

**II-1533 - CARACTERIZAÇÃO DE EFLUENTE INDUSTRIAL COMO FERRAMENTA PARA DETERMINAÇÃO DE TECNOLOGIA DE TRATAMENTO VISANDO O REUSO.**

**Alexia Pereira dos Santos<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M - UFRGS).

**Salatiel Wohlmuth da Silva<sup>(2)</sup>**

Professor no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da UFRGS.

**Andréa Moura Bernardes<sup>(3)</sup>**

Professora da Escola de Engenharia (EE) - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Veador Porto, 691 – Santana - Porto Alegre - CEP:90610200 - Brasil - Tel: (51) 33870406 - e-mail: [alexiaaps@outlook.com](mailto:alexiaaps@outlook.com).

## RESUMO

Assim como em inúmeras atividades, nos processos industriais há geração de resíduos que, ainda que indesejados, podem ser considerados como parte do processo. As exigências legais, somadas a uma maior percepção do mercado e da sociedade para com as questões ambientais, tem servido de incentivo para que as indústrias busquem por processos mais sustentáveis, nos quais a geração de resíduos é evitada ou minimizada. Num contexto onde a escassez dos recursos hídricos deixou de ser um problema regional no Brasil, adquirindo os contornos de uma crise hídrica, é imprescindível que tais compromissos se estendam para um melhor gerenciamento e minimização da geração de efluentes. Nesse sentido, a busca por tratamentos de efluentes que alcancem uma qualidade adequada ao reúso desse recurso tem sido explorada por um número crescente de indústrias. Considerando que os tratamentos convencionais de efluentes não satisfazem as condições necessárias para o reúso, técnicas de tratamento avançadas como Processos de Separação por Membranas (PSM) e Processos Oxidativos Avançados (POA) são propostas.

Buscando adequar-se a essas demandas, uma empresa do ramo metalmeccânico se propôs a desenvolver um projeto para aplicar uma técnica de tratamento avançado que torne possível o reúso direto não potável do efluente. Para tal, a identificação das diferentes correntes de efluentes, suas características físico-químicas, bem como a compreensão da demanda hídrica do sistema atual são etapas necessárias para determinação da tecnologia de tratamento mais adequada.

Além da etapa de caracterização do sistema, a caracterização das diferentes correntes de efluentes, resultou na análise de 251 amostras, analisadas por métodos analíticos como medidas de pH, condutividade elétrica, carbono orgânico dissolvido e cromatografia iônica. Os resultados foram capazes de apontar qual corrente de efluentes apresenta as melhores condições para emprego do tratamento avançado, assim como indicam o emprego de PSM em detrimento dos POA.

**PALAVRAS-CHAVE:** Efluente Industrial, Tratamento avançado, Reúso.

## INTRODUÇÃO

A geração de resíduos pode ser considerada inerente aos mais diversos tipos de atividade, incluindo os processos industriais. Cada tipo de resíduo exige um tratamento e disposição final ambientalmente adequada segundo a Legislação vigente. No Brasil, o órgão ambiental máximo é o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, o qual é responsável, dentre outras atribuições, por regular o descarte de resíduos a nível federal. Cada estado e município pode elaborar normativas próprias desde que mais restritivas que a federal e estadual, respectivamente (CONAMA 430, 2011).

O maior rigor das políticas ambientais, impulsionado pelo destaque dado pela constituição de 1988 possibilitou a ampliação do arcabouço de leis ambientais, consolidando definitivamente a legislação ambiental brasileira

como uma das mais avançadas no contexto internacional, incentivando assim práticas mais sustentáveis tanto no setor público quanto privado (HENDGES, A. S., 2016).

Associado às condicionantes no âmbito legal, a pressão do mercado e a maior percepção da sociedade para as questões ambientais são alguns dos fatores preponderantes para o emprego de técnicas de produção alinhadas ao conceito da sustentabilidade. Com vistas a se adaptar ao cenário e corresponder às demandas do mercado e consumidores, a indústria vem aprimorando seus processos e apostando em sistemas de gestão ambiental mais robustos que promovam a gestão adequada das demandas, eliminando desperdícios e minimizando a geração de efluentes (PLACHTA et al., [s.d.]; XIONG et al., 2017).

Em um contexto de crise hídrica apresentado pelo Brasil, é imprescindível que as soluções estejam direcionadas para além da minimização da geração de efluentes e devam buscar por alternativas de reúso. A Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos estabelece os critérios para a prática de reúso direto não potável da água e classifica a água de reúso como sendo a água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas (CNRH, 2005).

O tratamento convencional de efluentes industriais está baseado em processos físico-químicos e biológicos, que visam a estabilização da matéria orgânica e em termos gerais, reproduz as condições naturais de autodepuração, introduzindo parâmetros que permitem seu controle e monitoramento (SPERLING, 1996).

Entretanto, os tratamentos convencionais não são capazes de atingir a qualidade necessária para o reúso e, portanto, técnicas de tratamento avançadas como Processos de Separação por Membranas (PSM) e Processos Oxidativos Avançados (POA) são avaliados para esse fim, sendo considerados como melhores técnicas disponíveis (MTD) para o tratamento de água e efluentes visando o reúso (RODRIGUES; BERNARDES, 2018).

Buscando adequar-se às novas tendências, uma empresa do noroeste gaúcho consolidada no ramo metalmeccânico, busca utilizar metodologias modernas em seus processos produtivos, alinhado ao cumprimento dos requisitos ambientais exigidos por lei. Motivada por tais princípios, se propôs a desenvolver um projeto que permita o reúso não potável de água a partir do tratamento dos efluentes líquidos gerados, por meio de técnicas avançadas de tratamento.

## OBJETIVOS

Compreender a demanda hídrica e identificar as diferentes correntes de efluentes geradas nas etapas do tratamento de superfícies de numa indústria do ramo metalmeccânico e obter sua caracterização físico-química, bem como a caracterização do efluente sanitário, a fim de determinar a tecnologia de tratamento mais adequada ao reúso para fins não-potáveis.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa foi constituída de visitas técnicas para compreender o processo produtivo, a demanda de água e o sistema de tratamento e efluentes.

Posteriormente, necessidades hídricas da empresa foram alinhadas a partir de reuniões com os setores produtivos e de meio ambiente.

A água utilizada possui duas origens distintas, água subterrânea de poços da própria empresa e água da rede de distribuição. São três poços dos quais é retirada a água utilizada nos processos. Parte do volume captado passa pelo processo de deionização e parte dela é utilizada *in natura*. A água para consumo nos bebedouros, restaurante e banheiros é fornecida pela rede de distribuição. Sendo assim, o consumo de água foi analisado por meio de balanço hídrico, considerando o volume de efluente tratado diariamente em comparação ao consumo de água da distribuidora e, por diferença, se obteve o consumo de água subterrânea.

Ainda, a quantidade de água utilizada em diferentes processos que possuem medição de vazão foi utilizada como complementação. A partir desses dados, foi realizada a comparação de consumo conforme a categoria de uso e a fonte da água.

Para verificar a qualidade do efluente ao longo do tempo foram considerados os laudos de análises do efluente e água subterrânea que foram mensalmente realizadas pela empresa no período de 2017 a julho de 2019, também foi realizado um estudo das demandas por água nas diferentes áreas da empresa.

Com base na análise do sistema atual de tratamento de efluentes, que é formado por duas ETE físico-químicas e uma ETE biológica (Figura 1), foram selecionados 7 pontos de amostragem, conforme pode ser visto na Figura 1. Tais pontos foram escolhidos a fim de caracterizar cada corrente de efluente existente, visando elencar as possibilidades de tratamento avançado que serão pertinentes e melhor ajustadas ao sistema.

Para obter um monitoramento adequado das flutuações nas características do efluente nesses pontos, foi definido uma rotina de coleta semanal, ocorrendo em diferentes dias da semana, e diferentes turnos durante um período de três meses. As amostras coletadas foram caracterizadas por diferentes métodos analíticos como medidas de pH, condutividade elétrica, carbono orgânico dissolvido (COD) e cromatografia iônica (CI).

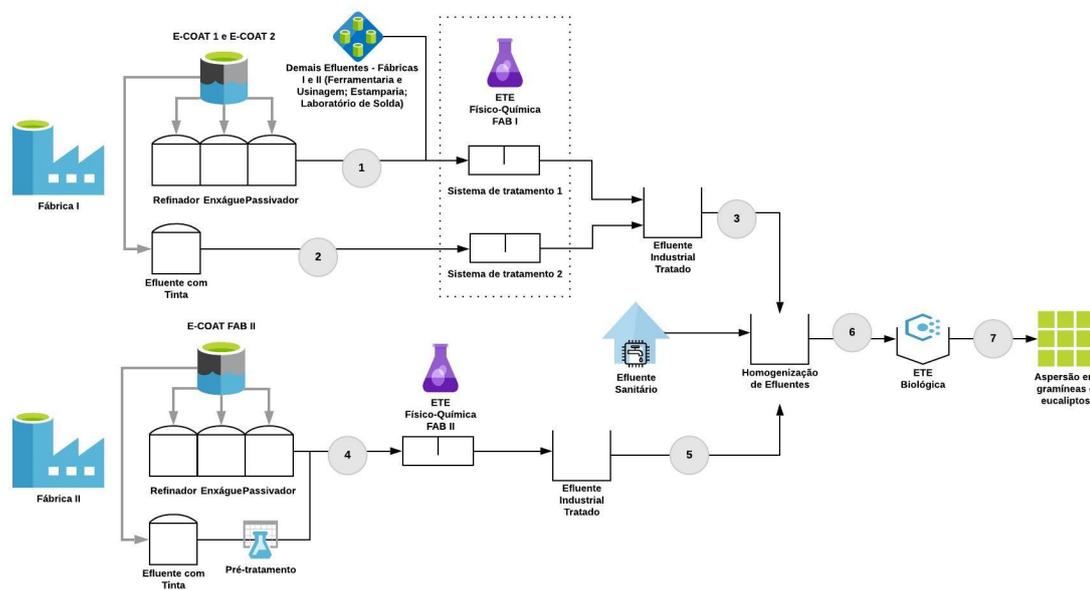


Figura 1: Sistema de Tratamento de Efluentes

## RESULTADOS

O primeiro resultado obtido foi a identificação dos pontos de coleta de amostras, conforme mostrado na Figura 1 e elencados na Tabela 1.

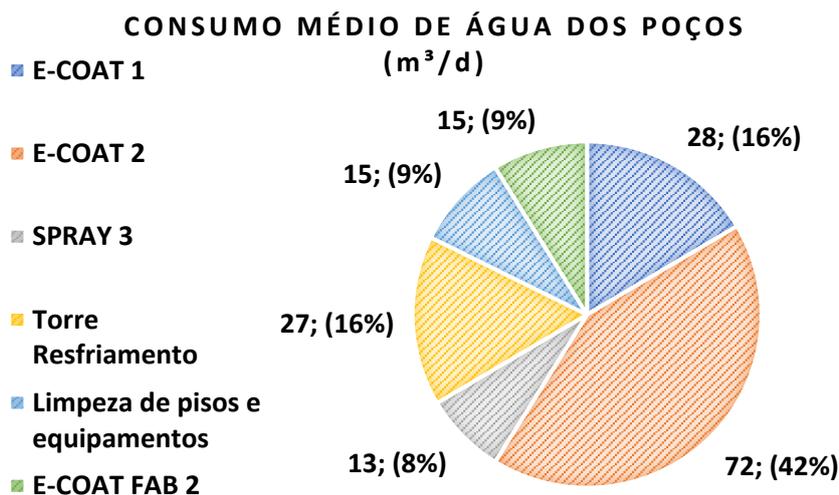
Tabela 1: Identificação dos pontos de coleta de amostras.

Ponto	Identificação
1	Entrada do efluente bruto sistema 1 (Fáb. 1)
2	Entrada do efluente bruto sistema 2 (Fáb. 1)
3	Saída do efluente tratado na FQ1
4	Entrada do efluente bruto (Fáb. 2)
5	Saída do efluente tratado FQ2
6	Saída do tanque de equalização
7	Saída do efluente tratado da ETE Biológica

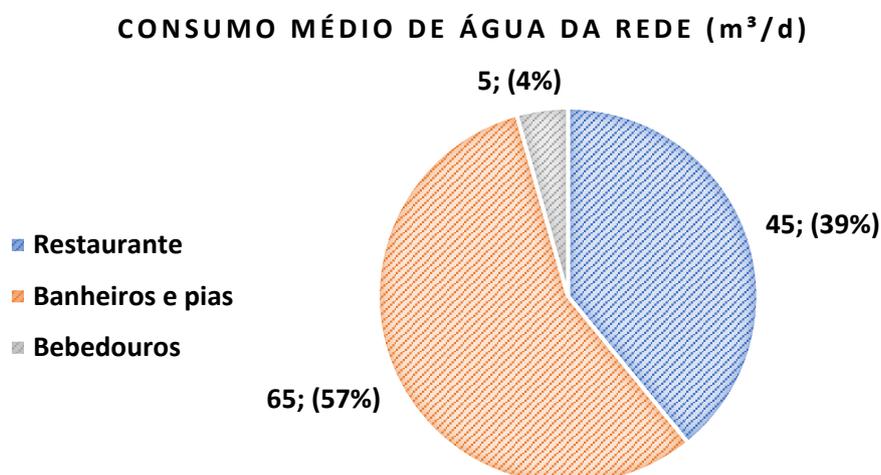
A partir dos laudos de análises realizadas mensalmente pela empresa, foi possível conhecer as características do efluente final ao longo do tempo e determinar quais parâmetros costumam apresentar maiores variações, bem como a relação das variações dos parâmetros com momento do ano e ritmo de produção.

Com relação a demanda de água por categoria de uso e o balanço hídrico, foi possível chegar nos percentuais demonstrados nos gráficos da Figura 2.

(a)



(b)



**Figura 2: Consumo de água por categoria de uso no período de junho de 2018 a junho de 2019. (a) água captada nos poços – consumo total 170 m<sup>3</sup>/d (b) água fornecida pela rede – consumo total 115 m<sup>3</sup>/d.**

A etapa de caracterização do efluente, resultou em 251 amostras coletadas. Cada ponto foi analisado separadamente de modo a identificar a flutuação nas características do efluente em cada etapa do sistema.

A quantidade de amostras analisadas em cada ponto, assim como um panorama das modificações sofridas no efluente, encontra-se na Tabela 2, onde podem ser observados os valores máximos e mínimos encontrados em cada parâmetro, assim como os valores médios, desvios e o coeficiente de variação (CV).

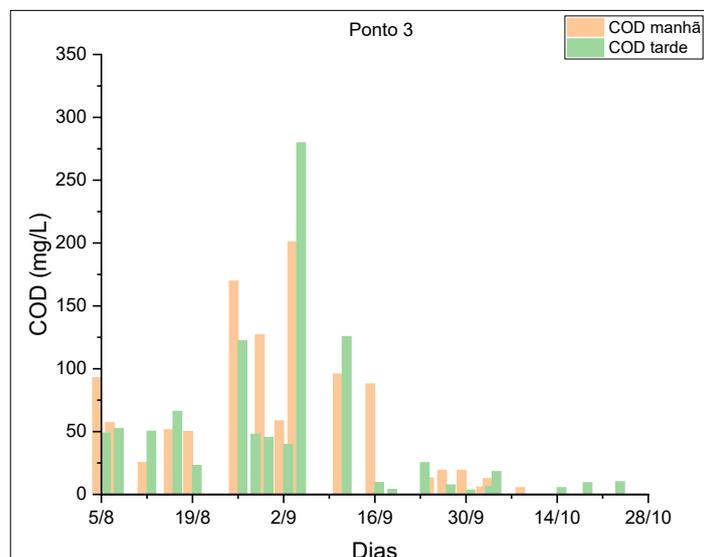
**Tabela 2: Variações de condutividade, pH e COD.**

<b>Ponto 1. Total de amostras analisadas: 41</b>						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
Condutividade elétrica	µS/ cm	3920,00	379,00	828,30	656,94	79,31
pH		11,72	6,74	7,96	1,15	14,41
COD	mg/L	130,40	0,46	35,91	38,79	108,03
<b>Ponto 2. Total de amostras analisadas: 31</b>						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
Condutividade elétrica	µS/ cm	13470,00	199,00	1492,64	3212,31	215,21
pH		9,36	1,38	6,22	1,56	25,09
COD	mg/L	1019,00	4,61	204,21	304,10	148,91
<b>Ponto 3. Total de amostras analisadas: 41</b>						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
Condutividade elétrica	µS/ cm	4860,00	614,00	1311,08	884,54	67,47
pH		11,96	6,53	9,19	1,55	16,88
COD	mg/L	279,80	0,00	51,19	60,40	118,00
<b>Ponto 4. Total de amostras analisadas: 29</b>						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
Condutividade elétrica	µS/ cm	4520,00	1435,00	3721,76	715,07	19,21
pH		10,75	7,52	8,99	1,04	11,58
COD	mg/L	959,70	7,98	142,00	180,37	127,02
<b>Ponto 5. Total de amostras analisadas: 28</b>						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
Condutividade elétrica	µS/ cm	7420,00	3580,00	5076,21	915,66	18,04
pH		10,82	7,72	9,40	0,68	7,24
COD	mg/L	307,60	17,23	96,33	65,92	68,44
<b>Ponto 6. Total de amostras analisadas: 41</b>						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
Condutividade elétrica	µS/ cm	4170,00	896,00	1358,93	599,00	44,08
pH		9,46	6,23	7,95	0,80	10,04
COD	mg/L	174,60	0,00	45,25	47,74	105,51
<b>Ponto 7. Total de amostras analisadas: 41</b>						
Parâmetro	Unidade	Máximo	Mínimo	Média	Desvio	CV (%)
Condutividade elétrica	µS/ cm	1757,00	775,00	1185,78	230,53	19,44
pH		8,24	5,82	7,34	0,41	5,63
COD	mg/L	11,71	2,79	6,38	2,83	44,39

Dentre os parâmetros avaliados, a utilização do COD possibilita a quantificação do conteúdo de matéria orgânica nos pontos amostrados.

Na Figura 3 pode ser observado a variação do COD, durante o período analisado. Os pontos 3 e 5 representam, respectivamente, as saídas de efluente tratado na FQ1 e FQ2.

(a)



(b)

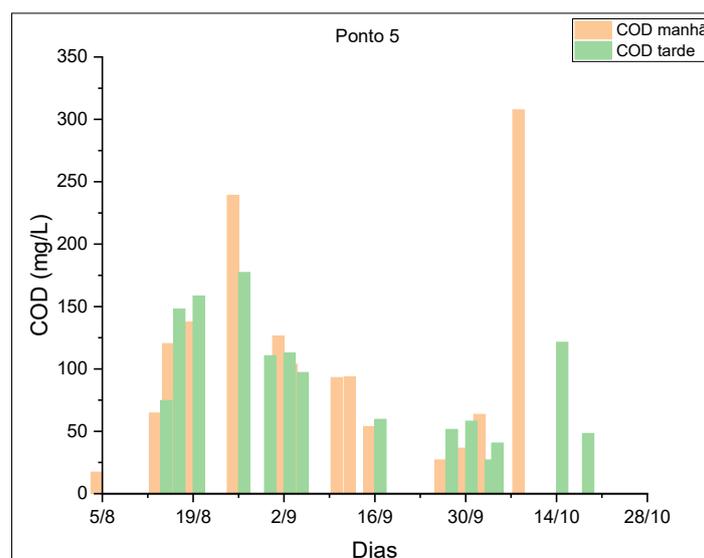
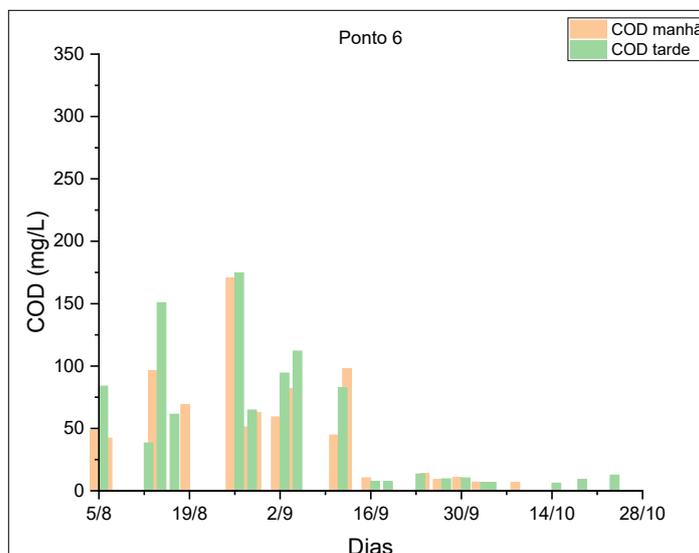


Figura 3: Variações de COD no efluente industrial tratado. (a) FQ1 (b) FQ2.

O comportamento do COD nos pontos finais do sistema de tratamento, pontos 6 e 7, podem ser observados na Figura 4.

(a)



(b)

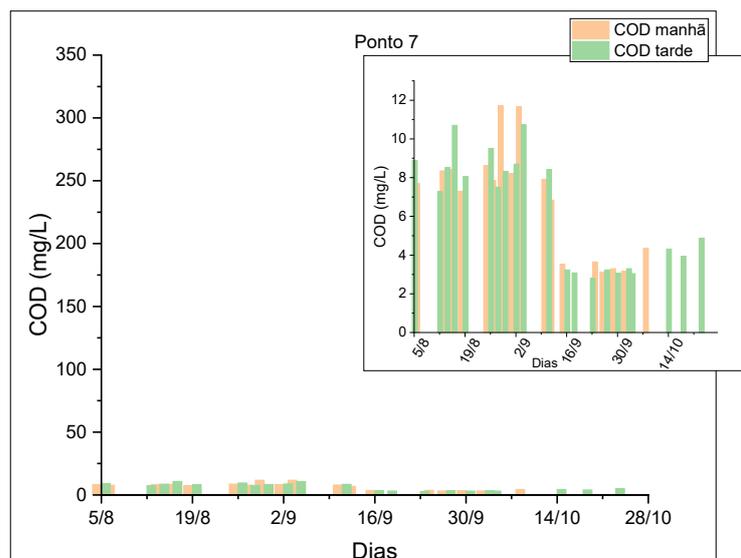


Figura 4: Variações de COD nos pontos finais do sistema. (a) Ponto 6 (b) Ponto 7.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

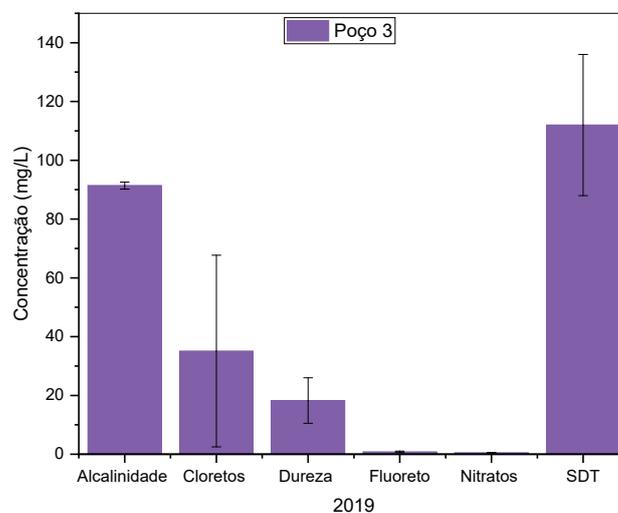
Verificando os laudos de análises, pôde-se perceber que o processo de tratamento de efluentes utilizado é capaz de alcançar os parâmetros de descarte adotados pela FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - instituição responsável pelo licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul), embora a concentração de alguns sais exija maior atenção.

Assim como a qualidade do efluente tratado obtido no ponto 7 do atual sistema, o conhecimento das características da água subterrânea é fundamental, pois indica a qualidade da água atualmente utilizada para os processos, parâmetros tais que devem ser respeitados para controle de qualidade do processo produtivo. Ao

longo do período analisado, houve uma variação na composição dos poços utilizados, sendo que no período mais recente apenas um, dos três poços tem servido de fonte de água para os processos.

Na Figura 5 são apresentados alguns dos parâmetros analisados da água subterrânea. Além desses, os teores de chumbo, cromo, ferro e manganês também foram analisados, mas sempre apresentaram valores abaixo dos limites de detecção.

No segundo trimestre de 2019 foi detectado coliformes totais no poço 3. Essa informação serve de alerta para possíveis contaminações, já que as bactérias do grupo coliforme são utilizadas como indicadores de poluição fecal. Entretanto, para confirmação da contaminação seriam necessários outros estudos, pois a verificação da espécie *Escherichia coli* foi negativa em todas as análises. Essa espécie é considerada melhor indicador de contaminação fecal, visto que algumas espécies de bactérias pertencente ao grupo coliformes fecais podem ser encontradas em outras fontes que não fezes.



**Figura 5: Monitoramento trimestral da água subterrânea**

Com relação a demanda de água por categoria de uso, percebe-se que a água dos poços é usada principalmente nas linhas de tratamento de superfície, como pode ser visto na Figura 2- E-coat 1 e 2, Spray 3 e E-coat da fábrica 2 - juntas consomem em média de 128 m<sup>3</sup>/d. A água subterrânea também é utilizada na torre de resfriamento e para limpeza de pisos e equipamentos, com 42 m<sup>3</sup>/d o que totaliza um consumo de 170 m<sup>3</sup>/d da água subterrânea no período analisado (Figura 2).

Os dados fornecidos também indicam o consumo da rede de distribuição pública de água, que é utilizada para consumo humano (Figura 2(b)), que apresentou no período analisado uma média 115 m<sup>3</sup>/d, sendo o restaurante responsável por 57 % desse valor.

Analisando a Tabela 2, verifica-se que a condutividade elétrica foi um parâmetro que apresentou grande variação nos pontos analisados, como pode ser visto a partir dos valores de CV. Este é considerado um parâmetro de interesse, pois é um indício da presença de sais em solução, sendo diretamente proporcional a concentração iônica. As espécies iônicas, se dissociam em ânions e cátions, os quais podem refletir na eficiência dos tratamentos avançados (LACERDA et al., 2015). Nesse sentido, pode-se esperar por exemplo, que os pontos 4 e 5 que apresentam condutividade elétrica mais elevada apresentem também concentrações de íons mais elevadas.

A partir do monitoramento das espécies iônicas, pode-se dizer que os íons são transportados na corrente de efluente industrial tratado e alguns sofrem um incremento, o qual pode estar associado aos produtos utilizados no tratamento físico-químico já que são adicionados policloreto de alumínio (PAC) como coagulante e ácido sulfúrico para controle de pH, por exemplo. Cloreto, fosfato, sulfato e sódio apresentaram valores até duas vezes maiores no ponto 5 do que no ponto 4. Íons como cloreto, fosfato, sulfato e sódio se encontram em maiores

concentrações e apresentam grande amplitude de valores, com diferenças de mais de 1800 mg/L entre o menor e o maior valor no caso do fosfato e CV acima de 100 % para cloreto, nitrato, fosfato e amônio.

O pH é o parâmetro que apresenta oscilações menos expressivas, tanto nas correntes de efluente bruto quanto nas correntes de efluente tratado, com exceção do ponto 2. Tais discrepâncias na qualidade do efluente no ponto 2 acabam influenciando também a qualidade do efluente no ponto 3, onde ocorre a mistura das correntes tratadas nos sistemas 1 e 2. O pH tem influência direta nos processos de coagulação e floculação, influenciando também nos mecanismos de adsorção e disponibilidade de espécies iônicas em solução, o que se reflete na eficiência de determinados tipos de tratamentos avançados de efluentes.

Por fim, analisando os valores de COD, é possível verificar variações mais significativas na FQ1 que na FQ2. Ao se comparar os valores apresentados na entrada e saída da ETE biológica – pontos 6 e 7 - (Figura 4) é possível que perceber que, a entrada no efluente sanitário no tanque de homogeneização (ponto 6), representa uma diluição da carga orgânica resultante do efluente industrial, apresentando valores inferiores aos apresentados inclusive pelas correntes de efluente industrial tratado (Figura 3). E o ponto 7, o qual representa o efluente tratado final, após a etapa de tratamento biológico, é a corrente que apresentou maior homogeneidade nos valores de COD, bem como os valores mais baixos, sendo o valor máximo apresentado de 11,71 mg/L.

## CONCLUSÕES

Fica evidente a necessidade de um pré-tratamento que proporcione a estabilização dos parâmetros que interferem diretamente na eficiência dos tratamentos avançados, como o conteúdo de matéria orgânica e concentração de íons dissolvidos. Devido ao comportamento observado, o tratamento utilizando POA torna-se menos indicado, pois possivelmente demandaria mais energia para manter eficiência e não removeria os íons, apenas a matéria orgânica.

Os pontos 3, 5 e 7 seriam considerados os pontos com maiores possibilidades de emprego do tratamento avançado, pois é inviável o tratamento direto das correntes de efluente bruto, devido à grande variabilidade das características físico-químicas do efluente.

Ainda assim, as correntes de efluente industrial tratado (3 e 5) apresentaram grande variabilidade, especialmente com relação à composição e concentração de espécies iônicas, o que poderia acarretar em problemas de funcionamento e ocasionar o surgimento de *scarciling* (considerando a utilização PSM) em períodos mais curtos, gerando uma maior necessidade de limpeza da (s) membrana (s).

Portanto, o ponto 7 se mostra com maior possibilidade de aplicação do tratamento avançado (PSM), por apresentar concentrações de matéria orgânica mais baixas, variação de pH e condutividade elétrica menos acentuadas. No entanto, torna-se necessária maiores medidas de controle com relação à alguns parâmetros visando o reúso para fins não potáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, 2011.
2. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH (BRASIL). Resolução nº 54, de 28 de nov. de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial [da] União, 2006.
3. HENDGES, A. S. Histórico e evolução da Legislação Ambiental no Brasil, Parte 3/3 (Final). In EcoDebate, ISSN 2446-9394, 18/11/2016. Disponível em: < <https://www.ecodebate.com.br/2016/11/18/historico-e-evolucao-da-legislacao-ambiental-no-brasil-parte-33-final-artigo-de-antonio-silvio-hendges/> > Acesso em: 5 de maio de 2021.
4. LACERDA, Aline Bauer et al. A CONDUTIVIDADE DA ÁGUA COMO INDICADOR DE EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE ELETRODIÁLISE. Inovamundi: Um mundo para inovar seu conhecimento, Novo Hamburgo, p. 4-8, maio 2015. Anual. Disponível em: < <https://www.feevale.br/Comum/midias/cf4b2667-6d56-47f5-a1f0-620884ce2606/Engenharias.pdf> > Acesso em: 18 de maio de 2021.
5. PLACHTA, I. et al. MANUAL DE CONSERVAÇÃO E Manual de Conservação e Reúso de Água na Indústria. [s.d.].

6. RODRIGUES, Marco Antônio Siqueira; BERNARDES, Andréa Moura. Água e efluentes: uso e reúso. In: BERNARDES, Andréa Moura; AMADO, Franco Dani Rico; RODRIGUES, Marco Antônio Siqueira (org.). Saneamento ambiental e reúso de água: técnicas avançadas de tratamento. Técnicas avançadas de tratamento. São Leopoldo: Benchimol Soluções Gráficas, 2018. Cap. 5. p. 61-72.
7. XIONG, R. et al. Experimental study on seeded precipitation assisted reverse osmosis for industrial wastewater reuse. *Journal of Water Process Engineering*, v. 20, n. September, p. 78–83, 2017.
8. VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Editora UFMG, 1996.