

REVISTA AIDIS

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

AVALIAÇÃO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES COM FOCO EM MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE REUSO: ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Rodrigo José Gonçalves da Cunha¹
Liane Yuri Kondo Nakada²
Regina Márcia Longo¹
* Rodrigo Custódio Urban¹

EVALUATION OF A WASTEWATER TREATMENT PLANT FOCUSING ON THE IMPROVEMENT OF REUSE WATER QUALITY: A CASE STUDY IN A PHARMACEUTICAL INDUSTRY

Recibido el 29 de julio de 2020. Aceptado el 13 de enero de 2021

Abstract

This study aims to diagnose an existing effluent treatment and reuse water production system, located in a pharmaceutical industry, and to evaluate the quality of the treated effluent, as well as the reuse water, in order to promote and expand their use. The study was made based on the history of analyzes of the treated effluent and the reuse water, already used in cooling and sanitary systems. The data were organized and related to the normative and technical standards regarding the applications of reuse water. The characterization of the samples was evaluated in relation to the current use and the possible scenarios of expansion of the reuse, using statistical tools. The results show that only disinfection is a process that needs improvement, compared to current use. With improvements in the disinfection system and adherence to the monitoring of parameters recommended in legislation, the applications of reuse water can be expanded and, with investment in advanced tertiary treatment technologies, the parameters of reuse water can approach potability standards. Opportunities for improvements were detected in the cooling water system, in which reuse water is applied, and the possibility of using reuse water in boilers, with the potential for annual savings in the order of R \$ 300,000.00 / year.

Keywords: *water reuse, wastewater treatment, reuse standards.*

¹ Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Brasil.

² Departamento de Infraestrutura e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

* *Autor correspondente:* Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. Rua Professor Dr. Euryclides de Jesus Zerbini, 1516 – Pq. Rural Fazenda Santa Cândida, Campinas, São Paulo, Brasil. CEP: 13087-571. Email: rodrigo.urban@puc-campinas.edu.br

Resumo

Este trabalho tem como objetivo realizar o diagnóstico de um sistema de tratamento de efluentes e produção de água de reuso existente, localizado em uma indústria farmacêutica, avaliando se a qualidade do efluente tratado e da água de reuso estão adequadas aos usos atuais e se possui potencial para ampliar sua utilização. O estudo foi feito a partir do histórico de dados obtidos nas análises do efluente tratado e da água de reuso, já utilizada em sistemas de resfriamento e sanitários. Os dados foram organizados e relacionados com os padrões normativos e técnicos referentes às aplicações da água de reuso. Foi avaliada, utilizando ferramentas estatísticas, a qualidade da água em relação ao uso atual e os possíveis cenários de ampliação do reuso. Os resultados mostram que somente a desinfecção é um processo que carece de melhorias, em relação a qualidade exigida para o uso atual da água de reuso. Com melhorias no sistema de desinfecção, monitoramento dos parâmetros de qualidade preconizados em legislação e investimentos em tecnologias de tratamento terciário avançado, as aplicações da água de reuso podem ser ampliadas. Foram detectadas oportunidades de melhorias no sistema de águas de resfriamento, no qual a água de reuso é aplicada, e a possibilidade de utilização da água de reuso em caldeiras, que representaria um ganho financeiro relevante.

Palabras chave: reuso de água, tratamento de efluentes, padrões de reuso.

Introdução

Com o aumento populacional, existe um incremento constante na demanda de água, nos setores agrícola, doméstico e industrial (Roshan e Kumar, 2020). De acordo com a ONU (2020), estes setores continuam aumentando sua demanda num ritmo estável de cerca 1% ao ano, o que pode nos levar a um déficit hídrico global de 40%, até 2030, com um crescimento estimado de 24 %, até 2050, da participação dos setores energético e industrial na demanda de água.

Considerando a crise hídrica como uma questão de oferta e demanda (Cardozo e Demanboro, 2011), o tratamento de águas residuárias pode oferecer mais do que somente a manutenção da qualidade do recurso hídrico ofertado. Os efluentes domésticos ou industriais podem ser tratados e utilizados como água de reuso, tanto para fins potáveis quanto não-potáveis. Dessa forma, ao reduzir o consumo de água potável e minimizar a captação de água nos mananciais, Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) equipadas com meios para garantir o reuso do efluente tratado podem ser consideradas ferramentas para a gestão da demanda hídrica (Faustini *et al.*, 2018).

Nas indústrias a utilização da água de reuso tem outros objetivos, além da economia de recursos naturais. Com a crescente demanda, o custo da aquisição de água potável e do descarte e tratamento de efluentes também são crescentes, e, aliados à regulamentação mais restritiva, tornam a reciclagem de águas residuárias uma ação economicamente vantajosa (Andrade *et al.*, 2017). No caso específico das indústrias farmacêuticas, Milanesi *et al.* (2020) destacam que atitudes para incremento de sua sustentabilidade ambiental, como a economia de água, são crescentes e já são considerados um diferencial para consumidores e organizações.

Dada sua característica, as especificações para reuso industrial dependem do tipo de indústria e tipo de processo ou finalidade na qual está se empregando água de reuso. (CNI, 2017). De acordo com Brega Filho e Mancuso (2003), este tipo de reuso da água consiste na aplicação do efluente em processos, ao invés de seu imediato descarte no meio ambiente. Evidentemente, os critérios de qualidade desse efluente, antes e após o tratamento, bem como os processos necessários para alcance desta qualidade, são definidos conforme sua aplicação.

Neste sentido, os sistemas de tratamento de efluentes, que, por princípio, necessitam de constante atualização para manter sua eficiência e resguardar os mananciais que receberão os despejos, também precisam de adequações para que seu efluente tratado possa ter seu reuso viabilizado. Neste trabalho, foi realizado o diagnóstico de um sistema de tratamento instalado em indústria farmacêutica da região de Campinas-SP, Brasil, com intuito de caracterizar e avaliar a qualidade da água de reuso, visando a manutenção do uso atual, a proposta de ações para ampliação do reuso e a sua possível economia financeira.

Materiais e métodos

Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido em um complexo industrial farmacêutico veterinário, localizado no município de Campinas, Estado de São Paulo. A empresa ocupa uma área construída de aproximadamente 12,000 m² e emprega, diretamente, cerca de 200 funcionários, divididos em turnos de trabalho administrativo e produtivo. A maioria das atividades ocorre no período diurno, porém, é comum que a empresa mantenha atividades produtivas 24 horas por dia, 7 dias por semana, dependendo da demanda.

A produção é responsável, diretamente, pela maior fração da demanda de água potável neste complexo industrial. Toda água residual, oriunda tanto de atividades produtivas quanto não produtivas, é eventualmente encaminhada para tratamento, onde, por sua vez, é adequada para o lançamento na via de esgotamento público, ou, será encaminhada para tratamento posterior, visando sua reutilização. Atualmente, cerca de 44% de toda água potável é reutilizada diretamente em torres de resfriamento, sanitários e mictórios, enquanto os cerca de 56% restantes são descartados. O detalhamento das estruturas responsáveis pelo tratamento e reutilização da água serão detalhados a seguir.

Uma vez que a água de processo produtivo é descartada, passa a ser caracterizada como Efluente Bruto e segue para a estação elevatória de efluentes industriais. As demais correntes de água descartadas, utilizadas em uso chamado de “doméstico” (consumo por funcionários, pias, chuveiros, rega de áreas verdes, limpeza, refeitório, etc), são denominadas Esgoto Bruto e seguem para a estação elevatória de esgoto.

O destino das águas residuárias, provenientes de ambas as elevatórias, é a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Nesta etapa, os efluentes são tratados tanto para descarte, quanto para reutilização como água de reuso. O reuso, por sua vez, é viabilizado pela Estação de Produção de Água de Reuso (EPAR), estruturalmente equipada para adequar o efluente tratado ao reuso. Na Figura 1 é detalhado o fluxo da água na área de estudo.

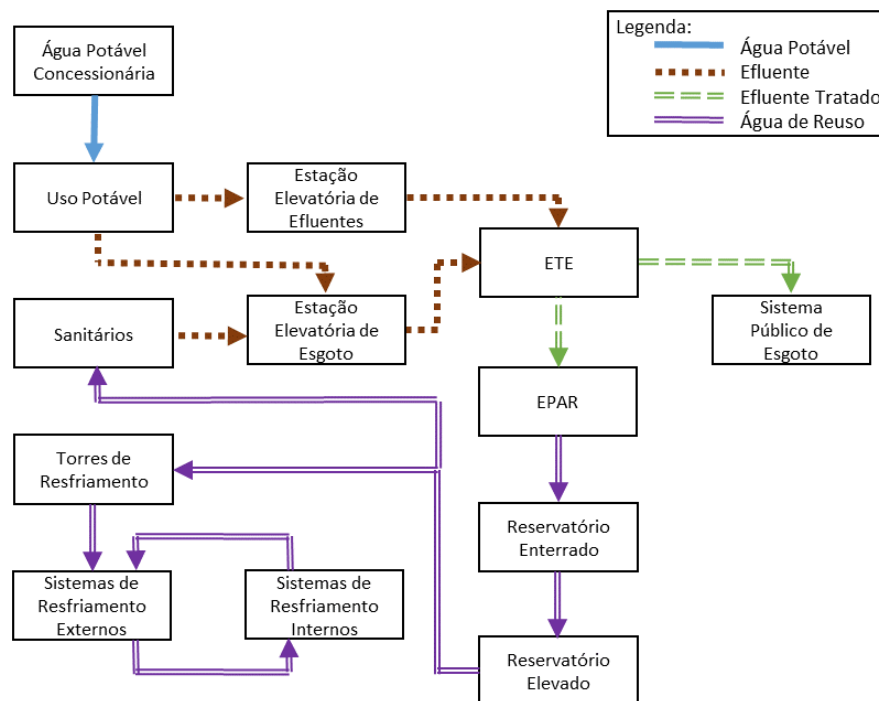


Figura 1. Representação do fluxo da água na área em estudo.

Estação de Tratamento de Efluentes

O tratamento dos efluentes na área de estudo é realizado pela técnica de Lodos Ativados. A ETE em questão possui um sistema de Lodos Ativados diferente do convencional, funcionando por batelada e com aeração intermitente, fornecida por meio de sopradores. A equipe operacional controla manualmente o ciclo de tratamento, direcionando a chegada do Efluente Bruto para o Reator vazio assim que o primeiro atinge nível máximo. O Reator cheio continua a receber aeração por 5h30min, tempo estabelecido em procedimento operacional para o ciclo de tratamento. Ao término de cada ciclo de 5h30min, o reator tem seu soprador desligado, interrompendo a aeração, com intuito de promover a separação de sólidos (lodo biológico) e líquido (efluente tratado) por meio de decantação. A decantação, de acordo com o procedimento operacional, deve durar mais 3h30min. Cada Reator possui capacidade total de 86 m³.

Após a decantação, cerca de 36 m³ irão corresponder ao volume de lodo, enquanto o restante compõe o efluente tratado. Desse volume de 50 m³ de efluente tratado, um máximo de 30 m³ por batelada poderá seguir para o Tratamento de Água de Reuso (EPAR), se houver demanda. O restante, ou até mesmo todo o volume, para o caso de não ser necessária a produção de água de reuso, segue para descarte na via de esgotamento público.

O fluxograma apresentado na Figura 2, detalha visualmente o processo da ETE.

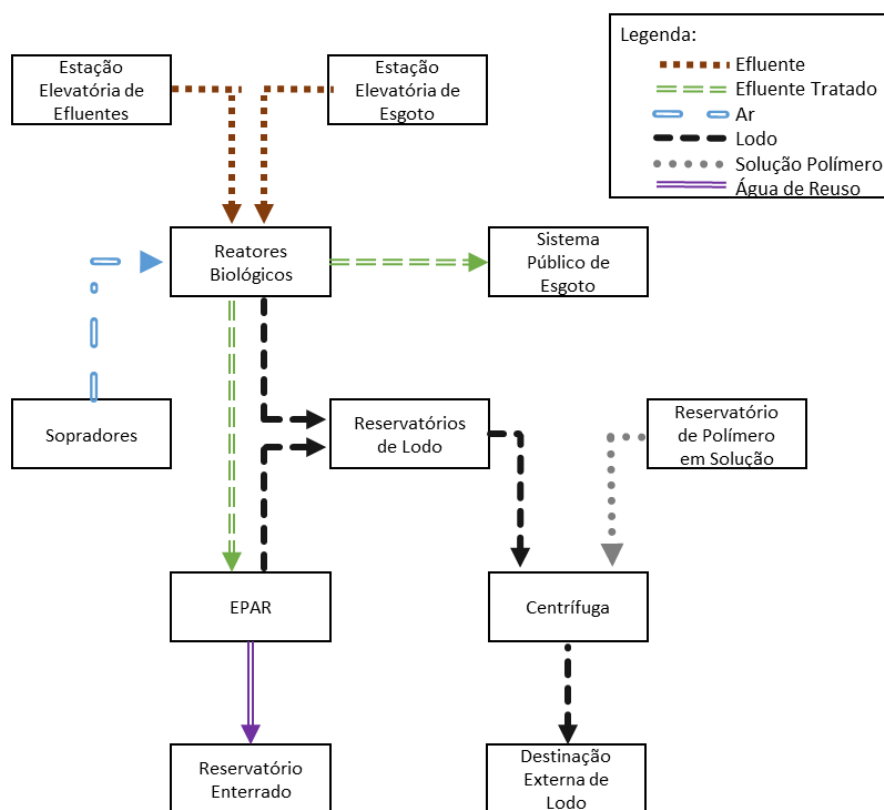


Figura 2. Fluxo do Processo ETE na área em estudo.

Estação de Produção de Água de Reuso - EPAR

O efluente tratado é encaminhado para a EPAR, onde ocorre um tratamento de água físico-químico composto pelas etapas de desinfecção, ajuste de pH, coagulação e floculação, decantação, e filtragem, com intuito de adequar o efluente tratado para uso em sistema de resfriamento e sanitários. O fluxograma apresentado na Figura 3 detalha visualmente o processo da EPAR.

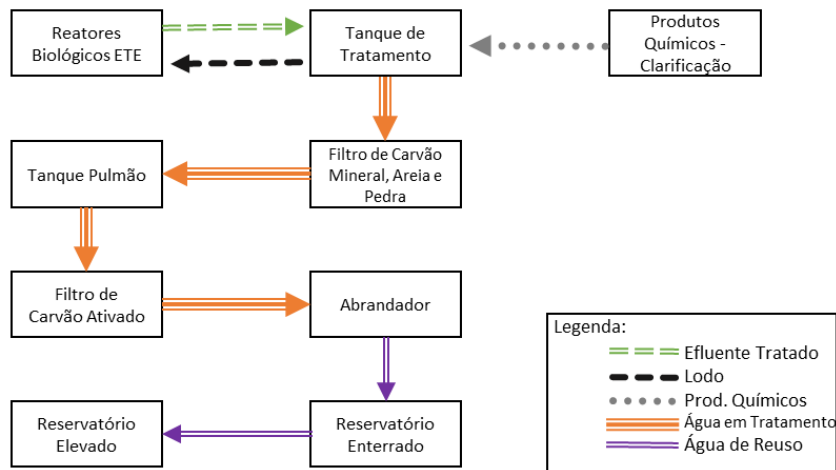


Figura 3. Fluxo do Processo EPAR na área em estudo.

Aplicação da Água de Reuso

Do reservatório elevado, a água de reuso segue para abastecer o sistema de resfriamento, além das bacias sanitárias e mictórios. No entanto, a água de torre de resfriamento recebe a aplicação de produtos inibidores de corrosão e incrustação, além de receber adição de cloro na entrada de cada torre, realizado por meio de pastilhas.

Conforme observado na Figura 1, a opção pela produção de água de reuso se deve à necessidade de resfriamento no processo produtivo, e o seu elevado consumo de água da rede. O sistema de resfriamento externo é composto por *chillers*, condensadores e trocadores de calor; e o sistema interno ao processo produtivo pelas camisas de tubulação, reservatórios e colunas de destilação. Devido ao uso majoritário em atividades ligadas ao resfriamento, a demanda por água de reuso pode variar conforme a época do ano, sendo maior nos meses mais quentes e sofrendo queda nos meses mais frios. Todo sistema de reuso pode ser complementado com, ou alternado para, uso de água potável.

O sistema de torres conta ainda com operações automáticas pré-programadas de drenagem, com intuito de evitar a concentração de contaminantes presentes na água reciclada, potencializados pelo uso em um sistema onde a renovação de água ocorre, majoritariamente, por evaporação. O fluxograma apresentado na figura 4, detalha o layout básico das torres. As Torres de Resfriamento são divididas em 3 grupos:

- Conjunto de Torres “T1”: Responsáveis pela troca de calor com os sistemas de Resfriamento Externo e Interno.
- Torre “T2”: Troca de calor com uma etapa produtiva particular.
- Torre “T3”: Troca de calor para produção de água de utilidade particular.

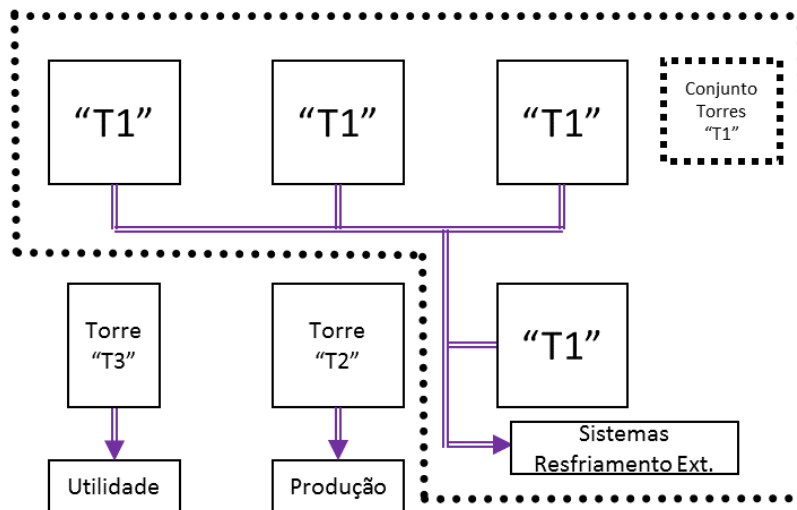


Figura 4. Layout das Torres de Resfriamento.

Análise dos dados

Com base no histórico de resultados analíticos disponibilizados pela empresa, foram levantadas as normas e leis aplicáveis a cada tipo de amostra (Efluente Tratado, Água de Reuso ou Potável).

Para os padrões do efluente tratado (Tabela 1), foram utilizadas as referências que a empresa já está condicionada a atender. São elas o Artigo 18 do Decreto Estadual Nº 8.468/1976 e a seção II da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005, alterada e ampliada pela Resolução CONAMA nº 430/ 2011. Já as referências para água de reuso utilizam bases técnicas e legais, compiladas na Tabela 2.

Tabela 1. Requisitos legais de parâmetros de qualidade do efluente tratado.

Referência (Legislação)	Padrões de Lançamento de Efluente	pH	DBO	Eficiência em Remoção DBO	Sólidos Sedimentáveis
		-	mg/L	%	ml/L/h
Decreto 8468	Artigo 18	5.0 a 9.0	< 60.0	> 80.0	≤ 1.0
Conama 430	Seção II	5.0 a 9.0	-	> 60.0	≤ 1.0

1

Tabela 2. Requisitos legais de parâmetros de qualidade da água de reuso.

Referência	Tipo de Reuso	pH	Alcalinidade mg/L CaCO3	Boro* mg/L	Cloretos mg/L	Cloro Residual Livre / Cloro mg/L	Coliformes Termotolerantes UFC/100mL	Condutividade us/cm	Dureza Total mg/L CaCO3	Ferro Total mg/L	Silica Total mg/L	Sólidos Totais Dissolvidos mg/L	Turbidez NTU
Resolução Municipal Nº 09/2014	Classe A	-	-	-	< 250.0	≥ 1.0	-	-	-	-	-	-	≤ 1.0
	Classe B	-	-	-	< 250.0	≤ 2.0	-	-	-	-	-	-	≤ 5.0
Resolução conjunta SES/SMA/SSRH Nº01 /2017	Classe I	6.0 a 9.0	-	< 0.7	<106.0	-	Ausência/100 ml	< 700.0	-	-	-	< 450.0	≤ 2.0
	Classe II	6.0 a 9.0	-	< 3.0	<350.0	-	<200	< 3000.0	-	-	-	< 2.000.0	-
<i>Guidelines for Water Reuse -EPA</i>	Industrial-refrigeração Torres de Resfriamento (1992)	6.9 a 9.0	≤ 350.0	-	≤ 500.0	-	-	-	≤ 650.0	≤ 0.5	≤ 50.0	≤ 500.0	≤ 50.0
NBR 13969/1997	Classe I (contato direto)	6.0 a 8.0	-	-	-	0.5 a 1.5	< 200.0	-	-	-	-	< 200.0	< 5.0
	Classe II (sem contato direto)	-	-	-	-	> 0.5	< 500.0	-	-	-	-	-	< 5.0
	Classe III (descarga bacias sanitárias)	-	-	-	-	-	< 500.0	-	-	-	-	-	< 10
Auto Controle Adotado	Industrial - Torres de Resfriamento	6.0 a 9.0	≤ 700.0	-	-	-	-	< 3500.0	≤ 700.0	≤ 1.0	≤ 150.0	< 2.600.0	-
Portaria de Consolidação Nº5 MS-Capítulo V. Anexos 1. 7 e 10 do Anexo XX	Nenhum - Apenas Comparativo	6.0 a 9.0	-	-	< 250.0	0.5 a 2.0	Ausência/100 ml	-	< 500.0	≤ 0.3	-	< 1.000.0	< 5.0

3

Como referências técnicas para água de reuso, foram utilizadas as *Guidelines for Water Reuse EPA* (USEPA, 1992), a Norma Brasileira nº 13969/1997 - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 13969/1997) e os padrões de monitoramento interno adotados por empresa prestadora de serviços de monitoramento e manutenção das torres de resfriamento.

As referências legais para água de reuso foram: do Município de Campinas-SP, a Resolução Conjunta da Secretaria Municipal do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SVDS e a Secretaria Municipal de Saúde – SMS nº 09/2014 (Resolução Municipal nº 09/2014); do Governo do Estado de São Paulo, a Resolução Conjunta das Secretarias de Estado da Saúde, do Meio Ambiente e de Saneamento e Recursos Hídricos nº 01 de 28 de junho de 2017 (Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017). Para efeito de comparação, foi incluída uma referência de padrão de água potável através da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, Anexo XX.

Cruzando as informações disponibilizadas pela empresa com as referências levantadas, os seguintes parâmetros foram selecionados: pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Eficiência em Remoção de DBO, Sólidos Sedimentáveis, Alcalinidade, Boro, Cloretos, Cloro Residual Livre, Coliformes Termotolerantes, Condutividade, Dureza Total, Ferro Total, Sílica Total, Sólidos Totais Dissolvidos e Turbidez. No caso do Efluente Tratado, foram incluídos Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Eficiência em Remoção de DQO, pois, apesar de não serem considerados parâmetros de especificação, há histórico disponível.

Foram organizados resultados de 24 amostragens, de frequência mensal, de controle do Efluente Tratado (Saída da ETE); 10 amostragens, de frequência trimestral, da saída da EPAR; e 25 amostragens, de frequência mensal, realizadas pelo Autocontrole Mensal das Torres (Água na Torre de Resfriamento). Todos os dados são referentes ao período de 2017 a 2019.

Munido dos resultados devidamente compilados e organizados foi realizada a caracterização do Efluente Tratado. A Água de Reuso foi caracterizada utilizando análise de frequência de adequação aos parâmetros em três diferentes cenários de uso. Os cenários considerados foram: i) Atendimento de parâmetros ao uso atual (Torres de Resfriamento e uso em sanitários), de acordo com as referências técnicas levantadas e os parâmetros considerados pela prestadora de serviço responsável pelo controle da qualidade da água de reuso; ii) Atendimento de parâmetros para classes II e B de reuso urbano, de acordo com as referências legais levantadas; iii) Atendimento de parâmetros de potabilidade, com intuito de avaliar a aplicação da água de reuso em caldeiras.

Em seguida, foi realizada uma análise de correlação de Pearson entre os atributos do efluente tratado e da água de reuso, com intuito de avaliar se alguma melhoria na água de reuso pode ser obtida através de intervenção no tratamento secundário.

Com base nos resultados foram propostas ações para melhoria de pontos críticos atuais e o uma avaliação das ações necessárias para almejar a ampliação do uso de água de reuso, discutindo o a economia financeira potencial como justificativa para eventual investimento. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa Action Stat®, versão 3.7.

Resultados e discussão

Caracterização do efluente tratado

Os dados de caracterização do Efluente Tratado são apresentados na Tabela 3. O Efluente Tratado não apresenta problemas em relação ao atendimento dos parâmetros legais apresentados na Tabela 1. No entanto, foi identificado uma grande variância da amostra no parâmetro DQO, além de uma eficiência de remoção média 74%. Embora não existam valores mínimos legais para DQO, esse resultado é interessante e pode ser tema de estudos futuros, buscando relacionar possíveis substâncias presentes no efluente que influenciem a sua biodegradabilidade.

Tabela 3. Estatística descritiva das características do efluente tratado.

Parâmetro	pH	DBO	Eficiência Remoção DBO	DQO	Eficiência Remoção DQO	Sólidos Sedimentáveis
Unidade	-	mgO ₂ ·L ⁻¹	%	mgO ₂ ·L ⁻¹	%	ml·L ⁻¹ ·h ⁻¹
Controle (Decreto 8468)	5.0 a 9.0	<60.0	>80%	-	-	<1.0
Média	7.00	47.83	83	174.27	-	0.15
Mediana	7.06	31.30	89	151.00	76	0.10
Desvio padrão	0.436	50.525	17.6	126.967	18.3	0.390
Variância da amostra	0.190	2552.803	3.1	16120.681	3.3	0.152
Mínimo	6.23	3.10	34	18.09	30	0.00
Máximo	7.82	182.20	99	518.80	99	2.00

Caracterização da água de reuso

Os dados de caracterização da Água de Reuso e os valores de referência para os três cenários avaliados encontram-se na Tabela 2. Em relação ao 1º cenário (menos restritivo), percebe-se que não há muita dificuldade em atender os limites de controle considerados. O uso em sanitários previsto pela NBR 13969/1997 também é atendido, uma vez que o histórico de turbidez das análises não apresenta nenhum resultado superior a 10 NTU.

Tabela 4. Estatística descritiva das caracterização Água de Reuso.

Parâmetro	pH	Alcalinidade Total	Cloretos	Condutivid.	S.T.D.	Dureza Total	Ferro Total	Silica Total	Boro	Cloro Residual	Turbidez
Uni.	-	ppm CaCO ₃	ppm Cl	us·cm ⁻¹	ppm	ppm CaCO ₃	ppm Fe	ppm SiO ₂	mg·L ⁻¹	mg·L ⁻¹	NTU
1º Cen.	6.0 - 9.0	700.0	500.0	3500.0	2600.0	700.0	1.0	150.0	5.0	0.5 - 1.5	50.0
2º Cen.	6.0 - 9.0	350.0	350.0	3000.0	2000.0	650.0	0.5	50.0	3.0	0.5 - 2.0	10.0
3º Cen.	6.0 - 9.0	350.0	250.0	700.0	1000.0	500.0	0.3	50.0	0.7	0.5 - 2.0	5.0
Média	6.86	96.20	320.35 ^c	1463.44 ^c	1097.58 ^c	137.04	0.39 ^c	19.68	0.74 ^c	0.17 ^a	1.63
Median	6.90	90.00	305.30 ^c	1355.00 ^c	1016.25 ^c	186.00	0.32 ^c	20.00	0.50	0.09 ^a	1.50
Desv.P	0.31	38.39	90.10	390.26	292.69	101.00	0.28	10.95	0.66	0.23	1.15
Var.	0.10	1473.50	8118.40	1.52 10 ⁵	8.66 10 ⁴	1.02 10 ⁴	0.08	119.98	0.44	0.05	1.32
Mín	6.20	45.00	195.25	849.00 ^c	636.75	0.00	0.05	1.00	0.20	0.00 ^a	0.40
Máx	7.80	165.00	599.95 ^a	2880.00 ^c	2160.00 ^b	294.00	1.11 ^a	42.00	1.98 ^c	0.67	3.10

Uni. – Unidade; 1º Cen. – Primeiro cenário; 2º Cen. – Segundo cenário; 3º Cen. – Terceiro cenário; Median – Mediana; Desv.P – Desvio PADrão; Var. – Variância da amostra; Mín – Valor mínimo; Máx – Valor máximo; ^a – valores acima dos requisitos para os três cenários estudados; ^b – valores acima dos requisitos do 2º e 3º cenários estudados; ^c – valores acima dos requisitos do 3º cenário estudado

Os valores de Cloro Residual apresentaram apenas uma amostra dentro dos limites (o máximo registrado, de 0,67 mg/L). Essa deficiência está diretamente ligada à presença de Coliformes Totais, que é analisado trimestralmente e, com resultados desejados expressos em “ausência em UFC/100 ml”, apresentou somente 4 resultados dentro da especificação em todo histórico disponível. A proposta mais adequada para resolução deste problema seria a adequação da desinfecção com base nas legislação estadual e municipal previamente citadas. O hipoclorito de sódio já é aplicado ao sistema, porém, em quantidade ou com tempo de contato insuficiente. Se o ajuste da dosagem não for suficiente para adequação do parâmetros, ajustes no sistema de tratamento, para promover maior eficiência na remoção de sólidos podem ser avaliados.

Há uma grande variância dos valores de Alcalinidade, Cloretos, Condutividade, Sólidos Totais Dissolvidos e Dureza. Apesar de esperada, para que se estabeleça redução na variabilidade das características da água de reuso propõe-se revisar as operações de produção de água de reuso, começando pelos procedimentos, treinamento da operação, definir e adquirir possíveis os instrumentos necessários para prática do auto-controle do processo de tratamento.

Considerando o 2º cenário, afirma-se que, considerando os parâmetros mais restritivos de uso em torres, definido pela Agência Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA), bem como o Uso com Restrição Severa, estabelecido pela Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017, a água de reuso tem potencial para atender plenamente os requisitos definidos por estes instrumentos, desde que faça melhorias em sua desinfecção e monitoramento de Cloro Residual.

Além da ressalva a respeito da desinfecção, a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017 também exige, para uso Urbano com Restrição Severa, a necessidade de ampliar o escopo de análises para incluir DBO, Sólidos Suspensos Totais, Ovos helmintos, Cloro Total e fator RAS (caso seja optado o uso em irrigação paisagística).

Considerando o 3º cenário, com referências mais restritivas, aplicáveis à água potável, a água de reuso não atende os parâmetros Cloretos, Condutividade, Sólidos Totais Dissolvidos, Ferro Total, Boro e Cloro Residual. O fato dos demais parâmetros se adequarem ao uso potável indica que o sistema atual tem qualidade suficiente em seus processos de clarificação, filtração e abrandamento para produzir uma água de reuso de boa qualidade.

Complementando os comentários anteriores, propõe-se:

- Com base nos estudos de Cristóvão et al. (2015), George et al. (2015), Sumisha et al. (2015), Colla et al. (2016), Ghaneian et al. (2017), e Xu et al. (2019), estudar e avaliar, técnica e economicamente, o emprego da combinação de sistemas de ultrafiltração e osmose reversa, em nível terciário, dada sua eficiência em reduzir os valores das variáveis que ainda se apresentam fora da especificação do 3º cenário, com registros nos trabalhos citados de eficiências entre 80 e 99%.
- Com base nos estudos referentes à tecnologia MBR de Andrade et al. (2015), Jemli et al. (2015), Mannina et al. (2016), e Jamshidi e Niksokhan (2017), esta alternativa, em nível secundário, pode reduzir os valores das variáveis que ainda se apresentam fora da especificação do 3º cenário.

Qualquer proposta que venha a ser considerada deve levar em conta as características atuais do sistema de tratamento e suas limitações, bem como as limitações das próprias alternativas, descritas nos estudos mencionados. Além do custo de implantação, novas demandas de energia, insumos e manutenção seriam gerados. No entanto, o resultado pode ser financeiramente viável, se a economia gerada pela ampliação do reuso for suficientemente elevada.

Analisando os usos atuais de água potável e água de reuso, a possibilidade de retomada do uso de água reciclada na produção de vapor é plausível. Considerando que o preço praticado da água é de R\$ 35.10/m³ de água potável (contrato com empresa de Saneamento- valor fornecido pela indústria), e o volume médio mensal de água para produção de vapor é de aproximadamente 400 m³/mês, há a possibilidade de evitar o gasto mensal de até R\$ 14,040, ou R\$ 168,480 ao ano. Com o aumento da demanda por água de reuso, é esperada a redução, na mesma taxa, do descarte para via de esgotamento público. Atualmente, o valor cobrado pelo descarte é de R\$ 28.07/m³ (contrato com empresa de Saneamento-valor fornecido pela indústria). Com mais 400 m³/mês de efluente sendo reaproveitado, até R\$ 11,228 por mês, ou R\$ 134,736 por ano deixariam de ser gastos com descarte. Ou seja, apesar da necessidade de um investimento ser necessário para alcançar os parâmetros do 3º cenário, e ainda sem considerar os custos relacionados à produção desta água de maior qualidade, existe a possibilidade de uma economia anual de até R\$ 303,216 em vista, que pode ser usada para justificar o investimento.

É válido destacar que a operação da EPAR também confere custos, que devem ser subtraídos dos benefícios econômicos apontados, entretanto, os valores servem como referencia estimativa de vantagens financeiras do processo de melhorias no sistema de reuso.

Correlação do Efluente Tratado x Água de Reuso

Com intuito de avaliar se, com os dados disponíveis, era possível estabelecer alguma relação significativa entre a qualidade do efluente tratado e a qualidade da água de reuso, foram pareadas amostragens que ocorreram no mesmo intervalo de tempo e foi realizada a correlação de Pearson.

O resultado da correlação entre os parâmetros das características do efluente tratado e água de reuso é apresentado na Tabela 5. Isolando a correlação entre as variáveis do efluente tratado e as variáveis da água de reuso, temos o seguinte cenário. Em geral, são poucas as correlações encontradas entre as variáveis do Efluente Tratado e Água de Reuso. A maioria é fraca, podendo ser descartadas como coincidência estatística. No entanto, dois fenômenos merecem explicações.

Tabela 5. Correlação Efluente X Água de Reuso.

Características	Água de Reuso				
	pH	DBO	Eficiencia DBO	DQO	Eficiencia DQO
pH	-0.28	-0.36	0.03	-0.04	0.18
Alcalinidade Total	-0.34	-0.04	0.28	0.60	-0.01
Cloretos	-0.23	-0.66	0.66	0.35	0.35
Condutividade	-0.26	0.00	0.27	0.66	-0.18
Sólidos Totais Dissolvidos	-0.26	0.00	0.27	0.66	-0.18
Dureza Total	0.13	0.50	0.00	0.11	-0.08
Ferro Total	0.06	-0.27	0.44	-0.09	0.15
Silica Total	-0.51	0.01	0.24	0.64	0.02

Há aparente correlação entre DQO x Condutividade e DQO x Sólidos Totais Dissolvidos. No entanto, serão tratadas como coincidência estatística. O motivo encontra-se na relação entre DQO e Eficiência em Remoção de DQO. Quanto maior a DQO, menor deve ser a Eficiência. Logo, a correlação com a DQO, para ser considerada relevante, deveria ser acompanhada de uma relação negativa com a Eficiência em remoção de DQO, que não ocorre.

Correlações com maior nível de significância foram encontradas entre Cloretos x DBO (negativa) e Cloretos x Eficiência em Remoção de DBO (positiva). Primeiro, deve-se observar que a DBO e a Eficiência em Remoção de DBO devem ser negativamente correlacionadas (quanto menor a DBO residual do efluente tratado, maior a eficiência). Logo, o teor de cloretos na água de reuso se relaciona com ambos da mesma forma, apesar da “inversão de sinal”, validando a relevância estatística da correlação. A boa eficiência na ETE associada à elevação do teor de Cloretos na Água de Reuso pode ser explicada pela capacidade de adaptação do meio biológico.

Conforme Von Sperling (2007), as bactérias da etapa biológica de efluente se aclimatam conforme as condições do efluente. E, conforme Jemli *et al.* (2015) e Mannina *et al.* (2016), evidenciamos que existem bactérias em sistemas biológicos de tratamento secundário adaptadas à elevados teores de cloretos e outros tipos de sais. Logo, pode-se levantar a hipótese que o meio biológico está melhor adaptado ao elevado teor de cloretos na corrente de efluentes, condicionando seu desempenho na remoção de carga poluidora a este fator.

Isso indica que a contribuição de cloretos na água de reuso pode ser reduzida por meio de ações na fonte, ou seja, investigando e atuando nas atividades que contribuem com cloretos nas correntes de alimentação da ETE. Porém, isso também indica que qualquer redução na concentração de cloretos pode ter efeito negativo sobre a etapa biológica de tratamento.

À luz deste fato, propõe-se que ações para adequação dos valores de cloretos na geração de efluentes, devem estar acompanhadas de ações de monitoramento e mitigação dos impactos na etapa biológica de tratamento de efluentes. Outra alternativa é o emprego da já mencionada tecnologia MBR, posterior à etapa biológica de tratamento.

Considerações finais

Em face a necessidade de uma gestão mais racional dos recursos hídricos, é papel de cada consumidor buscar o que pode ser feito para evitar perdas e promover seu reuso. Atividades que necessitam de grandes volumes e elevada qualidade, como o caso das indústrias farmacêuticas, não são exceção. Esta gestão mais racional precisa fazer sentido no contexto em que será promovida. Portanto, se faz necessário ter clareza e objetividade quanto ao uso pretendido da água, além de domínio sobre seus processos, fluxos e sistemas de tratamento e promoção de reuso. Foi neste sentido que o presente estudo atuou e, além de atingir seus objetivos, obteve as seguintes conclusões:

- A empresa possui um tratamento de efluentes eficiente e adequado à produção de água de reuso para as aplicações atuais.
- A água de reuso é de qualidade adequada ao uso pretendido, porém, necessita de melhorias em seu processo de desinfecção, caso deseje-se ampliar o seu uso para fins mais nobres, ou que possam ter contato humano direto. A princípio, não recomenda-se a aplicação de uma

nova técnica, uma vez que não existe um procedimento e prática estabelecidas para controle da concentração de cloro livre residual na água de reuso. O que se sugere é a aderência ao plano de monitoramento conforme preconizado na Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01/2017 e Resolução Municipal nº 09/2014 - Campinas/SP, prevendo, ao mínimo, análises diárias de teor de cloro livre, para um estudo mais aprofundado das necessidades de melhoria.

- Com investimento em tecnologia de reatores MBR, em nível secundário, ou ultrafiltração e osmose reversa, em nível terciário, a água de reuso atingiria padrões comparáveis aos de potabilidade, viabilizando seu uso na produção de vapor em caldeiras, gerando uma economia potencial da ordem de R\$ 300,000/ano.

Agradecimentos

Os autores agradecem à PUC-Campinas pela bolsa protocolo conferida ao primeiro autor desse artigo.

Referências bibliográficas

- Andrade, B.A.S., Lacerda, P.S.B., Oliveira, J.L.M. (2017) Technical feasibility of reuse of effluent generated from reverse osmosis system in a pharmaceutical plant, *Ambi & Água*, **12**(5), 694-707. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1980>
- Andrade, L.H., Mendes, F.D.S., Espindola, J.C., Amaral, M.C.S. (2015) Reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor and nanofiltration: technical and economic feasibility, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, **32**(3), 735-747. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150323s00003133>
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. NBR 13969/1997.
- Brega, F.D., Hespagnol, I. (2003) Conceito de reuso da água. In Mancuso, P.C.S., Santos, H.F. (Eds.), *Reúso de água*. Manole, São Paulo, SP, 21-36.
- Cardozo, R., Demanboro, A.C. (2011) Gestão Ambiental e Sustentabilidade na Bacia do Rio Piracicaba - Sustentabilidade Hídrica Através de Dispositivos Poupadores de Água, *VIII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas*, Poços de Caldas, Brasil.
- CNI, Confederação Nacional da Indústria (2017) *O uso racional da água no setor industrial*. CNI, Brasília.
- Colla, V., Branca, T. A., Rosito, F. Lucca, C., Vivas, B.P., Delmiro, V.M. (2016) Sustainable Reverse Osmosis application for wastewater treatment in the steel industry, *Journal of Cleaner Production*. **130**, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.025>
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005) *Resolução nº 357*. Diário Oficial da União, 18 de março de 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf
- Cristovão, R.O., Botelho, C.M., Martins, E.J.E., Loureiro, J.M., Boaventura, R.A.R. (2015) Fish canning industry wastewater treatment for water reuse - a case study, *Journal of Cleaner Production*. **87**, 603-612. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.076>
- Faustini, V.C., Gabriela, C., Ribeiro, F., Reis, V., Lozer, J.G., Gorza, N.L., Brito, P.B. (2018) Estudo de caso sobre a implantação de sistema de reuso urbano não potável em estações de tratamento de esgoto, *29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente*. Vitória, Brasil.

- George, J.S., Ramos, A., Shipley, H.J. (2015) Tanning facility wastewater treatment: Analysis of physical–chemical and reverse osmosis methods, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. **3**(2), 969-976. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.03.011>
- Ghaneian, M., Ehrampoush, M., Ehsanzadeh, E., Nikoonahad, A., Miri, M. (2017) Upgrading secondary wastewater plant effluent by modified coagulation and flocculation, for water reuse in irrigation, *Journal of Water Reuse and Desalination*, **3**(7), 298–306. <https://doi.org/10.2166/wrd.2016.049>
- Governo do Estado de São Paulo (1976) *Decreto n.º 8.468*. Publicado na Casa Civil, 6 de setembro de 1976. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>
- Governo do Estado de São Paulo (1978) *Decreto nº 12.486*. Publicado na Secretaria do Governo, 20 de outubro de 1978. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1978/decreto-12486-20.10.1978.html>
- Governo do Estado de São Paulo (2017) *Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH Nº 01*. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 29 de junho de 2017. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/legislacao/2017/06/resolucao-conjunta-ses-sma-ssrh-01-2017-agua-de-reuso.pdf>
- Jamshidi, S., Niksokhan, M. (2017) Upgrading Wastewater Treatment Plants Based on Reuse Demand, Technical and Environmental Policies (A Case Study), *Environmental Energy and Economic Research*, **2**(1), 219-230. <https://doi.org/10.22097/eeer.2017.47248>
- Jemli, M., Karray, F., Feki, F., Loukil, S., Mhiri, N., Aloui, F., Sayadi, S. (2015) Biological treatment of fish processing wastewater: A case study from Sfax City (Southeastern Tunisia), *Journal of Environmental Sciences*. **30**, 102-112. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.11.002>
- Mannina, G., Cosenza, A., Trapani, D., Capodici, M. Viviani, G. (2016) Membrane bioreactors for treatment of saline wastewater contaminated by hydrocarbons (diesel fuel): An experimental pilot plant case study. *Chemical Engineering Journal*, **291**, 269-278. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.107>
- Milanesi, M., Runfolab, A., Guercinia, S. (2020) Pharmaceutical industry riding the wave of sustainability: Review and opportunities for future research, *Journal of Cleaner Production*, **261**, 121204. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121204>
- Ministério da Saúde do Brasil (2017) *Portaria de Consolidação nº 5, Anexo XX.*, Diário Oficial da União, 29 de setembro de 2017. Disponível em: <https://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida---o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>
- Ministério do Meio Ambiente do Brasil (2005) *Resolução nº 54*, Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2054.pdf>
- ONU, Organização das Nações Unidas (2020) *Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2020: Água e mudança climática*, ONU. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882_por?fbclid=IwAR0yBI24uVUHZp5Gm4pLws8vYjRmdq4AX282A-aUfcpyXtYjC8olwrON4JA
- Prefeitura Municipal de Campinas (2014) *Resolução Conjunta SVDS/SMS nº 09/2014*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110663>
- Sumisha, A., Arthanareeswaran, G., Thuyavan, Y. L., Ismail, A. F., Chakraborty, S. (2015) Treatment of laundry wastewater using polyethersulfone/polyvinylpyrrolidone ultrafiltration membranes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **121**, 174-179. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.04.004>
- USEPA, U.S. Environmental Protection Agency (1992) *Guidelines for water reuse*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- USEPA, U.S. Environmental Protection Agency (2012) *Guidelines for water reuse*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.
- Von Sperling, M. (2007) *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. IWA Publishing, Londres.
- Xu, H., Koning, J., Geng, Y. (2019) Reliability and efficiency of an advanced tertiary treatment process for wastewater reclamation, *Journal of Water Reuse and Desalination*, **4**(9), 385–395. <https://doi.org/10.2166/wrd.2019.007>