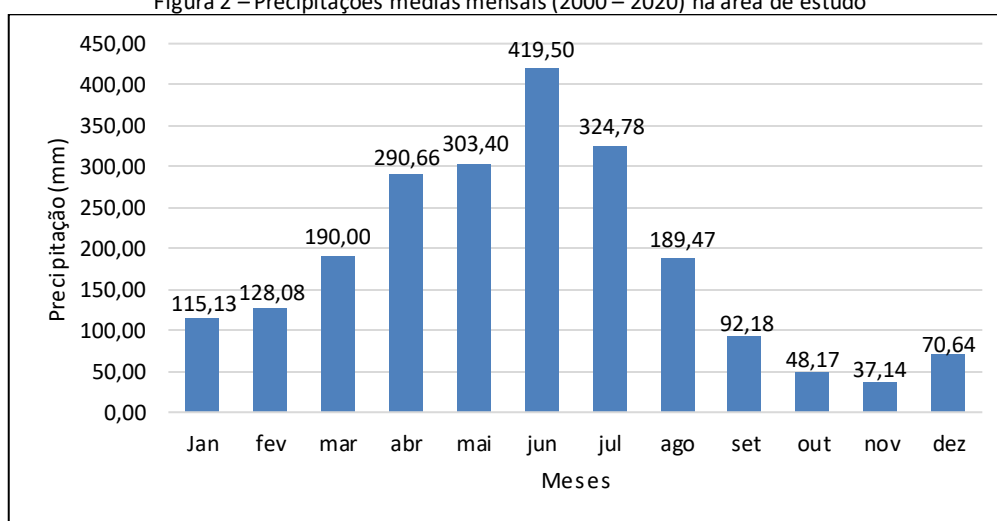
Primeiro centro de compras de Pernambuco, inaugurado em 1980, o Shopping Center Recife possui área bruta locável de 90.791 m², área total construída de 176.047 m², está inserido em um terreno com área de 185.301,77 m². A edificação recebeu em média 52.300 pessoas por dia, entre os anos de 2012 a 2021, possui 450 lojas, 5.800 vagas de estacionamento e 14 salas de cinema, com capacidade para até 3.000 pessoas.

4.2 Dados pluviométricos

Para a inserção dos dados pluviométricos no Programa Computacional Netuno para determinação da área de captação e do volume do reservatório de armazenamento, utilizou-se a série histórica diária de precipitação de 01/01/2000 a 31/12/2020, visto que o programa exige a entrada da precipitação diária do período mais longo possível. Foram considerados os dados da estação climatológica do Recife, operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada no bairro do Curado, na cidade do Recife-PE. Estas informações foram obtidas na plataforma digital da APAC (Agência Pernambucana de Águas e Clima).

Conforme os dados gerados pelo posto pluviométrico selecionado, foram analisadas as médias mensais de precipitação da região estudada e verificou-se que o local possui precipitação total anual média de 2.209,5mm. O mês de novembro com precipitação média mensal de 37,14mm apresenta a menor média do ano, enquanto o mês de junho se apresenta como o mês de maior precipitação média com 419,50mm. O período chuvoso da cidade do Recife encontra-se entre os meses de março a agosto, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Precipitações médias mensais (2000 – 2020) na área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados da APAC, 2022.

4.3 Determinação das demandas hídricas

Por se tratar de uma edificação de tipologia shopping center, a estimativa do número máximo de usuários que frequentaram a edificação foi avaliada com base nos históricos relativos ao fluxo de pessoas cedidos pelo shopping. Deste modo, a estimativa chegou a um total médio de 1.569.017 pessoas por mês em todo o empreendimento, referente aos anos de 2012 a 2021. Entre os anos de 2020 e 2021 ocorreu redução na média total mensal, motivada pela pandemia

de Covid-19, gerando impacto na média total mensal do período estudado. Sendo assim, o total diário de usuários corresponde a 52.300 pessoas.

O consumo de água da edificação foi avaliado com base em um monitoramento mensal, realizado através de leituras no hidrômetro do edifício e por meio da análise dos históricos de consumo fornecidos pelo setor administrativo do shopping. A edificação apresenta uma média mensal de consumo de água igual a 20.059 m³, proveniente apenas do abastecimento da concessionária local, em uma série histórica referente aos anos de 2012 a 2021. O uso de outras fontes de abastecimento (carro-pipa e poços) foram descartadas, devido a inexistência de periodicidade na aquisição dos carros-pipas e uso exclusivo dos poços para a irrigação de jardins. Sendo o total do consumo diário do empreendimento de 668,63 m³.

A área de jardim no empreendimento é de 17.771,00 m², deste modo, são necessários, 35.542 L/dia ou 35,54 m³/dia, para suprir a demanda de rega de jardim, conforme TOMAZ (2010). Adotou-se para o dimensionamento do reservatório de aproveitamento de água pluvial, o caso extremo, de rega de área verde durante 30 dias do mês, sendo a demanda mensal de 1.066,26 m³ de água a ser substituída por água da chuva.

A área de piso dos banheiros do empreendimento é de 1.033,94 m², deste modo, são necessários 2.067,88 L/dia ou 2,07 m³/dia, para suprir a demanda de água para lavagem do piso, conforme (TOMAZ, 2010).

O volume médio para suprimento da demanda de água da central de resfriamento é de 19.388,19 L/dia ou 19,39 m³/dia.

O empreendimento possui 179 bacias sanitárias com consumo médio de 102,36 L/dia por bacia e 42 mictórios com consumo médio de 31,04 L/dia por mictório. Os valores médios do consumo de água por bacia sanitária e por mictório foram obtidos por meio do monitoramento dos hidrômetros do banheiro modelo. Deste modo, são necessários 19.626,12 L/dia ou 19,63 m³/dia, para suprir a demanda de água para descarga das bacias sanitárias e mictórios.

A demanda hídrica mensal para fins não potáveis calculada, resultou em um consumo de água de 2.298,90 m³/mês, o que representa 11,46% da demanda total de água potável da edificação. Para a simulação e dimensionamento do reservatório considerou que 12% da demanda de água potável seria substituída pelo uso de águas pluviais, deixando uma margem de 0,54% do consumo de água para possíveis perdas. A demanda hídrica não potável diária máxima, ou seja, em um dia que fosse realizada rega de jardim, lavagem de pisos dos banheiros, reposição da água das torres de resfriamento e descarga das bacias sanitárias e mictórios, seria de 76,63 m³/dia. A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados obtidos para as demandas hídricas não potáveis do prédio.

Tabela 1 – Demanda de água não potável

Uso	Demanda diária (m ³ /dia)	Frequência	Demanda mensal (m ³ /mês)
Rega de jardim	35,54	30 dias/mês	1.066,20
Lavagem de piso	2,07	30 dias/mês	62,10
Torre de resfriamento	19,39	30 dias/mês	581,70
Descarga de bacia sanitária e mictório	19,63	30 dias/mês	588,90
Total demanda de água não potável	76,63	-	2.298,90

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.4 Determinação da área de captação

Além de conhecer a pluviometria local, para determinação do volume de água de chuva a ser coletado, é necessário conhecer também as características da área de contribuição. A partir da análise da planta de cobertura da edificação, constatou-se que a área máxima de captação de águas pluviais é de 52.149 m². Para a simulação no programa computacional Netuno, a área máxima de captação foi dividida a cada 10.000 m² em cinco diferentes áreas de captação, que variaram de 10.000 a 52.149 m², a fim de se verificar se toda a área de captação, ou apenas parte dela, seria necessária para compor o sistema e suprir a demanda de água não potável do prédio, referente a 12% do consumo mensal de água estimado.

Conforme as simulações realizadas, cujos resultados estão apresentados na Tabela 2, fica evidenciado que a área máxima de captação possui a capacidade de atender apenas 76,87% da demanda de água não potável, considerando a implantação do reservatório inferior de 640.000 L. O potencial de atendimento da demanda de água pluvial para a área de 52.149m² é 32,44% superior em relação a área de 10.000m², assim como 15,09%, 7,02% e 2,99% respectivamente, para as áreas de captação de 20.000 m², 30.000 m² e 40.000 m².

Logo, o potencial de economia de água potável foi estimado em relação às demandas hídricas. Em resumo, os resultados do dimensionamento do volume do reservatório inferior, do potencial de economia de água potável e da demanda diária de água pluvial, para as diferentes áreas de captação de água da chuva, estão apresentados na Tabela 2.

Desta forma, definiu-se como área de captação do sistema, a área que totaliza 52.149m², visto que oferece o potencial de suprimento de água pluvial mais próximo de atender totalmente as demandas hídrica não potáveis da edificação.

Tabela 2 – Resultados do potencial de economia de água potável, para diferentes áreas de captação do telhado

Área de captação (m ²)	Volume máximo do reservatório inferior (L)	Demanda de água pluvial atendida completamente (%)	Potencial de economia de água potável (%)
10.000	640.000	44,43	6,14
20.000	640.000	61,78	7,91
30.000	640.000	69,85	8,72
40.000	640.000	73,88	9,14
52.149	640.000	76,87	9,47

Fonte: Elaborado pelos autores.

4.5 Dimensionamento dos reservatórios

A capacidade do reservatório inferior de água de chuva foi calculada utilizando o programa computacional Netuno. O coeficiente de escoamento adotado foi de 0,90 (90% de aproveitamento). Além disso, adotou-se como área de captação para todas as simulações, a área definida no item 4.4 deste trabalho, igual a 52.149 m², e como descarte de escoamento inicial, o valor de 2 L/m², conforme sugere a NBR 15.527 (ABNT, 2019) na falta de dados.

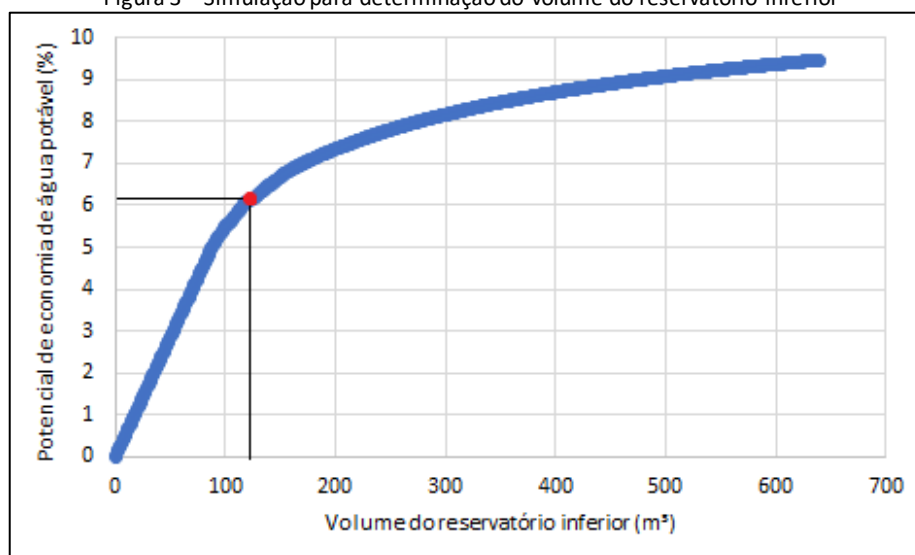
A simulação foi realizada para reservatórios com diversos volumes. A demanda diária de água pluvial é 76.630 L. As simulações foram iniciadas com volume máximo de 640.000 L, pela disponibilidade de área em torno de 320 m² no terreno para implantação de um reservatório de profundidade de 2 m.

A capacidade do reservatório superior de água de chuva equivale à demanda diária de água pluvial, sabendo que, para o recalque de água pluvial do reservatório inferior para o reservatório superior, foi considerado que primeiramente haverá recalque ao mesmo tempo em que há consumo de água pluvial e em seguida, caso ainda haja demanda de água pluvial, e caso o reservatório inferior esteja vazio, e o superior tenha água, haverá consumo sem recalque. Desta forma, o recalque ocorrerá quando o volume no reservatório superior foi igual ou inferior a 50% da demanda diária.

Foi realizada variação de volume em intervalos de 1.000 L, e para cada variação realizada, verificou-se um novo potencial de economia de água potável até atingir o volume do reservatório que promoveu um incremento igual ou inferior a 0,5% sobre o volume anterior testado (MARINOSKI, 2007).

Os resultados gerados pelo programa indicaram um volume para o reservatório inferior igual a 117.000 L, com um potencial de economia de água potável de 6,02%. Ainda conforme os resultados gerados, a utilização do volume máximo de 640.000 L proporcionaria um acréscimo em relação ao volume proposto de 3,44% no potencial de economia, o que demandaria um investimento maior para um reservatório de maiores dimensões, com pouca elevação na economia de água potável, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Simulação para determinação do volume do reservatório inferior



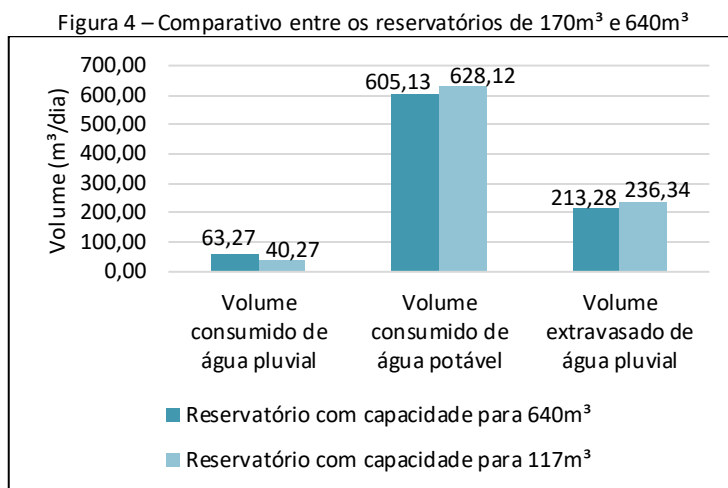
Fonte: Elaborado pelos autores

4.6 Análise da redução de consumo de água potável

Verificou-se um potencial de suprimento (completo e parcial) da demanda de água pluvial de 52,56% na edificação estudada para a simulação de implantação de um reservatório inferior com capacidade de 117.000 L e o suprimento (completo e parcial) da demanda de água pluvial de 82,56% para a simulação de implantação de um reservatório com máxima capacidade de 640.000 L, correspondente à água utilizada para fins não potáveis, tais como rega de jardim, lavagem de pisos de banheiros, descarga de bacias sanitárias e de mictórios e o suprimento da central de resfriamento, conforme mostra na Figura 4.

O objetivo de realizar simulações é obter o volume de reservatório adequado para o sistema de captação de águas pluviais. Logo, fica evidenciado na Figura 4 que a economia de

água potável sofre baixa variabilidade em relação à capacidade do reservatório. Isso ocorre em virtude da estabilização da oferta e da demanda de água.



Fonte: Elaborado pelos autores

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho, por meio dos dados coletados e estimados, obteve o volume do reservatório de água pluvial, de tal forma a suprir parcialmente toda a demanda de água não potável, gerando o maior potencial de economia de água potável possível.

Utilizou-se o programa computacional Netuno, por permitir o dimensionamento do potencial de economia de água potável e a porcentagem de completo atendimento da demanda por água pluvial. Na edificação em estudo, todas as áreas de cobertura simuladas foram insuficientes para suprir as demandas hídricas de uso não potável.

Foi admitida a área máxima da coleta de água pluvial do empreendimento como sendo a área total de coberta, equivalente a 52.149 m², visto que as instalações prediais de captação e destinação da água pluvial já são previstas no projeto da construção, e por proporcionar uma média de atendimento completo de 76,87% para o reservatório máximo proposto na simulação.

O dimensionamento do reservatório realizado no Programa computacional Netuno apresentou como 117 m³ o volume para o reservatório inferior, que promoveu um incremento imediatamente inferior a 0,5% de economia de água potável sobre o volume anterior testado, gerando um potencial de economia de água potável de 6,02%.

A atividade que acarreta o maior consumo de água na edificação, corresponde à rega de jardim, consumindo 46,38% da demanda total hídrica não potável, seguida do uso em descarga de bacia sanitária e de mictório, que por sua vez consome 25,62%.

Após o dimensionamento do sistema, considerando o potencial de economia de água potável gerado pelo Programa Computacional Netuno igual a 6,02%, a economia monetária gerada pelo sistema de aproveitamento de águas pluviais seria de R\$ 11.556,27 por mês ou R\$ 138.675,25 por ano.

Portanto, pôde-se concluir que o potencial de economia de água potável justifica a implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em um empreendimento deste

porte, mostrando-se tecnicamente viável, tendo em vista que é eficaz no uso da água de chuva, gerando um potencial econômico considerável. Os reservatórios inferior e superior de água pluvial propostos podem atender a um percentual expressivo da demanda requisitada para rega de jardins, lavagem de pisos de banheiros, descarga de bacias sanitárias e de mictórios, e o suprimento da central de resfriamento, todos os dias do mês, trazendo benefícios ambientais e financeiros futuros. Assim como, frente à escassez de recursos hídricos, especialmente considerando-se a intensificação desta problemática nos centros urbanos, tal sistema é de suma importância, devido à gama de aplicações possíveis para a água de chuva.

Entretanto, dentro da temática específica do artigo, recomenda-se para estudos futuros a realização da análise econômica, a fim de se avaliar a viabilidade financeira para implantação do sistema.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

AGÊNCIA ESTADUAL DE REGULAMENTAÇÃO DE PERNAMBUCO (ARPE). *Resolução ARPE Nº 192/2021 - Publicada no DOE nº. 136 de 20/07/2021*. 2021. Disponível em: <https://lojavirtual.compesa.com.br:8443/gsan/exibirConsultarEstruturaTarifariaPortalAction.do>. Acesso em: 20 nov. 2022.

AGHAKOUCHAK, Amir; MIRCHI, Ali; MADANI, Kaveh; DI BALDASSARRE, Giuliano; NAZEMI, Ali; ALBORZI, Aneseh; ANJILELI, Hassan; AZARDERAKHSH, Marzi; CHIANG, Felicia; HASSANZADEH, Elmira *et al.* 2021. Anthropogenic drought: Definition, challenges, and opportunities. **Reviews of Geophysics**, v. 59, e2019RG000683. DOI: <https://doi.org/10.1029/2019RG000683>.

APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 8 de setembro de 2022.

BINT, L.; GARNETT, A.; SIGGINS, A.; JAQUES, R.. Alternative water sources in New Zealand's commercial buildings. **Water Supply**, v. 19, n. 2, p. 371-381, 27 abr. 2018. IWA Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2018.082>.

BOCANEGRA-MARTÍNEZ, Andrea; PONCE-ORTEGA, José María; NÁPOLES-RIVERA, Fabricio; SERNA-GONZÁLEZ, Medardo; CASTRO-MONTOYA, Agustín Jaime; EL-HALWAGI, Mahmoud M.. Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 84, p. 44-56, mar. 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.01.001>.

GALVÃO, Ana; MARTINS, David; RODRIGUES, Andreia; MANSO, Maria; FERREIRA, Joana; SILVA, Cristina Matos. Green walls with recycled filling media to treat greywater. **Science Of The Total Environment**, v. 842, p. 156748, out. 2022. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156748>.

GOIS, Eduardo H.B. de; RIOS, Carlos A.s.; COSTANZI, Ricardo N.. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern brazil. **Journal Of Cleaner Production**, v. 96, p. 263-271, jun. 2015. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.097>.

GUZZO, Fernanda Ribeiro. **Estratégias para conservação de água potável através do aproveitamento de fontes não potáveis em uma edificação comercial de grande porte**. 2017. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. Netuno 4. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.

HASHIM, H.; HUDZORI, A.; YUSOP, Z.; HO, W.s.. Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: malaysia case study. **Resources, Conservation And Recycling**, v. 80, p. 1-9, nov. 2013. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.001>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em 19 de outubro de 2022.

LEE, Khai Ern; MOKHTAR, Mazlin; HANAFIAH, Marlia Mohd; HALIM, Azhar Abdul; BADUSAH, Jamaludin. Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development. **Journal Of Cleaner Production**, v. 126, p. 218-222, jul. 2016. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.060>.

LIU, Wenbin; SUN, Fubao; LIM, Wee Ho; ZHANG, Jie; WANG, Hong; SHIOGAMA, Hideo; ZHANG, Yuqing. Global drought and severe drought-affected populations in 1.5 and 2 °C warmer worlds. **Earth System Dynamics**, v. 9, n. 1, p. 267-283, 19 mar. 2018. Copernicus GmbH. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/esd-9-267-2018>.

MARINOSKI, A.K. **Aproveitamento de Água Pluvial para Fins Não Potáveis em Instituição de Ensino**: Estudo de Caso em Florianópolis –SC. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.

MORALES-PINZÓN, Tito; RIERADEVALL, Joan; GASOL, Carles M.; GABARRELL, Xavier. Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. **Journal Of Cleaner Production**, v. 87, p. 613-626, jan. 2015. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.021>.

NECHIFOR, Victor; WINNING, Matthew. Global Economic and Food Security Impacts of Demand-Driven Water Scarcity—Alternative Water Management Options for a Thirsty World. **Water**, [S.L.], v. 10, n. 10, p. 1442, 13 out. 2018. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w10101442>.

ONU - Organização das Nações Unidas. Population Division - **World Population Prospects 2022**. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>. Acesso em: 17 de jul. 2022.

PIMENTEL-RODRIGUES, Carla; SILVA-AFONSO, Armando. Rainwater Harvesting for Irrigation of Tennis Courts: a case study. **Water**, v. 14, n. 5, p. 752, 26 fev. 2022. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w14050752>.

PINTO, F. Silva; MARQUES, R. Cunha. Desalination projects economic feasibility: a standardization of cost determinants. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 78, p. 904-915, out. 2017. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.024>.

SAMPLE, David J.; LIU, Jia. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. **Journal Of Cleaner Production**, v. 75, p. 174-194, jul. 2014. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.075>.

SEPEHRI, Mehdi; MALEKINEZHAD, Hossein; ILDEROMI, Ali Reza; TALEBI, Ali; HOSSEINI, Seyed Zeynalabedin. Studying the effect of rain water harvesting from roof surfaces on runoff and household consumption reduction. **Sustainable Cities And Society**, [S.L.], v. 43, p. 317-324, nov. 2018. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.005>.

SILVA, Alisson Caetano da; SILVA, Arícia Fernandes Alves da; SILVA, Simone Rosa da; SILVA, Marcela Tavares de Araújo. Análise de viabilidade técnica e econômica de um sistema de águas pluviais para fins não potáveis em uma instituição de ensino federal em Pernambuco. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 78, 4 abr. 2019. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v8e120197-8-98>.

SILVA JUNIOR, Marcos Antonio Barbosa da; SILVA, Simone Rosa da; ALCOFORADO, Roberta de Melo Guedes. Avaliação do sistema de microdrenagem visando à sustentabilidade de área urbana com problemas de alagamentos e influência das marés. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S.L.], v. 4, n. 24, p. 01-17, 23 dez. 2016. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. DOI: <http://dx.doi.org/10.17271/2318847242420161320>.

SOUSA, Vitor; SILVA, Cristina Matos; MEIRELES, Inês C.. Technical-financial evaluation of rainwater harvesting systems in commercial buildings—case ase studies from Sonae Sierra in Portugal and Brazil. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 25, n. 20, p. 19283-19297, 10 nov. 2017. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0648-0>.

TOMAZ, Plínio. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. 2010. Disponível em: https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_bfa504956e664155b22974ef016e05a7-.pdf?index=true. Acesso em: 13 set. 2022.

UNFRIED, Kerstin; KIS-KATOS, Krisztina; POSER, Tilman. Water scarcity and social conflict. **Journal Of Environmental Economics And Management**, v. 113, p. 102633, maio 2022. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeem.2022.102633>.

VANEGAS-ESPINOSA, Luis Ignacio; VARGAS-DEL-RÍO, David; OCHOA-COVARRUBIAS, Gabriela; GRINDLAY, Alejandro Luis. Flood Mitigation in Urban Areas through Deep Aquifer Recharge: the case of the metropolitan area of guadalajara. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, v. 19, n. 6, p. 3160, 8 mar. 2022. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19063160>.

YANNOPOULOS, Stavros; GIANNOPOULOU, Ioanna; KAIIFA-SAROPOULOU, Mina. Investigation of the Current Situation and Prospects for the Development of Rainwater Harvesting as a Tool to Confront Water Scarcity Worldwide. **Water**, v. 11, n. 10, p. 2168, 18 out. 2019. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w11102168>.

WANG, Xi; LI, Junqi; LI, Yingxia; SHEN, Zhenyao; WANG, Xuan; YANG, Zhifeng; LOU, Inchio. Is urban development an urban river killer? A case study of Yongding Diversion Channel in Beijing, China. **Journal Of Environmental Sciences**, [S.L.], v. 26, n. 6, p. 1232-1237, jun. 2014. Elsevier BV. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s1001-0742\(13\)60593-8](http://dx.doi.org/10.1016/s1001-0742(13)60593-8).

ZHANG, Jian; ZHANG, Chunling; SHI, Wanli; FU, Yicheng. Quantitative evaluation and optimized utilization of water resources-water environment carrying capacity based on nature-based solutions. **Journal Of Hydrology**, v. 568, p. 96-107, jan. 2019. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.059>.