



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DE CHORUME POR PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO ASSOCIADO AO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO COMO CATALIZADOR PELO PROCESSO FENTON

**Rafael Santos Pereira** – [caf.raf@hotmail.com](mailto:caf.raf@hotmail.com)  
Universidade La Salle , Av. Vitor Barreto 2288 – Canoas – RS

**Fernanda Rosa da Silveira** – [fernanda.rsilveira@outlook.com](mailto:fernanda.rsilveira@outlook.com)  
Universidade La Salle

**Lucas Pisoni da Silva** – [pisoni.lucas.s@gmail.com](mailto:pisoni.lucas.s@gmail.com)  
Universidade La Salle

**Silvio Roberto Taffarel** – [silvio.taffarel@unilasalle.edu.br](mailto:silvio.taffarel@unilasalle.edu.br)  
Universidade La Salle

**RESUMO:** Este estudo investigou o tratamento de chorume gerado em aterro sanitário através do processo de eletrocoagulação, associando a esse método a adição de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) como forma de catalisar o processo de tratamento do efluente. O  $H_2O_2$  foi adicionado durante o tratamento com o intuito de gerar o processo Fenton durante a eletrocoagulação, liberando o radical hidroxila ( $OH\cdot$ ). Diversos parâmetros foram avaliados para identificar as condições ótimas de tratamento para o chorume. Os resultados iniciais demonstraram que um tempo de tratamento de 10 minutos é suficiente para alcançar resultados de remoção de cor superiores a 50%, tendo sido o tempo determinado para a avaliação de outras variáveis. O pH se apresentou como um parâmetro importante na eficiência do tratamento, influenciando negativamente quando a baixo de 7,5 para o tratamento de eletrocoagulação convencional e positivamente quando pH 4 para o tratamento com  $H_2O_2$ . A remoção de cor e DQO foi potencializada no tratamento associado ao  $H_2O_2$ , obtendo 98,1% e 74,5% de remoção, respectivamente. As curvas de absorvância indicaram que todos os tratamentos apresentaram a remoção de alguns compostos, tendo o tratamento associado com  $H_2O_2$  a curva de menor absorvância.

**Palavras-chave:** Eletrocoagulação; Peróxido de Hidrogênio; Tratamento de Chorume; Processo Fenton.

## EVALUATION OF THE TREATMENT OF CHORUME BY PROCESS OF ELETROCOAGULATION ASSOCIATED WITH HYDROGEN PEROXIDE AS A CATALYST BY FENTON PROCESS

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

**ABSTRACT:** *This study investigated the landfill leachate treatment by electrocoagulation process, associating to this method the addition of Hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) as a way to catalyze the wastewater treatment. The H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was added during the treatment with the intension of generated the Fenton's process during the electrocoagulation, releasing the hydroxyl radical (OH·). Several parameters were evaluated in order to identify the ideal conditions of leachate treatment. The initials results showed that the treatment time of 10 minutes is enough to achieve color removal over 50%, having been the determined time to evaluate other variables. The pH presented as an important parameter in the treatment efficiency, influencing negatively when under 7.5 to conventional electrocoagulation treatment, and positively when pH 4 to the treatment with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The color e COD removal was improved in the treatment associated with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, achieving 98.1% and 74.5% of removal, respectively. The absorption curves indicated that all treatment presented the removal of some compounds, having the treatment associated with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> the curve with lowest absorbance.*

**Key words:** *Electrocoagulation; Hydrogen Peroxide; Leachate Treatment; Feton's Process.*

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão apropriada dos resíduos sólidos vem sendo alvo de um cuidado maior nas últimas décadas, tendo como um marco legal no Brasil a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada pela Lei 12.305 de 2010. Dentre inúmeros pontos que a lei aborda, podemos aqui dar ênfase quanto a destinação final dos resíduos. Segundo a PNRS, os resíduos podem receber inúmeras formas de destinação, tendo no Brasil os aterros sanitários como o mais frequente destino.

Segundo relatório da Abrelpe de 2014, quanto ao panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2.236 municípios brasileiros destinam seus resíduos para aterros sanitários, a cima dos 1.775 para aterros controlados e 1.559 para lixões, sendo permitido atualmente somente o destino para os aterros sanitários, segundo a PNRS.

Diante do cenário de destinação dos resíduos sólidos no Brasil, cabe lembrar que a gestão dos resíduos continua após os mesmos serem depositados nos aterros sanitários. Dentre alguns dos fatores que devem ser monitorados e gerenciados em um aterro sanitário está a geração de lixiviado, conhecido como chorume.

A geração do chorume vai variar principalmente conforme a idade do aterro e as características dos resíduos nele depositado. Um dos riscos que a inadequada gestão do chorume pode trazer é a contaminação dos corpos hídricos, acarretando entre outros aspectos na elevação da demanda química de oxigênio (DQO), redução do oxigênio dissolvido (OD) e na intoxicação de organismos presentes no ecossistema do local (MARQUES, 2011).

Segundo Kalka (2012), o chorume apresenta toxicidade alta, a qual é consequência de diversos contaminantes, a sinergia entre os mesmos ou seus efeitos antagonicos, além das propriedades físico-químicas. A alta toxidade do chorume é um dos principais fatores que dificultam o tratamento do mesmo por processo biológico, sendo uma das razões da busca por tratamentos por processos oxidativos (KALKA, 2012).

Um processo em especial que vem sendo estudado para o tratamento de chorume é a eletrocoagulação, ou conhecida também como eletro-flotação, pois ocorre a geração de um lodo que é flotado durante o tratamento. A eletrocoagulação está relacionada ao processo de eletrólise. A eletrólise, segundo Geraldino (2014), é o processo no qual ocorre a decomposição em um eletrólito provocada por uma corrente elétrica, ocorrendo na superfície de condutores metálicos, conhecidos como eletrodos.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

Cervera et al (2014) diz que a eletrocoagulação é um método eletroquímico para tratar efluentes e ainda cita como exemplo que esse método vem sendo utilizado com sucesso para tratar efluente de matadouros, refinarias de óleo vegetal e indústrias do leite, removendo poluentes solúveis ou coloidais.

Cervera et al ainda enfatiza que a eletrocoagulação é uma técnica eletroquímica, onde eletrodos são dissolvidos eletricamente, liberando seus íons em meio líquido. Os autores ainda lembram que a geração dos íons metálicos ocorre no anodo, e que no catodo ocorre a liberação de gás hidrogênio, o qual auxilia no processo de flotação. Os autores também citam que os eletrodos podem ser monopolares ou bipolares.

Tendo em vista as diferentes características do tratamento por eletrocoagulação, o tratamento de chorume por tal processo se dá por diferentes motivos. Inicialmente podemos destacar que a utilização de eletrodos de ferro ou alumínio representam um fator econômico, pois os mesmos representam um custo menor se comparados a alguns produtos químicos utilizados em tratamentos de efluente. Outro fator é a geração de microbolhas de hidrogênio e oxigênio na reação, as quais geram um fluxo ascendente que interagem com o efluente, submetendo os mesmos as reações de oxidação e redução que ocorrem no meio (FORNARI, 2007).

Podemos ainda citar os Processos Oxidativos Avançados (POA) como uma das técnicas usualmente utilizadas no tratamento de efluentes que apresentam dificuldades de serem tratados por métodos convencionais, como o chorume. Em especial o processo Fenton é uma das técnicas que vem sendo estudadas na decomposição de poluentes. A oxidação pelo processo Fenton é uma reação catalítica entre íons de ferro e o  $H_2O_2$ , produzindo radicais hidroxilas livres (CERVERA et al, 2014). O radical hidroxila é um oxidante não seletivo extremamente poderoso na degradação de poluentes.

Alguns autores vêm estudando os efeitos da combinação das duas técnicas mencionadas, visando avaliar a eficiência de tratamentos por eletrocoagulação associados com a adição de  $H_2O_2$  (AGUILERA-COTERO et al, 2006; BALDERAS-HERNÁNDEZ et al, 2008; LI et al, 2017). Esses processos atualmente são conhecidos como “Fenton Heterogêneo” ou “Fenton-like process”, por criar a reação Fenton de forma combinada a sólidos que contenham ferro, se diferenciando do processo convencional (WANG et al, 2016).

Aguilera-Cotero et al (2006), em seu estudo avaliou o tratamento do efluente gerado em uma indústria de produção de macarrão e biscoitos, associando ao tratamento de eletrocoagulação a adição de  $H_2O_2$ . O efluente estudado por Aguilera-Cotero et al apresentava efluente com altas concentrações de compostos orgânicos e refratários, os quais não eram removidos completamente por processos tradicionais. Neste estudo foi obtida eficiência de remoção de 90% para DQO e 96% para  $DBO_5$ , tendo como parâmetros ótimos de tratamento pH4 e densidade de corrente de  $18,2mA/cm^2$ . Diversos estudos apontam que o pH de tratamento deve ser baixo, próximo a 3, conforme processo Fenton convencional, mas outros estudos vêm demonstrando que o pH pode ter papel variado conforme características do efluente (WANG et al, 2016).

Balderas-Hernández et al, (2008), em seu trabalho avaliou a eficiência do tratamento de um efluente gerado em uma planta de processamento de trigo pelo processo de eletrocoagulação com a adição de  $H_2O_2$ . Os resultados alcançados neste estudo obtiveram uma redução de 92% para DQO, 89% para  $DBO_5$  e de 92% para cor. O mesmo estudo ainda avaliou a distribuição de espécies de ferro nas reações e suas relações com o pH da solução, indicando em quais faixas de pH as espécies insolúveis dos metais utilizados no tratamento aparecem, favorecendo o processo de coagulação.

O artigo apresentado por Li et al (2017), além de avaliar os parâmetros convencionais de tratamento de efluente, avaliou a combinação do tratamento por eletrocoagulação com  $H_2O_2$  para a remoção de toxicidade do efluente de uma indústria de esponjas de fibra acrílica. A pesquisa obteve resultados significativos para a remoção de toxicidade, obtendo remoção de 80,9% para  $EC_{50}$ . O efluente bruto avaliado por Li et al apresentou baixa relação  $DBO_5/DQO$  de 0,032, indicando baixa

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

biodegradabilidade. Após o tratamento por 30 min a relação  $DBO_5/DQO$  foi de 0,18 e 0,15 para o tratamento por eletrocoagulação e por eletrocoagulação com  $H_2O_2$ , respectivamente, aumentando a biodegradabilidade do efluente.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Amostras do chorume

As amostras de chorume foram coletadas em um aterrado controlado no município de Viamão/RS. Todas as amostras foram coletadas em contêineres de 5L de plástico, num total 40L de chorume coletado. Foi realizada uma única coleta no intuito de minimizar as alterações na composição do chorume que ocorrem com o passar do tempo, levando em conta que no local é utilizado um método de recirculação do chorume no próprio aterro.

As amostras foram levadas para o laboratório para análise e realização dos tratamentos. Todas as amostras foram conservadas em local arejado pela falta de espaço disponível para refrigeração de todas as amostras, levando em conta juntamente que as temperaturas externas não foram elevadas considerada a época do ano. Devido a conservação das amostras fora da refrigeração, todas as análise foram executadas com o chorume tratado e o chorume bruto utilizado em cada etapa. Todos os tratamentos testados foram realizados com amostra de 500mL de chorume.

### 2.2 Reator de eletrocoagulação

Para execução dos experimentos foi avaliado em testes preliminares três arranjos de eletrodos, tomando como fator decisório para a escolha do arranjo a cor do efluente tratado e o consumo de energia da fonte de alimentação. Foi definido então a utilização de 4 eletrodos, dois ânodos e dois cátodos intercalados, sendo constituídos de placas de ferro com  $55cm^2$  de área imersa do ânodo durante o tratamento.

Foram utilizados eletrodos de ferro para avaliar principalmente o mecanismo do processo Feton, desencadeado por íons de ferro. Todos os experimentos foram realizados em Becker de capacidade mínima de 500mL. O reator de eletrocoagulação foi alimentado por uma fonte de alimentação Rizzi CC Estabilizada, com ajuste de tensão de 0 a 25 volts e corrente de 0 a 5 amperes. Todos os tratamentos foram executados em agitador magnético em ordem de promover turbulência e mistura mínima necessária durante o tratamento, sendo utilizado a agitação de 600rpm.

### 2.3 Densidade de corrente

Como parâmetro fundamental no tratamento, foi inicialmente avaliado diferentes densidades de correntes afim de verificar variação na remoção de cor e influencia no pH. Para definição da densidade de corrente padrão para os demais testes, foi levado em consideração não somente a remoção de cor e alteração de pH, mas juntamente o consumo energético associado ao tratamento. Para verificação da densidade de corrente foi utilizado um multímetro e controlado a tensão de alimentação afim de manter sempre a mesma corrente de alimentação.

### 2.4 Alteração e influência do pH, Condutividade e Potencial Redox (ORP)

Durante todos os experimentos o pH inicial, final ou a variação do mesmo foi monitorado, assim como o potencial redox. As duas variáveis foram monitoradas a fim de verificar a influência final nos resultados e de identificar os parâmetros ótimos de tratamento. Juntamente, os valores de pH inicial serviram como tomada de decisão para as demais etapas do trabalho. A

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

condutividade foi juntamente monitorada durante e após os tratamentos.

## 2.5 Remoção de Cor e DQO

Todos os tratamentos foram submetidos a avaliação de remoção de cor como forma de avaliar a eficiência do tratamento e como forma de definição das variáveis de tratamento para outras etapas do estudo. Foi definido tal metodologia como forma de minimizar gastos de tempo e recursos, maximizando a definição dos parâmetros ótimos de tratamento. A avaliação de remoção de DQO foi realizada somente para os resultados finais para os tratamentos com pH8, com e sem a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, para o tratamento de pH6 com adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e para o pH4 com e sem a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## 2.6 Associação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ao tratamento

A adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ocorreu após etapa inicial de testes de verificação de eficiência do tratamento por eletrocoagulação. Em ordem de avaliar a influência do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento foi inicialmente adicionado 0,75, 1,5, 2,25 e 3mL de 50% (v/v) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para 500mL de chorume no momento inicial do tratamento. Juntamente, testes de adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram realizados validando a influência da variação do pH no tratamento.

## 2.7 Espectro de Absorbância

O espectro UV-VIS foi obtido para as amostras de chorume bruto e tratado utilizando o Espectrofotômetro UV/Visível - UV 340G Gehaka. Foi realizado uma curva de absorbância de 190 a 900 nm, com intervalo de medição de 2 nm, sendo escaneadas em célula de quartzo com 1cm de caminho óptico.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos durante os experimentos serviram como tomada de decisão para a execução de algumas etapas do estudo, tendo como objetivo encontrar as condições ótimas de tratamento. Testes iniciais foram executados a fim de estabelecer as variáveis mínimas a serem controladas, monitorando os parâmetros já mencionados.

Os testes iniciais buscaram avaliar a eficiência na remoção de cor em função da densidade de corrente aplicada ao tratamento. Foram aplicadas diferentes tensões e monitorado a corrente consumida durante 5min de tratamento. Os valores de densidade de corrente obtidos para os testes foram 273, 545 e 1000 A/m<sup>2</sup>, obtendo respectivamente eficiência na remoção de cor de 46,1, 76,4 e 86,3%, conforme ilustrado na Figura 1. Optou-se em estabelecer a densidade de corrente de 545A/m<sup>2</sup> para os demais testes por representar um consumo energético menor que 1000A/m<sup>2</sup>, considerado elevado, e por representar eficiência significativa na remoção de cor (76,4%). Os testes posteriores foram executados com tempo de tratamento de 10min, com o objetivo de alcançar resultados superiores de remoção.

Figura 1: Eficiência na remoção de cor em função da densidade de corrente aplicada.

Realização

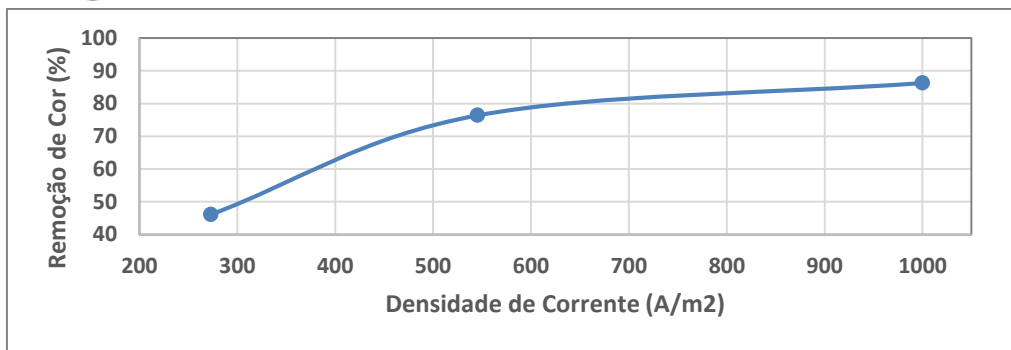


Correalização



Informações:

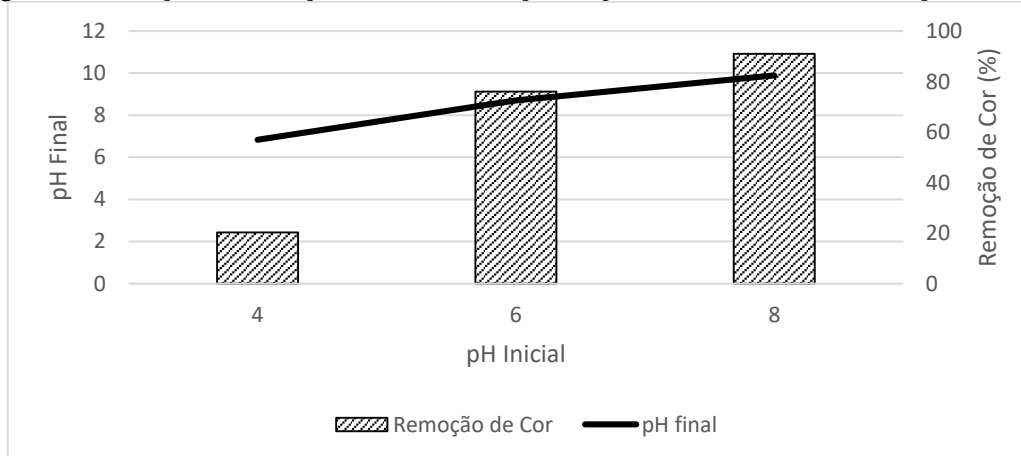
qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



Todos os tratamentos executados apresentaram elevação do pH após o tratamento. Wimmer (2007), ressalta que o pH tende a subir ao longo do tratamento por electrocoagulação provocado pela evolução de hidrogênio no catodo. Também foi possível observar que o tratamento tornou o efluente mais redutor, podendo ser reflexo do processo oxidativo do tratamento.

A Figura 2 apresenta os resultados de remoção de cor para os testes realizados variando o pH inicial do chorume sem a adição do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, apresentando também o pH final após o tratamento. O melhor resultado obtido foi para o pH inicial de tratamento 8, alcançando remoção de cor de 91%, o qual obteve pH final 9,9. O pH inicial 4 obteve o pior resultado de remoção, 20,2% de remoção, chegando a um pH final de tratamento de 6,84. Balderas-Hernández et al, 2008, demonstrou em seus estudos que a espécie de Hidróxido de Ferro (II), Fe(OH)<sub>2(s)</sub>, tende a aparecer em pH 7,5 ou superior, formando uma espécie insolúvel que age no processo de coagulação da reação. Vogel, 1981, complementa indicando que a espécie de ferro Fe(OH)<sub>2(s)</sub> permanece na forma sólida em pH superior a 12. A diferença na remoção de cor em relação ao pH final de tratamento indica o papel do mesmo na formação de espécies Fe(OH)<sub>2(s)</sub>, fundamentais no processo de coagulação do tratamento.

Figura 2: Avaliação da remoção de cor em relação ao pH inicial e final sem a adição do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.



A avaliação do tratamento de electrocoagulação associado ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi inicialmente realizada com o pH inicial 8. Foi realizado a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no início do tratamento e mantido pelo mesmo período de tratamento, 10min. A Figura 3 demonstra os valores de remoção de cor e pH final após o tratamento. A adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> representou incremento pequeno na remoção de cor do chorume em relação ao mesmo tratamento sem a adição do mesmo, com exceção da concentração de 0,75mL, o qual apresentou ligeira queda na eficácia do tratamento.

O tratamento sem a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> repetiu novamente o padrão de remoção de cor,



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

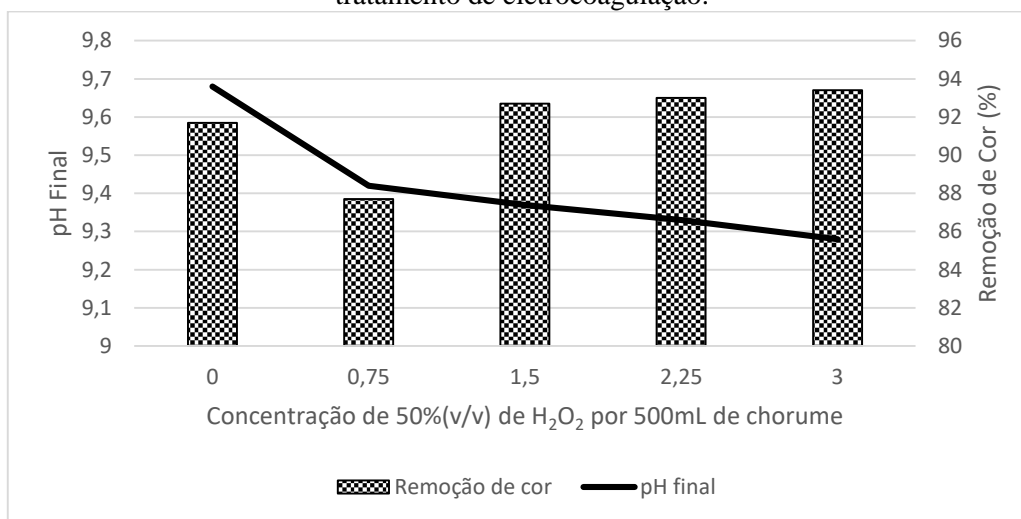
02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

alcançando 91,7%, tendo a concentração de 1,5mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> uma remoção de 92,7%. Em adição, o pH final representou comportamento proporcionalmente inverso em relação a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, apresentando ligeira redução ao aumento do mesmo em relação ao pH inicial de tratamento.

Figura 3: Avaliação da remoção de cor associada a diferentes concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> adicionadas ao tratamento de eletrocoagulação.



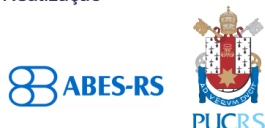
Levando em consideração que o aumento na remoção de cor com adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> não foi significativo com o aumento da concentração do mesmo, os demais testes com a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram realizados com a concentração de 1,5mL do mesmo, evitando assim um gasto desnecessário do reagente durante o tratamento.

Em contrapartida ao apresentado na Figura 2, para os tratamentos realizados com a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, o pH inicial de tratamento apresentou uma relação inversa na remoção de cor para o pH 4. A melhora na remoção de cor para o tratamento com pH 4 associado a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> reforça o conceito de performance no tratamento pelo processo Fenton convencional, onde tratamentos com pH próximo a 3 obtêm melhor desempenho.

A Figura 4 apresenta os resultados de remoção de cor para os tratamentos com a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, apresentando juntamente os valores de pH final de tratamento.

Figura 4: Avaliação da remoção de cor em relação ao pH inicial e final com a adição do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Realização

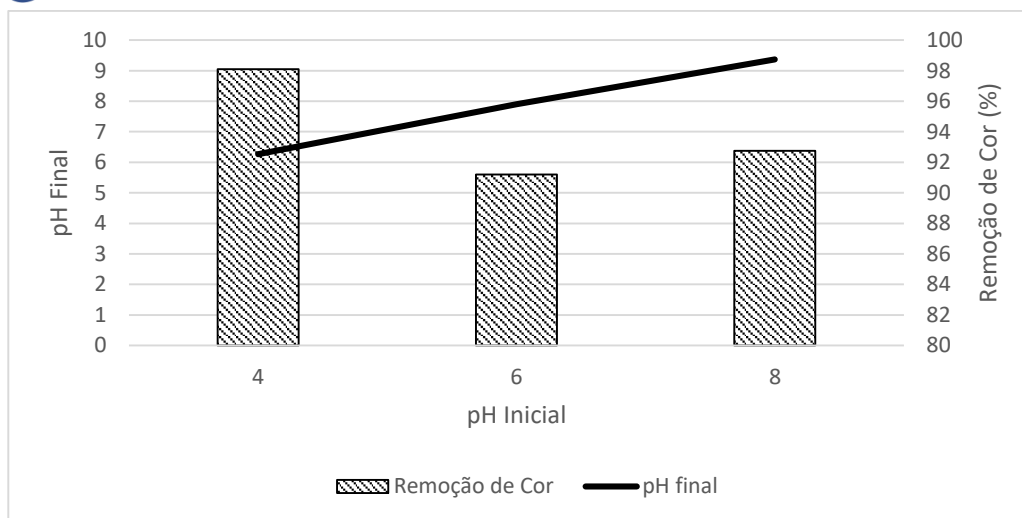


Correalização

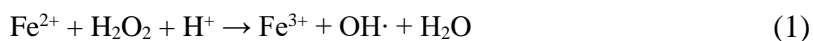


Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



A melhora na remoção de cor para o tratamento com pH 4 e  $H_2O_2$  foi de aproximadamente 8% em relação ao tratamento com pH 8, chegando a remoção de cor de 98,1%. Juntamente cabe destacar que o pH final do mesmo tratamento foi de 6,27, demonstrando um mecanismo diferente na reação ocorrida durante o tratamento. A adição de  $H_2O_2$  gera o processo Fenton na reação como já mencionado, fazendo com que os íons  $Fe^{2+}$  liberados no meio através dos eletrodos de ferro reajam com o  $H_2O_2$ , transformando-se em íons  $Fe^{3+}$ , conforme ilustrados na equação 1.



Diferente do tratamento convencional por eletrocoagulação onde normalmente ocorre a formação da espécie de ferro  $Fe(OH)_{2(s)}$ , no processo associado a adição de  $H_2O_2$  tende a ocorrer a formação da espécie de Hidróxido de Ferro (III),  $Fe(OH)_{3(s)}$ , devido a presença dos íons  $Fe^{3+}$  (WANG et al, 2016; BALDERAS-HERNÁNDEZ et al, 2008). Segundo Vogel, 1981, o  $Fe(OH)_{3(s)}$  pode ser encontrado na forma de precipitado em pH próxima a 4, indicando a formação do mesmo no tratamento com pH inicial 4. O mesmo tratamento apresentou pH final de 6,27, como já mencionado, não sendo provável a formação do  $Fe(OH)_{2(s)}$  no meio.

Como resultado qualitativo do tratamento, a coloração formada durante a reação pode servir como indicativo da reação formada durante o tratamento. O  $Fe(OH)_{2(s)}$  tende a apresentar coloração verde sujo em condições normais onde haja a presença baixa de oxigênio em solução (VOGEL, p.268. 1981. Na completa ausência de oxigênio o  $Fe(OH)_{2(s)}$  apresentaria coloração branca e após exposto ao ar livre o mesmo tende a oxidar e apresentar coloração marrom avermelhado. Por outro lado, o  $Fe(OH)_{3(s)}$  apresenta coloração marrom avermelhado no meio.

A Figura 5 (A) indica a formação do  $Fe(OH)_{2(s)}$  durante o tratamento e a Figura 5 (B) a formação do  $Fe(OH)_{3(s)}$ , demonstrando mecanismos diferentes de coagulação durante a reação.

Figura 5: Coloração formada durante o tratamento sem  $H_2O_2$  (A) e com  $H_2O_2$  (B).



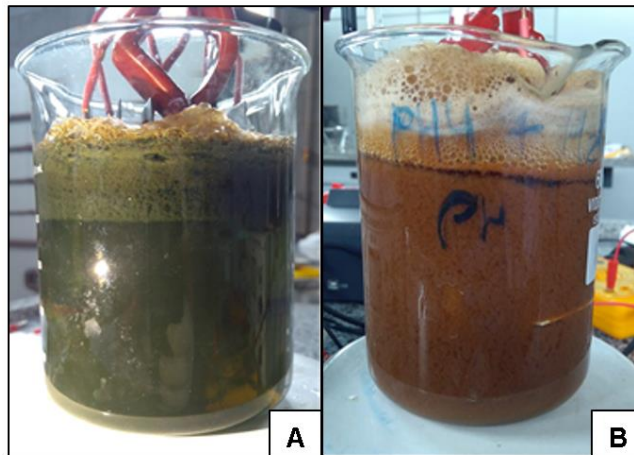


11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS

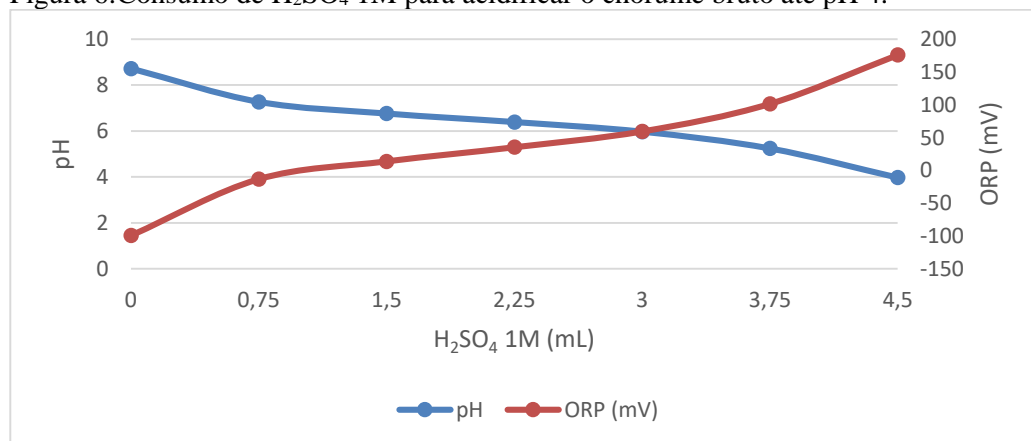


TEMA  
meio ambiente,  
política & economia



Além da formação do coagulante por processos diferentes e em faixas de pH diferente, podemos ainda destacar não somente a eficiência na remoção de cor, mas também a necessidade de ajustes do pH. Para a realização do tratamento com pH 4 associado ao  $H_2O_2$ , o pH do chorume bruto foi ajustado de 8,72 para 4,0. Como forma de avaliar a cinética na acidificação do chorume, foi realizado a adição gradual de  $H_2SO_4$  a 1M, observando o pH e o ORP durante o procedimento. Em adição, cabe destacar que o ORP foi de -99,2mV a 175,8mV, indicando que o meio se tornou oxidativo durante acidificação. Conforme ilustrado na Figura 6, o consumo de  $H_2SO_4$  a 1M foi de 4,5mL para 500 mL de chorume.

Figura 6: Consumo de  $H_2SO_4$  1M para acidificar o chorume bruto até pH 4.



Apesar da necessidade de adicionar  $H_2SO_4$  para acidificar o chorume antes do tratamento, o mesmo terminou com pH final de 6,27, não sendo necessário sua correção após o tratamento para lançamento em corpo hídrico. Em contrapartida, o tratamento com pH inicial igual a 8 não necessita a adição inicial de ácido, contudo o mesmo termina com pH final próximo a 10, necessitando de aproximadamente 5,0mL de  $H_2SO_4$  a 1M por litro de chorume após o tratamento para lançamento em corpo hídrico.

Em adição aos parâmetros monitorados antes e depois dos tratamentos, foi realizado o monitoramento do pH e do ORP durante o tratamento com o pH inicial 4, com e sem a adição de  $H_2O_2$ , conforme Figura 7. O intuito principal foi o de observar o comportamento do pH e do ORP para

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

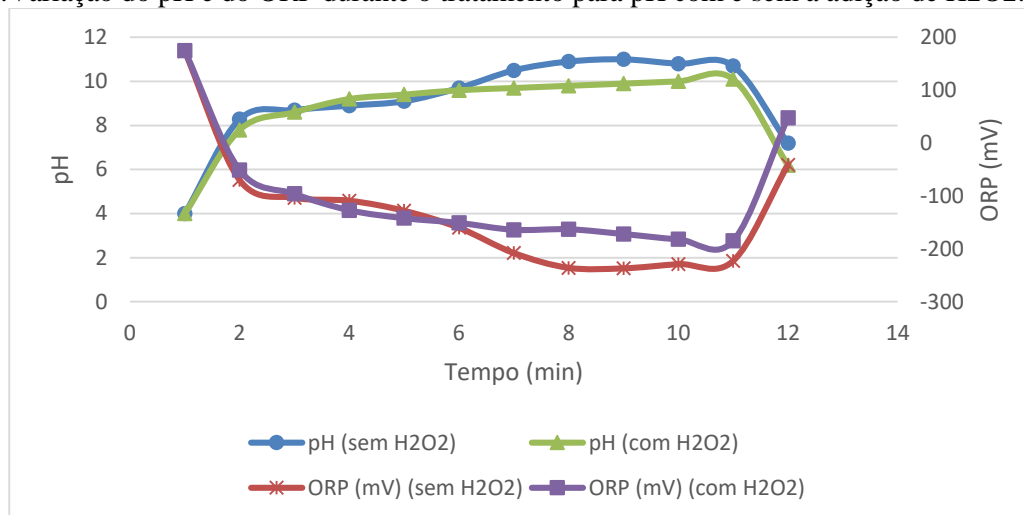
02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

ambos tratamentos, buscando identificar indicadores de eficiência.

Figura 7: Variação do pH e do ORP durante o tratamento para pH com e sem a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.



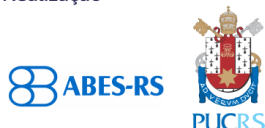
Inicialmente cabe destacar que ocorre um salto tanto do pH como do ORP no momento em que a fonte de alimentação é ligada e desligada, o que pode indicar interferência na medição. Contudo, a medição durante o período em que a fonte permanece ligada representa a variação do pH e ORP durante o tratamento. Assim sendo, podemos observar que as curvas de pH e ORP são proporcionalmente inversas em ambos casos. Juntamente, pode-se observar que o tratamento realizado sem a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> apresenta uma oscilação maior. Para o tratamento com a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> é possível observar que o ORP se mantém mais oxidativo, podendo ser reflexo do processo Fenton ocorrendo durante o tratamento.

Além disso, o tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> apresenta uma curva que se estabiliza após alguns minutos, podendo indicar um ponto ótimo de tratamento quanto ao tempo de reação. Le et al, 2004, aponta que o ORP alcança um valor máximo produzido durante a reação Fenton o qual é relacionado principalmente com a concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e a quantidade de compostos orgânicos oxidáveis no efluente. Assim sendo, o monitoramento do ORP durante o tratamento pode ser um indicador do tempo ideal de tratamento assim como a dosagem de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> necessária, contudo novos estudos são necessários para melhor entender esse mecanismo.

Como forma de verificar a eficiência do tratamento com a adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi juntamente monitorado a remoção de DQO para alguns dos tratamentos. A Figura 8 demonstra o percentual de remoção de DQO para quatro tratamentos analisados.

Figura 8: Remoção de DQO para os diferentes tratamentos aplicado ao chorume bruto.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375

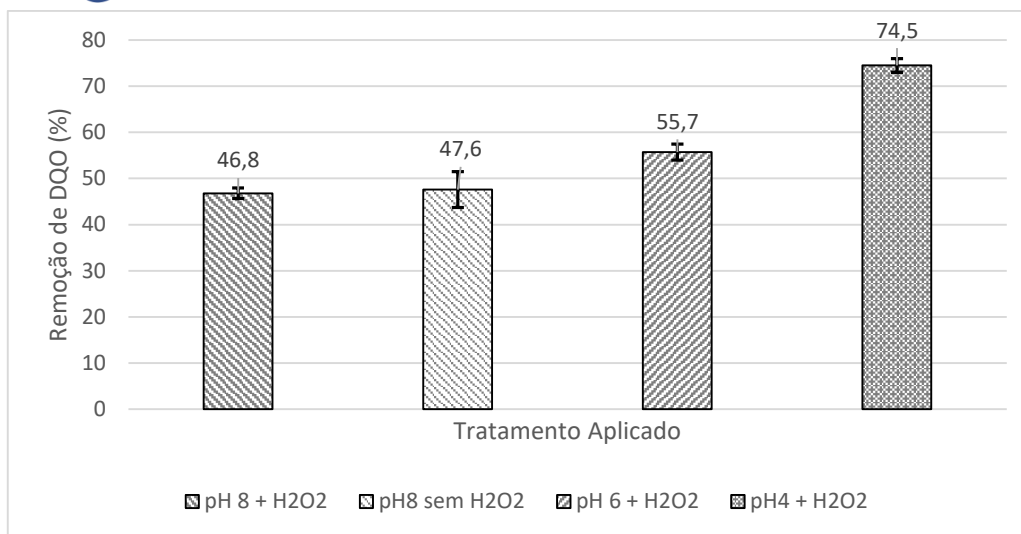


11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia



Observando os valores de remoção é possível observar que a remoção de DQO para o tratamento com pH8, com e sem a associação de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foram virtualmente iguais, sendo  $46,8 \pm 1,17\%$  e  $47,6 \pm 3,9\%$ , respectivamente. Para o tratamento com pH6 associado ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a eficiência foi de  $55,7 \pm 1,7\%$  de remoção de DQO, apresentando um aumento de 8,9% em relação ao tratamento com pH8 associado ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. A Figura 8 ainda apresenta o tratamento com pH4 associado ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como sendo o de melhor remoção de DQO, obtendo  $74,5 \pm 1,5\%$  de remoção, obtendo um aumento de 27,7% na remoção comparado ao tratamento com pH 8 associado ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

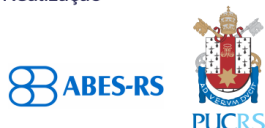
Os resultados demonstram que a associação do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ao tratamento por eletrocoagulação potencializa os resultados através do processo Fenton. Apesar de apresentar uma remoção menor de DQO, o tratamento com pH 6 demonstra que a presença de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> proporciona um melhor resultado quanto a remoção de DQO comparado aos testes realizados com pH 8, mesmo estando em uma faixa de pH acima de 4. Cabe ressaltar que a análise de DQO para o tratamento com pH4 sem a associação ao H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> apresentou erro associado a execução do experimento que impossibilitou a utilização do dado.

Ainda buscando avaliar a diferença entre os tratamentos realizados e sua capacidade de remover e/ou oxidar os compostos presentes no chorume, foi realizado uma varredura da absorbância no espectro UV-VIS, tanto para o chorume bruto quanto para o chorume tratado. A composição do chorume pode ser variada e complexa em alguns casos, podendo conter inúmeros compostos, inclusive compostos que fornecem toxicidade para o mesmo. Assim sendo, a obtenção da curva de absorbância pode servir como indicador tanto da eficiência do tratamento como da possível composição e característica do chorume, levando em consideração o fator que diferentes compostos ou grupos de compostos absorverem o espectro UV-VIS em diferentes faixas de comprimento de onda.

A Figura 9 apresenta a curva de absorbância do chorume bruto e dos resultados de diferentes tratamentos aplicados ao mesmo. Inicialmente é possível observar que todos os resultados dos tratamentos apresentaram redução de absorbância em uma faixa extensa de comprimento de onda, indicando a remoção e decomposição de compostos presentes no chorume bruto.

Figura 9: Espectro de absorbância comparativo entre o chorume sem tratamento, os tratamentos

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



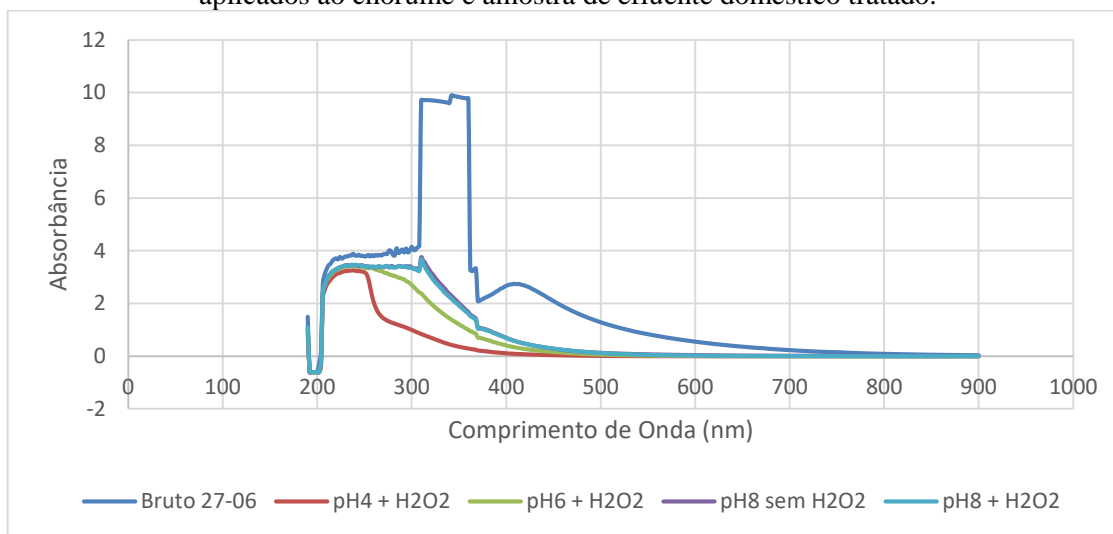
11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

aplicados ao chorume e amostra de efluente doméstico tratado.



A Figura 9 corrobora a tendência apresentada para remoção de cor e de DQO para os tratamentos ilustrados nas curvas de absorvância. Os tratamentos realizados com pH8, com e sem a associação ao  $H_2O_2$ , obtiverem curva de absorvância similar, tendo ligeira melhora da eficiência o tratamento associado com o  $H_2O_2$ . O tratamento com pH6 associado ao  $H_2O_2$  demonstrou redução elevada quanto a absorvância comparando com ambos tratamentos com pH8, dando ênfase na faixa de comprimento de onda de 260 a 440nm.

Assim como apresentado na remoção de DQO, o tratamento realizado com pH inicial 4 e com adição de  $H_2O_2$  resultou em uma melhora substancial na redução da curva de absorvância após o tratamento. Para o chorume bruto, a faixa de comprimento de onda entre 310 a 360nm, em especial, pode indicar a presença de compostos com alta interferência na absorção nesta faixa de comprimento de onda, ou ainda indicar a presença de composto interferentes na medição.

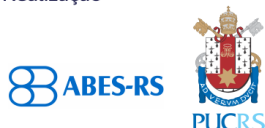
Outro ponto que pode ser observado é a redução da absorvância no comprimento de 254nm, conhecido como  $UV_{254}$ . Estudos recentes indicam que os chorumes gerados em aterros sanitários podem apresentar substâncias que interagem com o comprimento de onda  $UV_{254}$  utilizado para desinfecção do chorume em estações de tratamento de efluente. Tais compostos apresentam característica de absorção do espectro na faixa de 254 nm, fazendo com que a radiação ultravioleta não obtenha eficácia usual na desinfecção. Essas substâncias são conhecidas como “quenching substances” (DENG et al, 2017).

Quando comparamos os resultados obtidos na curva de absorvância para o comprimento de onda de 254 nm, podemos observar uma redução na intensidade de absorvância quanto ao chorume bruto. Para os tratamentos com pH 8, com e sem a adição de  $H_2O_2$ , e para o tratamento com pH 6 e  $H_2O_2$ , foi observado uma redução similar na curva de absorvância, 11,42%, 11,60% e 12,95%, respectivamente. Por outro lado, o tratamento com pH 4 e  $H_2O_2$  apresentou redução mais significativa da curva de absorvância no mesmo comprimento de onda, 23,42%.

Em concordância com o exposto, também podemos observar que a absorvância após a faixa de 254 nm sofre uma queda significativa de intensidade na absorvância do efluente tratado. O comportamento da curva de pH 4 com adição de  $H_2O_2$  pode representar a ação do processo Fenton, indicando o processo oxidativo avançado que ocorre durante o tratamento, oxidando compostos de difícil degradação. Diversos compostos de difícil degradação apresentam espectro de absorvância na faixa ultravioleta do espectro, incluindo matéria orgânica dissolvida (DENG et al, 2017).

Como forma de análise qualitativa dos resultados, buscou-se realizar uma avaliação comparativa da curva de absorvância do tratamento de melhor resultado, pH 4 com a adição de  $H_2O_2$ ,

Realização



Correalização



Informações:

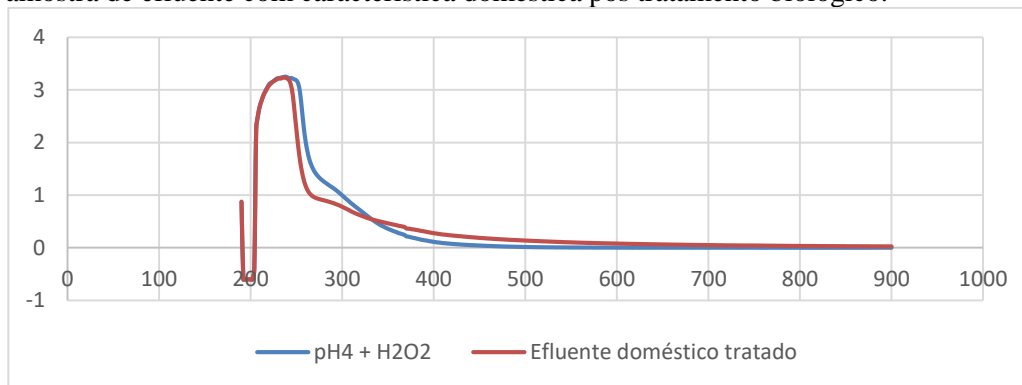
qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



com a curva de absorvência para um efluente de características domésticas tratado. A

Figura 10 demonstra que o tratamento de eletrocoagulação aplicado ao chorume associado ao  $H_2O_2$  na faixa de pH4 alcança absorvência similar a amostra de efluente de característica domésticas já tratado.

Figura 10: Comparativo do espectro de absorvência entre o tratamento com pH4 associado a  $H_2O_2$  e amostra de efluente com característica doméstica pós tratamento biológico.



A amostra de efluente com características domésticas foi obtida após tratamento em estação compacta, passando por tratamento anaeróbico e tratamento aeróbico. A proximidade de absorvência entre as duas amostras pode ser considerada como um indicador inicial da qualidade de tratamento do chorume pelos parâmetros descritos, tendo em vista que a amostra de efluente comparada se apresenta dentro dos padrões exigidos para lançamentos em corpo hídrico. Contudo, novos estudos comparativos caberiam afim de validar tal suposição.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos durante os tratamentos apresentaram significativa importância científica, sendo possível avaliar e verificar a eficiência do tratamento por eletrocoagulação e o mesmo processo associado a adição de  $H_2O_2$ , com o intuito de gerar o processo Fenton. Diferentes aspectos podem ser citados como principais conclusões do estudo.

Inicialmente foi possível observar que o pH inicial e final de tratamento apresenta um papel relevante no tratamento. Para o tratamento por eletrocoagulação convencional, os melhores resultados foram obtidos com pH superior a 7,5, indicando a importância na formação do  $Fe(OH)_{2(s)}$ , responsável pela coagulação no tratamento. Por outro lado, os tratamentos com a adição de  $H_2O_2$  demonstraram melhor resultado com pH inicial de tratamento igual a 4. Isso demonstra o mecanismo do processo Fenton durante o tratamento e seu melhor desempenho em pH próximo a 3. O pH final de tratamento com a adição de  $H_2O_2$  foi inferior a 7,5, demonstrando um diferente mecanismo no processo de coagulação, dando lugar a presença de  $Fe(OH)_{2(s)}$  no processo de coagulação.

Podemos ainda adicionar a diferença de coloração formada durante o tratamento como indicador de diferentes reações ocorrendo durante os tratamentos. Nos tratamentos sem a adição de  $H_2O_2$ , o processo de coagulação apresentou coloração verde sujo, indicando presença de  $Fe(OH)_{2(s)}$ . Já nos tratamentos com a adição de  $H_2O_2$ , foi possível verificar uma coloração marrom avermelhada, indicando a presença de  $Fe(OH)_{3(s)}$ . A formação de diferentes espécies de Hidróxido de Ferro se dá pela presença de  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  durante o tratamento executado, sendo o último gerado principalmente pelo processo Fenton no tratamento com a adição de  $H_2O_2$ .

Quanto ao objetivo principal do estudo, podemos afirmar que a adição de  $H_2O_2$  no tratamento por eletrocoagulação apresenta influência significativa tanto na remoção de cor quanto na



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

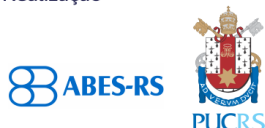
remoção de DQO, corroborando a premissa de que o processo Fenton pode ser gerado durante o tratamento por eletrocoagulação devido a liberação de íons  $\text{Fe}^{2+}$  através do eletrodo de ferro. Os melhores resultados de remoção de cor e DQO foram obtidos para o tratamento em questão, com pH inicial 4, obtendo 98,1% e 74,5%, respectivamente. Os resultados demonstraram que a adição de  $\text{H}_2\text{O}_2$  representa menor influência em pH superior a 4 quanto a remoção de cor e de DQO.

Podemos também destacar que as curvas de absorvância obtidas indicaram influencia similar de redução quando comparado com os resultados de remoção de cor e de DQO. Os resultados observados nas curvas de absorvância podem ser utilizados com indicativo da eficiência do tratamento e como mecanismo de monitoramento do tratamento, pois a análise do espectro de absorvância apresenta como vantagem a baixa quantidade de amostra necessária para análise e não se configura como um método complexo. O monitoramento do ORP e do pH durante a reação também se apresentaram como uma possibilidade de monitoramento da performance do tratamento. Contudo, cabe destacar que tanto o espectro de absorvância como o monitoramento do pH e do ORP necessitam de estudos mais detalhados para aprofundar o entendimento dos mesmos.

Em adição, cabe destacar que mais estudos devem ser realizados para um mais profundo e detalhado conhecimento dos mecanismos e das cinéticas de reações que ocorrem durante o tratamento. Estudos avaliando a redução da densidade de corrente podem ser importantes para tornar o tratamento com um custo menor quanto ao gasto energético. Não distante, o consumo de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e o tempo de tratamento para um pH inicial igual a 4 devem ser melhor avaliados, visando melhores resultados com um menor gasto possível.

Concluindo, estudos de remoção de toxicidade também devem ser avaliados, afim de verificar se a remoção elevada de cor e DQO, assim como a redução da curva de absorvância, refletem na remoção da toxicidade do chorume, podendo assim atingir excelente performance de tratamento do chorume.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## REFERÊNCIAS

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013*. ABRELPE: [S.1], 2014.

AGUILERA-COTERO, Juan. BARRERA-DÍAZ, Carlos. BILYEU, Bryan. CAMPOS-MEDINA, Eduardo. ROA-MORALES, Gabriela. *Aluminum electrocoagulation with peroxide applied to wastewater from pasta and cookie processing*. Separation and Purification Technology 54 (2007). 2006 Elsevier B.V. All rights reserved. doi:10.1016/j.seppur.2006.08.025

BALDERAS-HERNÁNDEZ, P. BARRERA-DÍAZ, C. Bilyeu, B. ROA-MORALES, G. *A Comparison of Iron and Aluminium Electrodes in Hydrogen Peroxide-Assisted Electrocoagulation of Organic Pollutants*. Universidad Autónoma del Estado de México & University of North Texas. Environmental Engineering Science. Mary Ann Liebert, Inc. DOI: 10.1089/ees.2007.0106. Volume 25, Number 4, 2008

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*.

CERVERA, Sandra J. Lopez. HERNÁNDEZ, Juan M. Penalta. ROSA, Catalina de la. SANCHEZ, Ana L. SANTOYO, María Maldonado. VEJA, María Maldonado. *Electrocoagulation Process Coupled with Advance Oxidation Techniques to Treatment of Dairy Industry Wastewater*. Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC). León, México. 2014.

DENG, Yang. JUNG, Chanil. TORRENS, Kevin. ZHAO, Renzun. *Chemical oxidation for mitigation of UV-quenching substances (UVQS) from municipal landfill leachate: Fenton process versus ozonation*. Water Research 108 260-270. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.005>

FORNARI, Marilda Menchon Tavares. *Aplicação da Técnica de Eletro-Floculação no Tratamento de Efluentes de Curtume*. Toledo, PR : [s. n.], 2008.

GERALDINO, Henrique Cesar Lopes. *Eletrofloculação aplicada ao tratamento de efluente da indústria de laticínio*. Itapetinga: UESB, 2014.

KALKA, Joanna. *Landfill Leachate Toxicity Removal in Combined Treatment with Municipal Wastewater*. Environmental Biotechnology Department, Silesian University

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375

of Technology, 44100 Gliwice, Poland. 2012.

LEE, Jong-Hyun. LEE, Tae-Ho. NAM, Hai-Uk. KIM, Young-O. PARK, Tae-Joo. PARK, Yu-Ri. Fenton oxidation process control using oxidation-reduction potential measurement for pigment wastewater treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering*. July 2004. DOI: 10.1007/BF02705523

LI, Shan. GONG, Chenhao. ZHANG, Jian. ZHANG, Zhongguo. *The addition of hydrogen peroxide in the electrocoagulation treatment for improving toxic organic matters removal: A comparative study*. *Separation Science and Technology*. 2017. DOI:10.1080/01496395.2017.1281956

MARQUES, Rosângela Francisca de Paula Vitor. *Impactos ambientais da disposição de resíduos sólidos urbanos no solo e na água superficial em três municípios de Minas Gerais*. Lavras:UFLA, 2011.

VOGEL, Arthur Israel. *Química analítica qualitativa*. 5ª ed. Ver. Por G. Svehla – São Paulo: Mestre Jou, 1981.

WANG, Nannan. WANG, Peng. ZHANG, Guangshan. ZHENG, Tong. A review on Fenton-like processes for organic wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 762–78. 2016. DOI:10.1039/C3RA46969G.

WIMMER, Ana Christina Souza. *Aplicação do processo eletrolítico no tratamento de efluentes de uma indústria petroquímica*. Rio de Janeiro, 2007. 195. Dissertação de Mestrado – Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.11608>

Realização



Correalização



Informações:

[qualidadeambiental.org.br](http://qualidadeambiental.org.br)  
[abes-rs@abes-rs.org.br](mailto:abes-rs@abes-rs.org.br)  
(51) 3212.1375