

# Estudo de remoção de boro em efluente de galvanoplastia com utilização de óxido de magnésio



Acompanhe os ensaios e os resultados oriundos de duas amostras de efluentes gerados em uma indústria galvanotécnica de cobre-níquel-cromo: uma oriunda das lavagens da linha de níquel-cobre e outra oriunda dos resíduos líquidos coletados de piso, chamada de Mista

## KATIA KARINA CABRAL RAYMUNDO

Bacharel em Química. Uniasselvi – Centro Universitário Leonardo da Vinci, Programa de Pós-Graduação EAD, Gestão e Educação ambiental.  
katiakarincabral@gmail.com

## RESUMO

O elemento boro consta na lista de parâmetros a serem controlados quando da emissão de efluentes líquidos tratados no Rio Grande do Sul. Entretanto, os tratamentos físico-químicos convencionais de coagulação-floculação-sedimentação são muito poucos eficientes no abatimento das concentrações emitidas deste elemento. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de remoção de boro por adsorção com Óxido de Magnésio em efluentes brutos gerados em processos de galvanoplastia. Foram utilizadas duas amostras de efluentes geradas em uma indústria galvanotécnica de cobre-níquel-cromo, uma oriunda das lavagens da linha de níquel-cobre, chamada de Ni/Cu, e outra oriunda dos resíduos líquidos coletados de piso, chamada de Mista. Foi realizado um ensaio de adsorção em cada amostra avaliando-se a mesma razão sólido/líquido (6,5 g de óxido de magnésio/Kg de efluente). O adsorvente foi capaz de remover, parcialmente, o boro em ambas as amostras testadas. O percentual de remoção ficou em 37,97% para o efluente Ni/Cu e em 37,44% para o efluente Misto. Apesar dos resultados positivos para a remoção, os parâmetros de emissão não foram atingidos em ambas as amostras.

Palavras Chave: Boro. Efluentes. Galvanoplastia. Adsorção. Óxido de Magnésio.

## ABSTRACT

The element boron is included in the list of parameters to be controlled when emitting treated liquid effluents in Rio Grande do Sul. However, conventional physical-chemical treatments of coagulation-flocculation-sedimentation are very few efficient in reducing the concentrations emitted from this element. In this context, the objective of this study was to evaluate the efficiency of boron removal by adsorption with Magnesium Oxide in crude effluents generated in electroplating processes. Two samples of effluent generated in a galvanic copper-nickel-chromium industry were used, one from the washes of the Nickel-Copper line, called Ni / Cu and another from the liquid waste collected from the floor, called Mista. An adsorption test was carried out on each sample, evaluating the same solid / liquid ratio (6 g of magnesium oxide / Kg of effluent). The adsorbent was able to partially remove boron in both samples tested. The removal percentage was 37.96% for Ni/Cu effluent and 37.45% for Mixed effluent. Despite the positive results for the removal, the emission parameters were not reached in both samples.

Keywords: Boron. Effluents. Electroplating. Adsorption. Magnesium Oxide.

## 1. INTRODUÇÃO

O planeta Terra dispõe de aproximadamente 1,35 milhões de quilômetros cúbicos de volume total de água. Cerca de 97% deste total é composto por oceanos, 0,22% de águas subterrâneas, 1% de águas superficiais, 0,77% de geleiras e 1,01% está na atmosfera e solo. As águas disponíveis para consumo são as superficiais e as subterrâneas (apenas 1,22% do total), que serão utilizadas pelos seres humanos para atividades agrícolas (65%), industriais (25%) e fins urbanos (10%).

Todas as formas de utilização da água disponível causam poluição e degradação ambiental. A deterioração da qualidade da água pode ser provocada de maneira direta ou indireta e as causas fundamentais da poluição podem agrupar-se em três grupos dependendo da atividade humana que as originou, sendo elas: poluição doméstica, poluição agrícola e poluição industrial.

O tipo de poluição objeto deste estudo é a industrial. Indústrias são responsáveis pelo descarte de águas residuais cujos constituintes podem ocasionar efeitos tóxicos se lançados sem os devidos cuidados estabelecidos em normas e legislações específicas.

Despejos industriais, também chamados de efluentes industriais, são correntes líquidas originárias de processos e/ou operações unitárias podendo vir acompanhadas de águas pluviais contaminadas e esgotos sanitários. São extremamente variáveis, quer em composição, quer em concentração e dependem dos produtos fabricados, natureza e porte da indústria, do grau de modernidade de seus processos produtivos, tipos de matéria-prima empregadas, além das práticas de reuso da fonte geradora. (CAVALCANTI, 2009, p. 20)

Dentre tantos tipos de atividade industrial destaca-se uma que tem por característica a utilização de alta quantidade de água em seus processos, sendo que o produto final não contém água incorporada, a galvanotécnica.

“A galvanotécnica é um método de revestimento por processos químicos e eletrolíticos de superfícies metálicas [...] com a finalidade de proteger [...], aumentar a espessura, conferir dureza e para embelezar.” (VALENZUELA, 2008, p.1)

Essa atividade depende de entrada de água de excelente qualidade, mas emite a totalidade desta água após seu uso com os mais variados produtos químicos dissolvidos, efluentes industriais de alta complexidade para tratamento e alta periculosidade para seres vivos e ecossistemas.

No estudo realizado, o efluente testado era oriundo de uma empresa que se utiliza da galvanotécnica para realizar a galvanoplastia. Os efluentes gerados no setor são originados da utilização de água nas atividades de lavagens de peças, maquinários e instalações, respingos entre tanques, descargas de fundo para renovação dos banhos, descartes de soluções exauridas e vazamentos existentes.

A composição típica desses efluentes aponta a presença de metais pesados (como cobre, níquel, cromo, cádmio, boro, chumbo, etc...), elementos tóxicos (cianetos, sulfetos, sulfatos, cloretos, etc...), além de acidez ou alcalinidade pronunciada. Praticamente, todos os metais e elementos listados têm método de tratamento já conhecido e a técnica utilizada permite a remoção dos contaminantes até o atingimento da concentração segura. Entretanto, o boro não é eliminado pelas técnicas usuais de tratamento de efluentes, como precipitação e coagulação química com sais de ferro e alumínio, o que já

foi tema de inúmeros estudos no passado. E, no caso em questão, sua concentração no efluente bruto é cerca de 10 a 12 vezes maior do que o permitido para lançamento do efluente tratado segundo a Resolução CONSEMA nº 355, de 13/07/2017, que dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Rio Grande do Sul.

A fim de desenvolver um método de remoção de boro que fosse viável economicamente para ser introduzido em escala industrial, foi realizada uma revisão bibliográfica onde chegamos à possibilidade de utilização de materiais adsorventes. O presente estudo foi desenvolvido empregando o adsorvente que se mostrou mais eficaz, segundo a bibliografia, o Óxido de Magnésio, incorporando o produto durante o tratamento físico-químico convencional sem alterar significativamente o método já utilizado de tratamento do efluente na planta. Os testes práticos foram realizados em laboratório, escala piloto, com a utilização de equipamento de Jar-Test. As análises químicas foram realizadas em laboratório terceirizado e acreditado pelo Inmetro segundo ensaios de proficiência.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Tratamento de efluentes pelo método físico-químico convencional

A remoção dos contaminantes presentes em efluentes industriais se dá através de métodos físicos, químicos e biológicos, envolvendo processos e operações unitárias, conforme sua natureza, utilizadas isoladamente ou em uma multiplicidade de combinações. (CAVALCANTI, 2009, p. 32)

Os processos físicos são caracterizados pelo predomínio de forças físicas e incluem gradeamento, peneiramento, filtração, sedimentação e flotação. Já os processos químicos, como floculação, adsorção e oxidação/redução, a remoção ou conversão de poluentes, são realizados pela introdução de produtos químicos ou pela ocorrência de outras reações químicas. (CAVALCANTI, 2009, p.33)

Alguns contaminantes requerem tratamentos específicos e prévios, como os cianetos (oxidação por hipoclorito de sódio ou peróxido de hidrogênio) e o cromo (redução por metabissulfito de sódio), mas após os pré-tratamentos os efluentes são homegeinizados no tanque reator onde se inicia o tratamento físico-químico convencional. Para que as impurezas possam ser removidas é necessário que se formem espécies hidrolisadas com carga positiva para que ocorra a coagulação. Essa primeira etapa acontece pela adição de sais de ferro ou alumínio em determinadas condições de pH, agitação, concentração e tempo de reação. O resultado é a formação dos coágulos.

A segunda etapa é chamada floculação e consiste basicamente em utilizar polímeros sintéticos (chamados polieletrólitos) para aumentar o tamanho e peso dos coágulos, transformando-os em flocos, facilitando sua sedimentação (decantação).



Figura 1 – Visualização da formação dos coágulos, flocos e sedimentação.

Fonte: [Tratamentodeeffluentes.pdf](#)

Após a separação sólido-líquido estar completa, o líquido clarificado é o efluente tratado que será encaminhado ao corpo receptor ou de reuso, conforme o caso. O sólido formado é encaminhado para deságue através de processos de filtração, como leitos de secagem e filtros prensa, e destinado, seco, aos aterros industriais.

### 2.2 Adsorção

Na adsorção, a remoção de componentes específicos dos despejos se dará sobre superfícies sólidas por meio de forças de atração de várias naturezas.

A adsorção química se dá quando a ligação química entre o adsorvente [...] e o adsorvido (matéria orgânica ou inorgânica dissolvida) é forte e, portanto, irreversível. [...] O mecanismo de separação se deve a uma rápida formação de uma concentração interfacial de equilíbrio, seguida de uma lenta difusão das moléculas de soluto dentro dos poros capilares das partículas [...]. A grande área superficial interna desenvolvida durante a ativação, formada por milhões de micro, médio e macroporos é responsável pela poderosa capacidade de adsorção [...]. (CAVALCANTI 2009, p.350)

Basicamente, os íons ficam retidos na superfície do material adsorvente por forças de interação químicas ou físicas. Quanto maior o número de poros que a superfície apresenta, maior a probabilidade de a adsorção acontecer. Importante dizer que adsorção não é o mesmo que absorção como mostra a Figura 2.

**Adsorção** não é o mesmo que **Absorção**

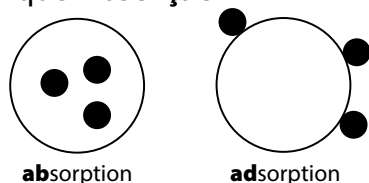


Figura 2 – Representação esquemática da diferença entre Adsorção e Absorção.

Fonte: [www.docsity.com](http://www.docsity.com)

### 2.3 boro

Despejos tóxicos com concentrações anormais de metais pesados não podem ser aplicados no solo. O boro é o elemento mais importante a ser considerado, uma vez que é altamente tóxico em concentrações acima de 3 mg/L. A presença e toxicidade do boro em alimentos e seu uso na nutrição dos animais têm sido estudados. [...] Sabe-se, contudo, que o boro é elemento essencial para o crescimento das plantas. Porém, o boro em concentrações de 1 mg/L é tóxico para algumas plantas sensíveis. (VALENZUELA, 2008, p. 14)

Não existem dados disponíveis sobre os efeitos adversos à saúde decorrentes da ingestão de grandes quantidades de boro dos alimentos e da água. Segundo dados do NIH (National Institute of Health), órgão governamental dos Estados Unidos, a dose letal potencial foi relatada em 15 a 20 g/dia para adultos, e 3 a 6 g/dia em bebês. Os sintomas iniciais incluem náusea, desconforto gástrico, vômito e diarreia. Em doses mais altas, foram relatados rubor da pele, excitação, convulsões, depressão e colapso vascular.

A concentração máxima de boro recomendada pela OMS (Organização Mundial da Saúde) é de 0,3 mg/L em águas potáveis. No Brasil, a CO-NAMA 357/2005 estabelece a concentração máxima de boro em 0,5 mg/L em águas doces de classe I e II.

No Rio Grande do Sul, a CONSEMA N° 355/2017 determina que a concentração máxima de boro em efluentes tratados e lançados em águas superficiais não exceda 0,5 mg/L.

No efluente estudado, o boro encontrava-se na forma de ácido bórico e boratos. O ácido bórico encontra-se na lista REACH (Regulamento n° 1907/2006, do Parlamento e Conselho Europeu), relativa à restrição de substâncias e misturas químicas que afetam negativamente a saúde humana ou o meio ambiente, descrito como tóxico para a reprodução.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão descritos e caracterizados o método, soluções, reagentes e equipamentos utilizados em laboratório.

### 3.1 O efluente

Foram utilizadas duas amostras de efluentes gerados em uma planta de galvanoplastia contendo boro em concentrações acima do permitido para lançamento, conforme legislação já citada.

A primeira amostra, doravante chamada de Ni/Cu Ác, é gerada nas linhas de lavagens pós-banho de níquel base sulfato e pós-banho de cobre ácido. Por suas características químicas compatíveis, essas linhas de geração são misturadas e enviadas juntas ao sistema de tratamento físico-químico. Caracteriza-se por ter um pH ácido, ausência de cromo (o que elimina a necessidade de pré-tratamento para esse elemento), pequena concentração de cianetos presente por contaminação cruzada de tubulação e concentrações altas de cobre, níquel e boro, conforme demonstrado na análise química realizada na Central Analítica da Universidade FEEVALE:

#### RELATÓRIO DE ENSAIO N° 1863/19 - B

##### 1. CLIENTE

Razão social: AGAU Indústria de Equipamentos para Água Ltda  
Endereço: Rua Cecília Fridel Barcelos, 60 - Passo das Pedras - Gravataí/RS - CEP 94035-185

##### 2. INFORMAÇÕES DA AMOSTRA

Proposta comercial: 0537/19 Rev. 1

Identificação da Amostra: Efluente - Bruto 1  
Data do recebimento: 05/12/2019

Amostragem: Aos cuidados do requisitante. Os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.  
Instrução de amostragem: Realizada conforme IT036 - Amostragem e preservação de águas, efluentes e solos.  
Data da amostragem: 04/12/2019

Desvio de amostra: -

Medições do cliente: - - - - -

Período de realização dos ensaios: 05/12/2019 a 20/12/2019

##### 3. RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Incerteza	LQ	Unidade	Metodologia
Boro*	53,8572	± 5,6	0,25	mg/L	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B
Cianeto Total*	0,344	± 0,059	0,02	mg L <sup>-1</sup>	4500-CN-A,B,C,E
Cobre Total*	260,1179	± 27	0,0250	mg L <sup>-1</sup>	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B
Níquel Total*	570,5235	± 60	0,025	mg L <sup>-1</sup>	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B

\*Ensaio terceirizado, realizado em Laboratório do Grupo Eurofins. Certificado ISO 17.025 disponível em <https://www.eurofins.com.br/qualidade/>

Legenda: < LQ - Inferior ao limite de quantificação N/A - Não aplicável LQ - Limite de Quantificação SM - Standard Methods 23rd Edition

Figura 3 – Relatório de análise do efluente bruto Ni/Cu Ác.

Fonte: Central Analítica Universidade FEEVALE – Relatório de Ensaio N° 1863/19 - B

A segunda amostra, doravante chamada de Mista, é gerada pelos respingos, eventuais vazamentos de tanques e escurrimentos de peças, e é coletada do piso. Caracteriza-se por ter um pH alcalino, ausência de cromo (o que elimina a necessidade de pré-tratamento para esse elemento), presença de cianetos (o que indica a necessidade de pré-tratamento para esse elemento) e concentrações altas de cobre, níquel e boro, conforme demonstrado na análise química realizada na Central Analítica da Universidade FEEVALE:

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 1864/19 - B

1. CLIENTE

Razão social: AGAU Indústria de Equipamentos para Água Ltda  
Endereço: Rua Cecília Fridel Barcelos, 60 - Passo das Pedras - Gravatá/RS - CEP 94035-185

2. INFORMAÇÕES DA AMOSTRA

Proposta comercial: 0537/19 Rev. 1

Identificação da Amostra: Efluente - Bruto 2  
Data do recebimento: 05/12/2019

Amostragem: Aos cuidados do requisitante. Os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.  
Instrução de amostragem: Realizada conforme IT036 - Amostragem e preservação de águas, efluentes e solos.  
Data da amostragem: 04/12/2019

Desvio de amostra: -

Medições do cliente: - - - - -

Período de realização dos ensaios: 05/12/2019 a 20/12/2019

3. RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Incerteza	LQ	Unidade	Metodologia
Boro*	61,6490	± 6,4	0,25	mg/L	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B
Cianeto Total*	4,500	± 0,77	0,02	mg L <sup>-1</sup>	4500-CN-A, B, C, E
Cobre Total*	451,3161	± 46	0,0250	mg L <sup>-1</sup>	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B
Níquel Total*	549,6609	± 58	0,025	mg L <sup>-1</sup>	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B

\*Ensaio terceirizado, realizado em Laboratório do Grupo Eurofins. Certificado ISO 17.025 disponível em <https://www.eurofins.com.br/qualidade/>

Legenda: < LQ - Inferior ao limite de quantificação N/A - Não aplicável LQ - Limite de Quantificação SM - Standard Methods 23rd Edition

Figura 4 – Relatório de análise do efluente bruto misto.

Fonte: Central Analítica Universidade FEEVALE – Relatório de Ensaio Nº 1864/19 – B

3.2 Óxido de magnésio

Para realização dos testes foi utilizado Óxido de Magnésio P.A., da marca Synth, data de fabricação 31/05/2019, validade 31/05/2024, lote 226115. Caracterizado conforme laudo abaixo:

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE QUALIDADE			FAB.: 31/05/2019
REAGENTE ANALÍTICO			VAL.: 31/05/2024
BOLETIM TÉCNICO			Origem : -----
PRODUTO			Lote Fabricante : -----
OXIDO DE MAGNESIO P.A.			CHAVE AUTENTICIDADE
LOTE	FÓRMULA	P. M.	DPOCF-EZCTD-VRJWY-WWXEX
226115	M g O	40,30	
TESTES	LIMITES	RESULTADOS	
01 CARACTERÍSTICAS	Pó fino, branco, inodoro	de acordo	
02 ARSÊNIO	máx. 03ppm	< 03ppm	
03 CÁLCIO	máx. 1,0%	< 1,0%	
04 CLORETOS	máx. 0,2%	< 0,2%	
05 FERRO	máx. 0,05%	< 0,05%	
06 INSOLÚVEIS em HCl	máx. 0,1%	0,06%	
07 METAIS PESADOS	máx. 0,003%	< 0,003%	
08 PERDA POR IGNIÇÃO	máx. 8,0%	7,93%	
09 SULFATOS	máx. 0,5%	< 0,5%	
10 TEOR	min. 96,0% b.a.	96,21%	
DATA EMISSÃO	ANALISTA	RESPONSÁVEL	RESULTADO
03/06/2019	GIOVANA	IZILDA MORELLI	APROVADO

CERTIFICADO EMITIDO VIA SISTEMA INTEGRADO COM APROVAÇÃO ELETRÔNICA

Figura 5 – Certificado de análise – MgO P.A.- Lote 226115.

Fonte: [downloads.labsynth.com.br/laudos](https://downloads.labsynth.com.br/laudos)

3.3 Jar Test

Para realização dos testes foi utilizado um aparelho de Jar Test (teste de jarros) marca Alfakit, Modelo 403. O Jar Test é um equipamento de laboratório utilizado nos ensaios de floculação para determinar a melhor dosagem dos reagentes, além de determinar o melhor pH de formação dos flocos. A determinação é realizada por tentativa e comparação visual. O aparelho utilizado era de 3 provas, cada prova contendo 1 litro e possibilitando o controle manual da velocidade de homogeneização.

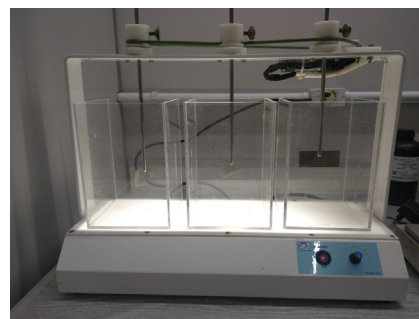


Figura 6 – Aparelho de Jar Test.

Fonte: Autor

3.4 Experimentos de adsorção

Segundo testes prévios de dissolução do MgO em água deionizada, verificou-se que a dissolução resultava em aumento significativo de pH, o que determinou a ordem de entrada dos reagentes no experimento. Como ambas as amostras de efluentes necessitavam de pré-tratamento para cianeto, o que se realiza em pH acima de 12, optou-se por adicionar o MgO logo no início da sequência de tratamento, pois auxiliaria no aumento de pH e consequente redução da necessidade de adição de agentes alcalinizantes.

Além disso, segundo Andia: “O processo de adsorção de boro é altamente dependente do pH. O pH ótimo foi igual a 10. Este valor ótimo de pH assegura a presença de íons borato [...] e permite uma adequada

capacidade de adsorção na superfície do MgO [...]” (ANDIA, 2009, p. 117).

A concentração usada de MgO em ambas as amostras foi de 6,5 g/l e foi definida baseada no atingimento do pH 12 na amostra mais alcalina (Mista).

### 3.4.1 Sequência de tratamento na amostra Ni/Cu Âc

O pH inicial da amostra era de 2,22. Foram adicionados 6,5 g/l de óxido de magnésio e 1,8 ml/l de hidróxido de sódio 50% para que o pH chegasse a 12. Não foi realizado nenhum tipo de pré-tratamento porque a concentração de cianeto presente não interfere no resultado de boro. Para precipitar os metais foram adicionados 3 ml/l de solução alcalinizada de sulfeto de sódio, a 30%, e deixado reagir com agitação em 100 rpm por 30 minutos. A coagulação foi realizada por adição de 2 ml/l de cloreto férrico e foi necessário corrigir o pH para 8 (melhor pH de floculação), com 4,3 ml/l de ácido sulfúrico. A coagulação se efetivou em um tempo de reação de 30 minutos, com agitação branda em 50 rpm. A floculação foi realizada por adição de 2 ml/l de polímero aniônico, estando efetivada em 1 minuto sob forte agitação em 160 rpm. Desligada a agitação, a decantação total levou aproximadamente 1 hora. O sobrenadante clarificado foi filtrado em papel de filtro qualitativo 80 g, conservado segundo ABNT NBR 9898:1987 – Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores – Procedimento, e encaminhado para análises químicas.

#### RELATÓRIO DE ENSAIO N° 1866/19 - B

1. CLIENTE

Razão social: AGAU Indústria de Equipamentos para Água Ltda  
Endereço: Rua Cecília Fridel Barcelos, 60 - Passo das Pedras - Gravata/RS - CEP 94035-185

2. INFORMAÇÕES DA AMOSTRA

Proposta comercial: 0537/19 Rev. 1

Identificação da Amostra: Efluente - Tratado Boro 1  
Data do recebimento: 05/12/2019

Amostragem: Aos cuidados do requisitante. Os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.  
Instrução de amostragem: Realizada conforme IT036 - Amostragem e preservação de águas, efluentes e solos.  
Data da amostragem: 05/12/2019

Desvio de amostra: -

Medições do cliente: - - - - -

Período de realização dos ensaios: 05/12/2019 a 20/12/2019

3. RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Incerteza	LQ	Unidade	Metodologia
Boro*	30,4804	± 3,2	0,25	mg/L	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B

\*Ensaio terceirizado, realizado em Laboratório do Grupo Eurofins. Certificado ISO 17.025 disponível em <https://www.eurofins.com.br/qualidade/>

Legenda: < LQ - Inferior ao limite de quantificação N/A - Não aplicável LQ - Limite de Quantificação SM - Standard Methods 23rd Edition

Figura 7 – Relatório de análise do efluente tratado Misto.

Fonte: Central Analítica Universidade FEEVALE – Relatório de Ensaio N° 1866/19 - B

### Sub3.4.2 Sequência de tratamento na amostra Mista

#### RELATÓRIO DE ENSAIO N° 1867/19 - B

1. CLIENTE

Razão social: AGAU Indústria de Equipamentos para Água Ltda  
Endereço: Rua Cecília Fridel Barcelos, 60 - Passo das Pedras - Gravata/RS - CEP 94035-185

2. INFORMAÇÕES DA AMOSTRA

Proposta comercial: 0537/19 Rev. 1

Identificação da Amostra: Efluente - Tratado Boro 2  
Data do recebimento: 05/12/2019

Amostragem: Aos cuidados do requisitante. Os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.  
Instrução de amostragem: Realizada conforme IT036 - Amostragem e preservação de águas, efluentes e solos.  
Data da amostragem: 05/12/2019

Desvio de amostra: -

Medições do cliente: - - - - -

Período de realização dos ensaios: 05/12/2019 a 20/12/2019

3. RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Incerteza	LQ	Unidade	Metodologia
Boro*	36,1343	± 3,8	0,25	mg/L	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B

\*Ensaio terceirizado, realizado em Laboratório do Grupo Eurofins. Certificado ISO 17.025 disponível em <https://www.eurofins.com.br/qualidade/>

Legenda: < LQ - Inferior ao limite de quantificação N/A - Não aplicável LQ - Limite de Quantificação SM - Standard Methods 23rd Edition

Figura 8 – Relatório de análise do efluente tratado Misto.

Fonte: Central Analítica Universidade FEEVALE – Relatório de Ensaio N° 1867/19 - B

O pH inicial da amostra era de 10,50. Foram adicionados 6,5 g/l de óxido de Magnésio e 1 ml/l de hidróxido de sódio 50% para que o pH chegasse a 12. Para tratar o cianeto presente foram adicionados 10 ml/l de hipoclorito de sódio e deixado reagir com agitação em 100 rpm por 1 hora. Após a eliminação do cianeto, foram adicionados 7 ml/l de solução alcalinizada de sulfeto de sódio a 30% (para precipitar os metais) e deixado reagir com agitação em 100 rpm por 30 minutos. A coagulação foi realizada por adição de 3 ml/l de cloreto férrico e foi necessário corrigir o pH para 8 (melhor pH de floculação), com 4 ml/l de ácido sulfúrico. A coagulação se efetivou em um tempo de reação de 30 minutos, com agitação branda em 50 rpm. A floculação foi realizada por adição de 2 ml/l de polímero aniônico, estando efetivada em 1 minuto sob

forte agitação em 160 rpm. Desligada a agitação, a decantação total levou aproximadamente 1 hora. O sobrenadante clarificado foi filtrado em papel de filtro qualitativo 80 g, conservado segundo ABNT NBR 9898:1987 – Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores – Procedimento, e encaminhado para análises químicas.

### 3.4.3 Clarificação

Registros fotográficos foram feitos a fim de comprovar a eficácia do processo de coagulação/floculação/sedimentação no que diz respeito à qualidade de clarificação e remoção de cor.

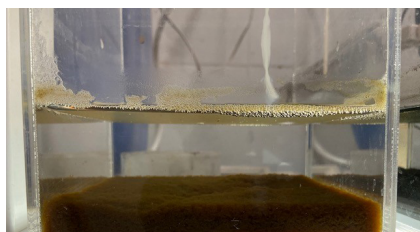
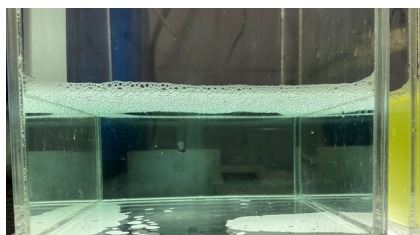


Figura 9 – Comparativo visual – Amostra Ni/Cu Ác – Bruto X Tratado. Fonte: Autor

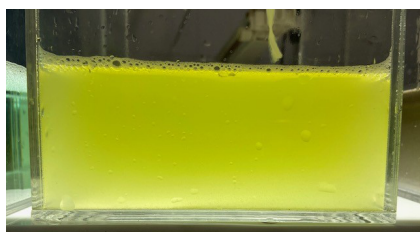


Figura 10 – Comparativo visual – Amostra mista – Bruto X Tratado. Fonte: Autor

### 3.4.4 Resultados comparativos

Em cada amostra de efluente foi realizado um segundo ensaio de Jar Test repetindo a sequência de tratamento e suprimindo a adição de MgO. Todas as amostras foram encaminhadas no mesmo momento para análise e os resultados foram:

#### RELATÓRIO DE ENSAIO N° 1860/19 - B

##### 1. CLIENTE

Razão social: AGAU Indústria de Equipamentos para Água Ltda  
Endereço: Rua Cecília Fridel Barcelos, 60 - Passo das Pedras - Gravataí/RS - CEP 94035-185

##### 2. INFORMAÇÕES DA AMOSTRA

Proposta comercial: 0537/19 Rev. 1

Identificação da Amostra: Efluente - Tratado 1  
Data do recebimento: 05/12/2019

Amostragem: Aos cuidados do requisitante. Os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.  
Instrução de amostragem: Realizada conforme IT036 - Amostragem e preservação de águas, efluentes e solos.  
Data da amostragem: 04/12/2019

Desvio de amostra: -

Medições do cliente: - - - -

Período de realização dos ensaios: 05/12/2019 a 20/12/2019

##### 3. RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Incerteza	LQ	Unidade	Metodologia
Boro*	49,1342	± 5,1	0,25	mg/L	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B
Cianeto Total*	<0,02	N/A	0,02	mg L <sup>-1</sup>	4500-CN-A,B,C,E
Cobre Total*	2,0042	± 0,21	0,0250	mg L <sup>-1</sup>	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B
Níquel Total*	23,7296	± 2,5	0,025	mg L <sup>-1</sup>	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B

\*Ensaio terceirizado, realizado em Laboratório do Grupo Eurofins. Certificado ISO 17.025 disponível em <https://www.eurofins.com.br/qualidade/>

Legenda: < LQ - Inferior ao limite de quantificação N/A - Não aplicável LQ - Limite de Quantificação SM - Standard Methods 23rd Edition

Figura 11 – Relatório de análise do efluente tratado Ni/Cu Ác sem adição de MgO.

Fonte: Central Analítica Universidade FEEVALE – Relatório de Ensaio N° 1860/19 – B

#### RELATÓRIO DE ENSAIO N° 1861/19 - B

##### 1. CLIENTE

Razão social: AGAU Indústria de Equipamentos para Água Ltda  
Endereço: Rua Cecília Fridel Barcelos, 60 - Passo das Pedras - Gravataí/RS - CEP 94035-185

##### 2. INFORMAÇÕES DA AMOSTRA

Proposta comercial: 0537/19 Rev. 1

Identificação da Amostra: Efluente - Tratado 2  
Data do recebimento: 05/12/2019

Amostragem: Aos cuidados do requisitante. Os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.  
Instrução de amostragem: Realizada conforme IT036 - Amostragem e preservação de águas, efluentes e solos.  
Data da amostragem: 04/12/2019

Desvio de amostra: -

Medições do cliente: - - - -

Período de realização dos ensaios: 05/12/2019 a 20/12/2019

##### 3. RESULTADOS

Parâmetro	Resultado	Incerteza	LQ	Unidade	Metodologia
Boro*	57,7590	± 6,0	0,25	mg/L	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B
Cianeto Total*	<0,02	N/A	0,02	mg L <sup>-1</sup>	4500-CN-A,B,C,E
Cobre Total*	0,2305	± 0,024	0,0250	mg L <sup>-1</sup>	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B
Níquel Total*	9,6596	± 1,0	0,025	mg L <sup>-1</sup>	SM 3030 B, 3030 E, 3120 B

\*Ensaio terceirizado, realizado em Laboratório do Grupo Eurofins. Certificado ISO 17.025 disponível em <https://www.eurofins.com.br/qualidade/>

Legenda: < LQ - Inferior ao limite de quantificação N/A - Não aplicável LQ - Limite de Quantificação SM - Standard Methods 23rd Edition

Figura 12 – Relatório de análise do efluente tratado mista sem adição de MgO.

Fonte: Central Analítica Universidade FEEVALE – Relatório de Ensaio N° 1861/19 – B

De posse dos resultados analíticos, compilou-se os dados em tabelas comparativas e calculou-se o percentual de remoção de boro para cada tipo de amostra e tratamento.

**TABELA 1 – CONCENTRAÇÃO DE BORO EM MG/L.**

CONCENTRAÇÃO DE boro - mg/l		
	Amostra Ni/Cu Ác	Amostra Mista
Bruto	53,857	61,649
Tratado sem MgO	49,134	57,759
Tratado com MgO	30,480	36,134

**TABELA 2 – PERCENTUAL DE REMOÇÃO DE BORO.**

PERCENTUAL DE REMOÇÃO DE boro		
	Amostra Ni/Cu Ác	Amostra Mista
Tratado sem MgO	8,77%	6,31%
Tratado com MgO	37,97%	37,44%

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a apresentação dos resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que:

1. O processo de adsorção do boro por adição de MgO mostrou-se eficaz. Os resultados analíticos das amostras tratadas em processo físico-químico convencional sem adição de MgO apresentaram pouca eficiência na remoção do elemento em ambas as amostras, com percentuais de remoção entre 6,3 a 8,7%. As mesmas amostras tratadas por processo idêntico, mas com adição de 6,5 g/l de MgO, apresentaram o percentual de remoção entre 37,4 a 37,9%.
2. A natureza das amostras não influenciou significativamente no resultado de adsorção, fato comprovado pelos percentuais de remoção muito próximos. Também pode-se concluir que a existência de pré-tratamento também não altera significativamente o resultado de remoção.
3. A dissolução do MgO nas amostras eleva o pH e, portanto, restringe a adição de MgO em determinadas etapas do processo de tratamento.
4. Com percentuais de remoção praticamente idênticos nas amostras tratadas, infere-se que a remoção esteja diretamente ligada com a concentração de MgO adicionada. No estudo, foram utilizadas 6,5 g/l por amostra, o que não foi suficiente para atingir a concentração permitida para lançamento, segundo legislação já apresentada.

5. Cada 1 g/l de MgO adicionado foi responsável por, aproximadamente, 4,5% de remoção de boro, o que servirá como base de cálculo para futuros ensaios. Cada nova amostra a ser avaliada deve ter o teor de boro determinado no bruto e a quantidade de MgO pode ser calculada.

#### REFERÊNCIAS

ANDIA, Javier Paul Montalvo. Remoção de boro de águas e efluentes de petróleo por adsorção. 2009. 138 f. Tese (Doutorado) - Programa de Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos do Departamento de Engenharia de Materiais da Puc-Rio. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=14605@1>. Acesso em: 08 de março 2020.

BRASIL. Constituição (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Resolução CONAMA Nº 357/2005, de 17 de Março de 2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 08 de março 2020.

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

INSTITUTE OF MEDICINE (US). Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington (DC): National Academies Press (US); 2001. 11. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222301/?report=reader>. Acesso 20 de abril 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Constituição (2017). Resolução nº 355, de 13 de julho de 2017. Resolução CONSEMA Nº 355/2017: Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>. Acesso em: 09 de março 2020.

UNIÃO EUROPEIA. Constituição (2006). Regulamento (CE) Nº 1907/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho: relativo ao registro, avaliação, autorização e restrição de substâncias químicas (REACH), que cria a Agência Europeia das Substâncias Químicas que altera a Directiva 1999/45/CE e revoga o Regulamento (CEE) nº 793/93 do Conselho e o Regulamento (CE) nº 1488/94 da Comissão, bem como a Directiva 76/769/CEE do Conselho e as Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE e 2000/21/CE da Comissão. União Europeia, CE. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:PT:PDF>. Acesso: 09 de março 2020.

VALENZUELA, Julio. Tratamento de Efluentes em Indústrias Galvanotécnicas. 2. ed. São Paulo: Páginas & Letras, 2008. 126 p. 📄