

Utilização de água de reuso como reposição de perda de água em torres de resfriamento

Use of reuse water as a replacement for water loss in cooling towers

Uso de agua de reúso como reemplazo de agua perdida en torres de enfriamiento

Recebido: 25/07/2022 | Revisado: 06/08/2022 | Aceito: 07/08/2022 | Publicado: 16/08/2022

Guilherme Ianusckiewicz Marques

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4516-1708>

Universidade Santa Cecília, Brasil

E-mail: alexguimarques@hotmail.com

Irio Nizzoli Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4081-5629>

Universidade Santa Cecília, Brasil

E-mail: iriofilho.n@gmail.com

Aldo Ramos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0236-1910>

Universidade Santa Cecília, Brasil

E-mail: rsantos@unisanta.br

Resumo

O reuso de água é uma necessidade global em virtude do crescimento da demanda tanto populacional quanto econômica. A falta de preocupação com as fontes naturais de água, alterações climáticas, além de hábitos de consumo acabam causando a diminuição da água potável. Organizações mundiais mostram esta situação, a Organização Mundial da Saúde (OMS), em relatório aponta que quase 663 milhões de pessoas no mundo vivem atualmente sem acesso a água potável e a Organização das Nações Unidas (ONU), cita que até 2050 seis bilhões de pessoas ficarão sem água para consumo. Esta situação levou vários países a criar processos alternativos de reaproveitamento de água objetivando a economia de água potável com a finalidade exclusiva para as necessidades humanas. O objetivo deste trabalho foi fazer um estudo mostrando a reutilização de água captadas de águas pluviais, sistemas de climatização e de pias e chuveiros de um edifício empresarial e direcionadas para uma estação de tratamento de água de reuso (ETAR), para posteriormente serem reutilizadas como reposição da perda de água em quatro torres de resfriamento. É apresentada a estrutura das torres de resfriamento e os processos da ETAR. Foi demonstrado, através de planilhas, os dados experimentais coletados de captação de água de reuso, obtidos em diversas áreas do edifício estudado, de janeiro a dezembro de 2021. O estudo teórico foi complementado com o desenvolvimento de cálculos matemáticos e concluiu que houve a captação de água de reuso de 10.828 m³/ano e uma perda de água pelas torres de 17.280 m³/ano.

Palavras-chave: Sustentabilidade ambiental; Reuso de água; Torre de resfriamento; ETAR.

Abstract

The reuse of water is a global necessity due to the growth of population and economic demand. The lack of concern for natural sources of water, climate change, and consumption habits end up causing a decrease in drinking water. World organizations demonstrate this situation, the World Health Organization (WHO), in a report, points out that almost 663 million people in the world live without access to drinking water and also the United Nations (UN), says by 2050, six billion people will have no access either. This situation has led several countries to create alternative water reuse processes, aiming at saving this kind of water for the exclusive purpose of human needs. The objective of this work was to conduct a study showing the reuse of water collected from rainwater, air conditioning systems and also from sinks and showers of a business building and sent to a reuse water treatment plant (WWTP), to be reused later as replacement of water loss in four cooling towers. The structure of the cooling towers and the processes of the WWTP are presented. It demonstrated, through spreadsheets, the experimental data collected from the capture of reuse water, obtained in several areas of the building studied, from January to december 2021. The theoretical study was complemented with the development of mathematical calculations and concluded that there was a capture of reuse water of 10,828 m³/year and a loss of water by the towers of 17,280 m³/year.

Keywords: Environmental sustainability; Water reuse; Cooling tower; WWTP.

Resumen

La reutilización del agua es una necesidad mundial debido al crecimiento de la población, así como de la demanda económica. La falta de preocupación por las fuentes naturales de agua, el cambio climático y los hábitos de consumo terminan provocando una disminución del agua potable. Organismos mundiales dan cuenta de esta situación, la

Organización Mundial de la Salud (OMS), en un informe, señala que casi 663 millones de personas en el mundo viven actualmente sin acceso al agua potable y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), cita que para 2050 seis mil millones de personas se quedarán sin agua potable. Esta situación ha llevado a varios países a crear procesos alternativos de reutilización de agua con el objetivo de ahorrar agua potable para el uso exclusivo de las necesidades humanas. El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio que muestre la reutilización de agua recolectada de la lluvia, sistemas de aire acondicionado y de fregaderos y duchas de un edificio comercial y dirigida a una planta de tratamiento de agua de reutilización (EDAR), para luego ser reutilizada como reposición de pérdida de agua en cuatro torres de enfriamiento. Se han presentado la estructura de las torres de enfriamiento y los procesos de la EDAR. Se han demostrado a partir de hojas de cálculo, los datos experimentales recolectados de la captación del agua de reúso, obtenidos en varias áreas del edificio estudiado, de enero a diciembre de 2021. El estudio teórico se complementó con el desarrollo de cálculos matemáticos y se concluyó que hubo una captación de agua de reúso de 10.828 m³/año y una pérdida de agua por las torres de 17.280 m³/año.

Palabras clave: Sostenibilidad del medio ambiente; Reutilización de agua; Torre de enfriamiento; EDAR.

1. Introdução

O mundo passa por transformações e inovações, porém, é necessário estar voltado para um desenvolvimento sustentável pois podem ocorrer consequências desagradáveis ao meio ambiente interferindo diretamente na sustentabilidade ambiental, econômica e social (Hadjikakou, *et al.*, 2019). Atualmente há vários países e seguimentos utilizando as energias renováveis hídrica, solar, eólica, biomassa, geotérmica e oceânica como forma de contribuição ao meio ambiente (Armeanu, *et al.*, 2017; Moriarty & Honnery, 2019; Halkos & Gkampoura, 2020). A escassez de água se tornou um problema mundial e por este motivo os especialistas estão tentando continuamente apresentar maneiras de estocar água tanto quanto possível (Macedonio, *et al.*, 2012; Hogeboom, 2020; ZHU, *et al.*, 2020). Tanto é verdade que vários autores tratam a insuficiência de água como gravíssima e descrevem até conflito pela sua posse, principalmente as águas transfronteiriças (Biswas, 1999; Zeitoun, 2019; Bernauer & Bohmelt, 2020; Grunwald, *et al.*, 2020). Tzanakakis, *et al.*, (2020), citam que a escassez de água coloca muitas restrições quando se avalia a integridade social e o desenvolvimento econômico, enquanto que Wagner, *et al.*, (2019) e Shafiei, *et al.*, (2020), dizem que somente 8 % dos recursos de água doce são disponíveis para o uso doméstico. A Organização Mundial da Saúde (OMS), afirma que cerca de 663 milhões de pessoas no mundo vivem sem acesso a água potável (Graziano, 2017). A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que 6 bilhões de pessoas ficarão sem água até 2050 (WWAP, 2018). Boretti e Rosa (2019) e Boano, *et al.*, (2020), citam que esse número possa estar subestimado e que a escassez de água limpa até 2050 pode ser pior.

Reuso ou reaproveitamento da água é o método pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada com a finalidade de utilização em lavagens, irrigação, nas descargas dos banheiros, ou seja, para uso não potável (Manna, 2018). A *WJW Foundation* (2018), cita que a grande quantidade de água utilizada em edifícios, seja empresarial ou residencial, não necessita ser potável e que na verdade 95 % da água usada em edifícios comerciais e 50 % da água utilizada em edifícios residenciais é para necessidades de água não potável. O uso doméstico, também, segue uma tendência crescente em virtude do crescimento populacional, condições dos padrões de vida e aumento da temperatura global, provocando mudanças na disponibilidade de água (Roshan & Kumar, 2020; Wang, *et al.*, 2021).

Com os avanços das tecnologias no tratamento de águas residuais, o volume mundial de água reciclada no período de 2010-2015 aumentou de 33,7 milhões de m³/d para 54,5 milhões de m³/d (Shoushtarian & Negahba-Azar, 2020). Estima-se que entre 40 a 60% do consumo de água doce pelas indústrias petroquímicas são usadas para resfriamento (Ricart & Rico, 2019). A Agência Nacional de Águas em 2018, calculou-se uma vazão de reuso de água de aproximadamente 2 m³/s, podendo alcançar um potencial até 2030 de 10 a 15 m³/s (BRASIL, 2020). Porém, os usos que exigem água com qualidade elevada podem representar custos incompatíveis com os benefícios correspondentes, pelo fato de exigirem sistemas de tratamento e de controle muito complexos (Hespanhol, 2002).

Água cinza é o efluente que não possui contribuição da bacia sanitária, porém, não se deve dispensar o fato de que esta água é suscetível de conter contaminações das mais diversas, sendo comum ocorrer situações como a lavagem de ferimentos em qualquer torneira disponível, Portanto, micro-organismos patogênicos podem ser identificados nas águas cinzas, como a *Escherichia Coli*, caracterizando a contaminação com coliformes fecais. March, *et al.*, (2004); Bazzarella, (2005); Fiori, *et al.*, (2006); Li, *et al.*, (2009); Wei, (2017) e Masi, *et al.*, (2018), citam que as tecnologias empregadas ao tratamento de águas cinzas incluem processos físicos, químicos e biológicos, sendo que a maioria deles é constituída por uma etapa de separação sólido líquido, seguida por uma etapa de desinfecção. Kim *et al.*, (2007), afirmam que o uso de águas cinzas ou de chuva para substituir água não potável em edifícios e que é uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento sustentável.

Águas negras são aquelas oriundas do vaso sanitário ou pia da cozinha, ou seja, ricas em matéria orgânica e bactérias com potencial patogênico (Viggiano, 2008).

Torre de resfriamento são equipamentos de transferência de calor e massa onde o ar atmosférico resfria a água que ingressa na torre com contato direto entre a água e o ar, evaporando parte desta água. Nas indústrias estas unidades consomem entre 60 a 70% do total de água, quer por evaporação ou por pulverização (Taghian & Ahmadikia, 2017). Por volta de 1 % da água de circulação é consumida como evaporação para resfriar a água em 7° C (Deziane, *et al.*, 2015; Beomjoon, *et al.*, 2020; Hashemi, *et al.*, 2020).

O sistema de ar condicionado e ventilação mecânica tem como objetivo oferecer condições adequadas de conforto térmico e qualidade do ar interior aos ocupantes e nas áreas técnicas, onde existem equipamentos que são sensíveis a condições inadequadas de temperatura e umidade relativa. Cheng *et al.*, (2013) e Revel e Arnesano (2014), pesquisaram sobre os níveis de temperatura e a importância do conforto térmico humano proporcionado pelos sistemas HVAC.

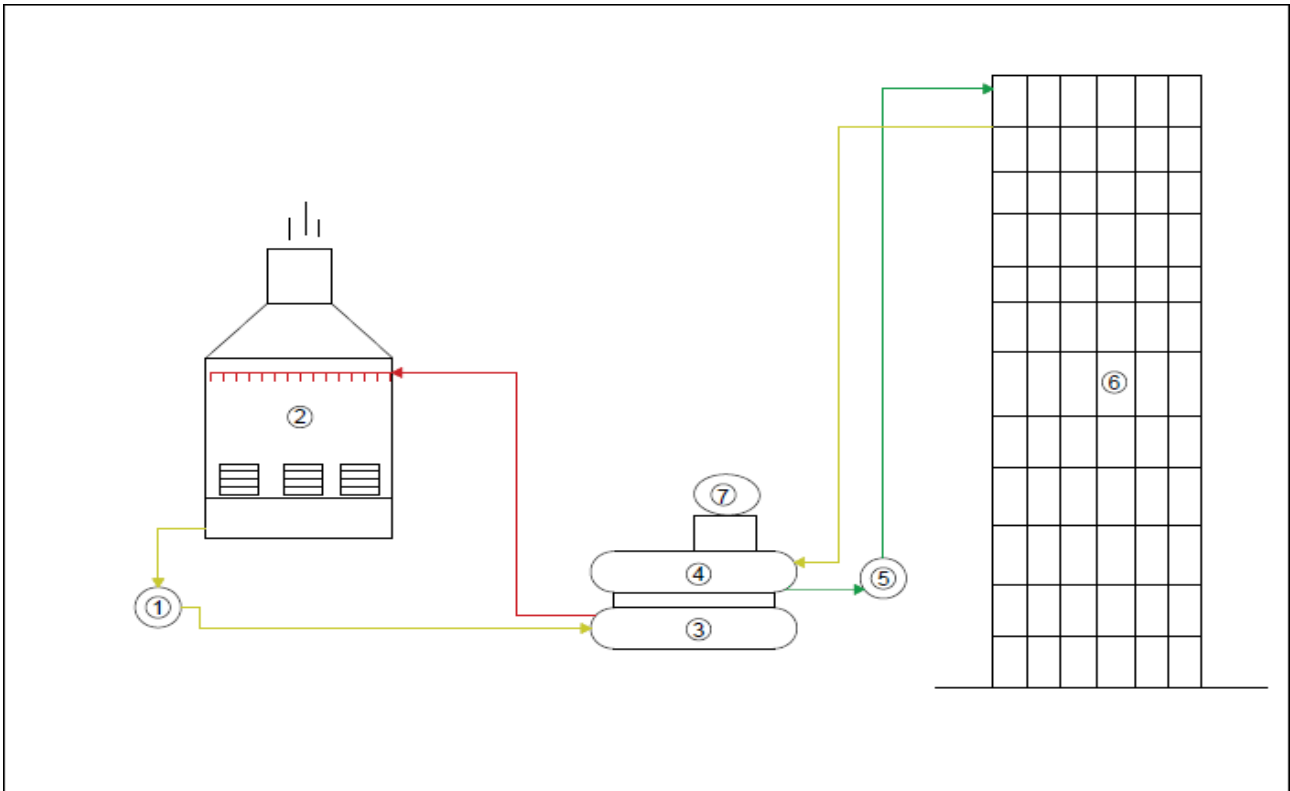
A ETAR (Estação de Tratamento de Água de Reuso) é um sistema caracterizado por equipamentos e controles que através de procedimentos físicos e químicos aplicados reduz ao máximo a carga poluidora das águas cinzas, tornando-a em condições adequadas para reutilização. A gestão da ETAR, tornou-se fundamental para prover água de reuso de qualidade e assim resolver os problemas de falta de água (Albolafio, *et al.*, 2022). Cardoso, *et al.*, (2021) citam que as operações da ETAR representam desafios relacionados a sustentabilidade econômica e ambiental, em especial ao aumento no consumo de recursos, emissões de gases de efeito estufa (GEE) no local e fora dele, além de custos de energia e que é necessário avaliar os impactos negativos dessas instalações pois não devem ultrapassar os benefícios.

Este trabalho tem como objetivo mostrar a reutilização de água procedente da captação de águas pluviais, de sistemas de climatização e da captação de água de pias e chuveiros, encaminhadas para uma estação de tratamento de água de reuso (ETAR), para posterior utilização como reposição da perda de água nas quatro torres de resfriamento de um edifício empresarial.

2. Metodologia

O estudo deste trabalho foi realizado em um edifício empresarial utilizado por aproximadamente 1.800 pessoas, constituído de 16 andares e na parte superior possui uma cobertura com área de 1.619,19 m². O sistema de climatização opera ininterruptamente 24 horas por dia e em todos os dias da semana e a redução da temperatura ambiente de todo o complexo administrativo ocorre por meio da circulação da água gelada entre *chillers* e os 400 equipamentos de climatização espalhados pelos ambientes. A Figura 1 mostra os principais equipamentos e fluxo de sistema de climatização de ambientes através de uma central de água gelada (CAG).

Figura 1: Fluxo básico de refrigeração. 1- Bomba do circuito de condensação, 2- Torre de resfriamento, 3- Trocador de calor casco tubo de condensação do *chiller*, 4- Trocador de calor casco tubo de evaporação do *chiller*, 5- Bomba do circuito de água gelada, 6- Complexo administrativo.

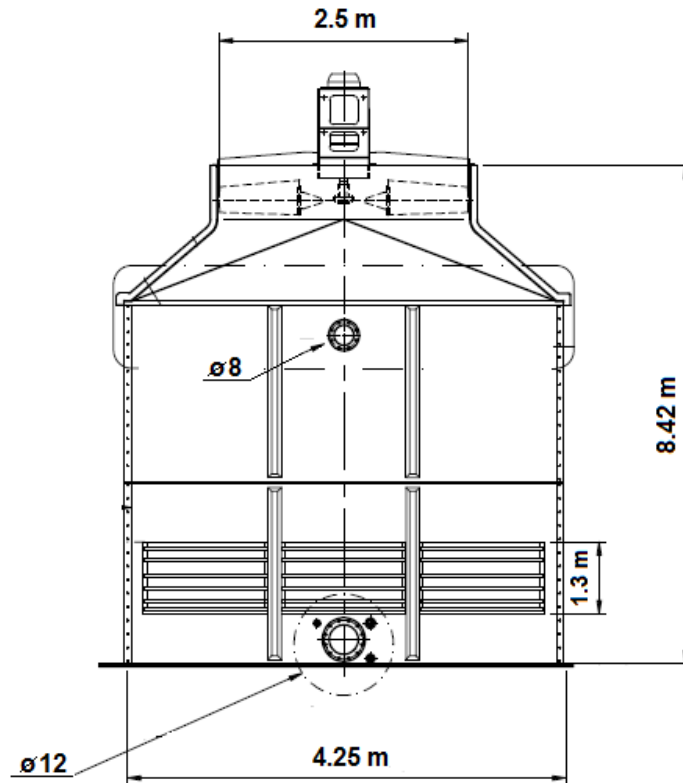


Fonte: Autores (2022).

Os sistemas do tipo expansão indireta de água gelada utilizam as unidades resfriadoras de líquidos e *chillers*, como equipamentos do processo de refrigeração. Os sistemas de água gelada são mais complexos, pois ficam restritos apenas aos *chillers*, ou seja, um equipamento compacto e em área restrita, normalmente chamado de Central de Água Gelada (CAG). O ar a ser insuflado no ambiente a ser climatizado é resfriado, em uma serpentina que utiliza um fluido secundário que é utilizado é água gelada no estado líquido. O fluido secundário é bombeado e circula por uma rede hidráulica (tipicamente um circuito hidráulico fechado) e, após passar pela serpentina de resfriamento do ar, retorna para o trocador de calor do sistema de refrigeração, no qual é resfriado pelo fluido refrigerante, que evapora em uma temperatura mais baixa. São três redes de distribuição e circulação de água: circuito de água gelada dos *chillers* para os condicionadores de ar, denominado circuito secundário; dos condicionadores de ar para os *chillers*, denominado circuito primário e, finalmente, circuito da água de condensação entre as torres de resfriamento e os *chillers*.

Com funcionamento 24 horas por dia, possui quatro torres de resfriamento mecânicas de tiragem induzida do mesmo modelo e automatizadas, da marca Alpina, conforme Figura 2, em área externa, fluxos em contracorrente, com as dimensões 4,54 m de comprimento, 4,25 m de largura e 8,42 m de altura, fluxos de ar e água em sentidos contrários, descarga do ar úmido no sentido vertical, com capacidade de rejeição de calor de 1.568.810 Kcal/h, que é equivalente a 3.649.052,06 J/s, vazão de água nas quatro torres (C) de 265,9 m³/h, portanto, em uma torre é de 66,5 m³/h, temperatura de entrada da água 29,0 °C, temperatura de saída da água de 24,9 °C e temperatura de bulbo úmido de 23,4 °C. A variação de temperatura da entrada da água quente e da saída de água fria (ΔT) é de 4,1 °C. O volume de água da bacia de cada torre é de aproximadamente 9.500 litros, sendo para as quatro torres 38.000 litros.

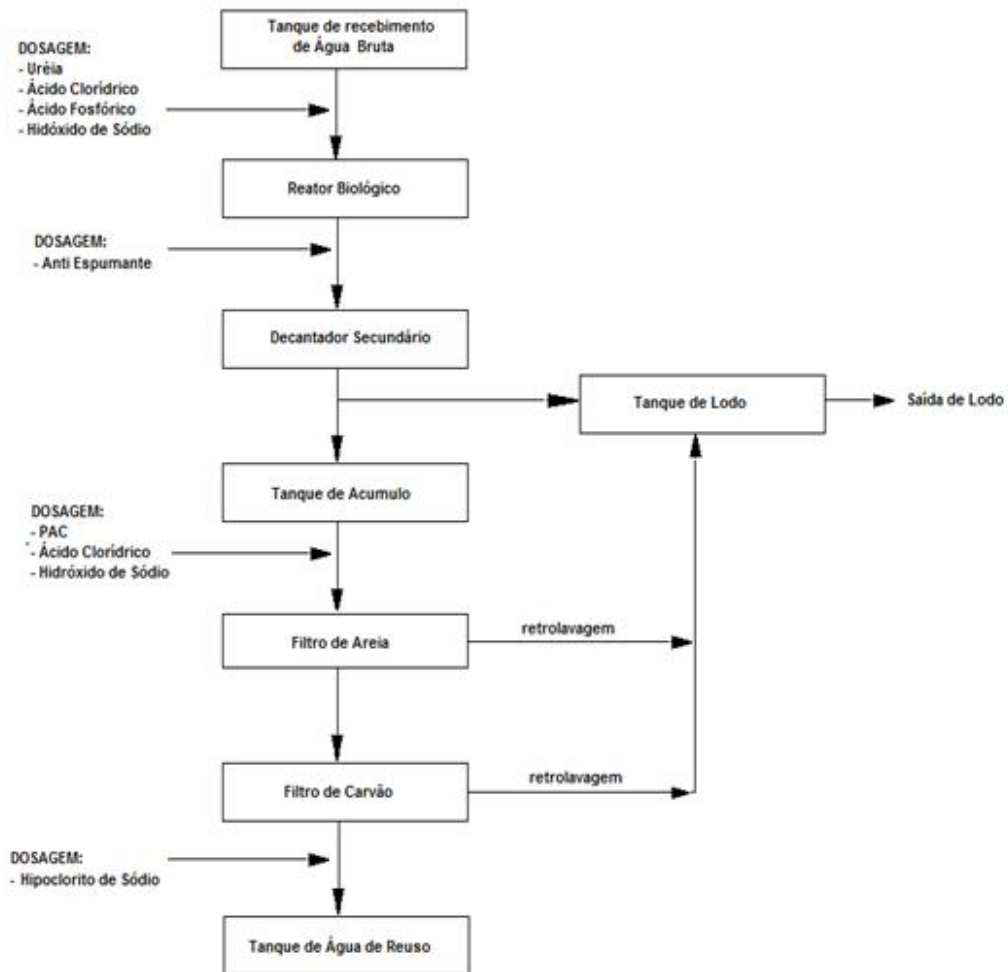
Figura 2: Dimensões da torre de tiragem induzida.



Fonte: Autores (2022).

A ETAR é composta de dois tanques de água de reuso (água cinza e água tratada). Os dois reservatórios de água de reuso contêm o Tanque 1 para água tratada mais águas pluviais e o Tanque 2 com água não tratada, com capacidade de 350 m³ e 360 m³, respectivamente. O Tanque 1 tem a função de armazenamento da água tratada vinda da ETAR, e da captação de águas pluviais da cobertura do edifício após passagem em filtros vórtice. O Tanque 2 recebe águas cinzas das pias e chuveiros e água condensada proveniente do sistema de climatização *HVAC*. Após tratamento da água do Tanque 2 é encaminhada para o Tanque 1 e por fim enviada para dois reservatórios de água de reuso no pavimento superior e distribuída por colunas até os pontos de utilização. Para o tratamento dos efluentes o complexo é formado por tanques de concreto (aeração e equalização), sopradores de ar, bombas dosadoras, filtros, medidores e controladores de dosagem, compressores, medidores de vazão, válvulas de controle e bombas de transferência. Ao sair da unidade de tratamento biológico, o efluente é clorado com indução de produto pelo tanque de hipoclorito, duplamente filtrado (filtração rápida em areia, para remoção dos sólidos suspensos residuais e filtração de carvão ativado para adsorção dos compostos voláteis) sendo novamente clorado para manutenção do teor residual regulamentar, conforme Figura 3.

Figura 3: Processo de tratamento da água de reuso.



Fonte: Autores (2022).

2.1 Descrição do processo de tratamento da água de reuso

2.1.1 Tanque de água bruta

A água bruta é aquela sem tratamento e imprópria ao consumo humano. No tanque há um transmissor de nível que ativa, alternadamente, as bombas centrífugas levando a água bruta para o reator biológico.

2.1.2 Dosagem

São feitas através das bombas dosadoras para acertos e complementação da necessidade de nutrientes aos microrganismos formados no reator biológico.

2.1.3 Reator biológico

A finalidade de um reator biológico é possibilitar um ambiente apropriado aos microrganismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Para o processo do reator, está instalado um soprador de ar tipo *roots* que funciona alternadamente com difusores de membrana elástica criando microbolhas e promovendo a aeração. Neste processo o resíduo é equilibrado por meio biológico no reator em condições aeróbias através de cultura variada de microrganismos. A aeração acontece por ar difuso, ou seja, na dissolução no interior do líquido o oxigênio do ar atmosférico, mantendo a massa sob aeração em contínua agitação homogeneizando seu conteúdo e impedindo que as partículas em suspensão se alojem no fundo

do tanque. Por possuir maior quantidade de biomassa a estabilização é realizada no próprio reator em virtude de sua eficiência na remoção de DBO.

2.1.4 Decantador secundário

A finalidade do decantador secundário é separar os flocos microbianos, promovendo a concentração do material sedimentado. Por meio de válvulas, ocorre a passagem do efluente, por gravidade, do reator ao decantador e após a retirada dos sólidos suspensos do efluente, por sedimentação, será clarificado e encaminhado ao tanque de acúmulo. Já o lodo sedimentado é redirecionado ao reator biológico.

2.1.5 Tanque de acúmulo

Por meio de bomba centrífuga o efluente clarificado chega ao tanque de acúmulo que contém filtro de areia e de carvão que realizam a retro lavagem e o refinamento possibilitando o reuso dos efluentes tratados após desinfecção por cloro.

2.1.6 Tanque de lodo

Neste tanque fica alojado o lodo descartado do efluente da retro lavagem e drenagem do filtro de areia, que serão bombeados para destinação final.

2.1.7 Tanque de armazenamento de água de reuso

Após a saída do efluente do filtro de carvão é direcionado para o tanque de água de reuso, onde é realizada a dosagem de hipoclorito de sódio por meio de bomba dosadora.

2.2 Captação de água para o reuso

É feita pelo aproveitamento de águas pluviais captadas da cobertura do edifício, da água condensada proveniente do sistema de climatização *HVAC* (*Heating, ventilating and air conditioning*) e da água advindas das pias e chuveiros.

2.2.1 Média de precipitação de chuvas na cidade de Santos

Os dados demonstrados na Tabela 1, representam o comportamento da chuva ao longo do ano na cidade de Santos e mostram as médias climatológicas de valores calculados a partir de uma série de informações de 30 anos de observação (Climatempo, 2022).

Tabela 1: Médias de precipitação de chuvas na cidade de Santos-SP.

Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	219
Fevereiro	198
Março	218
Abril	149
Mai	136
Junho	108
Julho	118
Agosto	96
Setembro	170
Outubro	175
Novembro	168
Dezembro	196
Média	162,58

Fonte: Autores (2022).

2.2.2 Volume de água de chuva aproveitável

Para estabelecer o volume de chuva aproveitável, foi utilizado o Método de Rippl, para determinar o volume de chuva aproveitável no tempo t , em m^3 (Q_t) que é igual ao coeficiente de escoamento superficial ou de Runoff (C) utilizada a variação de 0,90, que é a diferença entre o volume de água que pode ser utilizada com a que é precipitado, $1/1000$ é a conversão de unidade mm para m, disposto como Equação 1.

$$Q_t = C \cdot CMM \cdot \frac{1}{100} \cdot A \quad (1)$$

$$Q_t = 0,90 \cdot 162,58 \text{ mm} \cdot \frac{1}{100} \cdot 1619,19 \text{ m}^2 \quad (1.1)$$

$$Q_t = 236,92 \text{ m}^3/\text{mês} \quad (1.2)$$

Onde: Q_t = Volume de precipitação [m^3]; C = Coeficiente de escoamento superficial [adimensional]; CMM = média mensal de chuva [mm] e A = Área de captação [m^2].

2.2.3 Captação de água dos condensadores do ar condicionado

Constituído por 400 condicionadores de ar tipo hidrônico, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Captação de água dos condensadores do ar condicionado.

BTU	Quantidade aparelhos	L/hora	Total L/ dia (12 hs)	Total (L/dia) X Quantidade de aparelhos	Total (L/mês)	Total (m ³ /mês)
7000	14	0,8	10	141	4234	4,2
7500	20	1,0	11	228	6840	6,8
9000	90	1,0	12	1123	33696	33,6
12000	145	1,1	13	1844	55332	55,3
18000	40	1,1	14	542	16272	16,2
22000	40	1,4	17	691	20736	20,7
24000	25	2,3	27	675	20250	20,2
36000	18	3,0	36	648	19440	19,4
48000	5	4,0	48	242	7254	7,2
60000	3	4,1	49	148	4428	4,4
Total	400	19,8	238	6283	188482	188,0

Fonte: Autores (2022).

2.2.4 Captação de água das pias e chuveiros

Para determinar a quantidade de água recolhida de pias, proveniente de cento e trinta e seis pias dos banheiros e dezessete pias dos pavimentos. O ICM - Índice do consumo mensal é dado pelo valor do número de pessoas (NA), pela quantidade de consumo diário por pessoa Cde (Litros de água) e pela quantidade de dias no mês (Dm) dividido por 1000, conforme Equação 2.

$$ICM = \frac{NA \cdot C_{de} \cdot D_m}{1000} \quad (2)$$

$$ICM = \frac{1.800 \text{ pessoas} \cdot 5 \text{ Litros de água/dia} \cdot 30 \text{ dias}}{1000} \quad (2.1)$$

$$ICM = 270,0 \text{ m}^3/\text{mês} \quad (2.2)$$

Para o cálculo do consumo de água nos quarenta chuveiros, onde cinquenta pessoas das áreas de serviços gerais e manutenção usam por dia, foi utilizado a mesma Equação 2, alterando para ICM1, Cde (Litros de água/pessoa/dia), tornando como Equação 3.

$$ICM1 = \frac{NA \cdot C_{de} \cdot D_m}{1000} \quad (3)$$

$$ICM1 = \frac{50 \text{ pessoas} \cdot 135 \text{ Litros de água/dia} \cdot 30 \text{ dias}}{1000} \quad (3.1)$$

$$ICM1 = 202,5 \text{ m}^3/\text{mês} \quad (3.2)$$

2.2.5 Captação de água de reuso

Os dados experimentais coletados para este trabalho, foram feitos a partir das planilhas de captação de água de reuso (m³) mensal obtidos em diversas áreas do edifício empresarial estudado no ano de 2021. A tabela é composta de seis colunas,

sendo a primeira o mês, na segunda do 3º ao 8º andar, na terceira da cobertura, na quarta a área do embasamento, na quinta do 9º ao 16º andar, já na sexta coluna são exibidos a soma da captação da água de reuso (m³), conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Captação de água de reuso.

Mês	3º ao 8º andar (m ³)	Cobertura (m ³)	Embasamento (m ³)	9º ao 16º andar (m ³)	Captação Água Reuso (m ³)
Janeiro	236	271	163	232	902
Fevereiro	261	369	148	218	996
Março	268	244	139	314	965
Abril	277	216	190	241	924
Maio	266	189	127	295	877
Junho	258	245	147	278	928
Julho	269	336	138	255	998
Agosto	218	125	139	266	748
Setembro	237	258	183	268	946
Outubro	188	221	175	290	874
Novembro	195	169	166	245	775
Dezembro	198	223	207	267	895
Total	2871	2866	1922	3169	10828

Fonte: Autores (2022).

2.3 Perda de água na torre de resfriamento

Neste trabalho, o estudo sobre as perdas de água por evaporação, arraste e purga em uma torre de resfriamento é muito importante, pois será analisado a reposição pela água de reuso.

As perdas por evaporação são relevantes, pois a água nas torres é resfriada principalmente pela evaporação de uma parte da água circulante, ocorrendo o aumento da concentração de sólidos dissolvidos e outras impurezas. A taxa de evaporação é de aproximadamente 1,0 % da taxa de fluxo de água para cada ΔT de 5,6 °C da faixa de resfriamento (Shublaq & Sleiti, 2020). A evaporação ocorre em virtude de alguns fatores como as temperaturas que fazem parte do processo, vazão de água, carga térmica do equipamento, ventilação da torre e das condições climáticas. Sabe-se que em países com temperaturas mais quentes como no Brasil, ocorre uma maior perda de água por evaporação em detrimento de países mais frios.

Nas perdas de água por arraste, a entrada de água quente na torre de resfriamento necessita ser resfriada, para tanto é necessário que ela seja distribuída de forma uniforme sobre toda a área do conjunto do enchimento para se obter uma maior eficiência de troca térmica, para se alcançar este objetivo são utilizados dispositivos chamados de bicos aspersores de água. A função dos bicos aspersores é dispersar a água em forma de gotas visando o menor tamanho possível, buscando atingir toda a área do conjunto de enchimento da torre para um melhor resfriamento. Todavia, gotas muito pequenas e, portanto, com menor massa, podem ser arrastadas pelo fluxo de ar ocasionado pelo conjunto de ventilação da torre (sistema de motorização e hélice) e jogadas para fora da torre. Esse efeito é notado por quem está ao redor do equipamento quando é atingido pelas gotículas que caem ou pode ser observado, também, pela área molhada que se forma ao redor do equipamento. Dependendo da velocidade do ar e do tamanho das gotas elas acabam evaporando antes de serem percebidas.

O processo de purga é importante para a conservação da qualidade da água do sistema e para a melhor eficiência do seu tratamento químico, reduzindo o acúmulo de contaminação e sólidos na torre de resfriamento, protegendo a eficácia do equipamento e prolongando sua vida útil, portanto, é importante o tratamento químico, bem como, a drenagem constante da água chamada de purga de desconcentração, que é uma pequena drenagem de água no fundo das bacias para evitar o acúmulo de excesso de sais, já que no processo de evaporação dentro das torres apenas a água evapora, os sais não, é necessária para

evitar a concentração excessiva de sais que aumentam a probabilidade de incrustações e oxidações nas paredes internas de todo o circuito da água.

2.3.1 Cálculo da evaporação (%E)

Em uma torre de resfriamento a principal colaboração para o resfriamento da água é oferecida pela evaporação, que é a transferência de massa da fase líquida (água) para a fase gasosa (ar), causando a diminuição da temperatura da água que percorre a torre. Para determinar a entalpia da evaporação foi utilizada tabela termodinâmica da água saturada (Olender, 2014), através da interpolação foi achado o valor de h_v , demonstrado na Equação 4.

$$\%E = \frac{C_p \cdot \Delta T}{h_v} \cdot 100 \quad (4)$$

$$\%E = \frac{1,0 \text{ Mcal} \cdot (4,1^\circ\text{C})}{599,51 \text{ Mcal/m}^3} \cdot 100 \quad (4.1)$$

$$\%E = 0,68\% \quad (4.2)$$

Sendo: C_p = calor específico da água [Mcal/ton°C]; ΔT = variação de temperatura da água da torre [°C] e h_v = entalpia da evaporação [Mcal/m³].

2.3.2 Ciclos máximos de concentração

Para se determinar o ciclo de concentração para cada intervalo de variação de temperatura foi utilizada a Tabela 4. O ΔT de cada torre estudada é de 4,1 °C e ciclos de concentração máximos de 10,08 %.

Tabela 4: Ciclos máximos de concentração.

Varição de temperatura (°C)	Ciclos máximos de concentração
4	10,08
5	12,60
10	24,10
15	35,70
20	47,30

Fonte: Mierzwa e Hespanhol (2005), adaptado pelos autores.

2.3.3 Cálculo da purga (P%)

É a drenagem periódica da água da torre evitando a concentração dos sais motivada pela evaporação da água que formam incrustações nos trocadores de calor dos equipamentos resfriados. A Equação 5 apresenta o cálculo da purga.

$$P(\%) = \frac{E(\%)}{(N - 1)} - A(\%) \quad (5)$$

$$P(\%) = \frac{0,68\%}{10,08 - 1} - 0,01\% \quad (5.1)$$

$$P(\%) = 0,06\% \quad (5.2)$$

Onde: (E) = evaporação em % da vazão de circulação; (A) = arraste em % da vazão de circulação e (N) = ciclos de concentração em % da vazão de circulação.

2.3.4 Cálculo do balanço global da água de reposição da torre de resfriamento (R%)

São quatro os parâmetros principais, a taxa de reposição de água ou *make-up* (R), taxa de evaporação (E), taxa purga (P) e taxa de arraste (A), disposto na Equação 6.

$$\%R = \%E + \%P + \%A \quad (6)$$

$$\%R = 0,68\% + 0,06\% + 0,01\% \quad (6.1)$$

$$\%R = 0,75\% \quad (6.2)$$

2.3.5 Cálculo da vazão de reposição global da água da torre de resfriamento (Q_r)

Na Equação 7, a vazão de água na torre de resfriamento em (m³/h), corresponde a (C). Para o cálculo de uma torre foi utilizado a nomenclatura (Q_{r1}) e para o conjunto das quatro torres do edifício empresarial (Q_{r4}).

$$Q_r = \frac{\%R \cdot C}{100} \quad (7)$$

$$Q_{r1} = \frac{0,75\% \cdot 66,5 \text{ m}^3/\text{h}}{100} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7.1)$$

$$Q_{r4} = \frac{0,75\% \cdot 265,9 \text{ m}^3/\text{h}}{100} = 2,0 \text{ m}^3/\text{h} \quad (7.2)$$

3. Resultados e Discussão

Inúmeras pesquisas em todo o mundo foram realizadas mostrando que a captação de água da chuva em telhados, como fonte alternativa de abastecimento, é uma excelente possibilidade pois diminui a utilização de água potável, não provoca impactos ambientais, além de promover economia financeira (Karim, *et al.*, 2021). Porém, é importante ressaltar que depende da localidade, dos volumes precipitados e sua variabilidade temporal. Assim como, a capacidade de armazenamento e área de superfícies para captação da água da chuva tem que ser suficiente (Fernandes, *et al.*, 2015). Neste trabalho foi utilizado o Método de Rippl, onde retirou a série histórica da precipitação de chuvas na cidade de Santos-SP, durante 30 anos, além de ter sua aplicação mais apropriada onde a demanda acumulada de água é aproximadamente igual ou um pouco inferior ao suprimento. Mierzwa, *et al.*, (2007) citam que para utilização deste método é necessário possuir reservatórios com grandes volumes. Segundo Tomaz (2011), quanto o assunto é referente ao aproveitamento de água de chuva, este método é muito usado em virtude de sua ampla utilização e simplicidade de cálculo.

A precipitação de chuvas na cidade de Santos-SP, disposta na Tabela 1, apresentou como média 162,58 mm, porém, com base nos dados das Normais Climatológicas do Brasil no período de 1961 a 1990 do Instituto Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (INMET, 2019), a precipitação acumulada anual de 337 municípios do Brasil, a cidade de Santos está em 61º lugar com 199,0 mm, portanto, há uma pluviosidade relativamente alta, mas segundo informações do Centro Integrado de Informações Agrometeorologias (Ciiagro, 2019), os índices médios de chuva foi muito abaixo da média histórica, pois em 2015 foi de 119,8 mm, em 2016 de 97,7 mm, no ano de 2017 mostrou 117,3 mm e em 2018 obteve 132,8 mm.

O volume de água de chuva aproveitável (Q_t), descrito na Equação 1, onde 0,90 foi o coeficiente de escoamento superficial (C), 162,58 mm foi a média mensal de chuva (CMM) e a área de captação (A) com 1.619,19 m², apresentou como resultado 236,92 m³/mês.

O conforto térmico é importante para a saúde e bem-estar, assim como, para a produtividade. Geralmente a sua falta provoca estresse entre as pessoas, pois quando está muito quente podem se sentir cansadas e quando está muito frio ficam inquietas e distraídas, portanto o conforto térmico tem a ver com a temperatura e só pode ser alcançado quando a temperatura do ar, a umidade e o movimento do ar estão em equilíbrio adequado entre si. Os sistemas de ar condicionado, em geral, são utilizados para fornecer ar com temperatura e umidade confortáveis e a água pode ser um subproduto desses sistemas. (Luqman & al-Ansari, 2021). Os sistemas de ar condicionado não retiram o ar do lado de fora para dentro da câmara e sim fazem recircular sucessivamente o ar frio no espaço. Como esse ar é continuamente umidificado, a refrigeração faz com que o vapor de água quente atmosférico se condense nos circuitos de refrigeração formando gotículas de água que se deslocam para uma placa na parte inferior da peça e saem por meio de um orifício de calha, onde é recolhido para reutilização (Abdullah & Mursalim, 2021).

A captação de água dos condensadores dos 400 condicionadores de ar, conforme Tabela 2, apontou que houve uma coleta de 188 m³/mês.

Em geral a água cinza é definida como águas residuais produzidas a partir de usos domésticos como lavagem de mãos, banho e lavagem de roupas. Normalmente, por ter baixo nível de contaminação, há um maior potencial de reutilização reduzindo a demanda de água potável (Allen, *et al.*, 2010).

Com relação ao recolhimento de água das pias, Equação 2, onde o número de pessoas (NA) é de 1.800, a quantidade de consumo diário por pessoa Cde de são 5 L e em 30 dias no mês (Dm), obteve como resultado um ICM de 270,0 m³/mês.

Já na captação de água dos chuveiros, Equação 3, obteve 202,5 m³/mês de água, onde 50 pessoas (NA) utilizam, com um consumo diário por pessoa, Cde, de 135 (L) por 30 dias/mês (Dm).

A Tabela 3, apresenta o somatório entre a captação de água de chuva, água dos condensadores do ar condicionado das pias e dos chuveiros, os dados coletados com as medições reais realizadas em campo no período de janeiro a dezembro, apresentaram uma captação de 10.828 m³, sendo a média de 902,3 m³/mês. Os resultados apresentam que a captação do 3º ao 8º andar foi de 2871 m³, ocorrendo no mês de abril o maior volume, 277 m³ e o menor em outubro com 188 m³, mostrando uma média de 239,25 m³/mês. A cobertura do edifício, proveniente da precipitação de chuva, captou 2866 m³, sendo a média de 238,83 m³/mês. No embasamento foi o setor com menor índice, chegando a 1922 m³ e média de 160,17 m³/mês, já em contrapartida do 9º ao 16º andar foi onde ocorreu o maior volume de captação com 3169 m³, apresentando como média mensal 264,1 m³.

Os cálculos para reposição da perda de água, para uma torre de resfriamento, apresentaram os seguintes resultados.

Com relação a perda por evaporação (%E), Equação 4, mostrou como resultado 0,68 %, onde C_p calor específico da água é 1,0 Mcal/ton°C, a variação de temperatura da água da torre (ΔT) foi de 4,1 °C e a entalpia da evaporação (hv) 599,51 Mcal/m³.

Analisando as perdas da purga (P%), demonstrado na Equação 5, apresenta 0,68 % referente a evaporação (E) da vazão de circulação; 0,01% arraste da vazão de circulação (A) e 10,08 (N) ciclos de concentração em % da vazão de circulação, apresentando como resultado 0,06 %.

A Equação 6, indica o resultado do balanço global da água de reposição da torre de resfriamento (R%), onde o somatório de (E) é 0,68 %, mais o (P) é 0,06 % e mais o (A) 0,01%, tem como resultado 0,75 %.

Já com relação a vazão de reposição global da água da torre de resfriamento (Qr), disposto na Equação 7, o cálculo apresenta como resultado 0,5 m³/h, sabendo que R % é 0,75 e (C) 66,5 é a vazão de água na torre de resfriamento em m³/h.

Calculando as porcentagens da evaporação de 0,68 %, das perdas da purga 0,06 % e do arraste de 0,01%, em relação a vazão de circulação de água para uma torre de resfriamento de 66,5 m³/h e utilizando cálculos de conversão, tem-se com resultado, para uma torre, a vazão de evaporação de 0,45 m³/h, para a purga 0,04 m³/h e para o arraste 0,006 m³/h. Para o conjunto das quatro torres, manteve-se as mesmas porcentagens alterando a vazão de recirculação para 266,0 m³/h, tendo como resultado a vazão de evaporação 1,81 m³/h, da purga de 0,16 m³/h e para o arraste 0,03 m³/h.

4. Conclusão

Com a finalidade de possibilitar no futuro uma maior disponibilidade de água, principalmente com referência a potabilidade para o uso humano, a reutilização de água se faz urgente e fundamental.

Apesar de observamos esforços em vários países, principalmente de avanços tecnológicos para diminuir este problema, ainda se mostra muito pouco para a necessidade da demanda futura.

Neste trabalho, através de levantamento de dados de campo, facilitado em virtude da empresa, além de possuir um complexo sistema de automação ter, também, a consciência de que a implantação deste sistema traz benefícios em relação ao consumo de água, foram analisadas no período de janeiro a dezembro de 2021, a reutilização de águas pluviais, captadas da cobertura do edifício, da água condensada do sistema de climatização (*HVAC*) e da água advindas das pias e chuveiros, com a finalidade de recompor a água perdida nas quatro torres de resfriamento da empresa.

Utilizando cálculos matemáticos para se achar a média da água recolhida, denominado como captação de projeto, ou captação ideal, os dados do consumo mensal dos hidrômetros da ETAR coletados com as medições reais e transferidos para planilhas de controle em todo período analisado, além dos cálculos da vazão da evaporação, purga, arraste e da vazão de reposição global da água, nas quatro torres de resfriamento, conclui-se que a houve uma captação de água de reuso de 10.828 m³/ano e uma perda de água pelas torres de 17.280 m³/ano. A diferença de 6.452 m³/ano é reposta, no sistema, pela concessionária estadual de água.

Referências

- Abdullah, M. A., & Mursalin, R. (2021). Condensed water recycling in an air conditioning unit. *Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 18(3). Ser. II, 13-19.
- Albolafio, S., Marín, A., Allende, A., García, F., Simón-Andreu, P. J., Soler, M. A., & Gil, M. I. (2022). Strategies for mitigating chlorinated disinfection byproducts in wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 288, 132583. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132583>.
- Allen, L., Christian-Smith, J., & Palaniappan, M. (2010). Overview of greywater reuse: The potential of greywater systems to aid sustainable water management. Pacific Institute California: USA. 978-1-893790-29-2.
- Alpina Equipamentos. (2019). Perdas de água em torres de resfriamento. <https://www.alpinaequipamentos.com.br/publicacao/perdas-de-agua-em-torres-de-resfriamento/2>.
- Armeanu, D., Vintilă, G., & Gherghina, Ș. (2017). Does renewable energy drive sustainable economic growth? Multivariate panel data evidence for EU-28 countries. *Energies*, 10(3), 381. [10.3390/en10030381](https://doi.org/10.3390/en10030381).
- Bazzarella, B. B. (2005). Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações. 150 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.
- Beomjoon, L., Chul, W. R., Bong, S. C., Eunseok, W., Ho-Sang, R., Junhyun, C., Jongjae, C., Hyungki, S., Jong, W. C., & Gilbong, L. (2020). Experimental evaluations on the outdoor air-based methods for water saving and plume abatement of cooling tower. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15, 421–426. [10.1093/ijlct/ctz078](https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz078).
- Bernauer, T., & Böhmelt, T. (2020). International conflict and cooperation over freshwater resources. *Nat Sustain*, 3, 350–356. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0479-8>.
- Biswas, A. K. (1999). Management of international waters: Opportunities and constraints. *International Journal of Water Resources Development*, 15(4), 429–441. [10.1080/07900629948691](https://doi.org/10.1080/07900629948691).
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Foire, S., Demichelis, F., Galvão, A., Piscoiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment*, 711, 134731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>.

- Boretti, A., & Rosa, L. (2019). Reassessing the projections of the world water development report. *npj Clean Water* 2(15) <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>.
- Brasil. Águas do Brasil. (2020). Reuso- Instrumento de um novo modelo de gestão das águas. <https://aguasdobrasil.org/artigo/reuso/>.
- Cardoso, B. J., Rodrigues, E., Gaspar, A. R., & Gomes, A. (2021). Energy performance factors in wastewater treatment plants: A review. *Journal of Cleaner Production*. 322. 129107. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129107>.
- Cheng, Y., Niu, J., Liu, X., & Gao, N. (2013). Experimental and numerical investigations on stratified air distribution systems with special configuration: Thermal comfort and energy saving. *Energy and Buildings*. 64, 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.04.026>.
- CIIAGRO- Centro Integrado de Informações Agrometeorologias. (2019). <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/quadros/qchuvaperio.do.asp>.
- Climatempo. (2022). <https://www.climatempo.com.br/climatologia/540/santos-sp>.
- Deziane, M., Rahmani, K. H., Roudaki, S. J. M., & Kordloo, M. (2015). Feasibility study for reduce water evaporative loss in a power plant cooling tower by using air to air heat exchanger with auxiliary fan. *Desalination*. 406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2015.12.007>.
- Fernandes, L. F. S., Terêncio, D. P. S., & Pacheco, F. A. L. (2015). Rainwater harvesting systems for low demanding applications. *Science of The Total Environment*. 529, 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.061>.
- Fiori, S., Fernandes, V. M. C., & Pizzo, H. (2006). Avaliação qualitativa e quantitativa do reuso de águas cinzas em edificações. *Ambiente Construído*. 6(1). 19-30.
- Graziano, J. (2017). Escassez de água, desafio à sustentabilidade. Valor Econômico. São Paulo. Opinião. 27 mar. <http://www.valor.com.br/opiniao/4914566/escassez-de-agua-desafio-sustentabilidade>.
- Grünwald, R., Feng, Y., & Wang, W. (2020). Reconceptualization of the transboundary water interaction nexus (TWINS): approaches, opportunities and challenges. *Water International*. 45(5). 1-21. 10.1080/02508060.2020.1780854.
- Hadjikakou, M., Stanford, B. D., Wiedmann, T., Rowley, H. V., Kobayashi, Y., Ishii, S., Gaitan, J. P. A., Johns, G., Lundie, S., & Khan, S. J. (2019). A flexible framework for assessing the sustainability of alternative water supply options. *Science of The Total Environment*. 671, 1257–1268. 10.1016/j.scitotenv.2019.03.288.
- Halkos, G. E., & Gkampoura, E. C. (2020). Reviewing usage, potentials, and limitations of renewable energy sources. *Energies*. 13 (11). 2906. 10.3390/en13112906.
- Hashemi, F., Hashemi, H., Shahbazi, M., Dehghani, M., Hoseini, M., & Shafeie, A. (2020). Reclamation of real oil refinery effluent as makeup water in cooling towers using ultrafiltration, ion exchange and multioxidant disinfectant. *Water Resources and Industry*. 23, 100123. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100123>.
- Hespanhol, I. (2002). Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 7(4). 75-95.
- Hogeboom, R. J. (2020). The water footprint concept and water's grand environmental challenges. *One Earth*. 2(3), 218–222. 10.1016/j.oneear.2020.02.010.
- INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. (2019). Normas Climatológicas do Brasil no período de 1961 a 1990- Precipitação Acumulada Mensal e Anual (mm). www.inmet.gov.br/webcdp/.../1961.../Precipitacao-Acumulada_NCB_1961-1990.xls.
- Karim, R. M. D., Sakib, S. B. M., Sakib, S. S. K., & Imteaz, M. A. (2021). Rainwater harvesting potentials in commercial buildings in Dhaka: Reliability and economic analysis. *Hydrology*. 8, 1-16. <https://doi.org/10.3390/hydrology8010009>.
- Kim, R. H., Lee, S., Jeong, J., Lee, J. H., & Kim, Y. K. (2007). Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane. *Desalination*. 202, 326–332. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.12.071>.
- Li, F., Wichmann, K., & Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*. 407. 11, 3439 – 49. March. 10.1016/j.scitotenv.2009.02.004.
- Luqman, M., & Al-Ansari, T. (2021). A novel integrated wastewater recovery, clean water production and air-conditioning system. *Energy Conversion and Management*. v. 244. September. 114525. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114525>.
- Macedonio, F., Drioli, E., Gusev, A. A., Bardowe, A., Semiatf, R., & Kurihara, M. (2012). Efficient technologies for worldwide clean water supply. *51*, 2-17. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.09.011>.
- Manna, S. (2018). Treatment of gray water for reusing in non-potable purpose to conserve water in India. *International Journal of Applied Environmental Sciences*. 13(8), 703-16.
- March, J., Gual, M., & Orozco, F. (2004). Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). *Desalination*. 164(3), 241–47. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(04\)00192-4](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(04)00192-4).
- Masi, F., Rizzo, A., & Regelsberger, M. (2018). The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm. *Journal of Environmental Management*. 216, 275-284. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.086>.
- Mierzwa, J. C., & Hespanhol, I. (2005). *Água na Indústria: Uso Racional e Reuso*. SP. Ed. Oficina de Textos.

- Mierzwa, J. C., Hespanhol, I., Silva, M. C. C., & Rodrigues, L. B. (2007). Águas pluviais: métodos de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. *Rega*. 4(1). 29-37.
- Moriarty, P., & Honnery, D. (2019). Global renewable energy resources and use in 2050. *Managing Global Warming*. 221–235. 10.1016/b978-0-12-814104-5.00006-5.
- Olender, A. (2014). Tabelas termodinâmicas. <file:///C:/Users/quali/Downloads/PME3398%20-%20Tabelas%20Termodin%C3%A2micas.pdf>.
- Revel, G. M., & Arnesano, M. (2014). Perception of the thermal environment in sports facilities through subjective approach. *Building and Environment*. 77, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.017>.
- Ricart, S., & Rico, A. M. (2019). Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor. *Agricultural Water Management*. 217, 426-439. 10.1016/j.agwat.2019.03.017.
- Roshan, A., & Kumar, M. (2020). Water end-use estimation can support the urban water crisis management: A critical review. *Journal of Environmental Management*. 268. 110663. 10.1016/j.jenvman.2020.110663.
- Shafiei, M., Moosavirad, S. H., Azimifard, A., & Biglari, S. (2020). Water consumption assessment in Asian chemical industries supply chains based on input–output analysis and one-way analysis of variance. *Environmental Science and Pollution Research*. 27. 12242–12255. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07707-6>.
- Shoushtarian, F., & Negahban-Azar, M. (2020). Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: A Critical Review. *Water*. 12, 971. <https://doi.org/10.3390/w12040971>.
- Shublaq, M., & Sleiti, A. K. (2020). Experimental analysis of water evaporation losses in cooling towers using filters. *Applied Thermal Engineering*. v. 175. July. 115418. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115418>.
- Taghian D. S., & Ahmadikia, H. (2017). Retrofit of a wet cooling tower in order to reduce water and fan power consumption using a wet/dry approach. *Applied Thermal Engineering*. 125, 1002–1014. 10.1016/j.applthermaleng.2017.07.069.
- Tomaz, P. (2011). Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. 85-87678-23-X.
- Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V., & Angelakis, A. N. (2020). Water supply and water scarcity. *Water*. 12(9), 2347. 10.3390/w12092347.
- Viggiano, M. H. S. (2005). Sistemas de reuso das águas cinzas. *Revista Técnica*. São Paulo:SP. Pini, ano 13(98), 76-79.
- Zeitoun, M., Mirumachi, N., Warner, J., Kirkegaard, M., & Cascão, A. (2019). Analysis for water conflict transformation. *Water International*. 45(2), 1–20. 10.1080/02508060.201.1607479.
- Zhu, Q., Zhang, B., Chen, Q., He, C., Foo, D.C.Y., Ren, J., & Yu, H. (2020). Model reductions for multiscale stochastic optimization of cooling water system equipped with closed wet cooling towers. *Chemical Engineering Science*. 224. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.115773>.
- Wagner, T. V., Parsons, J. R., Rijnaarts, H. H. M., de Voogt, P., & Langenhoff, A. A. M. (2019). A review on the removal of conditioning chemicals from cooling tower water in constructed wetlands. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 48, 19-21. 10.1080/10643389.2018.1512289.
- Wang, Y., Zhou, Y., Franz, K., Zhang, X., Ding, K. J., Jia, G., & Yuan, X. (2021). An agent-based framework for high-resolution modeling of domestic water use. Resources. *Conservation and Recycling*. 169, 105520. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105520>.
- Wei, T. (2017). Application of reclaimed water reuse technology in office buildings. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*. 32(12). 129-136.
- WJW Foundation. (2018). Water reuse practice guide. Charles Pankow Foundation. PO. Box 820631. Vancouver. WA:US.
- WWAP. (2018). World water assessment programme (Nations Unies). The United Nations World Water Development Report 2018 (United Nations Educational. Scientific and Cultural Organization. New York, United States). www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/.