

II-324 – REMOÇÃO DE DQO E COR DE EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL**Ana Lucia Pereira de Araujo⁽¹⁾**

Engenheira Química pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá. Pesquisadora Colaboradora na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas.

Célia Regina Granhen Tavares⁽²⁾

Engenharia Química pela Universidade de São Paulo. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pós-doutorado na Université de Montpellier II (Scienc. Et Tech Du Languedoc), U.M. II – França. Professora no departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.

Eneida Sala Cossich⁽²⁾

Engenheira Química pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Ciências de Alimentos pela Universidade Estadual de Londrina. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas. Professora no departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.

Endereço⁽¹⁾: Av. Albert Einstein, 500 – bloco A, 1º andar, cidade universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo - Campinas - SP - CEP: 13083-852 - Brasil - Tel: (19) 35213895 - e-mail: alparaujo@feq.unicamp.br

(2): Av. Colombo, 5790 - Bloco E-46 Sala 09 - Maringá - PR - CEP: 87020-900 - Brasil - Tel: (44) 3011-4745

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada a aplicação combinada de reagente Fenton e lodos ativados em batelada para o tratamento de efluentes de indústria de celulose e papel. A eficiência dos tratamentos foi avaliada com base na remoção de DQO e cor. Os experimentos de oxidação pelo reagente Fenton foram realizados nas seguintes condições: $[DQO:H_2O_2]=1:7,5$; $[H_2O_2:Fe^{2+}]=4,0:1$; $pH=5,0$; Tempo=1,0 h. O sistema de tratamento biológico era constituído de um béquer de vidro com capacidade de 2000 mL, e volume útil de 1000 mL (800 mL de efluente e 200 mL de lodo), equipado com agitação mecânica e aeração realizada por meio de difusor de pedra porosa. O reator era operado à temperatura ambiente ($25\pm 2^\circ C$). O tempo de retenção hidráulica foi de 12 horas, com alimentação em batelada. O efluente bruto após o tratamento químico era submetido ao tratamento biológico. Como o tempo de reação do processo químico era de 1 hora e cada ciclo do tratamento biológico tinha duração de 12 horas o ciclo do sistema combinado de tratamento teve 13 horas, foram realizados 33 ciclos de operação. Os resultados mostraram que a eficiência de remoção parcial de DQO ao final de 60 ciclos para o tratamento químico e para o tratamento biológico foi de 72% e 54%, respectivamente. O tratamento combinado permitiu uma eficiência de remoção de DQO de 87%. Para o parâmetro cor, o valor médio na saída do tratamento químico e na saída do tratamento biológico de 170 Pt/Co e 550 Pt/Co, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Efluente industrial, reagente Fenton, Lodos ativados.

INTRODUÇÃO

As características dos efluentes gerados na indústria de celulose e papel dependem do tipo de processo, tipo de madeira, tecnologia aplicada, práticas de gerenciamento, recirculação de efluentes e quantidade de água utilizada no processo (Pokhrel e Viraraghavan 2004). As indústrias de celulose e papel apresentam um elevado potencial de contaminação ambiental, não somente pela presença de compostos refratários, mas também pelo elevado volume de efluente gerado (80 m³ de água/ tonelada de polpa gerada) o que implica num grande volume de efluente a ser tratado antes de seu lançamento nos corpos aquáticos receptores (Almeida et al., 2004).

A planta de branqueamento é considerada a maior fonte de poluição de água da indústria de celulose, contribuindo com 85% da cor total e 50% da DQO. Os efluentes provenientes da etapa de branqueamento são altamente coloridos e contêm alta concentração de matéria orgânica. Muitos destes contaminantes são de difícil eliminação pelos processos convencionais de tratamento de efluentes (Pérez et al., 2002).

Os compostos fenólico-clorados presentes neste tipo de efluentes têm sido uma grande preocupação devido à sua toxicidade, bioacumulação e potencial cancerígeno (Torrades et al., 2003). A cor marrom dos efluentes pode inibir a atividade biológica na água, pois impedem a penetração da luz solar. Muitos dos compostos presentes nos efluentes são pouco solúveis em água, resistem à degradação biológica e podem representar toxidez às comunidades microbianas (Stephenson e Duff, 1996).

Segundo Souza et al. (2001), a reutilização de águas e a recuperação de substâncias são de grande interesse, principalmente no setor de branqueamento. Este processo é conhecido como fechamento de circuitos, diminuindo drasticamente o volume, a DQO e os compostos clorados dos efluentes que são encaminhados para a estação de tratamento de efluentes.

A biodegradabilidade ou tratabilidade biológica de um efluente pode ser indicada em termos da relação DBO/DQO (Demanda Bioquímica de Oxigênio/Demanda Química de Oxigênio). Quanto mais esta relação se aproxima de 1, mais fácil é a tratabilidade biológica do efluente. Normalmente, quando a relação DBO/DQO de um efluente é menor que 0,3 a eficiência do tratamento biológico pode ser comprometida (Metcalf e Eddy, 2003). Isto acontece justamente porque apenas uma parcela do material orgânico presente no efluente é biodegradável. A biodegradabilidade do efluente de fábricas de celulose kraft branqueada, razão DBO/DQO, geralmente se encontra na faixa de 0,1 a 0,4 (Pokhrel e Viraraghavan, 2004).

Segundo Almeida et al. (2004), a toxicidade associada aos efluentes industriais pode estar intimamente relacionada com a presença de compostos recalcitrantes ou refratários, pois estes não são biodegradados pelos microrganismos normalmente presentes em sistemas biológicos de tratamento, nos tempos usuais de retenção hidráulica aplicados, sendo, então, lançados nos corpos aquáticos receptores.

O tratamento dos efluentes do branqueamento usando processos biológicos remove parte da DBO₅, mas não são efetivos na remoção de compostos de alta massa molar. De 30 a 40% dos compostos organoclorados em efluentes do branqueamento de celulose kraft são removidos por meio do processo de lodos ativados, mas a maior parte da DQO e cor devido a compostos de alta massa molar permanece inalterada (Bijan e Mohseni, 2004). Apesar dos processos biológicos de tratamento de águas residuárias serem eficientes na remoção da DBO, águas residuárias que contenham compostos orgânicos recalcitrantes, que não são facilmente removíveis por processos biológicos, precisam de uma maior purificação (Wang et al., 2003).

Em fábricas de celulose e papel, o tratamento de efluentes líquidos é basicamente composto por tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário, podendo conter, ainda, um tratamento terciário que visa à remoção de cor e de um polimento do efluente proveniente do tratamento secundário.

Dois tipos de tratamentos preliminares são adotados em fábricas de produção de celulose e papel: o resfriamento do efluente e a remoção dos sólidos grosseiros. O tratamento primário visa à remoção de sólidos em suspensão. Este é, normalmente, efetuado por meio de decantação por gravidade, e em alguns casos, por meio de flotação, atingindo, neste processo, uma remoção maior que 80% dos sólidos em suspensão (Rossoni, 2007).

Em um tratamento secundário ou biológico, o objetivo principal é a remoção da matéria orgânica biodegradável, ocorrendo, muitas vezes, também a remoção de compostos organoclorados e toxicidade. Os sistemas de tratamento de efluentes mais utilizados na indústria de celulose e papel são os tratamentos biológicos, principalmente lagoas aeradas e lodos ativados, que são muito eficientes na remoção da matéria orgânica biodegradável, mas que apresentam limitações para a remoção da matéria orgânica recalcitrante.

Como a legislação ambiental se torna cada vez mais restritiva é de fundamental importância que as indústrias busquem formas de melhorar a qualidade de seus efluentes, seja por meio de modificações no processo ou nos sistemas de tratamentos utilizados ou por meio da utilização de novos processos, como, por exemplo, o processo químico, ou ainda por meio da combinação de processos químicos e biológicos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da aplicação combinada de processo químico (reagente Fenton) e processo biológico (lodos ativados) para o tratamento de efluente final da indústria de celulose e papel.

MATERIAIS E MÉTODOS

Efluente

O efluente utilizado neste trabalho foi coletado numa indústria de celulose e papel localizada no estado de São Paulo e armazenado sob refrigeração a 4 °C. Este efluente é a soma de todas as correntes de efluente da fábrica, coletado na indústria após o sistema de tratamento primário e antes da entrada do tratamento biológico.

Para caracterização físico-química do efluente foram feitas análises de demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo, nitrogênio e medidas de pH, cor e turbidez.

Processo Químico

Os experimentos de oxidação pelo reagente Fenton foram realizados nas condições ótimas de operação, obtidas em estudos anteriores, pela metodologia de superfície de respostas. As condições obtidas foram: ([DQO:H₂O₂]=1:7,5; [H₂O₂:Fe²⁺]=4,0:1; pH=5,0; Tempo=1,0 h. Os experimentos foram conduzidos em Jar-Test, em béquer de vidro de 250 mL com um volume útil de 150 mL, à temperatura ambiente (24 ± 1,5 °C), sob agitação constante (100 rpm). A quantidade necessária de ferro era primeiramente adicionada ao efluente a ser oxidado. A oxidação pelo reagente Fenton era então iniciada com a adição do H₂O₂. O pH do meio reacional era ajustado utilizando soluções de H₂SO₄ ou NaOH durante toda reação. Após o tempo reacional, o pH da mistura era ajustado para 8, ocorrendo a precipitação do ferro, e esta era então deixada em repouso por cerca de 15 horas para que houvesse a sedimentação dos sólidos em suspensão.

Processo Biológico

Inóculo

O lodo aeróbio proveniente da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de celulose e papel localizada no estado do Paraná foi utilizado para a inoculação do reator. Após a coleta, o lodo foi decantado por 24 horas, a fim de garantir uma melhor qualidade ao inóculo.

Aclimação do Lodo

Segundo Metcalf e Eddy (2003), para atender às condições ideais requeridas pelos microrganismos, é importante o monitoramento de alguns parâmetros. A etapa que necessita de um monitoramento mais intenso é o período da partida, ou seja, o período de adaptação e crescimento da biomassa, até que se atinja a fase estacionária. Isto é feito mediante a aclimação do lodo. A aclimação do lodo representa o período de adaptação e crescimento da biomassa às condições do sistema, até que se atinja a fase estacionária (Jordão e Pessoa, 1995).

Assim, antes de iniciar o tratamento biológico, foi realizada uma adaptação do lodo ao efluente a ser tratado, por meio de aumentos gradativos de volume de efluente colocado em contato com o lodo. A avaliação da adaptação do lodo foi realizada com o acompanhamento diário da concentração de DQO (demanda química de oxigênio) e da concentração da biomassa por meio da análise de sólidos suspensos voláteis (SSV) no tanque de aeração. Neste período foram oferecidas condições para que o lodo se adaptasse ao efluente em estudo. Embora a procedência do inóculo seja de uma indústria de celulose e papel e, portanto, supunha-se que o mesmo já estivesse adaptado ao efluente, ainda assim, o inóculo foi aclimatado a fim de se certificar da total compatibilidade deste inóculo ao efluente em estudo.

Adicionava-se em um béquer, 1000 mL de lodo e 50 mL de efluente, mantendo-se sob agitação e aeração por um período de 24 horas. Após este período interrompia-se a agitação e aeração para que ocorresse a decantação do lodo e subsequente retirada do sobrenadante. O volume do sobrenadante retirado era repostado com uma nova carga de efluente, acrescido de 50 mL de efluente. Repetiu-se esta operação sucessivamente até que se obtivessem valores constantes de DQO, indicando que o lodo estava aclimatado. A avaliação da adaptação do lodo foi realizada por meio das análises de DQO e sólidos suspensos voláteis (SSV) no reator.

Teste de Biodegradabilidade

Este teste tem como objetivo obter a DQO residual e com isso calcular a fração de DQO recalcitrante, ou não biodegradável. Em um béquer, foi adicionado 200 mL de inóculo e 1800 mL de efluente. Esta mistura foi mantida sob agitação e aeração por um período de 24 horas. Em intervalos de tempo pré-determinados eram retiradas amostras para determinação de DQO. A eficiência de remoção da fração biodegradável foi calculada pela equação 1.

$$\eta = \left(\frac{S_0 - S_e}{S_0} \right) \times 100 \quad \text{equação 1}$$

Em que: S_0 é a concentração inicial de DQO total do afluente (mg/L); S_e é a concentração final de DQO solúvel do efluente tratado (mg/L) e η é a eficiência de remoção (%)

Operação do Reator Batelada Sequencial

O sistema de tratamento biológico era constituído de um béquer de vidro com capacidade de 2000 mL, e volume útil de 1000 mL (800 mL de efluente e 200 mL de lodo), equipado com agitação mecânica e aeração realizada por meio de difusor de pedra porosa. O controle de oxigênio dissolvido foi realizado de modo a assegurar uma concentração sempre acima de 2 mg/L no sistema. O reator era operado à temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). O tempo de retenção hidráulica foi de 12 horas, com alimentação em batelada. Os aeradores ficavam ligados durante 10 horas para que ocorresse a reação de consumo do substrato pelos microrganismos. Depois deste período, os aeradores eram desligados por 1 hora, período no qual ocorria a sedimentação do lodo para, em seguida, proceder-se a retirada do sobrenadante (efluente tratado). Mais 1 hora era reservada para o período de repouso do lodo, sendo então realizada nova alimentação.

Sistema Combinado de Tratamento

O efluente bruto após o tratamento químico era submetido ao tratamento biológico. Como o tempo de reação do processo químico era de 1 hora e cada ciclo do tratamento biológico tinha duração de 12 horas o ciclo do sistema combinado de tratamento teve 13 horas, foram realizados 33 ciclos de operação.

Após a decantação, última etapa do tratamento químico, o sobrenadante (efluente tratado) tinha o pH ajustado para 7,0 e era adicionado soluções de cloreto de amônio 0,1N e fosfato de amônio monobásico 0,1 N seguindo a relação DBO:N:P de 100:5:1, de acordo com Metcalf & Eddy (2003), antes de alimentar o processo biológico. O monitoramento da qualidade do efluente, para cada ciclo, era feito por meio da determinação dos parâmetros DQO e cor na entrada e na saída de cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do Efluente da Indústria de Celulose e Papel

Os resultados obtidos na caracterização do efluente estão apresentados na tabela 1. Pode-se observar que os valores de pH estão condizentes com os citados na literatura para efluente da indústria de celulose e papel (Morais, 2006; Lazzaretti et al., 2004).

A cor é considerada um poluente importante no efluente da indústria de celulose e papel. Segundo Torrades et al. (2003), este tipo de efluente possui intensa coloração, atingindo valores superiores a 2000 mg/L. A literatura cita valores para a cor desde 270 Pt/Co até 2390 Pt/Co (Rossoni, 2007; Moraes, 2006 e Souza et al., 2001), o que evidencia a grande variabilidade deste parâmetro para efluente da indústria de celulose e papel. O valor encontrado para o efluente em estudo se encontra dentro desta faixa.

Pode-se observar que este efluente apresentou elevada concentração de matéria orgânica (DQO) e que a concentração de DBO está na faixa de valor encontrada na literatura para efluente da indústria de celulose e papel. De acordo com Rezende et al. (2000) as concentrações de DBO em efluentes brutos da indústria de celulose e papel situam-se numa faixa de 250 a 400 mg/L.

O efluente em estudo apresentou uma relação DBO/DQO igual a 0,41. Normalmente, quando a relação DBO/DQO de um efluente é menor que 0,4, a eficiência do tratamento biológico pode ser comprometida (Metcalf e Eddy, 2003). A biodegradabilidade do efluente de fábricas de celulose kraft branqueada (razão DBO/DQO), geralmente se encontra na faixa de 0,1 a 0,4 (Mounteer et al., 2005). As relações médias encontradas para a DQO em relação aos nutrientes estão abaixo do recomendado pela literatura, verifica-se, portanto, que o efluente estava deficiente em nutrientes, tanto o fósforo como o nitrogênio.

Tabela 1 – Caracterização do Efluente.

Parâmetros	Valor
pH	7,0±0,3
Cor aparente (Pt/Co)	1100±20
Cor real (Pt/Co)	805±12
DQO total (mg O ₂ /L)	990±15
DQO solúvel (mg O ₂ /L)	830±20
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	410±20
DBO/DQO	0,41
Fósforo total (mg/L)	1,0±0,05
Nitrogênio total (mg/L)	3,8±1,0

Aclimação do Lodo

Na figura 1 pode se observar o comportamento do lodo proveniente da indústria de celulose e papel aclimatado em um período de 23 dias. Como o lodo era proveniente de uma indústria de celulose e papel, presumia-se que o mesmo estivesse totalmente aclimatado ao efluente. Porém, foram necessários 23 dias para que houvesse a estabilização da DQO. Verifica-se, portanto, a dificuldade do inóculo degradar tal efluente.

A complexa composição do efluente é o principal responsável pela difícil adaptação do lodo ao mesmo. Entre os compostos orgânicos presentes, encontram-se a lignina. Almeida et al. (2004) relata que devido à sua estrutura química, as reações de biodegradação da lignina são bastante difíceis. A lignina, ao reagir com os diferentes compostos envolvidos no processo de obtenção da celulose, adquire comportamento de difícil caracterização e de massa molecular variável dificultando a ação dos microrganismos.

O lodo foi considerado aclimatado quando a concentração de sólidos suspensos voláteis no reator permaneceu em equilíbrio e produziu alta remoção de matéria orgânica. Iniciou-se a aclimação do lodo com uma concentração de biomassa, em termos de sólidos suspensos voláteis no reator, em torno de 2150 mg/L. No final do período de aclimação o valor médio de sólidos suspensos voláteis no reator era de 2830 mg/L (figura 2).

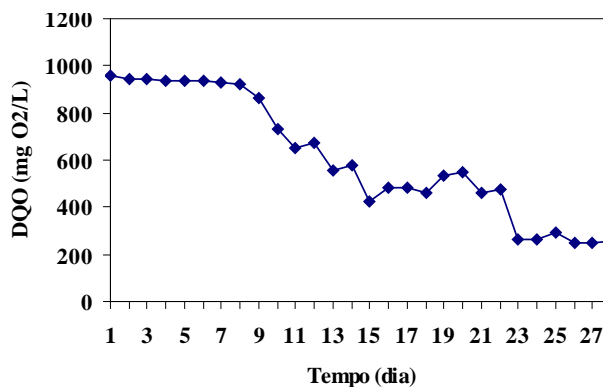


Figura 1: Variação da DQO em função do tempo.

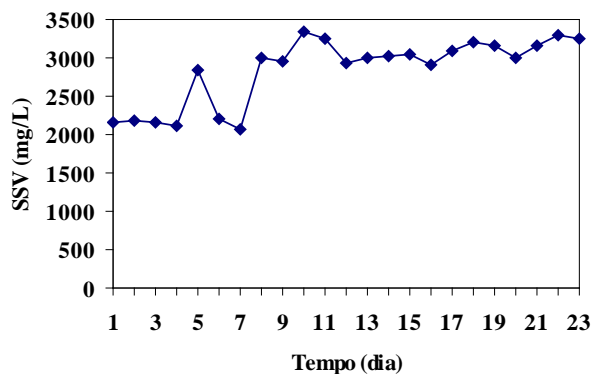


Figura 2 – Variação do SSV em função do tempo.

Teste de Biodegradabilidade

A fim de verificar o grau de biodegradabilidade do efluente em estudo, realizou-se o teste de biodegradabilidade durante 24 horas. A partir deste teste foi possível calcular a DQO residual e com isto calcular a fração de DQO recalcitrante, ou não biodegradável. Os resultados deste teste estão na figura 3. Os resultados obtidos mostram uma remoção média de DQO de 70% (média de 30% de DQO residual), mostrando uma compatibilidade entre o lodo e o efluente após o período de aclimação.

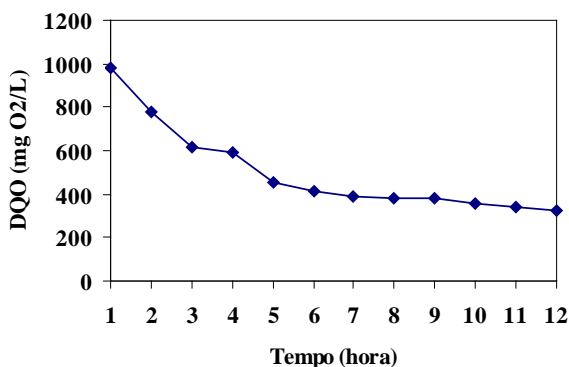


Figura 3 – Curva de Biodegradabilidade do efluente.

Sistema Combinado de Tratamento

Nesta configuração de tratamento foi necessário fazer o acerto de pH do efluente bruto antes do processo químico. Ao longo do tempo de reação o pH era monitorado e corrigido para 5,0. Após o tratamento químico o efluente tratado teve o pH ajustado para 7,0 para realização do tratamento biológico.

Durante o tratamento biológico não foi observado grandes variações do pH no reator que ficou entre 6,6 a 7,1. O pH do efluente final variou entre 6,7 e 8,0, valor este consistente com aqueles exigidos pela legislação para descarte em corpos receptores (pH entre 5 e 9). A temperatura no reator biológico permaneceu entre 22 e 30 °C e a concentração de oxigênio dissolvido ficou entre 5,5 e 6,0 mg/L.

As concentrações de matéria orgânica medida em termos de DQO e cor do efluente bruto e do efluente tratado após o tratamento químico e após o tratamento biológico estão apresentadas na figura 4.

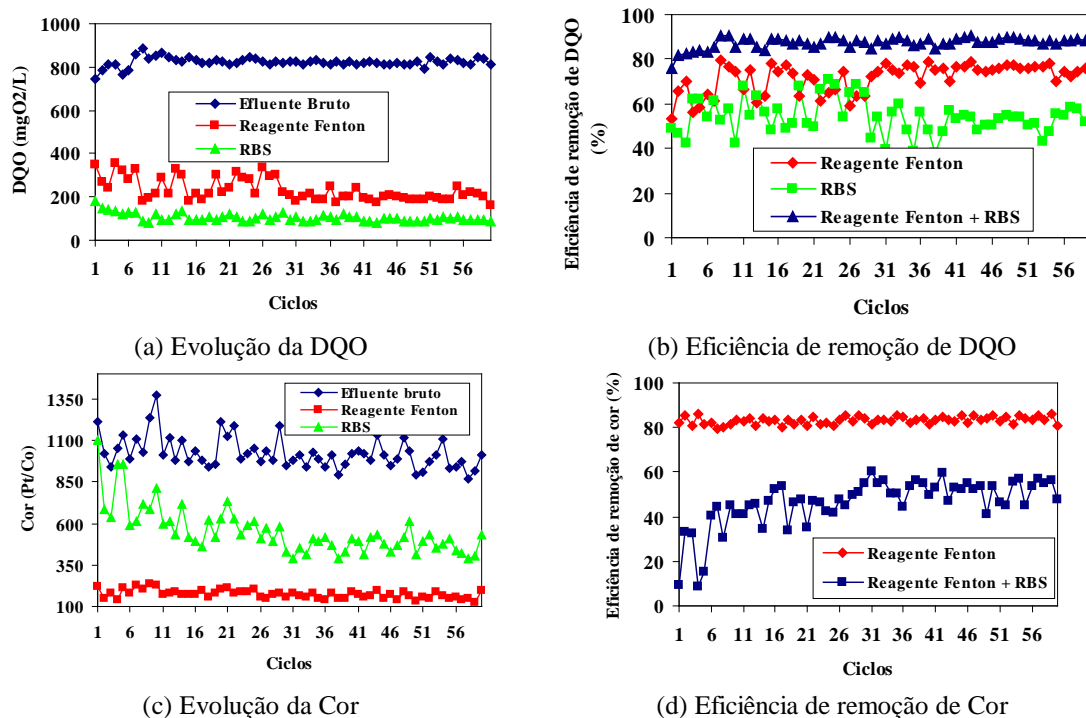


Figura 4 – Evolução dos parâmetros após tratamento químico e biológico – (a) DQO, (c) Cor e eficiência de remoção dos parâmetros após tratamento químico e biológico – (b) DQO, (d) Cor.

Pode-se observar que o valor médio de DQO na saída do tratamento químico e na saída do tratamento biológico foi de 230 mg de O₂/L e 105 mg de O₂/L, respectivamente. Ocorreu uma redução da DQO no efluente final, devido ao fato do processo oxidativo avançado ser capaz de transformar compostos orgânicos de difícil degradação em compostos mais facilmente biodegradáveis, melhorando significativamente o desempenho do tratamento biológico posterior (Mounteer et al., 2005). Este sistema combinado permitiu que o efluente tratado atingisse o valor exigido pela legislação para descarte em corpos receptores.

Após cinco dias de operação o lodo, no tratamento biológico, começou a apresentar más condições de sedimentabilidade e a qualidade do efluente tratado era pior por causa do arraste de lodo, refletida no aumento da turbidez, mas mesmo assim a eficiência de remoção de DQO se manteve alta. Este fato também foi observado por Hadjinicolaou (1999), que tratou efluente de abatedouro pelo sistema RBS e obteve remoção satisfatória de matéria orgânica apesar do lodo não apresentar boas características de sedimentabilidade.

Pode-se observar na figura 4 (b) que ao final de 60 ciclos a eficiência de remoção de DQO, em média, para o tratamento químico e para o tratamento biológico foi de 72% e 54%, respectivamente. O tratamento combinado permitiu uma eficiência de remoção de DQO de 87%, maior do que a reportada por Rodrigues (2000), que obteve eficiência de remoção de DQO igual a 81% ao submeter um efluente de indústria de celulose e papel ao tratamento com reagente Fenton seguido de tratamento biológico. Moraes (2006) obteve uma remoção de 64% de DQO após combinação de ozonização com tratamento biológico de efluente de branqueamento ECF.

Pode-se observar figura 4 (c) e (d) que o tratamento com reagente Fenton promoveu grande remoção de cor devido ao mecanismo de atuação do mesmo, porém após o tratamento biológico, o inóculo, por ainda não se apresentar com boa floculação, foi arrastado juntamente com o efluente conferindo cor ao mesmo. A redução de cor ocorreu principalmente na etapa química, o que está de acordo com a literatura. Normalmente, processos biológicos pouco contribuem para a remoção de cor. Passado o período de adaptação do inóculo ao efluente, a diminuição da cor foi gradual, sendo o valor médio deste parâmetro na saída do tratamento químico e na saída do tratamento biológico de 170 Pt/Co e 550 Pt/Co, respectivamente. O aumento da cor após o tratamento biológico também foi observado por Mattos et al. (2006), que obtiveram um aumento de cor de 42% após o tratamento biológico por lodos ativados de um efluente do estágio ácido do branqueamento, enquanto que Mounteer et al. (2005) observaram um aumento de cor de 4% após tratamento biológico por lodos ativados do efluente de branqueamento.

CONCLUSÕES

O sistema combinado de tratamento mostrou-se eficiente na remoção de DQO do efluente em estudo. Estes resultados conferem a este processo combinado uma possibilidade de se apresentar como uma alternativa aos processos de tratamento convencional. A qualidade final do efluente após o sistema de tratamento combinado apresentou altos índices de remoção de DQO o que torna possível sua reutilização, sejam na irrigação, nos setores de limpeza ou até mesmo em alguma etapa do processo da fabricação de celulose e papel.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, E., ASSALIN, M.R., ROSA, M.A. Tratamento de Efluentes Industriais por Processos Oxidativos na Presença de Ozônio. *Química Nova*, v. 27, n. 5, pp. 818-824. 2004
2. BIJAN, L.; MOHSENI, M. Using ozone to reduce recalcitrant compounds and to enhance biodegradability of pulp and paper effluents. *Water Science e Technology*, v. 50, n. 3, pp. 173-182. 2004.
3. HADJINICOLAOU, J. Evaluation of a Controlled Condition in a Sequencing Batch Reactor Pilot Plant Operation for Treatment of Slaughterhouse Wastewaters. *Canadian Agricultural Engineering*, v. 31, n. 2, pp. 249-264. 1999.
4. JORDÃO e PESSÔA. Tratamento de Esgotos Domésticos, 3ª edição, ABES, Rio de Janeiro. Brasil. 1995
5. LAZZARETTI, E.; CAMPOS, A.F.; NOGUEIRA, J.C.B. Efeito da Adição de Microrganismos (bioaumento) em uma Estação de tratamento de Efluentes por Lodo Ativado em uma Indústria de papel e Celulose. In: *Proceedings do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Porto Alegre, RS, Brasil. 2004.
6. MATTOS, L.R.; PAIVA, T.C.B.; SILVA, F.T. Activated Sludge, Advanced Oxidation Process and their Combination for ECF Effluent Treatment In: *Proceedings do Simpósio da IWA em Efluentes da Indústria Florestal*, Vitória, ES, Brasil. 2006.
7. METCALF e EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, 3ª edição, McGraw-Hill, New York. 2003.
8. MORAIS, A.A. Uso de Ozônio como Pré-tratamento de Efluente da Indústria de Celulose Kraft Branqueada. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. 2006.
9. MOUNTEER, A.H., MOKFIENSKI, J.J.; AMORIM, F. Remoção de Matéria Orgânica Recalcitrante de Efluentes de Celulose Kraft de Branqueamento por Ozonólise, *O Papel*, v. 66, n. 3, pp. 64-70. 2005.
10. PÉREZ, M., TORRADES, F., GARCÍA-HORTAL, J.A., et al. Removal of Organic Contaminants in Paper Pulp Treatment Effluents Under Fenton and Photo-Fenton Conditions, *Applied Catalysis*, v. 36, pp. 63-74. 2002.
11. POKHREL, D., VIRARAGHAVAN, T. Treatment of Pulp and Paper Mill Wastewater – a Review, *Science of the Total Environment*, v. 333, pp. 37-58. 2004.
12. REZENDE, A.A.P., MATOS, A.T., SILVA, C.M. Utilização do Efluente de Indústria de Celulose e Papel em Irrigação – uma Revisão. In: *Proceedings do Congresso Internacional de Celulose e Papel, ABTCP – TAPPI 2000*, São Paulo, SP, Brasil. 2000.
13. RODRIGUES, A.N.M. Estudo de um Processo Combinado para o Tratamento das Águas Residuárias da Indústria de Celulose e Papel. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, Brasil. 2000.
14. ROSSONI, H.A.V. Uso de Talco no Controle do Intumescimento Filamentoso no Tratamento de Efluente de Fábrica de Papel Reciclado. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. 2007.
15. SOUZA, L.C., SILVA, C.M., JORDÃO, C.P. Estudo de Tratabilidade de Efluentes de Duas Sequências de Branqueamento com Fechamento Parcial dos Filtrados. In: *Proceedings do 340 Congresso Anual de Celulose e Papel*, São Paulo, SP, Brasil. Outubro. 2001.
16. STEPHENSON, R.J.; DUFF, S.J.B. Coagulation and Precipitation of a Mechanical Pulping Effluent –II Toxicity Removal and Metal Salt Recovery, *Water Research*, v. 30, n. 4, pp. 793-798. 1996.
17. TORRADES, F., PÉREZ, M., MANSILLA, H.D., et al. Experimental Design of Fenton and Photo-Fenton Reactions for the Treatment of Cellulose Bleaching effluents. *Chemosphere*, v. 53, pp. 1211-1220. 2003.
18. WANG, Z.; ZHANG, Z.; LIN, Y.; DENG, N.; TAO, T.; ZHUO, K. Landfill Leachate Treatment by a Coagulation-Photooxidation Process. *Journal Hazardous Materials*, v. B95, pp. 153-158. 2003.