

# AVALIAÇÃO DO USO DE CLORO E ZEÓLITA PARA OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO EM EFLUENTES METAL MECÂNICO

<sup>1</sup>Gabriele da Costa Araújo

<sup>2</sup>Ricardo Augusto Moreira de Souza Corrêa

## RESUMO

Diversos setores industriais passaram a trabalhar com programas de responsabilidade sustentável, como a implementação de uma estação de tratamento de efluentes industriais. Os efluentes líquidos gerados na indústria metal mecânica possuem elevados teores de metais dissolvidos, óleos e graxas, sólidos suspensos totais e sólidos totais que, sem tratamento, podem gerar impactos ao meio ambiente como a elevação da demanda química de oxigênio da água. O tratamento convencional seguido de precipitação química, que tem por finalidade remover a matéria inorgânica e orgânica por meio de coagulação, floculação e sedimentação tem se mostrado inábil para redução deste parâmetro. A zeólita, um mineral poroso capaz de adsorver metais, tem ganhado destaque neste cenário. No presente trabalho foi realizado uma pesquisa exploratória, utilizando o cloro como agente oxidante e o mineral zeólita como agente filtrante no efluente industrial previamente tratado por método físico-químico. Os resultados demonstraram que o cloro é ineficiente para tratamento deste tipo de efluente, enquanto a zeólita somente apresentou eficiência da diminuição de sólidos suspensos totais e sólidos totais. Assim, pode-se concluir que apesar de ser um oxidante forte, o cloro pode interagir com os compostos orgânicos presentes no efluente, gerando intermediários indesejados, e por isso sua utilização deve ser avaliada de forma criteriosa. Por outro lado, a zeólita apresenta viabilidade para redução de sólidos do efluente mas sua aplicação deve ser considerada com parcimônia uma vez que seus componentes intrínsecos podem ocasionar um aumento de compostos indesejáveis.

**Palavras-chave:** Efluentes metal-mecânicos. Filtração por zeólita. Processos oxidativos. Tratamento de efluentes.

## ABSTRACT

Several industrial segments have started to work with sustainable responsibility programs, such as the implementation of an industrial effluent treatment plant. The wastewater generated in the metalworking industry have high levels of dissolved metals, oils and greases, total suspended solids and total solids which, without treatment, can generate impacts to the environment, such as the increase in the chemical oxygen demand of the water. Conventional treatment followed by chemical precipitation, which aims to remove inorganic and organic matter through coagulation, flocculation and sedimentation, has been shown to be unsuitable for reducing this parameter. The zeolite, a porous mineral capable of adsorbing metals, has gained prominence in this scenario. In this work an exploratory research was carried out, using chlorine as oxidizing

---

<sup>1</sup> Graduanda em Biotecnologia pela Faculdade Ciências da Vida

Email: [gabrielearaujo07@hotmail.com](mailto:gabrielearaujo07@hotmail.com)

<sup>2</sup> Docente na Faculdade Ciências da Vida, Mestre em Química pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Email: [ricardoamscorea@gmail.com](mailto:ricardoamscorea@gmail.com)

agent and the mineral zeolite as filtering agent in the industrial wastewater previously treated by physico-chemical method. The results showed that chlorine is inefficient for the treatment of this type of effluent, while zeolite only showed efficiency of the decrease of total suspended solids and total solids. Thus, it can be concluded that despite being a strong oxidant, chlorine can interact with the organic compounds present in the wastewater, generating undesired intermediates, and therefore its use should be evaluated carefully. On the other hand, the zeolite presents viability to reduce solids of the effluent, but its application should be considered with parsimony since its intrinsic components can cause an increase of undesirable compounds.

**Keywords:** Metalworking wastewater. Filtration by zeolite. Oxidative processes. Wastewater treatment.

## 1 INTRODUÇÃO

É previsto entre todas as indústrias o consumo de recursos naturais para assegurar o desenvolvimento de produtos e serviços, dentre estes, as águas superficiais, subterrâneas ou oriundas de redes de distribuição se tornaram primordiais, auxiliando nas atividades de produção, manutenção e limpeza. Os efluentes líquidos industriais se originam da contaminação destes recursos hídricos com produtos químicos, matéria orgânica e inorgânica, dejetos de animais, entre outros aspectos do processo (GARGANO, 2016). Segundo os dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis no primeiro bimestre de 2018 foi consumido em média 15.000 toneladas de fluidos de corte no Brasil (ANP, 2018). Este consumo exorbitante evidencia de forma clara, a importância de assegurar o desempenho e melhoria contínua dos sistemas de tratamento de efluentes, antecedendo a garantia de eficiência para destinação aos cursos receptores.

Como forma de minimizar a queda da eficiência durante o tratamento convencional e otimizar a qualidade do efluente final tratado, surgiu a possibilidade de utilizar novas tecnologias ecologicamente corretas e economicamente viáveis, que vem sendo integrado como plano de gerenciamento nas indústrias, neste contexto a integração de agentes oxidativos e a zeólita para adsorção de metais tem sido aceito como uma chance de êxito para a remoção ou a degradação de poluentes recalcitrantes. Visando esta problemática, o presente trabalho experimental se propõe em contribuir na otimização do tratamento convencional dos efluentes gerados a partir de fluidos de corte, limpeza de piso e equipamentos da indústria metal-mecânica, sugerindo a adaptação de um polimento final com a adição de agentes oxidantes e a zeólita para quebra de compostos e filtração respectivamente do efluente (MALPASS *et al.*, 2016).

Sendo o questionamento do presente estudo: qual a possibilidade de aumentar a eficiência de resultado nos parâmetros previstos no artigo 29 para descarte de efluentes da

deliberação normativa COPAM/ CERH N° 1 de 5 maio de 2008 pela inserção de tratamento com cloro e zeólita? Diante disto, este trabalho foi elaborado com o objetivo de desenvolver análises físico-químicas no efluente tratado por método convencional onde foi posteriormente integrado os agentes oxidativos e a zeólita, visando atender os parâmetros já previstos. Dentre os parâmetros contidos nas legislações ambientais federais, estaduais e municipais que visa perante a jurisdição atuar de maneira complementar e conjunta, fica esclarecido que a análise dos parâmetros pode ser avaliada por diferentes metodologias adotadas e sua caracterização é essencial para avaliar a veracidade poluidora do efluente (BRASIL, 2005).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O setor industrial consome anualmente 22% da água disponível, este número pode crescer em 50% até 2025 (ONU, 2015). Toda informação atual divulgada pela mídia, referente as problemáticas ambientais e a indisponibilidade das matérias-primas extraídas de todos os ecossistemas, debanda a ideia de que todos os recursos naturais são renováveis e podem ser consumidos de forma desenfreada. O foco mundial é garantir que as futuras gerações possam desfrutar de forma sustentável e em prol da sua sobrevivência, de todos os recursos disponibilizados na natureza (ANDRADE, 2011).

Sabe-se que, somente a partir do tratamento específico e adequado, todo e qualquer efluente das mais diversas fontes poluidoras poderão ser lançados na rede receptora. A caracterização do efluente auxilia na determinação do tratamento ideal e suas características físicas, químicas e biológicas variam de acordo com a atividade demandada dentro do processo produtivo (VON SPERLING, 2005).

Em processo de usinagem, a matéria prima mais usual são os denominados fluidos de corte que desempenham múltiplas funções, como reduzir a frequência de troca de ferramenta de corte, refrigerar, lubrificar, proteger a peça usinada e transportar o cavaco para fora da região do corte, afim de produzir dentro da tolerância e com qualidade, acabamentos dimensionais predeterminados. É empregado distintos fluidos de corte para as mais diversificadas atividades produtivas, esta ampla disponibilidade do produto levou ao surgimento de diferentes classificações, dificultando sua padronização. Visto a variedade dos compostos e fins para utilização, é necessário realizar uma manutenção rotineira do produto in loco, garantindo sua eficiência de trabalho, além de aumentar sua vida útil (MIRANDA, 2003). Atualmente é realizado a adição de produtos como anticorrosivos, com a função de prolongar a funcionalidade no processo produtivo, dificultando o declínio do pH e consequentemente impedindo a proliferação de alguns microrganismos.

Baseando-se nos dados da ANP 2018, no 1º bimestre de 2018 a indústria metal-mecânica no Brasil se sobressaiu como possível fonte poluidora, visto o consumo de 100 a 200 litros de fluidos de corte por minuto. Este volume de óleo consumido nos processos de fabricação e manutenção, demonstra a necessidade de desenvolver estratégias para reduzir o potencial poluidor do efluente gerado. Levando em conta a atividade de acabamento de metais, o efluente gerado compõe-se de substâncias corrosivas, tóxicas e biorrefratárias, apresentando uma grande dificuldade no tratamento dos compostos presentes (MONTEIRO, 2006).

É de suma importância desenvolver um processo onde prioriza-se otimizar o uso das matérias-primas, maximizando resultados através de tecnologias modernas para manutenções diversas, abastecimento de máquinas, limpeza e processos afins, que possa contribuir com a redução da geração de efluentes e seu potencial poluidor. Uma prática simples e conivente adotada é monitorar frequentemente os vazamentos de máquinas e equipamentos e suas demandas de manutenções específicas, podendo assim evitar novos pontos e eliminar pontos existentes que auxiliem na sua geração (GIORDANO, 2004). Pode-se dizer que quanto menor o volume de efluente a ser tratado, mais acessível é o controle e gerenciamento de todo processo aplicado.

Neste cenário o descarte de efluentes oriundos dos fluidos de corte tornou-se uma grande oportunidade de desenvolver programas ambientais, uma vez que no passado estes eram simplesmente lançados na natureza. Hoje as legislações ambientais impõem parâmetros de controle específicos para este produto. Apesar de aumentar os custos de produção para atender as obrigações legais, este aspecto requerido se tornou uma motivação para desenvolvimento de tecnologias e alternativas que visam até mesmo o reuso das águas residuais (MIRANDA, 2003).

Para Carvalho *et al.*, (2014) podemos assegurar que todas as E.T. Es possuem a mesma função, que é atuar de maneira artificial na quebra, redução ou remoção dos compostos presentes nos efluentes, a fim de atingir valores abaixo aos permitidos, dentre os parâmetros predeterminados para sua disposição final adequada. Von Sperling (2005) complementa que de uma forma geral, a eficiência destas estações de tratamentos está ligada a todos os planos de monitoramento ambiental e de qualidade. Os principais parâmetros indiretos que sublinham a importância em definir o tipo de tratamento e verificar a qualidade do efluente após o tratamento, o justificando por sua carga orgânica e inorgânica, são demanda química e demanda bioquímica de oxigênio (DQO e DBO). A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, estabelece padrões e exigências federais (VON SPERLING, 1996). Já a legislação estadual vigente, deliberação normativa COPAM/CERH nº 1 de 5 maio de 2008 determina no artigo 29 os parâmetros que devem ser adequados.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 430/2011 estabelece que, a destinação final do efluente será estabelecida conforme valores máximos obtidos dos parâmetros previstos na norma de referência, podendo assim serem lançados ou não aos corpos receptores (NEUMANN, 2016). Segundo Barbosa (2006), o objetivo principal do processo de tratamento nestes efluentes é minimizar seu potencial poluidor, reduzindo ou impedindo degradações futuras ao meio ambiente.

As operações unitárias que visam atender a eficiência final das águas residuárias são oriundas dos vários níveis ou fases de tratamento conhecidos como preliminar, primário, secundário ou terciário. Sendo a preliminar para remover sólidos grosseiros e sedimentáveis, o primário a matéria orgânica em suspensão, o secundário a matéria orgânica dissolvida e também em suspensão e no terciário visando obter um efluente de alta qualidade removendo substâncias afins e não biodegradáveis, onde cada etapa citada demanda de equipamentos específicos (VON SPERLING, 2005). Todas as etapas de tratamento podem ser aplicadas nos efluentes por processos físico-químicos, os quais são responsáveis pela formação e separação dos flocos, destacando os principais: neutralização/coagulação-floculação, decantação/flotação e filtração (ODEGAARD, 1979).

Conforme descrito por Cavalcanti (2009) o tratamento físico-químico detém a função de clarificação, retirada parcial das cargas orgânicas, e remoção de metais atuando de maneira diversificada como pré ou pós tratamento de efluentes industriais. Para Neumann (2016) a neutralização elimina o processo de repulsão entre as partículas atuando sobre suas cargas eletrostáticas e corrigindo seu *pH*, levando em conta o produto utilizado posteriormente, como os coagulantes químicos que são compostos por sais de ferro ou alumínio, a fim da formação dos flocos no processo de coagulação-floculação. Os principais objetivos da etapa de coagulação são: redução do volume das camadas difusas; absorção, neutralização; varredura e formação de pontes de hidrogênio, basicamente transformar todos as impurezas em estado coloidal, suspensão e demais em flocos (PAVANELLI, 2001). Após eficiência no processo de coagulação a separação física destes flocos é desenvolvida na etapa de sedimentação, em que a demanda final visa a separação das partículas sólidas com densidade superior à do líquido do efluente através da disposição em equipamentos com um fluxo de água baixa, as partículas tendem a ir para o fundo e formarem uma camada de lodo (MIERZWA, 2002).

A necessidade de potencializar a eficiência do efluente final para disposição adequada com um mínimo de carga poluidora disposto em um curso hídrico, levantou a hipótese de adaptações no tratamento convencional, é visto estas modificações em diversos estudos realizados que visam tecnologias capazes de minimizar o volume e a toxicidade destes materiais

(MONTEIRO, 2006). A aplicação de processos oxidativos avançados nos tratamentos de efluentes industriais vem ganhando espaço, a eficácia depende da geração de radicais livres reativos, sendo o mais importante o radical hidroxila ( $\text{HO}\cdot$ ) que possui um potencial padrão de redução ( $E^\circ$ ) superior a várias espécies oxidantes, este radical livre pode ser produzido com a aplicação de agentes oxidante fortes como exemplo o ozônio ( $\text{O}_3$ ), peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e Cloro ( $\text{Cl}_2$ ) (MALPASS et al., 2016). Além da vantagem do forte poder oxidante Dezotti (2008) cita a possibilidade de obter mineralização total dos poluentes e oxidação total de espécies inorgânicas através dos processos oxidativos avançados.

Segundo Aguiar e colaboradores (2002), as zeólitas possuem capacidade de adsorção, porém sua eficiência se relaciona com as diversas características que se pode detectar em sua parte interna, sendo o volume poroso e diâmetro dos poros. Algumas formas e tamanhos já são conhecidas e caracterizadas, as zeólitas de modo geral podem ser definidas como aluminossilicatos cristalinos e suas estruturas tridimensionais oriundas de cavidades detém grandes íons e moléculas de água, aproveita-se sua liberdade de movimento para trocas iônicas e uma hidratação reversível. A densidade das zeólitas pode variar entre 1,9 e 2,4  $\text{g/cm}^3$  e altera conforme troca iônica com os metais e sua eficiência dependerá do número de espaços vazios e sua estrutura inicial. Outro grande fator determinante na escolha deste mineral para tratamento de efluentes é sua capacidade de regeneração que tem como objetivo reativar o mineral, podendo considerar que os sítios de troca das zeólitas possuem grande afinidade pelos íons monovalentes, a maioria dos tratamentos de regeneração utiliza solução concentrada de NaCl (SHINZATO, 2007).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Caracterizada como de natureza aplicada, a pesquisa desenvolvida objetivou gerar conhecimento para aplicações práticas, de cunho explicativo onde os procedimentos técnicos experimentais foram abordados de forma qualitativa. Assim sendo, foram investigados resultados obtidos de métodos padronizados dos parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Totais (ST), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Cloro (Cl), para a análise físico-química do efluente (Standard Methods, 2015).

A pesquisa explicativa busca apontar os fatores que determinam os fenômenos responsáveis, relacionando hipóteses em uma visão mais unitária do âmbito produtivo e esclarecendo a maneira de como processos ocorrem. A partir disso os procedimentos técnicos

serão abordados de forma experimental onde o objeto de estudo será exposto a variáveis controladas pelo pesquisador para verificar os resultados produzidos pelas condições propostas (GIL, 2008).

## 3.2 MÉTODOS DE ANÁLISES

### 3.2.1 Coleta das amostras

Foram coletados 1,2 litros de efluente industrial metal mecânico na saída do tratamento por método físico-químico de uma indústria situada na cidade de Sete Lagoas (MG). Para este procedimento, todas as vidrarias foram esterilizadas com 0,2 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Um total de três provetas de 400 mL foram avolumados com as amostras, as quais foram transferidas para béqueres numerados. A amostra de nº 1 foi denominada zero teste (branco); a amostra de nº 2 foi filtrada em uma pastilha de cloro (CLIM 90-Ácido Tricloroisocianúrico 90%, 85 gramas) seguida por filtração em zeólita (base de aluminossilicatos, hematita, braunita, polianita, WAD, 55 gramas) previamente acondicionada em papel filtro quantitativo Ø 15.00 ± 0,10 cm; a amostra nº 3 foi filtrada somente em zeólita (base de aluminossilicatos, hematita, braunita, polianita, WAD, 55 gramas) previamente acondicionada em papel filtro quantitativo Ø 15.00 ± 0,10 cm.

As análises de todos os parâmetros foram conduzidas em triplicata.

### 3.2.2 Medição da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A avaliação da DQO dos dois filtrados e da amostra zero teste foi conduzido em um fotômetro de bancada (HI 83099 – HANNA *instruments*) utilizando tubos de ensaio HANNA HI93754C-25 pré-condicionados para o método dicromato.

O teste foi conduzido pelo aquecimento de 0,2 mL de cada amostra por 2 horas em digestor (HI 839800 – HANNA *instruments*) a 150° C. Após o tempo de aquecimento, esperou-se aproximadamente 20 minutos para que a temperatura alcançasse estabilização a 120°C, para posterior agitação das amostras.

Por fim, os tubos de ensaios são acondicionados em racks para leitura no fotômetro.

### 3.2.3 Medição de Sólidos Suspensos Totais (SST)

Para preparação do filtro, utilizou-se 3 microfiltros em fibra de vidro (HNM – GF50/A Ø 47mm ± 0,5 mm) em sistema filtrante a vácuo acoplado a uma bomba de vácuo (Primatec 121). Os filtros foram pré-condicionados pela filtração em triplicata de 20 mL de água destilada.

Todos os três filtros foram acondicionados em placas de petri 60x15 mm e levados para estufa (SPLABOR SO-100/180) em temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 1 hora. Em seguida, foram acondicionados em dessecador por 1 hora para resfriamento e as respectivas massas foram anotadas.

Para análise de SST nas amostras 2 e 3, foi conduzida a filtração de 30 mL de cada amostra em questão em um microfiltro e recolocado junto a placa de petri previamente identificada na estufa durante 1 hora e 30 minutos, após finalizado o tempo de secagem, os filtros foram novamente acondicionados em dessecador por 1 hora para resfriamento e as respectivas massas foram anotadas.

#### 3.2.4 Medição de Sólidos Totais (ST)

Em preparação para análise de sólidos totais, 3 cápsulas de evaporação de porcelana de 50x20mm foram acondicionadas na estufa (SPLABOR SO-100/180) em temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 1 hora. Em seguida, foram acondicionados em dessecador por 1 hora para resfriamento e as respectivas massas foram anotadas.

Para análise de ST nas amostras 2 e 3, 30 mL de cada amostra foi depositado na cápsula de evaporação e levada para banho maria (SPLABOR SP-12/100EA) em temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até completa evaporação da fase líquida. Após evaporação total de cada amostra, as cápsulas foram novamente acondicionadas em dessecador por 1 hora para resfriamento e as respectivas massas foram anotadas.

#### 3.2.5 Medição de Ferro (Fe)

A mensuração de Fe foi conduzida utilizando fotômetro de bancada (HI 83099 – HANNA *instruments*). Foram utilizadas 3 cubetas de 10 mL limpas e leituras foram conduzidas nas amostras 1, 2 e 3 para obtenção do branco.

Para mensuração do Fe, foi adicionado a cada amostra o reagente HI93721-0 (Iron HR – HANNA *instruments*), a cubeta foi invertida por 5 vezes e após 3 minutos foi obtido o resultado em mg/L.

#### 3.2.6 Medição de Manganês (Mn)

A mensuração de Mn foi conduzida utilizando fotômetro de bancada (HI 83099 – HANNA *instruments*). Foram utilizadas 3 cubetas de 10 mL limpas e leituras foram conduzidas nas amostras 1, 2 e 3 para obtenção do branco.



Para mensuração do Mn, foi adicionado a cada amostra o reagente HI93709A-0 (Manganese HR – HANNA *instruments*), a cubeta foi invertida por 5 vezes, em seguida adicionou-se o reagente HI93709B-0 (Manganese HR – HANNA *instruments*), a cubeta foi agitada até total dissolução do reagente e após 3 minutos foi obtido o resultado em mg/L.

### 3.2.7 Medição de Cloro (Cl)

A mensuração de Cl foi conduzida utilizando colorímetro para medições *in loco* Free Chlorine (HI701 – HANNA *instruments*). Foram utilizadas 3 cubetas de 10 mL limpas e leituras foram conduzidas nas amostras 1, 2 e 3 para obtenção do branco.

Para mensuração do Cl, foi adicionado a cada amostra o reagente HI701-25 (HANNA *instruments*), a cubeta foi agitada até total dissolução do reagente e após 1 minuto foi obtido o resultado em mg/L.

### 3.2.8 Medição de Temperatura e pH

A avaliação da temperatura e pH das amostras foram realizadas em pHmetro de bancada (HI2221-01 – HANNA *instruments*), submergindo aproximadamente 3 cm do eletrodo seletivo a íons H<sup>+</sup> e 3 cm da sonda de temperatura nas amostras 1, 2 e 3. Os valores foram obtidos após a estabilização da leitura.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E INORGÂNICA

A Figura 1 mostra que foi detectado um aumento da taxa de DQO após a filtração da amostra em pastilha de cloro e o mineral zeólita. Conforme descrito por Moreno-Casillas *et al.*, (2007) através deste resultado não é possível identificar materiais oxidativos, nem analisar suas características, se são compostos orgânicos e inorgânicos. Contudo o valor encontrado tornou-se um indicador de que os tratamentos utilizados podem ter contribuído para o aumento de substâncias coloidais no efluente estudado e conseqüentemente, ter elevado o seu potencial poluidor (LINS, 2010).

Para avaliação da eficiência do cloro e a zeólita separadamente, a 3<sup>o</sup> amostra foi filtrada somente na zeólita e pode-se observar uma redução mesmo que não muito significativa na DQO em relação a amostra que continha cloro, o que constitui um forte indicador da presença de interações químicas entre o cloro e intermediários orgânicos presentes no efluente, na justificativa do pequeno aumento com a utilização da zeólita perante a amostra inicial, cita-se

uma possibilidade de o sólido adsorvente e o fluido adsorvido terem conduzido a formação de um composto químico de superfície durante o processo de adsorção química similar ao representado por Jenne (1998) e este composto impactou no resultado final.

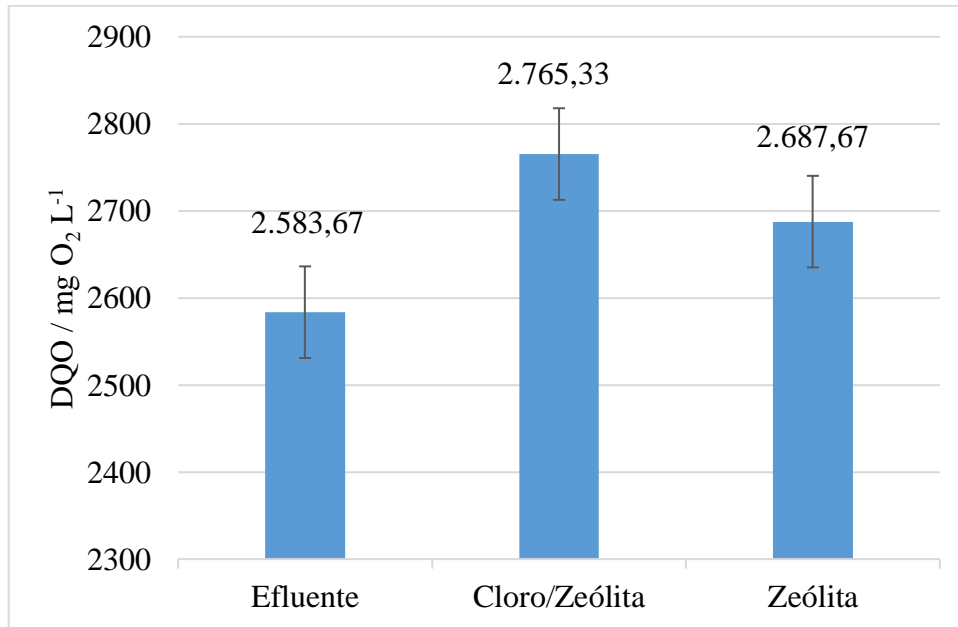


FIGURA 1 – Demanda Química de Oxigênio do efluente tratado, do efluente tratado filtrado em pastilha de Cloro e zeólita e do efluente tratado filtrado em zeólita. n = 3.

#### 4.2 SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS

O tratamento com Cloro e zeólita, por outro lado, se mostraram bastante eficientes para a remoção de ST e SST, como era esperado. Foi observado, conforme apresenta a Figura 2, uma redução de 75% para os SST e por volta de 23% para os ST. Os SST compreendem a quantidade de sólidos em suspensão na água, com a capacidade de aumentar a turbidez e alterar as propriedades físicas e químicas (VON SPERLING, 1996). Estes sólidos apresentam-se em partículas com diâmetro médio > 2µm que podem ter sido retidos em parte no papel filtro utilizado para acondicionar a zeólita. Metcalf e Eddy (2003) afirmam ainda que os sólidos suspensos totais e os sólidos totais, em conjunto, constituem a característica física mais importante dos efluentes.

Adicionalmente, a amostra filtrada somente em zeólita apresentou um resultado extremamente satisfatório para sólidos totais, onde foi possível alcançar uma remoção destes na faixa de aproximadamente 49%. Novamente, a presença de cloro não se mostra como uma alternativa viável para o tratamento de efluentes da indústria metal mecânica pela possibilidade

de reação com intermediários e formação de compostos que prejudicam a qualidade do efluente final.

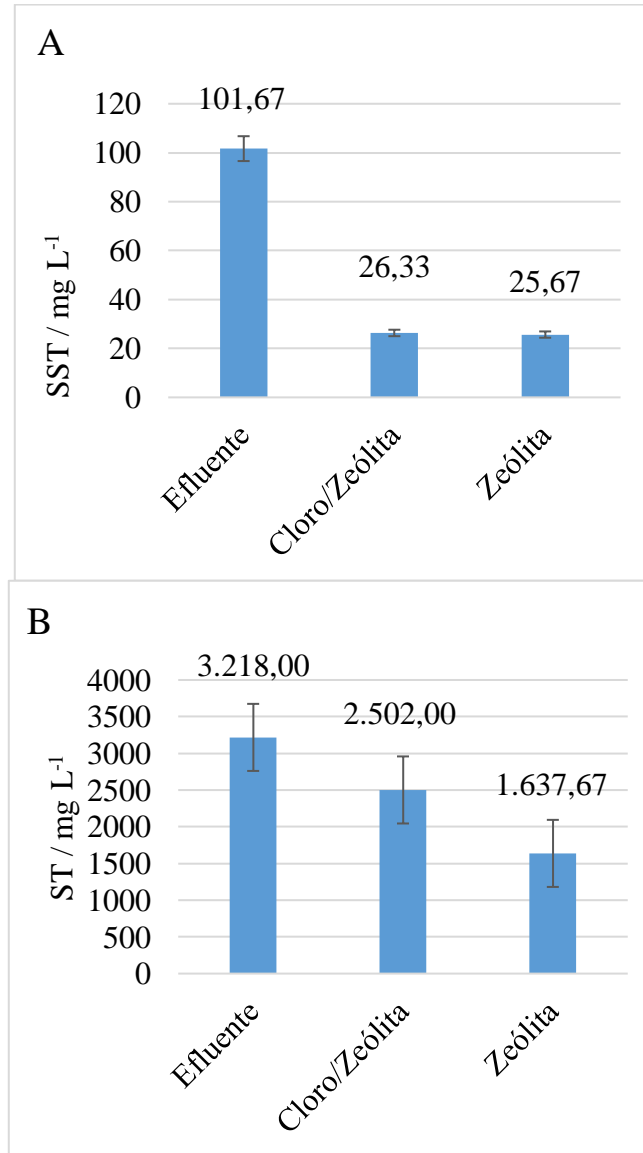


FIGURA 2 – Sólidos suspensos totais (A) e sólidos totais (B) do efluente tratado, do efluente tratado filtrado em pastilha de Cloro e zeólita e do efluente tratado filtrado em zeólita. n = 3.

#### 4.3 DETERMINAÇÃO DE METAIS Fe E Mn

Sendo componentes inorgânicos, os metais devem ser avaliados, segundo Nuvolari (2003), na forma solúvel. Em pequenas concentrações eles são necessários, pois são considerados micronutrientes, porém, em grandes concentrações, geralmente são tóxicos. Conforme descrito em diversos trabalhos a zeólita é capaz de retirar Fe e Mn de efluentes devido a sua capacidade adsorvente.

No presente estudo, conforme apresentado na Figura 3, observou-se uma remoção de Fe de aproximadamente 31% nos dois tratamentos estudados. Por outro lado, ao contrário do esperado, um aumento significativo de Mn foi observado em todos os casos. Este aumento também pode ser justificado pela composição da zeólita, que apresenta óxidos de manganês. O efluente, por apresentar características oxidativas, é capaz de causar dessorção do manganês presente na zeólita. Shinzato (2007) descreve ainda que todos os tipos de zeólitas estudadas até o momento apresentaram maior seletividade pelo chumbo e menor seletividade por níquel e cromo. Porém, mais estudos são necessários acerca da cinética da zeólita para remoção de Fe e Mn.

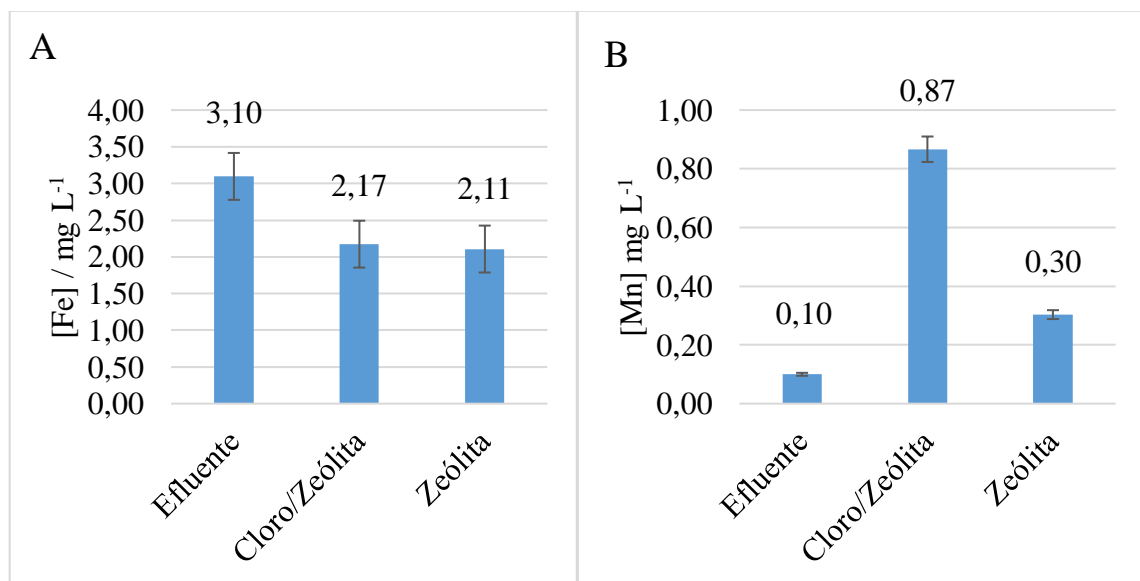


FIGURA 3 – Análise de Fe (A) e Mn (B) do efluente tratado, do efluente tratado filtrado em pastilha de Cloro e zeólita e do efluente tratado filtrado em zeólita. n = 3.

#### 4.4 ANÁLISE DE CLORO LIVRE, pH E TEMPERATURA

Conforme descrito por Feitosa e Manoel Filho (1997), um parâmetro de extrema importância para efluentes compreende o potencial de hidrogênio (*pH*) que é a relação existente entre os íons  $H^+$  e  $OH^-$ , e mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução, podendo variar de acordo com a temperatura.

A Figura 4 contém os resultados obtidos para as análises de cloro livre, *pH* e temperatura. Observou-se uma queda considerável de *pH* no efluente tratado com cloro e zeólita, além da presença acima do limite de cloro livre, o que não foi observado no efluente tratado somente com zeólita. Desta forma, mais uma vez, a presença do cloro no tratamento deste tipo de efluente se mostra desvantajoso uma vez que o mesmo reage de forma negativa

com as espécies previamente presentes no efluente. A composição destes efluentes é diversificada e ainda não completamente elucidada, esta variada gama de compostos orgânicos pode ter desencadeado na formação de espécies cloradas, o que justifica o alto teor de cloro e o baixo valor de *pH* encontrado.

Adicionalmente, esta baixa no *pH* é prejudicial para o próprio tratamento do efluente em si. Conforme justifica Malpass et al., (2016) para máxima eficiência no processo de oxidação é necessário a geração de radicais livres reativos, sendo o mais importante o radical hidroxila (HO•), mantendo o efluente básico para a reação. A redução no *pH* pode interferir também na propriedade de retenção iônica pela zeólita este dado foi verificado por Shinzato 2007 levando em consideração que com sua diminuição os íons H<sup>+</sup> passariam a competir pelos sítios de adsorção, o mesmo avaliou que outra variável muito importante é a temperatura e que seu aumento favorece a remoção de metais.

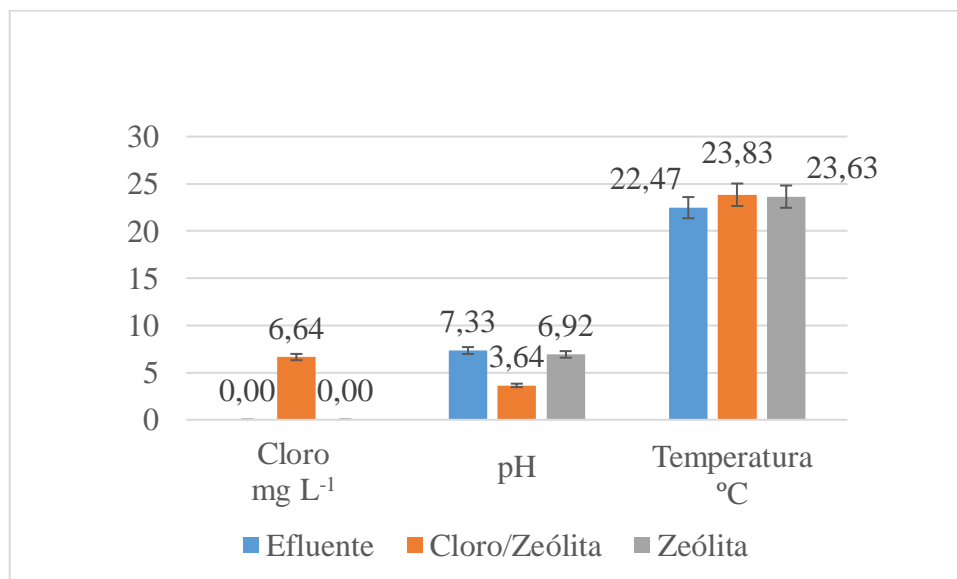


FIGURA 4 – Análise de cloro livre, *pH* e temperatura do efluente tratado, do efluente tratado filtrado em pastilha de Cloro e zeólita e do efluente tratado filtrado em zeólita. n = 3.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo avaliou-se que o potencial oxidante do cloro e adsorvente da zeólita não apresentou eficiência no parâmetro de DQO, entretanto nos parâmetros de Sólidos Suspensos e Sólidos Suspensos Totais atingiu-se 75% de eficiência em ambos os testes e em Sólidos Totais mais de 50% de sua remoção com a filtração em zeólita. Interações químicas

complementares e inesperadas foram observadas tanto nos resultados de DQO, quanto na atenuação de Mn.

Mediante os resultados obtidos, visando o parâmetro de DQO, o cloro e a zeólita não representam alternativas viáveis para otimizar os resultados obtidos do processo físico-químico, porém a eficiência na redução dos parâmetros de sólidos indica uma possibilidade de utilização destes compostos. É necessário realizar uma caracterização minuciosa de todos os componentes do efluente metal mecânico para controlar de forma viável qualquer interação química possível.

De forma imediata, os resultados obtidos representam implicações em dois pilares, a saber: ambiental e econômico. No âmbito da sustentabilidade ambiental, esta metodologia não é capaz de otimizar o tratamento convencional, visando a atenuação de um dos parâmetros críticos deste efluente, a DQO; no âmbito econômico, o custo da zeólita e do cloro apresenta-se relativamente alto, uma vez que a carga orgânica e inorgânica do efluente, demandaria uma manutenção regular, o que pode, de médio a longo prazo, tornar inaceitável para as empresas a adaptação desta nova tecnologia.

Como principal limitação, este trabalho apresenta a incerteza de quais interações químicas ocorreram para aumento de alguns parâmetros e a forma de controle. Por compreender uma gama de produtos novos de mercado, com características peculiares, atendendo padrões diversificados, ainda não existem estudos conclusivos acerca de todas as características do efluente oriundo de indústrias metal mecânica.

Para estudos futuros sugere-se a caracterização minuciosa de todos os componentes do efluente metal-mecânico, para controlar de forma viável qualquer interação química possível, a realização de análise e verificação de variáveis importantes para utilização da zeólita como temperatura, *pH* e tamanho dos grãos, expondo a amostra a diferentes situações.

## **6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS,**

AGUIAR, M. R. M. P. DE; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S. Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. **Química Nova**, v. 25, p. 1145, 2002.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás natural e Biocombustível. Brasil, 2018.

ANDRADE, L. H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso**. 2011. 214 f. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

BARBOSA, A. J. S. **Gerenciamento operacional para estação de tratamento de esgoto: Estudo da ETE Sideral, Belém/PA**. 2006. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2006.

BRAILE, P. M; CAVALCANTI, J. E. W. A.- **Manual de tratamento de Águas Residuárias**, São Paulo: CETESB, 1993. 764p.

BYRNE, G. **Usinagem em Ambiente Limpo: Não se Trata Apenas de uma Questão de Higiene**. Máquinas e Metais, São Paulo, n. 363, p.66-80, 1996.

CARVALHO, N. L. et al., **Reutilização de águas residuárias**. Revista Monografias Ambientais - REMOA, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 3164-3171, mar. 2014.

CAVALCANTI, J. E. W de A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. São Paulo: Engenho. Editora Técnica Ltda, 453p. 2009.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n°357. 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n°430. 2011.

COPAM/CERH-MG, Deliberação Normativa Conjunta. n° 01, de 05 de maio de 2008.

DANDOLINI, D. L. **Gerenciamento ambiental de fluidos de corte em indústrias metal-mecânicas**. Dissertação de Mestrado - Engenharia Ambiental na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, 173p. 2001.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E:papers, 2008.

DINIZ, A.E.; MARCONDES, F.C.; COPPINI, N.L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. MM Editora. São Paulo. 242 p, 1999.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO M. J. **Hidrogeologia- Conceitos e Aplicações**. Fortaleza, 389p, 1997.

FERNÁNDEZ, J. C.T., **Seletividade da clionoptilolita natural por metais tóxicos em sistemas aquosos**. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos, SP, Brasil. 152p. 2004.

GARGANO, D. H., **Efluentes de laticínios: Impactos ambientais e tratamento através do uso de biorreatores de membranas**. Faculdade Ciências da Vida- FCV, Sete Lagoas, Brasil, 40p. 2016.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Revista ABES. v.4. 2004

JENNE, E. A. **Adsorption of metals by geomedia: variables, mechanism and model applications**, San Diego, Academic Press, 11-36, 1998.

KAMMERNEIER, D.; BORSCHERT B.; KAUPER, H.; SCHENEIDER, M. **Furação sem refrigeração: somente razões ecológicas?** Metal Mecânica, São Paulo, ano XVIII, p. 62-69, abril / maio 2000.

LINS, G. A. **Impactos ambientais em estação de tratamento de esgotos (ETEs)**. Dissertação (Mestrado)- Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 236p, 2010.

LUZ, A. B. D. A. **Zeólitas: Propriedades e Usos Industriais**. Rio de Janeiro: CETEM - Centro de Tecnologia Mineral/CNPq, 35p, 1995.

MACHADO, A. R.; DINIZ, A. E. **Vantagens e Desvantagens do Uso (ou não) de Fluidos de Corte**, Máquinas e Metais. São Paulo. p. 134-151, 2000.

MALPASS, G. R. P *et al.*, **Processos oxidativos avançado: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais**. Universidade Federal do triângulo mineiro- UFTM, Uberaba, Brasil, 401p. 2016

METCALF e EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 4. Ed. Mc Graw Hill. New York, 2003.

MIERZWA, C. J. **O uso racional e reuso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 367p.2002.

MIRANDA, G. W. A. **Uma contribuição ao Processo de Furação sem Fluido de Corte com Broca de Metal Duro Revestida com TiAlN**. Tese de doutorado - Engenharia Mecânica, Campinas, 160p, 2003.



- MONTEIRO, M. I. **Tratamento de efluentes oleosos provenientes da indústria metal-mecânica e seu reuso**. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, 2006.
- MORENO-CASILLAS, H. A.; COCKE, D. L.; GOMES, J. A.; MORKOVSKY, P.; MOUNTEER, A. H. et al. **Avaliação ecotóxica de águas residuárias e seus respectivos corpos receptores**. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2007.
- NEUMANN, M. A. **Estudo de caso: Estação de tratamento de efluentes de uma indústria metal-mecânica do noroeste do RS**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul- UNIJUI, 73p. 2016.
- NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 3. ed. Aracaju: Triunfo Ltda. 298 p. 2001
- NUVOLARI, A., et al. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Edgar Blucher, 2003.
- ODEGAARD, H. **Chemical floc formation in wastewater treatment – an introduction**. Prog. Wat. Tech., supl. 1, 103-110p, 1979.
- OLIVEIRA, C. A. A; DANIEL, L. A. **Prevenção de poluição pela redução de efluentes líquidos industriais na fonte de geração**. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, Rio de Janeiro, 2002.
- PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 216p. 2001.
- SHINZATO, M. C. **Remoção de Metais pesados em solução por zeólitas naturais: Revisão Crítica**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 27-28, 65-78, 2007.
- VON SPERLING, M. – **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA), 1996.v.2, 211p.
- VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A de L. **Biological wastewater treatment in warm climate regions**. London UK: IWA Publishing e Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005, v.1, 810 p.

ZANELLA, G.; SCHARF, M.; VIEIRA, G. A.; ZAMORA, P. P. **Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-fenton e avaliação da potencialidade de reuso.** Química Nova, Vol. 33, No. 5, 1039-1043, 2010.