

PRÉ-TRATAMENTO DE EFLUENTE METAL MECÂNICO POR PROCESSOS QUÍMICOS - ESTUDO DE CASO¹

PRE-TREATMENT OF A METAL-MECHANIC EFFLUENT BY CHEMICAL PROCESSES - A CASE STUDY

**Daniel Ortega Zavaglia Silva², Sérgio Roberto Mortari³, Valderi Luiz Dressler⁴,
Rodrigo Fernando dos Santos Salazar⁵, Mariana Ribeiro Santiago⁶ e Galileo Adeli Buriol⁷**

RESUMO

Importante indústria do setor metal mecânico do município de Santa Maria-RS, gera efluentes com reativos do emprego de produtos químicos desengraxantes, decapantes e fosfatizantes. Por não possuir um sistema de tratamento deste efluente, pode acarretar sérios danos ao meio ambiente devido à presença de metais tóxicos em sua composição. Por meio de uma análise preliminar do pH, turbidez, cromo, ferro, zinco e níquel do efluente, constatou-se que encontrava-se fortemente ácido, com elevada turbidez e presença de metais pesados acima dos limites fixados na resolução CONSEMA N°128/2006, RS. Assim, na tentativa de associar um sistema eficiente e de baixo custo no tratamento deste efluente, neste trabalho objetivou-se avaliar a técnica de neutralização usando o hidróxido de sódio e o hidróxido de cálcio, atingindo meios alcalinos previamente determinados e realizados em escala de bancada no Jar-test. Os resultados obtidos foram satisfatórios na remoção dos metais, redução da turbidez e formação de precipitados, destacando-se o pH 9 com o NaOH.

Palavras-chave: efluente metalúrgico, neutralização, precipitação química, NaOH, Ca(OH)₂.

ABSTRACT

An important metal-mechanic industry in the city of Santa Maria, RS, generates effluents with reactive products from the usage of degreaser, paint remover and phosphatizing products. Because there is no treatment system for this effluent, some serious damage may occur to the environment due to the presence of heavy metals in its composition. Through a preliminary analysis of pH, turbidity, chromium, iron, zinc and nickel from the effluent, it was found out that it is strongly acid, with high turbidity and the presence of heavy metals above the limits set in CONSEMA's Resolution No.128/2006, RS. Therefore, in order to associate an efficient and inexpensive treatment of this effluent, this study aims to evaluate the technique of neutralization using the sodium hydroxide and calcium hydroxide, so it may reach some alkaline results previously determined and performed in the Jar-test scale. The results were satisfactory in removing the metals, turbidity reduction and precipitate formation, especially pH 9 with NaOH.

Keywords: metallurgical wastewater, neutralization, chemical precipitation, NaOH, Ca(OH)₂.

¹Trabalho Final de Graduação - TFG.

²Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Franciscano. E-mail: ortegati@yahoo.com.br

³Coautor - Centro Universitário Franciscano. E-mail: mortari@unifra.br

⁴Colaborador - Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: valdres@quimica.ufsm.br

⁵Colaborador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: r.f.s.salazar@gmail.com

⁶Coorientador - Universidade Federal da Fronteira Sul. E-mail: marianaengamb@gmail.com

⁷Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: galileo@unifra.br

INTRODUÇÃO

O tratamento de superfícies metálicas é uma etapa essencial e predominante dos processos produtivos das indústrias do setor metal mecânico no Brasil, consistindo no recobrimento de uma superfície metálica com outro tipo de metal e agentes passivadores para a prevenção da corrosão e na promoção da aderência à pintura. Além de agregar valor devido ao acabamento decorativo, esse tratamento aumenta significativamente o tempo de vida útil das peças tratadas em função de melhorar suas propriedades físico-químicas e mecânicas (CALLISTER, 1991; WOLYNEC, 2003). Sem o devido tratamento superficial, os efeitos da corrosão nos produtos representam passivos econômicos e ambientais, em termos de custos operacionais, de imagem corporativa e consumo energético e material.

Os tratamentos de superfícies metálicas, por meios químicos, são predominantes no Brasil. Segundo o diagnóstico realizado em 2006 pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas, cerca de 80% das indústrias do setor metal mecânico realizam o processo de decapagem de metais usando reagentes químicos fortemente ácidos em sua composição (CNTL, 2006). Paralelamente, estes processos, possuem um alto potencial poluidor ao meio ambiente com a geração de resíduos, efluentes líquidos e emissões de gases.

O processo de tratamento de superfície realizado em uma importante indústria do setor metal mecânico da cidade de Santa Maria, RS, é baseado no princípio da deposição química, em que o processo redox para a deposição metálica é produzido diretamente na solução, por meio de reações químicas. O ciclo completo do processo é dividido em três etapas: o desengraxe, a decapagem e a fosfatização. O produto desengraxante tem em sua composição e princípio ativo, o hidróxido de sódio que é fortemente alcalino. Já, os produtos decapantes e fosfatizantes são fortemente ácidos, sendo que os decapantes são compostos por ácido nítrico, ácido sulfúrico e ácido fluorídrico e os fosfatizantes apenas por ácido fosfórico.

As reações dos produtos químicos usados nos processos de tratamento de superfícies podem liberar muitos contaminantes e reativos químicos na água de lavagem (WOLYNEC, 2003). O desengraxe, primeiro processo da etapa, é aplicado para remover óleos e gorduras das peças, preparando as superfícies para as etapas subsequentes. A decapagem química é aplicada para remover os óxidos de ferro, ferrugem, carepas e incrustações que formam nos cordões de solda (CALLISTER, 1991). Yoshizaki e Tomida (2000) consideram que na decapagem química com o ácido clorídrico ocorre a geração de contaminantes como o cloreto ferroso que, posteriormente, é carregada no banho de lavagem. A fosfatização é aplicada para dar proteção ao metal, melhorar o acabamento após a decapagem reduzindo a rugosidade na superfície do metal e melhorar a aderência da pintura. Por meio da deposição química com solução de sais de fosfatos contendo íons metálicos solúveis ocorre a deposição parcial desses elementos metálicos. No momento em que são aplicados sobre a superfície do metal, esses sais se tornam insolúveis e se depositam recobrando a superfície de

aplicação formando um filme fino. Segundo Duarte (1999), os principais contaminantes encontrados em amostras do efluente industrial gerado no processo de fosfatização são constituídos, basicamente, por ácidos fortes e íons metálicos.

Os metais tóxicos são elementos químicos de peso atômico relativamente alto que, em concentrações elevadas, podem ser muito deletérios à saúde e ao meio ambiente. Esses elementos químicos diferem de outros agentes tóxicos porque não são sintetizados nem destruídos pelo organismo humano. As atividades industriais têm introduzido elementos metálicos nas águas em quantidade muito maior do que a capacidade regenerativa e de autodepuração de corpos hídricos e solos. Entre os mais tóxicos estão o mercúrio, o cádmio, o cromo e o chumbo (SANTIAGO, 2008).

Segundo Nogueira e Pasqualetto (2008), o tratamento mais utilizado para este tipo de indústria é a neutralização, com a conseqüente precipitação e remoção dos produtos precipitados. Os efluentes ácidos e alcalinos são misturados em um tanque com agitação mecânica, no qual é realizada a neutralização por meio da adição de ácido ou base ajustando, desta forma, o pH em níveis pré-determinados e formando precipitados metálicos na forma de hidróxidos (NOGUEIRA; PASQUALETTO, 2008). A precipitação química consiste em mudar a solubilidade e tornar insolúveis algumas ou todas as substâncias dissolvidas no efluente, facilitando a remoção por sedimentação (STYLIANOU et al., 2007).

A técnica de neutralização é usada para ajustar o pH dos efluentes num valor aceitável para um tratamento subsequente ou disposição final. Esse procedimento é adotado para reduzir ou eliminar a reatividade e a corrosividade do efluente, por meio do uso de ácido ou álcali (WOLYNEC, 2003; CAVALCANTI, 2012). Por ser uma técnica que demanda equipamentos bastante simples como bombas, tanques misturadores e medidores de pH para controle do processo, pode ser considerado um procedimento com baixo custo de implantação e operação (WU et al., 2004; STYLIANOU et al., 2007). Entretanto, não é adequado para a remoção de uma série de contaminantes e, em muitos casos, é utilizado com uma operação intermediária, dentro de outro processo (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). Paralelamente, o lodo oriundo do tratamento de efluente metal mecânico pode representar um passivo ambiental pela sua toxicidade devido à presença de metais tóxicos e passivo econômico por demandar condições específicas de aterros sanitários para o adequado condicionamento desse despejo (YOSHIZAKI; TOMIDA, 2000; WU et al., 2004; STYLIANOU et al., 2007). A neutralização direta de despejos ácidos ocorre usualmente com agentes neutralizantes como: óxido de cálcio, hidróxido de sódio, hidróxido de cálcio, calcário e carbonato de sódio. Para a neutralização direta de despejos alcalinos, se processa com os agentes neutralizantes como: ácido sulfúrico, ácido clorídrico e gás carbônico (CAVALCANTI, 2012).

Em função do que foi abordado, buscou-se caracterizar o efluente oriundo do processo de tratamento superficial em uma indústria metal mecânica de Santa Maria, bem como avaliar a eficiência dos procedimentos de neutralização e precipitação química como etapas de pré-tratamento.

METODOLOGIA

As amostras de efluente utilizadas nas análises químicas e nos experimentos eram provenientes de uma pequena empresa siderúrgica localizada no município de Santa Maria - RS. As amostras foram coletadas do tanque de armazenamento (capacidade de 8,0 m³), antes de destinar o resíduo ao tratamento. A amostragem e conservação das amostras de efluentes foram obtidas de reservatórios que continham resíduos oriundos da etapa de tratamento superficial de manufaturados metálicos. A amostragem foi executada conforme normativa NBR 9898:1987 (ABNT, 1987).

A caracterização físico-química consistiu em determinar pH, turbidez e na determinação das concentrações de Cr, Fe e Zn por espectrometria de absorção atômica com chama. Posteriormente, as amostras foram submetidas a testes realizados em Jar-Test com o objetivo de determinar os procedimentos de neutralização e precipitação química.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ELEMENTAR

Os parâmetros pH e turbidez inicial foram determinados no Laboratório da Engenharia Ambiental-LABEA, do Centro Universitário Franciscano, localizado na cidade de Santa Maria-RS, com auxílio do pHmetro (Denver, Instrument Phmeter- modelo UP-25) e de turbidímetro (Digimed, modelo DM-TU).

Parte das amostras de efluente foi encaminhada ao Laboratório de Análises Químicas Industriais e Ambientais - LAQIA, da Universidade Federal de Santa Maria, para determinação de Cr-total, Ni-total, Fe-total e Zn-total por espectrometria de absorção atômica da marca AnalytikJena AG modelo ContrAA 700. Este equipamento utiliza lâmpada de arco curto de xenônio com emissão contínua de onda compreendida entre 185-900 nm e apresenta detector do tipo CCD com alta eficiência quântica e aumento da sensibilidade na região do UV. Os comprimentos de onda empregados para Cr, Ni, Fe e Zn foram de 357,868 nm, 232,003 nm, 248,327 nm e 213,857 nm, respectivamente. As especificações de calibração do espectrofotômetro, nestas análises, foram obtidas com curvas de calibração com seis diferentes concentrações, entre 0,1 mg L⁻¹ até 1 mg L⁻¹ para cada metal analisado. Os limites de detecção (LOD) para Cr, Fe, Ni e Zn foram 0,0380 mg L⁻¹, 0,0320 mg L⁻¹, 0,0305 mg L⁻¹, e 0,0264 mg L⁻¹, respectivamente. O limite de quantificação (LOQ) foi de 0,114 mg L⁻¹, 0,096 mg L⁻¹, 0,0945 mg L⁻¹, e 0,0818 mg L⁻¹ para Cr, Fe, Ni e Zn, respectivamente.

ENSAIOS DE NEUTRALIZAÇÃO E PRECIPITAÇÃO QUÍMICA

O procedimento de neutralização empregado foi dividido em dois conjuntos de experimentos (conjuntos A e B). No experimento A, foi ajustado o pH nas faixas de 8, 9 e 10 com adição de uma

solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 30 %m v⁻¹. Já no experimento B, foi ajustado o pH nas faixas de 8 e 9 com adição de uma solução de hidróxidos de cálcio [Ca(OH)₂] à 20 %m v⁻¹.

As soluções neutralizantes usadas nos experimentos, foram manipuladas no LABEA. Para o preparo da solução de Ca(OH)₂ 20 %m v⁻¹ foi necessário a adição de 21,05 g de soluto de Ca(OH)₂ concentrado à 95 %m m⁻¹, aferindo com água destilada a um volume de 100 mL. Já para o preparo da solução de NaOH 30 %m v⁻¹, foi adicionado 30,30 g de soluto NaOH concentrado a 99 %m m⁻¹, aferindo com água destilada ao mesmo volume da solução de hidróxido de cálcio.

O ensaio de neutralização foi feito em escala de bancada, empregando equipamento de Jar-Test (Milan, modelo JT-203), que simula em laboratório o processo de tratamento físico-químico de água para abastecimento e esgoto. O Jar-test é constituído de seis jarros de volumes iguais de 2,41L com seção quadrada, dispostos em paralelo, dotados de agitadores mecânicos com controles de velocidades e movimentação uniforme, simulando a mistura rápida e lenta do reagente. No experimento foram utilizadas amostras de efluente dispostas numa quantidade de 2,0 L para cada jarro. Para cada reagente houve uma configuração específica do equipamento Jar-test, tomando como base recomendações de Cavalcanti (2012). A rotação do equipamento também foi distinta nos dois ensaios: no experimento A, foi configurado a rotação de 50 r.p.m. e com o tempo de detenção de 15 minutos, e no experimento B, a rotação foi configurada a 100 r.p.m. com o tempo de detenção de 30 minutos. O aumento na agitação e no tempo da mistura foi uma medida de precaução para que no experimento B, fosse efetiva a mistura. Segundo Cavalcanti (2012), o hidróxido de cálcio reage lentamente exigindo que a reação ocorra sob um maior tempo de detenção e sob um nível de potência maior na agitação de modo que a neutralização seja efetiva.

A sedimentação e altura da lama de precipitados foram analisadas depois de efetivada a neutralização e término da agitação em cada jarro. Conforme a figura 1, tomou-se como referência uma linha traçada a 5 cm de altura da base em todos os jarros, usando uma régua da marca Trident (modelo TR-30) aferindo a posição da régua nos jarros nos intervalos de 10, 20, 30, 40 e 50 minutos, tomando nota da altura da lama de precipitado atingida, respectivamente.

Figura 1 - Representação da marcação a 5 cm da base dos Jarros do equipamento Jar-test para o cálculo do volume de lodo precipitado.



A lama de precipitados formada foi separada, coletando somente amostras do efluente neutralizado em recipientes limpos e esterilizados que foram encaminhados ao LAQIA para a determinação de Cr, Fe e Zn. Os resultados das análises de pH e turbidez foram obtidos no LABEA. A eficiência na remoção da turbidez do efluente, neste estudo, foi avaliada utilizando a equação (1), expressa em termos percentuais:

$$\text{Eficiência(\%)} = \left[\frac{C_{i(\text{efluente})} - C_{f(\text{neutralizado})}}{C_{i(\text{efluente})}} \right] \times 100 \quad (1)$$

em que: $C_{i\text{EFLUENTE}}$ é a concentração do parâmetro turbidez (NTU) no efluente e $C_{f\text{NEUTRO}}$ é a concentração final depois de neutralizado o efluente. Em relação a eficiência na remoção dos metais pesados foi avaliada por meio do cálculo de percentual de remoção no efluente. As concentrações finais de metais em determinados resultados nas análises, ocorreram valores menores que a calibração usada pelo método espectrométrico, nesse estudo, portanto não foi possível quantificar as concentrações finais dos elementos investigados. Tomando como base os limites de quantificação (LOQ) fornecidos de cada metal, usou-se na concentração final dos resultados para determinar a eficiência de remoção de metais por meio da equação (1), expressa em termos percentuais.

A partir da altura final da lama de precipitados oriundos dos experimentos, foi possível avaliar o volume de sedimento formado, após o tempo final de 50 minutos. A média da área da base foi medida em cada jarro, fixando no valor 136,89 cm que, multiplicando com a altura final da lama, obtém-se o volume final de sedimentos determinado a partir da equação (2), expressa em mililitro (mL):

$$\text{Volume (cm}^3 \text{ ou mL)} = A_{\text{BASE JARRO}} (\text{cm}^2) H_{\text{LAMA}} (\text{cm}) \quad (2)$$

sendo: $A_{\text{BASE JARRO}}$ é a média do comprimento 11,7 cm, multiplicado pela média da largura em cada jarro 11,7 cm, fixada em 136,89 cm e a H_{LAMA} é a altura final da lama de cada experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na indústria, foco deste estudo, gera-se uma vazão aproximada de 3,0 m³ dia⁻¹ de efluente proveniente do processo de tratamento de superfícies. Este resíduo é armazenado em tanques com capacidade de 8,0 m³, em seguida, é recolhido e tratado por uma empresa terceirizada.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ELEMENTAR

O monitoramento do potencial hidrogeniônico realizado ao longo do projeto apresenta acidez compreendida entre os valores de 2,70 a 3,41 com uma média de pH 3,16, caracterizando-se

como um meio fortemente ácido. Segundo a resolução CONSEMA N°128/2006, RS (CONSEMA, 2006), os valores ideais para descarte em corpos d'água, devem oscilar entre 6,0 a 9,0. A turbidez foi monitorada desde o momento das coletadas até a realização dos ensaios de neutralização/precipitação. Os resultados obtidos estiveram na faixa entre 112 NTU a 115 NTU, com uma média de 113 NTU.

As concentrações iniciais encontradas dos elementos foram: de 0,61 mg L⁻¹, 79,0 mg L⁻¹, 0,43 mg L⁻¹ e 11,1 mg L⁻¹ de Cr, Fe, Ni e Zn, respectivamente. Constata-se, neste caso, que os valores de cromo e ferro estão acima dos limites máximos permitidos que são 0,5 mg L⁻¹ e 10 mg L⁻¹ para Cr e Fe, respectivamente. Já os valores de níquel e zinco, estão abaixo dos limites máximos de tolerância fixados na resolução CONSEMA N°128/2006, RS como sendo 1 mg L⁻¹ e 2 mg L⁻¹, respectivamente. Em função das concentrações elementares obtidas, ratifica-se a necessidade do pré-tratamento físico-químico do resíduo gerado, pois elementos como Cr e Ni em meio ácido apresentam-se como espécies tóxicas e recalcitrantes, impedindo que o mesmo seja diretamente submetido, mesmo que diluído, ao tratamento biológico de efluente.

ENSAIOS DE NEUTRALIZAÇÃO/PRECIPITAÇÃO QUÍMICA

Os resultados dos experimentos do conjunto A se encontram expressos na tabela 1. As amostras tiveram o pH ajustado com NaOH a 30% m v⁻¹ em pH 8, pH 9 e pH 10, partindo-se do resíduo de estoque com pH 3,17.

Tabela 1 - Avaliação dos procedimentos de neutralização e precipitação química empregando NaOH 30% m v⁻¹ (n=3).

Amostras	pH	Turbidez (NTU)	Cr (mg L ⁻¹)	Fe (mg L ⁻¹)	Zn (mg L ⁻¹)
Efluente	3,17	114	0,114	7,597	0,636
1° Teste	8,09 ± 0,03	7,86 ± 1,14	< 0,114	0,152 ± 0,11	< 0,0818
2° Teste	9,03 ± 0,02	5,70 ± 2,15	< 0,114	< 0,096	< 0,0818
3° Teste	10,11 ± 0,02	5,65 ± 3,25	< 0,114	0,290 ± 0,258	< 0,0818

Conforme os resultados representados na tabela 1, observa-se que a capacidade de remoção de metais pesados e turbidez ficaram evidentes nos resultados da faixa final de pH 9, atingindo valores menores que a capacidade de detecção do método para todos os metais analisados, expressos pelos valores dos limites de quantificação (LOQ). Nos experimentos atingindo o pH 8 e pH 10 foi notável nestas faixas a eficácia na remoção dos metais pesados, porém, entre os metais analisados, detectou-se ferro dissolvido em baixas concentrações, sendo um indicativo que a remoção desse elemento não foi total quando comparados aos de remoção em pH 9. Em todas as condições de pH investigadas houve a remoção de Ni, nas quais os valores ficaram abaixo do LOQ (Ni < 0,0945 mg L⁻¹). Os resul-

tados obtidos para o conjunto do experimento B, empregando Ca(OH)_2 como reagente neutralizante, atingindo a faixa final de pH 8 e pH 9, estão expressos na tabela 2.

Tabela 2 - Avaliação dos procedimentos de neutralização e precipitação química empregando Ca(OH)_2 30 %m v^{-1} (n=3).

Amostras	pH	Turbidez (NTU)	Cr (mg L ⁻¹)	Fe (mg L ⁻¹)	Zn (mg L ⁻¹)
Efluente	3,17	114	0,114	7,597	0,636
1° Teste	8,02 ± 0,02	3,92 ± 2,96	< 0,0114	< 0,096	< 0,0818
2° Teste	9,07 ± 0,01	4,87 ± 0,43	< 0,0114	< 0,096	< 0,0818

Observa-se que a capacidade de remoção dos metais pesados ficou evidente nas faixas de pH 8 e pH 9, com todos os resultados menores que o LOQ. Porém, os resultados da eficiência de remoção da turbidez e junto da altura final da lama de precipitados, apresentaram os melhores resultados na faixa de pH 8. Assim como observado para o emprego de NaOH, em todas as condições de pH investigadas empregando Ca(OH)_2 houve a remoção completa de Ni, nas quais os valores também ficaram abaixo do LOQ (Ni < 0,0945 mg L⁻¹). A eficiência na remoção dos metais e redução da turbidez, atingidos nos experimentos encontra-se na tabela 3.

Tabela 3 - Eficiência de remoção da turbidez e dos elementos metálicos nas diferentes condições de neutralização e precipitação química testada (n=3).

Parâmetro	NaOH			Ca(OH) ₂	
	pH 8	pH 9	pH 10	pH 8	pH 9
Turbidez (%)	93,1 ± 1,0	95,0 ± 1,9	95,0 ± 2,9	96,6 ± 2,6	95,7 ± 0,4
Cr (%)	66,7 ± 0,1	66,7 ± 0,1	66,7 ± 0,1	66,7 ± 0,1	66,7 ± 0,1
Fe (%)	98,0 ± 1,4	99,6 ± 0,2	96,2 ± 3,4	99,6 ± 0,1	99,1 ± 0,2
Zn (%)	95,8 ± 0,1	95,8 ± 0,1	95,8 ± 0,1	95,8 ± 0,1	95,8 ± 0,1

Observa-se nos resultados que a média de eficiência em redução da turbidez foi satisfatória em todas as condições testadas, com eficiência média de remoção em torno de 95,07%, sendo que a menor percentagem de remoção foi com o NaOH no pH 8 igual a 93,10% e a maior média com o Ca(OH)_2 no pH 8 com 96,55%.

Os resultados da média de eficiência em remoção dos metais analisados em todo experimento foram de 87,02%. Nestas médias, ocorreram variações apenas na remoção de ferro, sendo as menores médias com o NaOH no pH 8 com 97,99% e no pH 10 com 96,17%. As maiores médias de eficiência de remoção foram com 99,57% para pH 8 e pH 9 com Ca(OH)_2 e no pH 9 com NaOH. A média de eficiência na remoção do cromo com 66,66% e do zinco com 95,84% foi a mesma em todos os experimentos.

Segundo Cavalcanti (2012), os íons metálicos solúveis dissolvidos na corrente líquida têm sua solubilidade diminuída com a alteração do equilíbrio químico que se dá por efeito da adição de

um produto químico que reage com os metais em solução formando um precipitado que é (pouco solúvel) na forma de hidróxido ou sulfetos. Cada metal possui pH ótimo de insolubilidade, sendo possível sucessivas precipitações seletivas. Na faixa de pH variando entre 7 e 9, precipitam como hidróxidos o ferro e o cobre. O zinco tem um ponto de mínima solubilidade em pH 9 e 9,5. Níquel e cádmio precipitam muito bem em pH entre 10 e 11. Em pH variando de 8 e 9, o hidróxido de cromo é insolúvel. Acima destes valores de pH torna-se a dissolverem novamente e, possivelmente, sendo complexados (WU et al., 2004; CAVALCANTI, 2012).

Por meio da etapa de neutralização e, em função do ponto isoelétrico da solução obtido, pode-se favorecer a ocorrência de precipitação química paralelamente. A alteração de pH do efluente no sentido de aumentar a alcalinidade do meio é possível precipitar metais pesados na forma de hidróxidos ou carbonatos e fósforo na forma de fosfatos (STYLIANOU et al., 2007; CAVALCANTI, 2012). Em função dos álcalis empregados nesse estudo avaliou-se o volume de lodo gerado após as etapas de neutralização e precipitação química. Os volumes e alturas de lodo gerado em cada condição são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Avaliação da altura e volume de lama gerado nas diferentes condições experimentais pela adição dos álcalis.

Reagente	pH	H_{LAMA} (cm)						Volume final (mL)
NaOH	8	0	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	95,8
	9	0	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	137,0
	10	0	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	116,4
Ca(OH) ₂	8	0	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4	191,7
	9	0	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	342,2
Tempo (min)		0	10	20	30	40	50	

A altura da lama de precipitados monitorada apresentou variações médias constantes após atingir o pH final em cada condição experimental de neutralização. Observa-se nos resultados da tabela 4 que, para os experimentos usando Ca(OH)₂, o volume gerado de lodo foi predominantemente maior nas alturas máximas atingidas e na quantidade de sedimentos formado quando comparados ao emprego do NaOH. Considerando esses resultados, o hidróxido de sódio teve maior vantagem por apresentar menor quantidade volumétrica de lama formada representando menores custos de disposição final deste resíduo.

Melo et al. (2012) avaliaram o emprego do Ca(OH)₂ comercial como agente de coagulação, floculação e neutralização de lixiviados oriundos de um aterro sanitário em Pernambuco relatando a eficiência de remoção de cor e turbidez de modo a enquadrar nas legislações vigentes para a devida disposição. Os autores também observaram o elevado volume de lama gerado, e somente comentam sobre o uso de hidróxido como agente útil para a remoção de elementos metálicos ionizados,

entretanto, não houve avaliação da eficiência de remoção no estudo relatado (MELO et al., 2012). Quando se usa hidróxido de cálcio, o produto formado é o carbonato de cálcio que atua como coagulante, conseguindo precipitar certas proteínas, lignina, metais pesados, fósforo entre outros (NUNES, 2004).

CONCLUSÃO

A capacidade de remoção de metais pesados e a redução da turbidez pelos procedimentos de neutralização/precipitação química representam uma estratégia simples e interessante para o pré-tratamento do efluente gerado a partir do tratamento de superfícies metálicas. Pode-se constatar que as faixas de pH 8 para o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e de pH 9 para o NaOH são as que apresentaram maior eficiência de redução da turbidez, acima de 89%. O volume de lama gerado após os tratamentos é menor quando se emprega NaOH, representando menor custo para a disposição final do mesmo.

Considerando a necessidade de estudos futuros, observa-se que o produto químico usado no desengraxe contém NaOH como agente ativo em sua composição, o reuso após o tratamento seria uma ótima alternativa, obtendo economia de insumos e qualidade ambiental. Ainda é necessário diagnosticar outros contaminantes neste efluente e repetir os ensaios com amostras de maior carga poluidora de metais pesados. Com isso, ampliam-se definições dos parâmetros de projeto e maior credibilidade para adoção do sistema em maiores escalas de tratamento.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. (NBR 9898).

CALLISTER, W. D. **Materials Science and Engineering - An introduction**. 2. ed. New York: Jr John Wiley & Sons, 1991.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de Tratamento de efluentes industriais**. 2. ed. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda., 2012.

CNTL - CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS. **Diagnóstico do Setor Produtivo e do Resíduo Priorizado: Tratamento de superfícies - Decapagem ácida**. Minas Gerais: CNTL-SENAI, 2006. Disponível em: <<http://www.senairs.org.br/cntl/>>. Acesso em: 19 jun. 2012.

CONSEMA - CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONSEMA nº 128 de novembro de 2006**. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.mprs.mp.br/ambiente/legislacao/id4887.htm>>. Acesso em: 09 set. 2012.

DUARTE, R. R. **O Gerenciamento Ambiental como Instrumento de Competitividade Industrial: Estudo de Caso. Processo de Tratamento de Superfícies Metálicas da GE Dako S.A.**, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MELLO, V. et al. Variáveis no processo de coagulação /floculação/decantação de lixiviados de aterros sanitários urbanos. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 88-100, 2012.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

NOGUEIRA, L. S.; PASQUALETTO, A. **Plano de Prevenção de Riscos Ambientais (PGRA) para Empresas de Galvanoplastia**. Goiás. Departamento de Engenharia - Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Goiás, 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/1DRmKDs>>. Acesso em: 29 set. 2012.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. Aracaju: Editora J. Andrade Ltda., 2004.

SANTIAGO, F. **Poluição ambiental por metais**. 2008. Disponível em: <<http://www.fernadosantiago.com.br/met90.htm>>. Acesso em: 29 set. 2012.

STYLIANOU, M. A. et al. Effect of acid treatment on the removal of heavy metals from sewage. **Desalination**, v. 215, n. 1, p. 73-81, 2007.

WOLYNEC, S. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. Editora da Universidade de São Paulo - EDUSP, 2003. v. 1.

WU, C. H.; KUO, C. Y.; LO, S. L. Removal of metals from industrial sludge by extraction with different acids. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 39, n. 8, p. 2205-2219, 2004.

YOSHIZAKI, S.; TOMIDA, T. Principle and process of heavy metal removal from sewage sludge. **Environmental science & technology**, v. 34, n. 8, p. 1572-1575, 2000.

