

DESENVOLVIMENTO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE PARA RESÍDUO LÍQUIDO GERADO EM PROCESSOS DE PINTURA ELETROSTÁTICA DE ALUMÍNIO

Laís da Silva Almeida (UniSatc) E-mail: la_salmeida@yahoo.com.br

Vinicius Heitor Sardá (UniSatc) E-mail: vinicius.sarda@ibrap.com.br

Aline Resmini Melo (UniSatc) E-mail: aline.melo@satc.edu.br

Carolina Resmini Melo Marques (UniSatc) E-mail: carolina.melo@satc.edu.br

Resumo: Neste trabalho, utilizou-se a precipitação química com adição de diferentes quantidades de hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio no tratamento do efluente de uma indústria de alumínio e de pintura eletrostática, para verificar o melhor resultado visual (limpeza e decantação do lodo) e comparar os resultados do rejeito líquido antes e após o tratamento químico. Percebeu-se que o tratamento ocorre de forma mais eficiente com adição de hidróxido de cálcio de pH 5,0 a 6,0, pois o efluente apresentou maior limpeza, decantação mais rápida do lodo, quando comparado a adições menores do mesmo. A partir desses ensaios foram feitas análises comparativas do efluente bruto com o efluente tratado, depois da precipitação química, sendo discutidos os parâmetros pH, alumínio total, cobre dissolvido, nitrogênio amoniacal total e demanda biológica de oxigênio (DBO) e comparando aos padrões das resoluções nº 357 e 430 do CONAMA e nº 181 e 189 do CONSEMA. Os resultados da análise do efluente tratado obteve pH 7,96, alumínio 7,964 mg/L, cobre 0,009 mg/L, nitrogênio amoniacal 1,8 mg/L e DBO 5,3 mg/L. Exceto o alumínio (parâmetro 0,1 mg/L), os outros metais, DBO e pH estão dentro dos parâmetros especificados. Apesar da comparação com a legislação, todos os ensaios tiveram uma redução acima de 90% dos poluentes, isto é, a redução das concentrações de alumínio em 99,56%, cobre em 99,1%, nitrogênio amoniacal em 95,95% e a DBO em 91,88%, alcançando o objetivo proposto e determinando que utilizar a precipitação química no tratamento do efluente mostrou ser um método eficaz.

Palavras-chave: Efluente, precipitação química, análises, redução, CONAMA.

DEVELOPMENT OF WASTEWATER TREATMENT FOR LIQUID WASTE GENERATED IN ALUMINUM ELECTROSTATIC PAINTING PROCESSES

Abstract: In this work, chemical precipitation was used with the addition of different amounts of calcium hydroxide and sodium hydroxide in the treatment of the effluent the aluminum and electrostatic painting industries, to verify the best visual result (clearness and decantation of the sludge) and to compare the results of the liquid waste before and after the chemical treatment. It was noticed that the treatment occurs more efficiently with the addition of calcium hydroxide at pH 5.0 to 6.0, as the effluent showed greater clarity, faster decantation of the sludge, when compared to smaller additions of the same. Based on these tests, comparative analyzes were carried out between the raw effluent and the treated effluent, after chemical precipitation, discussing the parameters pH, total aluminum, dissolved cuprum, total ammoniacal nitrogen and biological oxygen demand (BOD) and comparing the standards of resolutions nº 357 and 430 of CONAMA and nº 181 and 189 of CONSEMA. The results of the analysis of the treated effluent obtained pH 7.96, aluminum 7.964 mg/L, cuprum 0,009mg/L, total ammoniacal nitrogen 1,8mg/L and BOD 5,3mg/L. Except aluminum (parameter 0.1 mg/L), the other metals, BOD and pH are within the specified parameters. Despite the comparison with the legislation, all tests had a reduction of more than 90% of pollutants, that is, the reduction of aluminum concentrations by 99.56%, cuprum by 99.1%, ammoniacal nitrogen by 95.95% and the BOD in 91.88%, achieving the proposed objective and determining that using chemical precipitation in the effluent treatment proved to be an effective method.

Keywords: Effluent, chemical precipitation, analysis, reduction, CONAMA.

1. Introdução

De modo a garantir a integridade ambiental e a necessidade da adequação das atividades industriais, respeitando as legislações vigentes de lançamentos de efluentes do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA e do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA do Estado de Santa Catarina, faz-se necessário o desenvolvimento de um tratamento químico para o efluente de uma indústria de pintura eletrostática.

Este trabalho teve por objetivo o estudo e o desenvolvimento de um tratamento de efluentes para uma indústria de pintura eletrostática de alumínio e suas ligas, com o objetivo de reduzir em, pelo menos, 90% a concentração dos poluentes que estão acima das legislações vigentes, com o intuito de garantir a qualidade no descarte do efluente industrial, seguindo as legislações vigentes.

2. Fundamentação teórica

De acordo com Aranha (2015) (2008, apud ELANGO VAN e BALASUBRAMANIAN) o tratamento das ligas de alumínio tem como finalidade retirar marcas de laminação, riscos e camadas de óxidos, facilitar a aderência de revestimentos e melhorar o acabamento das peças. O alumínio beneficiado precisa de preparação da sua superfície, pois as condições impostas durante o processo de produção fazem com que o material apresente graxas, óleos, lubrificantes, óxidos e uma série de contaminantes em sua superfície, que são prejudiciais na aderência do revestimento no substrato, resultando em pouca resistência e durabilidade. Por isso, faz-se necessário o uso de tratamento químico para a preparação da superfície (COSTA, 2013).

A NBR ISO 14125 (2003) regula e define o tratamento de superfície e revestimento orgânico para alumínio e suas ligas para as indústrias brasileiras, dos quais seus processos de pré-tratamentos químicos devem ser compostos por desengraxe, decape, neutralização (somente quando utilizado alcalinos na etapa anterior), lavagem, película de conversão, secagem, revestimento orgânico e polimerização.

Na indústria metal mecânica a geração de efluente ocorre de processos como tratamento de superfície, pintura, cabines de lavagem de tanques, óleos e emulsões oleosas presentes em utensílios e máquinas de corte e usinagem e desengraxantes lavadores de peças (NEVES, 2005). Geralmente, os efluentes da indústria metal mecânica possuem altas concentrações de metais dissolvidos (LEMOS; SANTOS, 2007). Metais pesados tóxicos de particular interesse no tratamento de águas residuais industriais incluem o cobre (Cu), o zinco (Zn), o níquel (Ni), o mercúrio (Hg), o cádmio (Cd), o chumbo (Pb) e o cromo (Cr) (FU; WANG, 2011).

2.1 Parâmetros de qualidade para lançamento de efluentes

O CONAMA e o CONSEMA de Santa Catarina, por meio das Resoluções de nº 357 (2005) e 430 (2011) e das Resoluções de nº 181 (2021) e 189 (2022), respectivamente, definem os parâmetros de qualidade das águas e as condições para o lançamento em corpos de receptores hídricos.

A Resolução nº 357 (2005) classifica os corpos hídricos receptores de efluente de acordo com a salinidade presente nela, entre águas doces (inferior ou igual a 0,5%), salobras (entre 0,5% e inferior a 30%) e salinas (igual ou superior a 30%), cada classificação é subdividida em especial, classe 1, 2, 3 e 4, de acordo com seu destino, consumo humano, atividades recreativas, paisagismo e agricultura, entre outros.

O lançamento de efluentes em corpos hídricos está pautado nas resoluções do CONSEMA e CONAMA. Na Tab. 1 e 2 encontram-se as condições máximas de parâmetros inorgânicos e orgânicos permitidas para a emissão.

Além dos valores encontrados na Tab. 1, são padrões adotados pelas Resoluções nº 181 (2021) e 189 (2022) do CONSEMA:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20 °C) deve obter a remoção mínima de 60 mg/L ou 80% da carga poluidora;
- pH estar entre 6,0 e 9,0;
- concentrações de óleos minerais, vegetais e gorduras animais de até 30 mg/L;
- a temperatura de lançamento deve ser inferior a 40 °C (aceitando variação de até 3 °C do corpo receptor); e
- não apresentar materiais flutuantes (sólidos como plásticos, papéis, entre outras sujeiras).

Tabela 1: Padrões inorgânicos para o lançamento de efluente.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos	Órgão Regulador
Alumínio total	0,1 mg/L	CONAMA
Arsênio total	0,1 mg/L	CONSEMA
Bário total	5,0 mg/L	CONAMA
Boro total	5,0 mg/L	CONAMA
Cádmio total	0,1 mg/L	CONSEMA
Chumbo total	0,5 mg/L	CONAMA
Cianeto total	1,0 mg/L	CONAMA
Cianeto livre	0,2 mg/L	CONAMA
Cobre dissolvido	1,0 mg/L	CONAMA
Cobre total	0,5mg/L	CONSEMA
Cromo hexavalente	0,1 mg/L	CONAMA e CONSEMA
Cromo trivalente	1,0 mg/L	CONAMA
Estanho total	4,0 mg/L	CONAMA
Ferro dissolvido	15,0 mg/L	CONAMA
Fluoreto total	10,0 mg/L	CONAMA
Manganês dissolvido	1,0 mg/L	CONAMA e CONSEMA
Mercúrio total	0,005 mg/L	CONSEMA
Níquel total	1,0 mg/L	CONSEMA
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L	CONAMA
Prata total	0,02 mg/L	CONSEMA
Selênio total	0,02 mg/L	CONSEMA
Sulfeto	1,0 mg/L	CONAMA

Zinco total 1,0 mg/L CONSEMA

Fonte: Adaptado das Resoluções nº 430 CONAMA (2005) e nº 181 CONSEMA (2021)

Tabela 2: Padrões orgânicos para o lançamento de efluente.

Parâmetros Orgânicos	Valores máximos	Órgão Regulador
Benzeno	1,2 mg/L	CONAMA
Clorofórmio	1,0 mg/L	CONAMA
Dicloroetano (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L	CONAMA
Etileno	1,0 mg/L	CONSEMA
Estireno	0,07 mg/L	CONAMA
Etilbenzeno	0,84 mg/L	CONAMA
Fenóis totais	0,2 mg/L C ₆ H ₅ OH	CONSEMA
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L	CONAMA
Tricloroetano	1,0 mg/L	CONAMA
Tolueno	1,2 mg/L	CONAMA
Xileno	1,6 mg/L	CONAMA
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno	2,0 mg/L	CONSEMA
Compostos organofosforados e carbamatos	0,1 mg/L	CONSEMA
Sulfeto de carbono	0,1 mg/L	CONSEMA
Outros compostos organoclorados	0,05 mg/L	CONSEMA

Fonte: Adaptado das Resoluções nº 430 CONAMA (2005) e nº 181 CONSEMA (2021)3.

3. Procedimento experimental

O efluente de estudo foi retirado de uma indústria de beneficiamento e revestimento de perfis de alumínio por meio de pintura eletrostática para aplicação de esquadrias na construção civil. A Empresa adota um processo contínuo automatizado, composto pela montagem em linha vertical dos perfis, túnel de tratamento químico de superfície, estufa de secagem, cabine de pintura de tinta em pó a base de poliéster, estufa de polimerização, desmontagem e embalagem do material. O tratamento de superfície é composto por dois tanques de desengraxes ácidos, nomeados desengraxe 1 e 2, por três lavagens, 1, 2 e 3, das quais as duas primeiras são abastecidas com água abrandada e a última com água deionizada; e o último tanque é denominado de conversor. Os tanques de desengraxe 1 e 2, compostos pelo mesmo produto ácido e água abrandada, têm como objetivo retirar camadas de óxido de alumínio dos perfis, enquanto o tanque de conversor é composto por água deionizada e um produto com característica ácida e nanotecnologia de titânio e zircônio com a finalidade de formar uma camada de proteção para o alumínio e auxiliar na aderência da tinta. Tanto os tanques de desengraxes e tanque de conversor são protegidos pela patente do fornecedor desses produtos. A Empresa trabalha com as concentrações das soluções dos tanques de desengraxes 1 e 2 de 10 a 25 g/L e do tanque de conversor de 4 a 5,5 g/L.

3.1 Metodologia

Para a realização dos testes no tratamento de efluente em estudo foi utilizada a precipitação química por adição de hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio com posterior adição de polímero. Como explicado por Ferrazzo (2018), a precipitação química pode ser obtida por quatro estágios: precipitação, coagulação, floculação e separação.

Para realização dos testes em laboratório foi utilizado o estágio de precipitação, que consistiu na adição de hidróxido de sódio 50 g/L e de hidróxido de cálcio 20 g/L para reagir, neutralizar e decantar, e foi acelerado esse processo com adição do polímero Manfloc 700 de caráter aniônico. As amostras das águas residuais foram coletadas no reservatório de efluente industrial.

A execução do teste foi dividida em três partes, preparação da amostra, preparação dos reagentes e o teste em si. Na primeira delas é a coleta da amostra, a qual foi coletada no reservatório do efluente após 60 min de agitação garantindo a homogeneização e não comprometendo as etapas seguintes. A etapa 2 iniciou-se diluindo o polímero na concentração de 1 g/L. Conforme indicado no boletim técnico, agitou-se durante 90 min, e em seguida fez-se a diluição da cal virgem em água, formando hidróxido de cálcio na concentração de 20 g/L e o hidróxido de sódio 50% líquido. A realização do teste, chamado aqui de etapa 3, consistiu em pegar um béquer contendo 1 L de efluente e foi colocado uma porção de hidróxido de cálcio 20 g/L até atingir o pH 4,0 e hidróxido de sódio 50 g/L até atingir o pH 7,0. Esta primeira mistura foi intitulada como amostra 1. O ensaio foi realizado novamente, e foram chamadas as misturas de amostras 2 e 3, no qual os valores deveriam atingir o pH de 5,0 e 6,0, respectivamente, na dosagem de hidróxido de cálcio, conforme indicado na Tab. 3.

Tabela 3: Parâmetros procedimentais.

Amostras	1	2	3
pH inicial			
Volume de cal 20 g/L			
pH ideal	4,0	5,0	6,0
Volume soda 50 g/L			
pH ideal	7,0	7,0	7,0
Polímero			

Fonte: Autor (2022)

Após o pH ajustado, as amostras, sob agitação lenta, receberam polímero até o lodo flocular. Para finalizar, foi necessário cronometrar o tempo de decantação e o volume de lodo gerado. A partir dos resultados obtidos em laboratório, foi definido e repetido o teste em escala maior para realização das análises físico-químicas. A Fig. 1 apresenta as etapas do procedimento experimental que foi realizado neste estudo.

Com a realização dos testes experimentais, foi determinado as quantidades de reagentes a serem utilizados numa nova amostra de tratamento de efluente, de maior volume, no qual o efluente tratado foi encaminhado para análise externa para verificar e validar a eficácia do tratamento físico-químico, parâmetros como pH, alumínio total, cobre dissolvido, nitrogênio amoniacal total, e DBO foram analisados em laboratório.

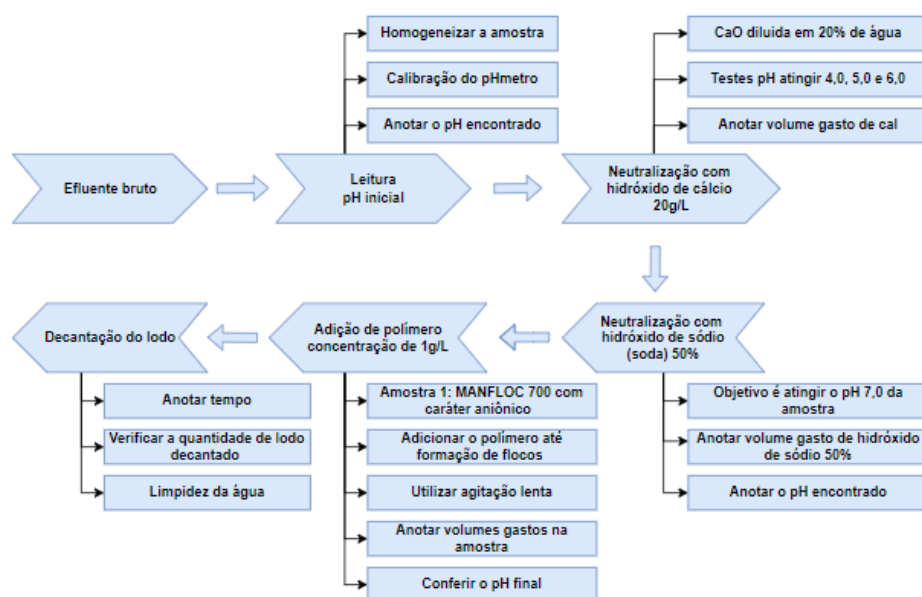


Figura 1 - Etapas do procedimento experimental.

Fonte: Autor (2022).

3.3 Preparação das amostras para análise

O resíduo do tratamento de superfície é destinado automaticamente para a caixa de armazenamento de 60.000 L presente na estação de tratamento da Empresa. Para ocorrer a coleta da amostra foi necessário ter o volume mínimo de 20.000 L de efluente bruto, isso corresponde a um dia de trabalho.

Após agitação por 20 min, para promover a homogeneização do líquido, com auxílio de um balde graduado foram transferidos 150 litros para um tambor metálico de volume 200 L. Com o recipiente cheio e auxílio da faixa de trabalho de dosagem feita em laboratório foi possível determinar as quantidades a serem acrescentadas ao volume presente dentro do tambor.

Fez-se novamente, em escala de volume maior, adição dos reagentes respectivamente na ordem, hidróxido de cálcio atingir o pH 5,0, hidróxido de sódio atingir no mínimo pH 7,0 e por fim adicionar o polímero Manfloc 700.

4. Resultados e discussões

Nos testes realizados em laboratório foi possível verificar diferentes comportamentos nas amostras testadas e a partir disso determinar a faixa de trabalho para realizar o teste em maior escala, seguido de análise.

Na amostra 1, dosou-se hidróxido de cálcio 20 g/L até atingir o pH de 4,0, em seguida acrescentou-se hidróxido de sódio 50 g/L até o pH atingir o valor igual ou maior que 7,0, por último adicionou-se o polímero e cronometrou-se 10 minutos.

Na amostra 2, adicionou-se o hidróxido de cálcio 20 g/L até atingir o pH de 5,0, e fez o restante da mesma forma. Na amostra 3, o hidróxido de cálcio foi dosado até atingir o pH de 6,0, e o restante do procedimento também se manteve. O experimento foi realizado e os valores encontrados estão na Tab. 4.

Tabela 4 - Resultados e quantificação do procedimento.

Parâmetro	Unidade de medida	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
pH inicial	-	1,42	1,42	1,42
Volume de hidróxido de cálcio 20g/L	L	0,1	0,2	0,325
pH ideal	-	4,0	5,0	6,0
pH obtido (1)	-	4,08	5,2	6,07
Volume hidróxido de Sódio 50g/L	L	0,0042	0,002	0,0004
pH ideal	-	7,0	7,0	7,0
pH obtido (2)	-	7,3	7,5	7,3
Polímero	L	0,01	0,01	0,01

Fonte: Autor (2022).

De acordo com as dosagens realizadas nas amostras, pode-se perceber mudanças no comportamento do efluente tratado e do lodo gerado, conseqüentemente também no tempo de decantação. Limpidez da água e formação de lodo denso são parâmetros que pode-se verificar visualmente, tornando-se parâmetros visuais de efetividade do tratamento e julgamento de melhor desempenho das amostras 1, 2 e 3.

Em relação ao lodo decantado e limpidez da água tratada, o da amostra 1, foi inconsistente, não encontrando diferença após os 10 min, o líquido permaneceu com característica leitosa, ou seja, não ocorreu precipitação. Para as amostras 2 e 3, após os 2 primeiros minutos, é possível ver a separação de fases e precipitação do lodo. Isto pode ser visto na Fig. 2.

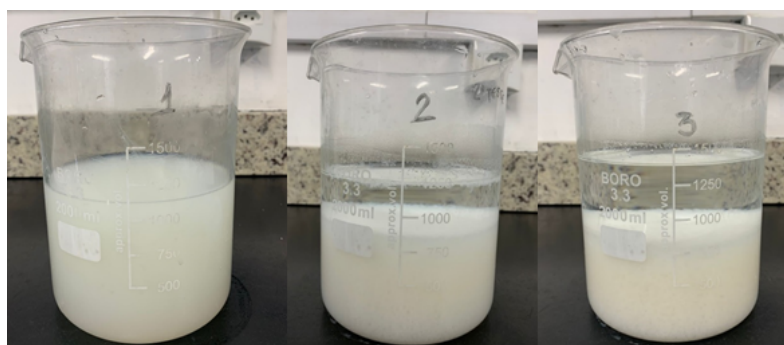


Figura 2 - Amostras 1, 2 e 3, respectivamente.

Fonte: Autor (2022)

Como pode-se perceber, o volume adicionado de hidróxido de cálcio, nas amostras 2 e 3, auxilia na decantação da matéria, ao reagir com os ácidos presentes, auxilia na formação de cadeias moleculares mais pesadas, facilitando a decantação do lodo.

4.1 Caracterização do efluente

A partir dos resultados apresentados na caracterização do efluente bruto, quando comparado aos parâmetros determinados pelas resoluções do CONAMA, nº 357, de 17 de março de 2005, e nº 430, de 13 de maio de 2011, as quais discorrem sobre efluentes, foi possível verificar os ensaios de alumínio total, cobre dissolvido, nitrogênio amoniacal total e pH. Os métodos de análises utilizados nesses ensaios estão identificados no Qd. 1.

Quadro 1 - Ensaios e métodos aplicados.

Ensaio	Método
Alumínio total	SMWW, Método 3120 B / PO-248
Cobre dissolvido	PTE.075
Nitrogênio amoniacal total	SMWW, 4500-NH3 B, C.
pH	SMWW, 4500 H+B.
DBO	SMWW, Método 5210 B - DBO

Fonte: Autor (2022)

Os valores encontrados nos ensaios de alumínio total, cobre dissolvido, nitrogênio amoniacal total e pH não atendem os parâmetros das Resoluções nº 357 e nº 430 do CONAMA, e as Resoluções nº 181 e 189 do CONSEMA. O não seguimento deles pode ocasionar danos aos seres vivos, como a biota aquática e terrestre.

Os parâmetros de alumínio total adotado pelo CONAMA definem o valor de 1 mg/L de alumínio dissolvido. O resultado obtido do efluente bruto foi de 1827,5 mg/L, estando em grande excesso. Segundo Silva (2019), o alumínio é tóxico e pode ocasionar danos ao ser humano e ao meio ambiente, tornando imprescindível a investigação dos riscos à saúde humana. Atualmente sabe-se que o efeito tóxico pode ocasionar anemia (EXLEY, 2013), doença de Alzheimer (EXLEY, 2014; RONDEAU et al., 2000), demência (WHO, 1997) e fibrose pulmonar (SJORGREN et al., 2007), dentre outras doenças.

Os valores encontrados de cobre dissolvido foram de 1,95 mg/L, enquanto o máximo permitido é de 1,0 mg/L. De acordo com Mockaitis (2011), o cobre não é considerado um metal pesado, apresenta baixa toxicidade, o mesmo é essencial na dieta humana e dos seres vivos, contudo existe intoxicação por excesso de cobre, o qual pode ocasionar danos hepáticos e distúrbios gastrointestinais.

Segundo Oliveira (2018) a alta concentração de cobre causa danos aos seres humanos, como também ao meio ambiente e a outros seres vivos, o tornando tóxico e pode agir de diferentes formas, dependendo da concentração encontrada, do pH, temperatura, a forma de absorção e acumulação nos organismos.

O nitrogênio está presente na natureza em diferentes formas, e todos eles estão sujeitos ao ciclo do nitrogênio. Dentre eles, tem-se formas oxidativas de nitritos, nitratos e amônia, a qual pode-se de modo geral encontrar-se em secreções de seres vivos e da biota, como ser resultante de processos industriais. O excesso de nitratos, nitritos e amônia são contaminantes e podem causar eutrofização das águas (DANELON, J., NETTO, F. e RODRIGUES, S., 2012).

A concentração encontrada de nitrogênio foi de 56,5 mg/L enquanto o permitido são valores menores ou igual a 20 mg/L pela resolução nº 430 do CONAMA, podendo ocasionar risco ao meio ambiente.

A demanda química de oxigênio (DBO) é a análise que verifica o decaimento do oxigênio dissolvido nas águas residuais, quanto maior a concentração da matéria orgânica, maior a queda do oxigênio presentes nas águas, podendo ocasionar a mortalidade de flora e fauna aquática (MATTOS et al, 2013). A DBO encontrada do efluente bruto foi de 739,2 mg/L, enquanto a legislação permite no máximo 60mg/L, estando fora dos parâmetros especificados.

O pH encontrado foi de 1,59, enquanto a faixa permitida pela legislação está entre 5,0 e 9,0, estando fora dos padrões permitidos. Estando condizente com o efluente ácido gerado no processo de pintura.

O pH é uma maneira de indicar a concentração de ions H⁺ em uma solução. Segundo Oliveira e colaboradores (2018) o pH pode influenciar direta ou indiretamente no equilíbrio químico que ocorre na natureza, por isso se tornou um parâmetro a ser controlado.

4.3 Resultados

Conforme fundamentado ao longo dessa pesquisa, com objetivo de garantir a qualidade no descarte do efluente industrial seguindo as legislações vigentes, foi realizado caracterização do efluente bruto, desenvolvimento do tratamento de efluente e fez-se as análises químicas para verificar a redução da concentração dos poluentes em excesso.

Na Tab. 5 é possível verificar quais os ensaios que estavam fora dos parâmetros, a quantificação deles, como também os resultados alcançados depois do efluente tratado, por fim, na última coluna é possível encontrar os valores permitidos pelas resoluções nº 357 e nº 430 do CONAMA, e o pH conforme nº 181 do CONSEMA.

Tabela 5 - Resultados da caracterização do efluente bruto e do efluente tratado.

Ensaio	Resultado caracterização do efluente bruto	Resultado do efluente tratado	Parâmetros CONAMA nº 357 e nº 430, CONSEMA Nº 181
Alumínio total	1827,5 mg/L	7,964 mg/L	0,1 mg/L
Cobre dissolvido	1,95 mg/L	0,009 mg/L	0,1 mg/L
DBO	739,2 mg/L	5,3 mg/L	60 mg/L
Nitrogênio amoniacal total	56,5 mg/L	1,8 mg/L	20 mg/L
pH	1,59	7,96	6 à 9

Fonte: Autor (2022).

Ao analisar os valores encontrados na Tab. 6, é possível constatar uma grande diferença nos valores antes e após o tratamento de efluente. Através das informações da Tb. 6, junto da Eq.1, foi possível calcular a redução da concentração dos ensaios de alumínio total, DBO, cobre dissolvido e nitrogênio amoniacal total.

$$x = \frac{(\text{Resultado do efluente bruto} - \text{Resultado do efluente tratado})}{\text{Resultado do efluente bruto}} \times 100$$

$$x = \frac{(\text{Resultado do efluente bruto} - \text{Resultado do efluente tratado})}{\text{Resultado do efluente bruto}} \times 100$$

(1)

Os cálculos realizados quantificam, em porcentagem, a redução realizada e por fim assegura a efetividade do tratamento de efluente testado. Segundo mostrado na Tab. 6.

Tabela 6 - Valores (em %) da redução encontrados após o tratamento de efluente.

Ensaio	Redução (%)
Alumínio total	99,56
DBO	91,88
Cobre dissolvido	99,10
Nitrogênio amoniacal total	95,95

Fonte: Autor (2022).

A redução de, pelo menos, 90% da concentração carga poluidora ocorreu em todos os ensaios realizados, demonstrando a eficácia do método utilizado, como os resultados precisam estar dentro dos parâmetros indicados pelo CONAMA. Com as informações presentes na Tab. 6, comparando os resultados dos ensaios de alumínio total, cobre dissolvido, DBO, nitrogênio amoniacal total e pH, com os parâmetros aplicados, foi possível verificar que apenas o alumínio total está acima do permitido.

Por mais que houve redução de 99,56% na concentração de alumínio no efluente, ainda assim ele está acima do permitido pelo CONAMA (357/05), sendo o valor máximo de aceitação é de 0,1 mg/L. Enquanto o ensaio registrou o valor 7,964 mg/L. Para obter o resultado desejado pelas normas vigentes, a redução de alumínio deveria ser de, pelo menos, 99,9984%.

O resultado apresentado acima das legislações vigentes, é devido a característica de efluentes indústrias metal mecânicas, os quais possuem alta concentração de íons metálicos em seus efluentes brutos (QUEISSADA, 2011). No estudo desenvolvido por Pereira Neto et al (2008), encontraram altas concentrações de ferro total igual 92200 mg/L, zinco total 70300 mg/L e alumínio total 30 mg/L. Como cada indústria de metal mecânica possui características singulares em seus processos, considerando o tratamento químico do alumínio e suas ligas, é vista a alta concentração de 1827,5 mg/L de alumínio total no efluente bruto.

As concentrações encontradas de cobre dissolvido e nitrogênio amoniacal total encontradas no efluente tratado são iguais, respectivamente, a 0,009 mg/L e 1,8mg/L. Ambas atingiram os requisitos do CONAMA (357/05), no qual as concentrações máximas permitidas, respectivamente, são de 0,1 mg/L e 20 mg/L.

Segundo Queissada (2011) de modo geral, os efluentes oleosos apresentam variações em suas características biológicas, químicas e físicas. A redução da demanda biológica, a DBO encontrada nas análises foi significativa, atingindo o valor de 5,3 mg/L e obtendo redução de 91,88%, conforme as legislações vigentes está aprovada. Em seus estudos, Feldkircher (2010), também obteve bons resultados através da precipitação química, atingindo eficiência de 62% na redução da DBO.

Para o pH 7,96 analisado foi obtida uma redução significativa de todos os metais e DBO envolvidos, estando todos dentro dos parâmetros do CONAMA (357/05) exceto o alumínio total. O CONSEMA (181/21) regula a faixa de trabalho do pH entre 6 a 9, estando também dentro do permitido.

5. Conclusões

Os objetivos desse trabalho foram alcançados por meio da precipitação química com hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio, promovendo a redução de, pelo menos, 90% dos poluentes em excesso. O tratamento de efluente atendeu as normas vigentes, as resoluções de nº 357 e nº 430 do CONAMA e nº 181 e 189 do COSEMA, nos ensaios

de cobre dissolvido, nitrogênio amoniacal total e DBO. Sendo através da precipitação química com a neutralização do pH, o fator para a redução dos poluentes.

A caracterização do efluente bruto mostrou alta concentração de metais e baixo pH, com capacidade poluidora e riscos à saúde humana, a fauna e flora. Por meio da precipitação química o baixo pH de 1,59, atingiu o pH de 7,96 e atingiu os parâmetros da resolução nº 181 do CONSEMA.

A demanda biológica de oxigênio também obteve uma redução de 91,88%, fazendo com que a sua concentração fosse igual a 5,3 mg/L, estando dentro da faixa de trabalho exigida pelo CONAMA (357/05), qual diz que devesse obter a remoção mínima de 60 mg/L ou 80% da carga poluidora e atingindo o objetivo de reduzir 90% da carga poluidora.

Com o tratamento do efluente conseguiu-se fazer a sedimentação dos metais presentes, reduzindo em 99,10% de cobre dissolvido, 95,95% de nitrogênio amoniacal total alcançando as expectativas de 90% de redução dos poluentes e dos parâmetros aplicados pela Resolução nº 357 do CONAMA.

A concentração de alumínio encontrada no efluente tratado foi de 7,964 mg/L, o objetivo de reduzir pelo menos 90% da concentração dos poluentes foi atingido, pois alcançou uma redução de 99,56%. Contudo não foi o suficiente para a aprovação, pois a legislação vigente CONAMA (357/05) define como parâmetro 0,1 mg/L.

Concluiu-se que apesar de a concentração de alumínio não ter atingido o parâmetro determinado pelo CONAMA (357/05), menor que 0,1 mg/L, os resultados encontrados foram significativos, pois foi atingido o objetivo de reduzir pelo menos 90% da concentração inicial das cargas poluidoras em excesso. Principalmente quando comparado a alta concentração presente no efluente bruto.

Referências

ARANHA, B. S. R. *Caracterização física e eletroquímica de efeito de diferentes soluções no tratamento da superfície de ligas de alumínio*. 2015. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015. Disponível em: <https://files.ufgd.edu.br/>. Acesso em: 10 maio 2022.

BRASIL, *Resolução CONAMA nº 430*, de 13 maio de 2011. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=627. Acesso em: 28 novembro 2022.

BRASIL, *Resolução CONAMA nº 357*, de 17 de março de 2005. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 28 novembro 2022.

COSTA, N. M. S. *Efeito do pré-tratamento do alumínio na adesão do revestimento de PTFE*. 2013. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade de Aveiro. Portugal. 2013. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/11807/1/Disserta%3%a7%3%a3o.pdf>. Acesso em: 06 dezembro 2022.

DANELON, J., NETTO, F. e RODRIGUES, S. *Análise do nível de fósforo total, nitrogênio amoniacal e cloretos nas águas do córrego Terra Branca no município de Uberlândia (MG)*. Revista Geonorte, v.1, n.4, p.412-421, 2012. Disponível em: https://redib.org/Record/oai_articulo1648978-an%3%A1lise-do-n%3%ADvel-de-fosforo-total-nitrog%3%AAnio-amoniaca-e-cloretos-nas-%3%A1guas-do-c%3%B3rrego-terra-branca-munic%3%ADpio-de-uberl%3%A2ndia-mg. Acesso: 17 novembro 2022.

FELDKIRCHER, T. *Avaliação de um sistema de tratamento de efluentes de laboratório de análises físico-químicas e microbiológicas*. 2010. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2010.

FERRAZZO, S. T., et al. *Métodos físicos e químicos para o tratamento de efluentes*. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, p.833-847, 2018.

FU, F.; WANG, Q. *Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review*. Journal of Environmental Management, Amsterdam, Holanda, 2011. Acesso em: 25 de Maio 2022.

LEMOS, J. L. S.; SANTOS, R. L. C. *Aplicação de microrganismos na recuperação de metais*. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Série Anais. Rio de Janeiro: Ed. CETEM, 446 p. 2007.

MATOS, M. et al. *Nota técnica: Demanda bioquímica de oxigênio em diferentes tempos de incubação das amostras*. 3. ed. Minas Gerais: Revista Engenharia na Agricultura - REVENG 21, Vol. 1, p. 280-286, 2013.

MOCKAITIS, G. *Remoção de Cd^{+2} e Cu^{+2} de águas residuárias utilizando biorreator anaeróbio contínuo de leito fixo ordenado*. Tese (doutorado em Engenharia hidráulica e de saneamento). Escola Engenharia São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-23052012-094832/publico/Mockaitis_2011.pdf>. Acesso em: 17 de novembro 2022.

NBR ISO 14125. *Tratamento de Superfície do Alumínio e suas Ligas - Revestimento Orgânico – Pintura*, 2003.

NEVES, C. A. *Melhorias na estação de tratamento de efluentes de uma empresa metal-mecânica de produção de componentes hidráulicos*. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10128/000519257.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso: 18 novembro 2022.

OLIVEIRA, S. C.; WAGNER, C.; HERMAN, E. C.; ROSA, R. B.; PERTILLE, D. C.; VIVIAN, F. T. *Avaliação toxicológica dos efeitos do cobre na espécie *Carassius auratus**. Revista Gestão e Sustentabilidade ambiental. p. 260-275. 2018. Florianópolis. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/6210>. Acesso: 17 novembro 2022.

PEREIRA NETO, A. et al. *Alternativas para o tratamento de efluentes da indústria galvânica*. 3. ed. Minas Gerais: Engenharia Sanitária ambiental, Vol. 13, p. 263-270, 2008.

QUEISSADA, D. D. et al. *Tratamentos integrados em efluente metal-mecânico: precipitação química e biotratamento em reator do tipo air-lift*. 2. ed. Lorena (SP): Eng Saint Ambient, 2011. Vol. 16, p. 181-188.

RIBEIRO, D. *Remoção de carga orgânica por coagulação/floculação e adsorção com carvão ativado em efluente industrial de empresa metal-mecânica produtora de ar condicionados*. 2019. 125 f. Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

SANTA CATARINA, *Resolução CONSEMA n° 181*, de 02 de agosto de 2021. Disponível em: <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema/legislacao/resolucoes/1755-resolucao-consema-n-182-2021/file>. Acesso em: 28 novembro 2022.

SANTA CATARINA, *Resolução CONSEMA n° 189*, de 04 de março de 2022. Disponível em: <https://www.sde.sc.gov.br/index.php/biblioteca/consema>. Acesso em: 28 novembro 2022.

SILVA, A. L.; RAMOS, M.; LUIZ, M.; SOUZA, N. *Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada*. Série Anais, CONIMAS. Publicado: 20 de novembro de 2019. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63777>>. Acesso: 16 novembro 2022.