



EFEITO DO CAMPO MAGNÉTICO NO PROCESSO DE COAGULAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CONTAMINADA COM LAS

A. A. O. MOURA¹, N. R. A. F. ROCHA² e M. R. FRANCO JR³

¹ Universidade de Rio Verde, Departamento de Engenharia Mecânica

² Universidade de Rio Verde, Departamento de Biologia e Química

³ Universidade Federal de Uberlândia, PPG-Biocombustíveis - Instituto de Química

E-mail: moilton@ufu.br

RESUMO: Largas quantidades de água poluída contaminada com surfactantes tal como o lauril sulfato de sódio (LAS) são oriundas da produção industrial de materiais de limpeza. Existe uma real necessidade de procurar fatores intensificadores para o processo de tratamento de águas residuais provenientes de indústria de materiais de limpeza. Os novos métodos que não requerem extensão de plantas existentes ou construção e reatores muito caros são ainda buscados. Em anos recentes uma maior atenção tem sido direcionada para a possibilidade de melhoria do tratamento de água residuária empregando campo magnético estático como um auxiliar. O objetivo deste estudo foi de determinar o impacto de um campo magnético constante tão bem como a integração desta ferramenta com a famosa técnica usada para tratamento de água que é a coagulação pelo cloreto de alumínio como um método inovador para tratamento. Esta associação tem sido encontrada ser útil para remover turbidez, sólidos totais e DQO para água residuária quimicamente tratada.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação; Campo magnético; Tratamento de água; Surfactante.

1. INTRODUÇÃO

Empresas que fabricam materiais de limpeza utilizam grandes quantidades de surfactantes na composição de seus produtos. Assim, as correntes fluidas contendo produtos químicos variados, que devem ser descartadas para uma estação de tratamento, possui diferentes compostos químicos sendo alguns deles surfactantes como o LAS – lauril sulfato de sódio. O uso destas estações de tratamento ocupa área considerável da fábrica, é um processo lento e o local torna-se um viveiro de ratos e baratas. Dessa forma processos mais atualizados e eficazes devem ser buscados inclusive visando melhoria das condições ambientais. Se o efluente é descartado sem tratamento, ele pode causar significativo impacto ambiental devido sua alta demanda química e bioquímica de oxigênio (DQO e DBO), surfactantes e óleos e sólidos totais.

Resultados positivos tem sido obtido quando fatores físicos são introduzidos no sistema de tratamento de águas residuais, tais como um campo periódico de oscilações externas, por

exemplo, um acústico, campo de temperatura com parâmetros definidos tão bem quanto ultrassons ou radiações ultra-violetas (Krzemieniewski *et al.*, 2004; Mohammed *et al.*, 2014). Não é tão recente que o tratamento magnético de água (TMA) é conhecido como uma técnica efetiva para prevenir a formação de incrustação e uma separação da incrustação já formada em sistemas de águas industriais como aquecedores, trocadores de calor e outros (Alimi *et al.*, 2009). No caso específico de trocador de calor em sistemas de água aquecida serão prejudicados pela incrustação e haverá um aumento no consumo de energia e custos de operação (Zaidi *et al.*, 2014). Pesquisadores (Grimes, 1988; Parsons *et al.*, 1997) informam redução de incrustação obtida por TMA e alguns outros observaram menores impactos (Busch *et al.*, 1958).

Este fenômeno é agora mais largamente aceito apesar de que a primeira patente já tenha sido em 1945 (Vermeiren, 1958). No período dos últimos sessenta anos muitos estudos foram conduzidos e vários equipamentos foram desenvolvidos sem o mais claro entendimento dos mecanismos. Alguns pesquisadores têm observado que a quantidade de deposição é aumentada quando o sistema é submetido a tratamento com campo magnético sob condições diversas (Grimes, 1988; Higashitani *et al.*, 1993; Barret e Parsons, 1998; Kobe *et al.*, 2001; Kobe *et al.*, 2002; Coey e Cass, 2000; Botello *et al.*, 2004; Knez e Pohar, 2005). Foi também descoberto que a taxa de nucleação depende do método e tempo de exposição da solução ao campo magnético (Holysz *et al.*, 2002). Caso de nucleação melhorada pela exposição alternada a campo magnético tem sido observado nos trabalhos de Wang *et al.*, 1997. Dessa forma a disposição dos magnetos parece influenciar em um aumento ou redução da efetividade do processo que se deseja realizar (Gabrielli *et al.*, 2001; Holysz *et al.*, 2003).

Neste trabalho buscou-se associar o tratamento de água residuária contaminada por LAS empregando-se cloreto de alumínio com a presença de um campo magnético disposto em duas configurações, bem como sem a presença do referido. Os experimentos foram conduzidos com reprodutibilidade e amostras feitas em duplicatas para avaliar os seguintes parâmetros: turbidez, pH, condutividade, DQO, sólidos totais, absorvância (concentração de surfactante) e oxigênio dissolvido. Os resultados comprovaram sensível melhoramento no tratamento com a adição de magnetos ao fundo do reator

2. MATERIAL E MÉTODOS

Água residual sintética a ser tratada foi preparada num tanque agitado empregando-se água destilada e surfactante LAS (lauril sulfato de sódio) fornecido pela VETEC Química S. A. – pureza 99% em massa). Aliquotas de 300 mL de água residual com concentração inicial de surfactante de 0,5 mg/L foram alimentadas aos reatores de vidro dispostos sobre agitadores magnéticos. Os reatores nomeados como 1 e 2 continham campo magnético no fundo e lateral, respectivamente, e o reator 3 não possuía nenhum ímã, ou campo magnético, em sua configuração. Em seguida, pesou-se em uma balança analítica 0,15g de Cloreto de Alumínio (Aldrich – 99,5%) em três amostras iguais e transferiu-se essa medida para cada reator. Foi iniciado o processo de agitação lenta durante 1 hora. A rotação do reator empregada foi de 6 rpm.

Após a agitação ser desligada, inicia-se o processo de decantação da água residual. Amostras foram retiradas (± 30 mL) de cada reator para prosseguir com as análises, a cada hora, por um período de mais de sete horas consecutivas. Ademais, os reatores descansaram por 24 horas e amostragem foi feita após este período visando observar a estabilidade dos parâmetros.

As grandezas aferidas, temporalmente, foram: Turbidez (NTU), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), ST (sólidos totais g/kg), DQO (Demanda Química de Oxigênio) e OD (oxigênio dissolvido, mg/L). As medidas foram feitas em triplicatas e seguiram os padrões do Standard Methods.

A concentração de surfactante na água tratada era aferida através da medida da absorbância da amostra. A absorbância era determinada em espectrofotômetro UV VIS. Utilizou-se o comprimento de onda de 650 nm. Cada alíquota era retirada dos reatores sendo devidamente preparada para a determinação em que foi usado um kit de análises para LAS – Alfakit-Florianópolis SC).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos anteriores (Revolta, 2014; Revolta *et al.*, 2013) tem apontado limites ou faixas de concentração inicial a ser empregada para o coagulante. Dessa forma, optou-se por utilizar um valor que estivesse dentro da média que seria de 300 – 1000 mg/L para os tradicionais coagulantes testados por Revolta, 2014. Igualmente, o nível de agitação da mistura no reator tem sido objeto de pesquisa e observou-se que a rotação de 6 rpm atende a troca de massa necessária para o processo desejado.

Desta maneira, após a agitação do reator, amostras eram coletadas empregando-se micropipeta (2 mL) introduzida no interior do reator. O monitoramento dos parâmetros se deu por seis horas consecutivas e uma análise, após 24 horas de decantação, foi feita dando desfecho ao tratamento.

As Figuras 1 e 2 ilustram o comportamento da condutividade elétrica e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) da mistura com o tempo. A curva de condutividade de mistura apresenta um ponto de mínimo para os três reatores sendo que ele é mais acentuado para o reator com campo magnético aplicado na base. É interessante observar que o valor da condutividade torna-se o dobro da inicial quando a decantação do sistema alcança 24 horas. Isso sugere uma migração, ou retorno, dos íons para o seio da solução. Alguns pesquisadores (Krzemieniewski *et al.*, 2002; Lebkowska, 1991; Szczypiorski e Nowak, 1995) creem que a maioria dos efeitos tecnológicos de água magnética pode ser atribuído ao decréscimo da tensão superficial da água e molhabilidade da fase sólida decrescida devido ao maior ângulo de contato da fronteira sólido-líquido. O resultado prático desse fenômeno é floculação acelerada e decantação melhorada dos sólidos suspensos.

O mecanismo preciso para remoção de DQO pela magnetização está obscuro até recentemente (Hao *et al.*, 2009). Dessa forma, com relação à DQO, nota-se uma queda

acentuada deste parâmetro nas duas primeiras horas de decantação. A partir da terceira hora de descanso, percebe-se que a DQO da mistura não sofre alteração apreciável, nem mesmo ao transcorrer 24 horas. Efeitos da presença do campo magnético, bem como da disposição deste no reator, não são observados com evidência. Alkharaz e Saddiq, 2010 tem explicado o fenômeno assim: as moléculas orgânicas na água residual absorvem a energia quando esta era exposta ao campo magnético. Alguma dessa energia induz as moléculas a um estado excitado que é relativamente instável comparado ao estado inicial (*ground*); isso aumenta a taxa de reações químicas para a degradação de substâncias orgânicas no processo magnetizante.

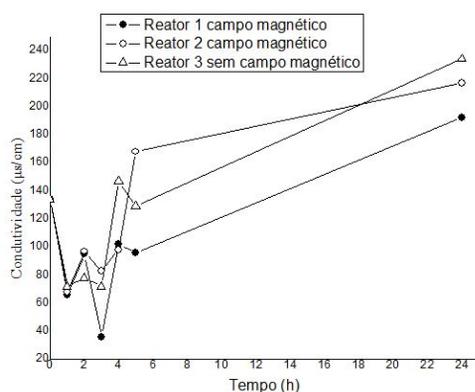


Figura 1 – Condutividade da água tratada com cloreto de alumínio em função do tempo. (● campo no fundo do reator; ○ campo na lateral; sem campo)

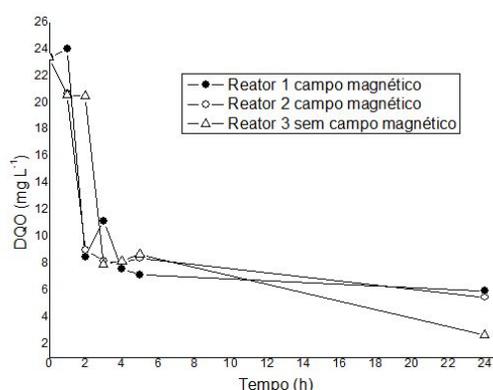


Figura 2 – DQO da água tratada com cloreto de alumínio em função do tempo. (● campo no fundo do reator; ○ campo na lateral; sem campo)

A curva de oxigênio dissolvido (OD) pode ser conferida através da Figura 3, para os três reatores. Uma influência marcante da disposição dos magnetos no reator fica evidente nas cinco primeiras horas de decantação da mistura. Ademais, está evidenciado o menor nível de oxigênio no sistema para o campo magnético aplicado ao fundo do reator. Entretanto, após o período de 24 horas, nota-se que o nível de oxigênio dissolvido é semelhante para os reatores 1, 2 e 3. Soluções magnetizadas são características entre outras da tensão superficial diminuída e em contato com a atmosfera adsorvem as partículas paramagnéticas do O_2 ; eventualmente sua concentração em soluções aquosas aumenta (Freundlich, 1906; Lagergren, 2000).

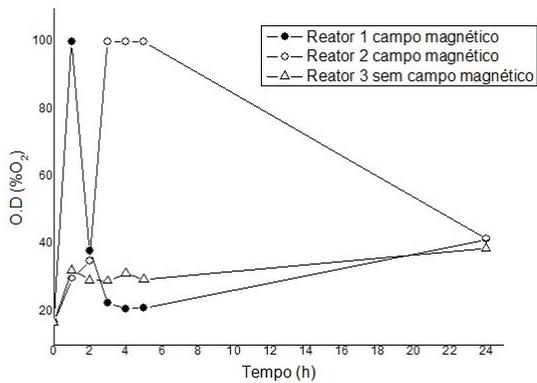


Figura 3 – O.D. (Oxigênio dissolvido) da água tratada com cloreto de alumínio em função do tempo. (● campo no fundo do reator; ○ campo na lateral; sem campo)

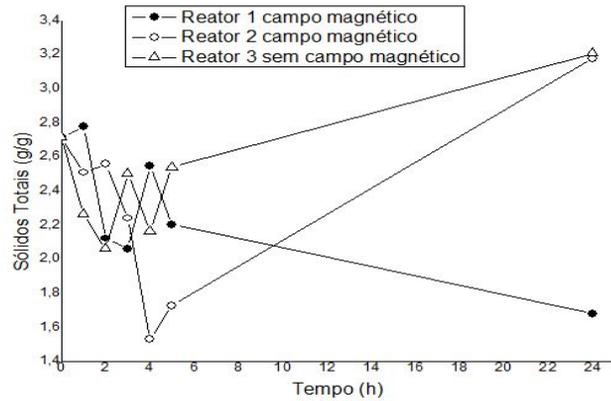


Figura 4 – Sólidos totais da água tratada com cloreto de alumínio em função do tempo. (● campo no fundo do reator; ○ campo na lateral; sem campo)

A análise de sólidos totais mostrou que o parâmetro oscila durante o monitoramento dos três reatores e que o processo coagulativo é benéfico para a redução de surfactante, entretanto há que permanecer atento para a posição de distribuição dos magnetos no reator. Através da figura 4, recomenda-se alojá-los na base do reator o que leva a uma redução de, aproximadamente, 70% dos sólidos totais iniciais. A molhabilidade do sólido deve ter sido aumentada devido ao abaixamento da tensão superficial. A concentração inicial de LAS nos reatores era de 100 mg/L e cai abruptamente na primeira hora de decantação após o tratamento, para todos os sistemas. De acordo com a Figura 5, esse valor se mantém em níveis baixos nas seis primeiras horas de decantação vindo a subir com o tempo atingindo o valor inicial após 24 horas. Este resultado vem reforçar a necessidade de interrupção do processo de tratamento nas seis primeiras horas de decantação. Ocepek, 1973 observou uma floculação acelerada com a aplicação de campo magnético em soluções.

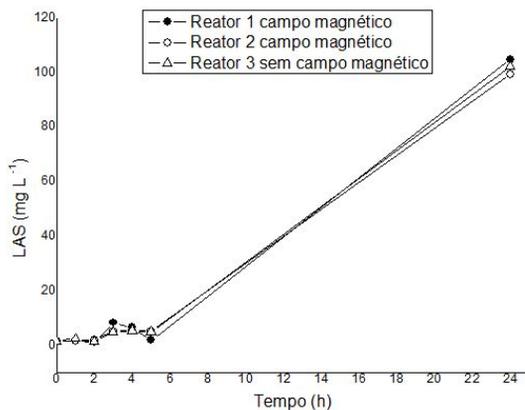


Figura 5 – Concentração de surfactante da água tratada com cloreto de alumínio em função do tempo. (● campo no fundo do reator; ○ campo na lateral; sem campo)

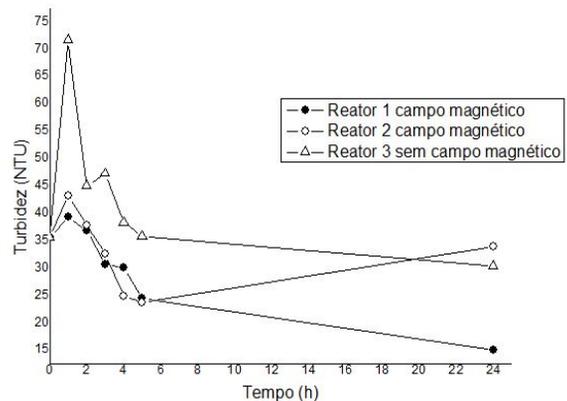


Figura 6 – Turbidez da água tratada com cloreto de alumínio em função do tempo. (● campo no fundo do reator; ○ campo na lateral; sem campo)

Comprovadamente, a turbidez do sistema é reduzida com o uso do coagulante, bem como com a aplicação do campo magnético em quaisquer das duas configurações do reator. Esse aspecto está evidente na Figura 6. O período de descanso de 24 horas beneficia a configuração em que o campo magnético fora aplicado na base do reator. Um fenômeno que pode ocorrer sob impacto de campo magnético é a intensificação da formação de radicais livres. Por esta razão, este fator físico é pensado ser o elemento responsável pela geração de radicais OH segundo Debowski et al., 2009.

4. CONCLUSÕES

Coagulação química pode ser melhorada empregando-se um agente motriz, neste caso foi usado campo magnético com duas configurações distintas. Observou-se que a disposição dos magnetos no fundo do reator proporciona alguns benefícios em termos de melhorias na turbidez final e sólidos totais. Não se recomenda um período longo de decantação haja vista o retorno dos íons para o seio da solução, o que prejudica todo o processo de tratamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à **UniRV** – Universidade de Rio Verde – Goiás – Brasil pela concessão da bolsa de pesquisa na chamada interna 01/2016 – PRPPG/UniRV, bem como o apoio de espaço físico. (projetos 26/2016 e 39/2016).

REFERÊNCIAS

- ALIMI, F.; TLILI, M. M.; AMOR, M. B.; MAURIN, G.; GABRIELLI, C. **Effect of magnetic water treatment on calcium carbonate precipitation: Influence of the pipe material**, Chem. Eng. Process.: Process Intensif. v. 48, n. 8, p. 1327–1332, 2009.
- ALKHAZAN, M.M.K., SADDIQ, A.A.N. **The effect of magnetic field on the physical, chemical and microbiological properties of the lake water in Saudi Arabia**, J. Evol. Biol. Res. 2 (2010) 7–14.
- BARRET, R. A.; PARSONS, S. A., **The influence of magnetic fields on calcium carbonate precipitation**, Water Res. v. 32, n. 3, p. 609–612, 1998.
- BOTELLO-ZUBIATE, M. E.; ALVAREZ, A.; MARTINEZ-VILLAFANE, A.; ALMERAYA-CALDERON, F.; MATUTES-AQUINO, J. A., **Influence of magnetic water treatment on the calcium carbonate phase formation and the electrochemical corrosion behavior of carbon steel**, J.Alloys Compd. v. 1, n. 369, p. 256–259, 2004.
- BUSCH, K. W.; BUSCH, M. A.; DARLING, R. E.; MAGGARD, S.; KUBALA, S. W., **Design of a test-loop for the evaluation of magnetic water-treatment devices**, Process Saf. Environ. Prot. V. 75, p. 105–114, 1997.

- COEY, J.M.D.; CASS, S., **Magnetic water treatment**, *J. Magn. Magn. Mater.* v. 209, p. 71–74, 2000.
- DEBOWSKI, M., KRZEMIENIEWSKI, M., ZIELINSKI, M. **Constant magnetic field influence on stabilization of excess sludge with Fenton's reagent**, *Polish J. Environ. Stud.* 16 (2007) 43–50.
- FREUNDLICH, H.M.F. **Over the adsorption in solution**, *J. Phys. Chem.* 57 (1906) 385–470.
- GABRIELLI, C.; JAOUHARI, R.; MAURIN, G.; KEDDAM, M., **Magnetic water treatment for scale prevention**, *Water Res.* v. 35, n. 13, p. 3249–3259, 2001.
- GRIMES, S.M. **Magnetic field effect on crystals**, *Tube Int.* p. 111–118, March 1988.
- HAO, X. L., ZOU, L. Y., ZHANG, G.S., ZHANG, Y. B. **Magnetic field assisted Fenton reactions for the enhanced degradation of methyl blue**, *Chin. Chem. Lett.* 20 (2009) 99–101.
- HIGASHITANI, K.; KAGE, A.; KATAMURA, S.; IMAI, K.; HATADE, S. **Effects of magnetic field on the formation CaCO₃ particles**, *J. Coll. Interface Sci.* 156 (1993) 90–95.
- HOLYSZ, L.; CHIBOWSKI, E.; SZCZES, A., **Influence of impurity ions and magnetic field of the properties of freshly precipitated calcium carbonate**, *Water Res.* v. 37, p. 3351–3360, 2003.
- HOLYSZ, L.; CHIBOWSKI, M.; CHIBOWSKI, E., **Time-dependent change of zeta potential and other parameters of in situ calcium carbonate due to magnetic field treatment**, *Coll. Surf. A Physicochem. Eng. Asp.* v. 208, p. 231–240, 2002.
- KNEZ, S.; POHAR, C., **The magnetic field influence on the polymorph composition of CaCO₃ precipitated from carbonized aqueous solutions**, *J. Coll. Interface Sci.* v. 281, p. 377–388, 2005.
- KOBE, S.; DRAZIC, G.; MCGUINNESS, G.; STRAZISAR, J., **TEM examination of the influences of magnetic field on the crystallization for of calcium carbonate: a magnetic water-treatment device**, *Acta Chimica Slovenica* v. 48, p. 77–86, 2001.
- KOBE, S.; DRAZIC, G.; CEFALAS, A. C.; SARANTOPOULOUS, E.; STRAZISAR, J., **Nucleation and crystallization of CaCO₃ in applied magnetic fields**, *Cryst. Eng.* v. 5, p. 243–253, 2002.
- KRZEMIENIEWSKI, M.; BOWSKI, M. DE; JANCZUKOWICZ, W.; PESTA, J. **Effect of the constant magnetic field on the composition of dairy wastewater and domestic sewage**, *Polish J. Environ. Stud.* 13 (2004) 45–53.
- KRZEMIENIEWSKI, M.; DOBRZYNSKA, A.; JANCZUKOWICZ, W.; PESTA, J.; ZIELINSKI, M. **Effect of constant magnetic field on the process of generating hydroxyl radicals in Fenton's reaction**, *Chemistry 1* (2002) 12–15.

- LAGERGREN, S. **Zur threorie der sogenannten adsorption geloster stoffe.** **Kungligasvenska vetenskapsakademiens**, Handlingar 24 (2000) (1898) 1–39.
- LEBKOWSKA, M. **Effect of Constant Magnetic Field on the Biodegradability of Organic Compounds**, vol. 53, Publishing House of Warsaw University of Technology, Warsaw, 1991.
- MOHAMMED, R. R.; KETABCHI; M. R. ; MCKAY, G. **Combined magnetic field and adsorption process for treatment of biologically treated palm oil mill effluent (POME)**, *Chemical Engineering Journal* 243 (2014) 31–42
- OCEPEK, D. **The effect of a magnetic field on water**, Rudarsko-Met. Zbornik (Ljubljana) 1 (1973) 83–93.
- PARSONS, S. A.; WANG, B. L.; JUDD, S. J.; STEPHENSON, T., **Magnetic treatment of calcium carbonate scale-effect of pH control**, *Water Res.* v. 31, n. 2, p. 339–342, 1997.
- REVOLTA, B. S.; ALMEIDA, J. S. M.; FRANCO JR, M. R. **Tratamento de águas residuárias domésticas como auxiliar da descontaminação de águas subterrâneas.** *Anais do III CIMAS - São Paulo.* Outubro de 2013.
- REVOLTA, B. S. **Coagulação química melhorada visando o tratamento de água cinza.** *Dissertação de mestrado FEQUI-UFU – Janeiro de 2014 – 155 pg.*
- SZCZYPIORKOWSKI, A.; NOWAK, W. **Studies on application of a magnetic field to the intensification of wastewater treatment processes**, *G.W. T. S.* (1995) 31–36.
- VERMEIREN, T. **Magnetic treatment of liquids for scale and corrosion prevention**, *Corros. Technol.* v. 5, p. 215–219, 1958.
- WANG, Y.; BABCHIN, A. J.; CHERNYI, L. T.; CHOW, R. S.; SAWATZKY, R. P., **Rapid on set of calcium carbonate crystallization under the influence of a magnetic field**, *Water Res.* v. 31, n.2, p. 346–350, 1997.
- ZAIDI, N. S.; SOHAILI, J.; MUDA, K.; SILLANPÄÄ, M., **Magnetic field application and its potential in water and waste water treatment systems**, *Sep. Purif. Rev.* v. 43, p. 206–240, 2014.

MAGNETIC FIELD EFFECT IN THE COAGULATION PROCESS FOR TREATMENT OF WATER CONTAMINATED WITH SURFACTANT (LAS)

ABSTRACT: The production of cleaning supplies, however, results in the generation of large quantities of polluted wastewater commonly contaminated with surfactants such as lauryl sodium sulphate (LAS). There is an actual need to seek factors intensifying the treatment processes of the wastewaters from industry cleaning supplies. The new methods which not required extension of existing plants or building very expensive reactors are still searching. In recent years much more attention has been directed to the possibility of improvement of waste water treatment by static magnetic field as auxiliary. The aim of this study was to determine the impact of constant magnetic field as well as the integration of this technique with the famous technique used for wastewater treatment which is coagulation by chlorate aluminium as a novel method for treatment. This new method has been found to be a useful method for removing turbidity, total solids (TS) and chemical oxygen demand (COD) from chemically treated wastewater.

KEYWORDS: Coagulation; Magnetic field; Water treatment; Surfactant.