



ABTCP 2001

34º Congresso Anual de Celulose e Papel
34th Annual Pulp and Paper Meeting
22 a 25 de Outubro de 2001 / October 22nd – 25th, 2001

Impacto da adaptação do lodo biológico na eficiência do tratamento de efluentes de branqueamento ECF e TCF

Treatment efficiency of bleaching effluents as a function
of sludge adaptation

Ann Munteer
Daison O. Silva
(Universidade Federal de Viçosa)



Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
Rua Ximbó, 165 – Acimação CEP 04108-040 - São Paulo / SP – Brasil
Fone: (11) 5574-0166 - Fax: (11) 5571-6485 / 5549-1844 E-mail: expo@abtcp.com.br

Impacto da Adaptação do Lodo Biológico na Eficiência do Tratamento de Efluentes de Branqueamento ECF e TCF

Ann Munteer, Daison O. Silva

Departamento de Microbiologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil

RESUMO

Impacto da adaptação do lodo biológico na eficiência do tratamento de efluentes de branqueamento ECF e TCF. A eficiência do tratamento biológico de efluentes depende da capacidade metabólica do lodo biológico, o que, por sua vez, depende da adaptação dos microrganismos presentes no lodo ao efluente sendo tratado. O entendimento do impacto de mudanças na composição do efluente, a exemplo de variações normais de processo resultante de regimes alternados de produção de polpas ECF e TCF, na capacidade do lodo biológico de degradar a matéria orgânica no efluente, pode contribuir para a elaboração de novas estratégias de tratamento. O objetivo deste estudo foi de quantificar o aumento de eficiência proporcionado pela adaptação prévia do lodo biológico aos efluentes de branqueamento ECF e TCF. Efluentes de branqueamento ECF [seqüência D(EO)DD] e TCF [seqüência Q(OP)(QZ)(PO)] de polpa kraft-O de eucalipto foram gerados no laboratório. A eficiência do tratamento foi avaliada pela quantificação dos valores de DBO, DQO, cor e AOX, antes e após o tratamento dos efluentes em batelada. O lodo biológico utilizado foi obtido do sistema de tratamento de uma fábrica brasileira de polpa kraft de eucalipto branqueada e adaptado a cada efluente em sistema de lodo ativado de bancada. A velocidade de degradação da matéria orgânica dissolvida nos dois efluentes por lodo biológico adaptado e não adaptado também foi investigada. O tratamento com lodo adaptado resultou em maior redução percentual de DBO (98 vs 92%) e AOX (66 vs 38%) no efluente ECF do que o tratamento com lodo não adaptado. Por outro lado, tratamento do efluente TCF, tanto com lodo adaptado quanto com lodo não adaptado, resultou em reduções percentuais similares de DBO (98%) e DQO (83%). Estes resultados podem ser atribuídos, em parte, à maior velocidade e ao maior grau de degradação da matéria orgânica dissolvida no efluente TCF que no ECF, tanto pelo lodo adaptado ao efluente TCF como o adaptado ao efluente ECF. Os resultados obtidos indicam que a eficiência do tratamento pode cair durante o período de adaptação do lodo biológico à nova composição química do efluente resultante de modificações no processo de branqueamento.

ABSTRACT

Impact of sludge adaptation on ECF and TCF bleaching effluent treatment efficiency. Biological treatment efficiency depends on the metabolic capacity of the biological sludge, which, in turn, depends on adaptation of the microorganisms present in the sludge to the effluent being treated. An understanding of the impact of changes in effluent composition, such as those caused by normal process variations in alternating production of ECF and TCF pulps, on the capacity of sludge microorganisms to degrade effluent organic matter, will contribute to the formulation of new treatment strategies. The objective of this study was to quantify increases in treatment efficiency brought about by prior adaptation of biological sludge to ECF and TCF bleaching effluents. ECF (sequence D(EO)DD) and TCF (sequence Q(OP)(QZ)(PO)) bleaching effluents were produced in the laboratory. Treatment efficiency was evaluated by measuring BOD, COD, color and AOX values before and after batch treatment of effluents. Activated sludge was originally obtained from a Brazilian bleached eucalypt kraft pulp mill treatment system and adapted to the ECF and TCF effluents in a bench-scale activated sludge system. Degradation rates of the organic matter dissolved in the two effluents by adapted and unadapted biological sludges were also examined. Treatment with adapted biological sludge resulted in greater removal of BOD (98 vs 92%) and AOX (66 vs 38%) in ECF effluent than treatment with unadapted biological sludge. Treatment of TCF effluent with adapted or unadapted sludge resulted in similar reduction of BOD (98%) and COD (83%). These results can be attributed in part to greater rate and degree of degradation of dissolved organic matter in TCF effluent than that in ECF effluent, regardless of sludge adaptation. The results obtained indicate that treatment efficiency may decrease during a period of biological sludge adaptation to new effluent chemical composition resulting from bleaching process changes.

Palavras chaves: efluentes de branqueamento, lodo biológico, adaptação, biodegradação

Key words: bleaching effluents, biological sludge, adaptation, biodegradation

INTRODUÇÃO

As pressões de mercado na sociedade moderna têm exigido da indústria a adoção de novas tecnologias, com o objetivo de reduzir o impacto dos efluentes sobre o meio ambiente. O desenvolvimento de seqüências de branqueamento para a celulose, isentas de cloro gás (ECF, "elementally chlorine free") e de reagentes à base de cloro (TCF, "totally chlorine free"), tem sido uma das principais tecnologias adotadas em larga escala objetivando a melhoria da qualidade dos efluentes. A evolução das práticas de branqueamento, do tradicional processo com cloro elementar para seqüências de branqueamento ECF e TCF tem sido acompanhada por estudos de tratabilidade desses novos tipos de efluentes (Cates et al., 1995; Saunamäki, 1995; Stauber et al., 1996; Larisch e Duff, 1997). Sabe-se que efluentes de branqueamento TCF geralmente apresentam maiores níveis de DBO que efluentes ECF, em virtude da maior degradação oxidativa da fração celulósica da polpa (Cates et al., 1995). Os quelantes utilizados para evitar a decomposição de alguns reagentes de branqueamento (ex. H_2O_2), causada por metais de transição, podem ser prejudiciais ao lodo biológico por seqüestrarem micronutrientes (Tana e Lehtinen, 1996; Larisch e Duff, 1997). Acredita-se, no entanto, que os efluentes de branqueamento ECF e TCF são igualmente tratáveis em sistemas que operam com eficiência, mas a eficiência do tratamento pode ser reduzida após alteração no processo, em razão do período de adaptação do lodo biológico à nova composição química do efluente (Saunamäki, 1995; Buitrón e González, 1996). Uma das chaves para assegurar a estabilidade e eficiência de um sistema de tratamento biológico é o conhecimento das correlações entre as características do efluente e a dinâmica do lodo biológico que se desenvolve no sistema (Liss e Allen, 1992; Fulthorpe e Allen, 1994; Manz et al., 1994; Victorio et al., 1996). A importância da adaptação do lodo biológico para a eficiência do tratamento de efluentes ECF e TCF de polpa kraft de eucalipto ainda não tem sido avaliada.

Os objetivos deste estudo foram avaliar o efeito da adaptação prévia do lodo biológico ao efluente sobre a eficiência do tratamento de efluentes de branqueamento ECF e TCF de polpa kraft de eucalipto e quantificar diferenças de velocidade e grau de degradação da matéria orgânica dissolvida nos efluentes por lodo biológico adaptado e não adaptado.

MATERIAL E MÉTODOS

Efluentes de branqueamento

Uma amostra de polpa kraft de eucalipto pré-deslignificada com oxigênio (kraft-O) com número kappa de 14,0; viscosidade de 31,9 mPa.s; e alvura de 44,3% ISO foi obtida de uma fábrica brasileira.

Os efluentes de branqueamento ECF e TCF da polpa foram produzidos no Laboratório de Celulose e Papel da UFV. Foram estabelecidas as seqüências de branqueamento ECF, D(EO)DD, e TCF, Q(OP)(QZ)(PO), para se obter polpas branqueadas com alvura final de 88% ISO, utilizando as condições e cargas de reagentes apresentadas Quadro 1. A polpa ECF branqueada apresentou alvura de 88 %ISO e viscosidade de 21,6 mPa.s. A polpa TCF branqueada apresentou alvura de 87,8 %ISO e viscosidade de 9,9 mPa.s. Cada tipo de efluente foi produzido pela mistura proporcional dos licores residuais de cada estágio. Os efluentes foram armazenados a $-20^{\circ}C$ até serem utilizados.

Tratamento dos efluentes

A avaliação da importância da adaptação do lodo ao efluente na eficiência do tratamento foi realizada em ensaios de tratamento dos efluentes em batelada. Para isto, alíquotas (4 x 100 mL) de efluente ECF e TCF em frascos Erlenmeyer de 250 mL foram inoculadas com lodo retirado de um sistema de lodo ativado de bancada (Mounteer et al., 2001), após três semanas de operação contínua e estável do sistema no tratamento de cada tipo de efluente. A concentração final do lodo biológico (como sólidos suspensos voláteis, SSV) foi ajustada para se obter uma relação DBO/SSV equivalente a 0,1, correspondente a, aproximadamente, 2.000 mg SSV/L no efluente ECF e 7.000 mg SSV/L no efluente TCF. Os frascos foram incubados a $30^{\circ}C$ e 150 rpm por 24 horas. Os efluentes foram, então, filtrados em papel de filtro qualitativo para a remoção do lodo biológico e para uso nas determinações de DBO, DQO, cor, AOX e pH.

Quadro 1 - Condições utilizadas no branqueamento da polpa kraft-O de eucalipto para a geração dos efluentes ECF e TCF

Seqüência	ECF				TCF			
Estádio	D	EO	D	D	Q	OP	QZ	PO
Temperatura, °C	70	90	70	70	70	100	70/amb.	100
Tempo, min	30	15+60	180	120	60	60	60	120
pH final	3	10-11	3,5-4	4-5	7	11	7/2,5	10,5-11
Consistência, %	10	10	10	10	10	10	10	10
Reagentes, % base polpa a.s.								
ClO ₂	1,0	-	0,8	0,2	-	-	-	-
O ₂	-	0,4	-	-	-	0,4	-	0,2
O ₃	-	-	-	-	-	-	0,4	-
NaOH	-	1,5	-	-	-	1,5	-	1,3
H ₂ O ₂	-	-	-	-	-	1,0	-	3,0
DTPA	-	-	-	-	0,2	-	0,1	-
MgSO ₄	-	-	-	-	-	0,2	-	0,2

Caracterização das polpas e dos efluentes

A caracterização das polpas branqueadas foi realizada pela análise de viscosidade, e de alvura da polpa, de acordo com as normas da Tappi (Quadro 2). Os efluentes ECF e TCF foram caracterizados antes e após o tratamento, pela análise de DBO, DQO, AOX e cor, conforme as normas da APHA, SCAN ou CPPA (Quadro 2). Todas as análises dos efluentes foram realizadas em duplicata em cada avaliação.

Quadro 2 - Normas e referências dos métodos analíticos empregados para caracterizar polpas, efluentes e lodo biológico dos sistemas de tratamento

Parâmetro	Norma	Referência
Caracterização de polpa		
Viscosidade, mPa.s	TAPPI T230 om 82	(TAPPI, 1988)
Alvura, %ISO	TAPPI T525 om 86	(TAPPI, 1988)
Caracterização de efluentes		
DBO, mg/L	APHA 5210c	(Eaton, 1995)
DQO, mg/L	APHA 5230	(Eaton, 1995)
AOX, mg/L	SCAN-W9:89	(SCAN, 1990)
Cor, mg/L	CPPA H.5P	(CPPA, 1974)
Caracterização do lodo		
SSV, mg/L	APHA 2540	(Eaton, 1995)

Degradação da matéria orgânica dissolvida dos efluentes ECF e TCF por lodo biológico adaptado e não adaptado

Alíquotas de 5 mL dos efluentes ECF e TCF foram liofilizadas, ressuspensas em água desionizada na concentração desejada e utilizadas como substratos em microplacas BiologMT[®] (Biolog, Hayward, CA, EUA). Os 96 poços destas microplacas, contendo somente sais minerais e o corante violeta de tetrazolium, foram utilizados para testar a degradação dos efluentes pelos microorganismos presentes no lodo. O grau de desenvolvimento de cor resultante da redução do corante, após a inoculação da placa com suspensão de células, foi relacionado com o grau de degradação (oxidação) do substrato adicionado (Garland e Mills, 1991). Foram utilizadas quantidades correspondentes a 0,5 mg de sólidos dos dois efluentes, em volume total de 50 µL, adotando-se a inclusão de 10 repetições de cada efluente por placa MT. As placas foram inoculadas com 100 µL de lodo, previamente lavado duas vezes com tampão fosfato 0,1M; pH 7; e diluído a 10⁻² em NaCl a 0,85%. A seguir, as placas

foram incubadas a 25°C. Em cada placa os tratamentos-controle foram constituídos de dois tipos de controle: no primeiro houve a adição de suspensão de lodo sem o efluente (substrato), para verificar o possível desenvolvimento de cor sem a presença de fonte externa de carbono; e no segundo controle, o efluente foi adicionado sem a suspensão de lodo, para verificar a contribuição do efluente à cor desenvolvida. O volume da mistura de reação foi completado até 150 µL com água desionizada, nos dois tipos de poços-controle. A absorvância a 590 nm foi lida em intervalos de 24 horas até 96 horas de incubação, em leitora de microplacas BioTek Elx808. A absorvância foi corrigida, subtraindo-se dela o valor da absorvância no poço-controle contendo o efluente correspondente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efluentes de branqueamento

O fato de se ter utilizado apenas efluentes de branqueamento produzidos a partir da mesma polpa kraft-O de eucalipto condicionou a amplitude da avaliação, estudando-se apenas as diferenças atribuíveis às condições de branqueamento. A comparação dos valores de DBO, DQO, AOX e cor nos efluentes originais ECF e TCF está apresentada na Figura 1. Os reagentes de branqueamento usados na seqüência TCF (O₃, H₂O₂) foram menos seletivos para com a lignina residual na polpa que o ClO₂ usado na seqüência ECF. Para se obter a alvura final na polpa TCF próxima à da polpa ECF fez-se necessário submeter a fração celulósica da polpa TCF a maior degradação, o que refletiu na baixa viscosidade da mesma (9,9 mPa.s). A maior degradação da polpa TCF resultou na geração de efluente mais rico em matéria orgânica, com valor de DBO 3,5 vezes maior e, da mesma forma, valor de DQO 2,4 vezes maior que o do efluente ECF (Figura 1), mas com valor menor de cor que o efluente ECF (Figura 1). O efluente TCF apresentou valor de AOX 60 vezes menor que o ECF (Figura 1), o que era esperado, uma vez que nenhum reagente à base de cloro foi usado na seqüência TCF.

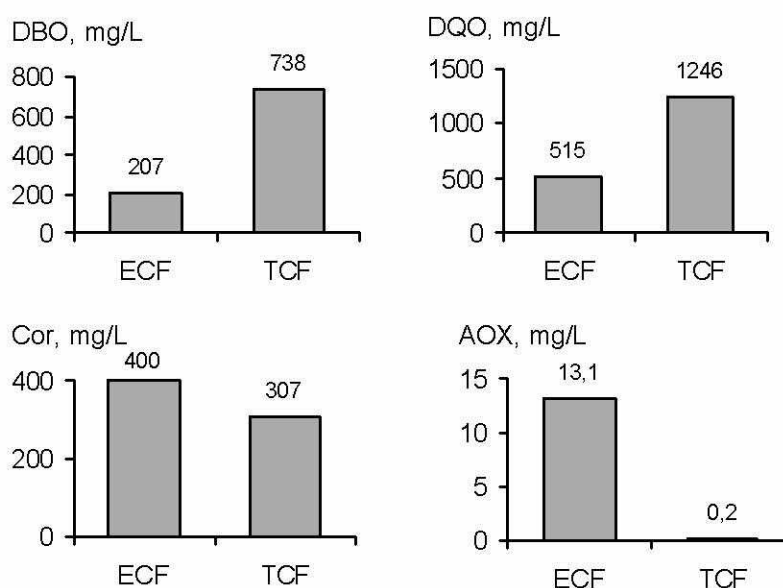


Figura 1 –Valores de DBO, DQO, cor e AOX nos efluentes originais ECF e TCF.

Influência da adaptação do lodo biológico na eficiência do tratamento

Os resultados demonstram queda de eficiência de remoção de DBO e AOX do efluente ECF quando o tratamento é efetuado com lodo não adaptado ao efluente (Figuras 1 e 2). A redução percentual de DBO no efluente ECF caiu de 98% no tratamento com lodo adaptado para 92% no tratamento com lodo não adaptado, a de AOX caiu de 66 % para 38%. No entanto, a redução percentual de DQO do

efluente ECF foi ligeiramente maior no tratamento com lodo não adaptado (63%) do que com lodo adaptado (61%).

As reduções percentuais de DBO (98-99%) e DQO (83%) do efluente TCF foram aproximadamente iguais nos tratamentos com lodo adaptado e não adaptado (Figuras 1 e 2). O AOX não foi quantificado no efluente TCF tratado em razão do já baixo valor deste parâmetro no efluente TCF original (0,2 mg/L).

Foram observadas tendências opostas nos valores da cor dos efluentes ECF e TCF após o tratamento com lodos adaptado e não adaptado (Figuras 1 e 2). A cor do efluente ECF aumentou 22% após o tratamento com lodo adaptado, enquanto ela diminuiu 2,5% após o tratamento com lodo não adaptado. Por outro lado, a cor do efluente TCF diminuiu 1,6% após o tratamento com lodo adaptado e aumentou 13% após o tratamento com lodo não adaptado.

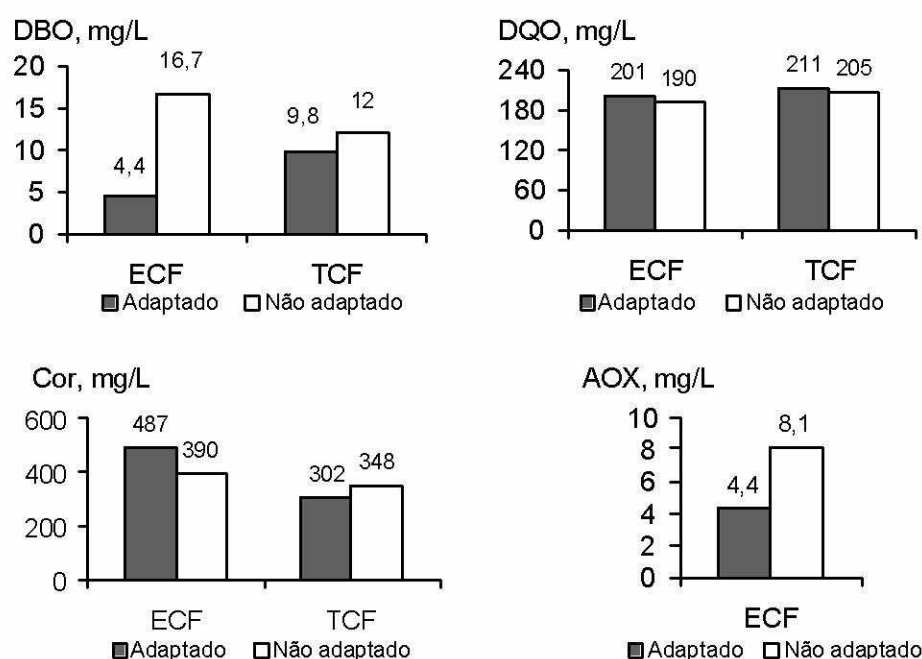


Figura 2 – Valores de DBO, DQO, cor e AOX de efluentes ECF e TCF tratados com lodo biológico adaptado e não adaptado ao efluente.

Deve-se lembrar que o tratamento em batelada do efluente ECF foi realizado com concentração de lodo mais de três vezes menor do que o tratamento do efluente TCF, devido à menor DBO desse primeiro efluente. Em estudo preliminar (dados não apresentados), o tratamento do efluente TCF com lodo adaptado ao efluente ECF, na concentração menor usada no tratamento do efluente ECF, resultou em redução percentual muito menor de DBO e DQO do efluente TCF (Mounteer, 2000). Grandes variações nos níveis de DBO do efluente a ser tratado podem afetar a estabilidade de um tratamento contínuo, possivelmente por causa das alterações na composição do lodo biológico (Jenkins et al., 1993). Por esta razão, a equalização de carga de matéria orgânica no efluente a ser tratado é considerada tão importante quanto a equalização da vazão do efluente para a operação estável do sistema de tratamento por Grady et al. (1999).

Degradação da matéria orgânica dissolvida nos efluentes ECF e TCF por lodo biológico adaptado e não adaptado

A avaliação da degradação da matéria orgânica dissolvida nos efluentes pelos lodos biológicos adaptados aos efluentes ECF e TCF (Figura 3) mostra a existência de diferenças relativas à capacidade de remoção da matéria orgânica dissolvida nos dois tipos de efluentes pela microbiota

existente nos lodos, bem como a importância relativa da adaptação do lodo ao efluente que está sendo tratado.

A matéria orgânica no efluente TCF (Figura 3B) foi degradada mais rapidamente (maior inclinação das curvas de tempo *versus* A590) e de forma mais completa (maiores valores máximos de A590), tanto pelo lodo adaptado ao efluente TCF como pelo lodo adaptado ao efluente ECF, do que a matéria orgânica no efluente ECF (Figura 3A). Os dois tipos de lodo atingiram o mesmo grau de degradação da matéria orgânica do efluente TCF (Figura 3B), mas o lodo adaptado ao efluente ECF foi capaz de degradar a matéria orgânica do efluente ECF de forma mais completa do que o lodo adaptado ao efluente TCF (Figura 3A).

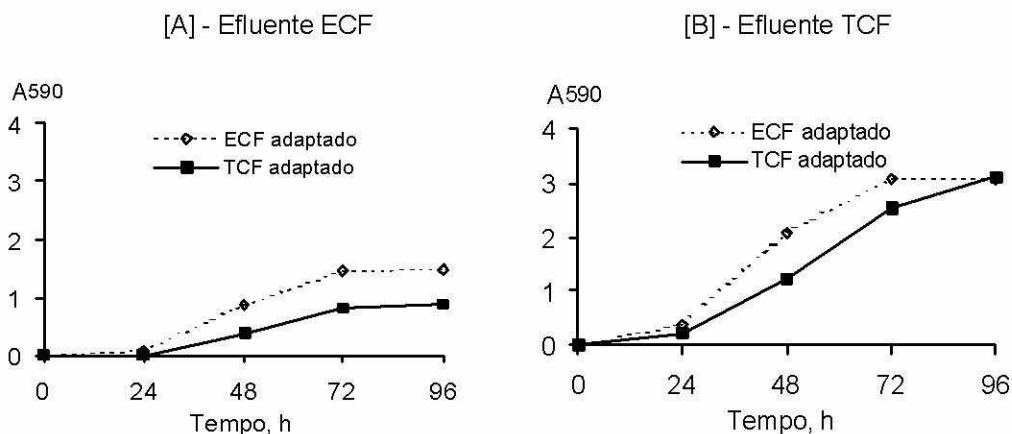


Figura 3 – Velocidade relativa de degradação (A590) da matéria orgânica dissolvida [A] no efluente ECF e [B] no efluente TCF em poços de placas BiologMT[®], após inoculação com lodo biológico adaptado ao efluente ECF ou efluente TCF.

A capacidade do lodo biológico adaptado ao efluente ECF de degradar a matéria orgânica no efluente TCF (Figura 3B) foi refletida nos resultados similares obtidos nos tratamentos do efluente TCF em batelada (Figura 2). A adaptação prévia do lodo biológico ao efluente TCF não aumentou a eficiência de remoção de DBO ou DQO. Por outro lado, o lodo adaptado ao efluente TCF foi menos eficiente na degradação da matéria orgânica no efluente ECF do que o lodo adaptado ao efluente ECF (Figura 3A). Isso também foi refletido na menor redução de DBO e AOX no efluente ECF tratado com lodo não adaptado.

O menor aumento nos valores da cor do efluente TCF (-1,6% a 13%) que do efluente ECF (-2,5% a 22%) após o tratamento em batelada pode ser atribuído à remoção elevada de DQO (83%) do efluente TCF. Essa remoção, a exemplo da sugerida por Dahlman et al. (1995), pode resultar em menor número de grupos cromóforos intermediários remanescentes.

Os resultados sugerem que a matéria orgânica dissolvida no efluente ECF seja de mais difícil degradação do que aquela dissolvida no efluente TCF. Isso pode ser atribuído à natureza química da matéria orgânica. Conforme já discutido, o branqueamento TCF resultou em maior dissolução da fração celulósica da polpa do que o branqueamento ECF, e portanto, o efluente TCF contém maior concentração de carboidratos do que o efluente ECF. Esta tendência já foi observada por Dahlman et al. (1995), que relataram que efluentes de branqueamento TCF contêm mais carboidratos, principalmente xilanas, que efluentes ECF e que efluentes de branqueamento ECF contêm mais matéria orgânica originária da degradação de estruturas fenólicas da lignina. Herstad-Svárd et al. (1997) demonstraram que a natureza da matéria orgânica dissolvida no efluente de branqueamento afeta a sua biodegradabilidade durante o tratamento biológico, e a remoção de DQO em efluentes com níveis mais altos de carboidratos é mais completa que a remoção de DQO em efluentes com níveis maiores de lignina.

Alguns compostos, em particular os organoclorados, são reconhecidamente recalcitrantes, por conter estruturas químicas desconhecidas na natureza, como a ligação C-Cl (Jokela et al., 1993). A menor remoção percentual de DQO do efluente ECF (61%) em relação à do efluente TCF (83%) foi atribuída, em parte, à presença desses compostos recalcitrantes. A adaptação prévia do lodo

biológico ao efluente ECF aumentou a eficiência de remoção de DBO e AOX no tratamento em batelada (Figura 2), refletindo a maior velocidade de degradação da matéria orgânica no efluente ECF pelo lodo adaptado (Figura 3A). Já foi demonstrado que a adaptação do lodo biológico aos efluentes ECF e TCF resulta no estabelecimento de comunidades bacterianas distintas (Mounteer et al., 2000). Os resultados obtidos neste estudo indicam que os microrganismos que se estabeleceram no lodo adaptado ao efluente ECF foram capazes de degradar o AOX com maior eficiência que os presentes no lodo adaptado ao efluente TCF.

CONCLUSÕES

A adaptação do lodo biológico ao efluente ECF afeta, positivamente, a sua capacidade de degradar a matéria orgânica dissolvida neste efluente, resultando em maiores reduções percentuais de DBO e AOX. A adaptação do lodo biológico ao efluente TCF tem pouco efeito porque a matéria orgânica dissolvida neste efluente está mais facilmente biodegradada. A matéria orgânica dissolvida em efluente TCF é degradada mais rapidamente e de forma mais completa pelos microrganismos presentes no lodo biológico do que a dissolvida em efluente ECF. Isso leva a uma maior redução percentual de DQO em efluente TCF do que em efluente ECF, mesmo sem a adaptação prévia do lodo. Estudos futuros deveriam investigar o tempo necessário para a adaptação do lodo biológico ao efluente ECF, e o impacto da fase de adaptação em processos de tratamento contínuo.

BIBLIOGRAFIA

- Buitrón, G., González, A. Characterization of the microorganisms from an acclimated activated sludge degrading phenolic compounds. **Wat. Sci. Tech.**, v. 34, n.5-6, p.289-294, 1996.
- Cates, D.H., Eggert, C., Yang, J.L., Eriksson, K-E. L. Comparison of effluents from TCF and ECF bleaching of kraft pulps. **Tappi**, v. 78, n.12, p.93-98, 1995.
- CPPA - Canadian Pulp and Paper Association. **Technical Section Standard Test Methods**. Montreal: 1986.
- Dahlman, O., Reimann, A.K., Stomberg, L.M., Mörck, R.E. High-molecular-weight effluent materials from modern ECF and TCF bleaching. **Tappi**, v. 78, n.12, p.99-109, 1995.
- Eaton, A.D., Clesceri, L.S., Greenberg, A.E. (Eds.). **Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed.** Washington: American Public Health Association, 1995.
- Fulthorpe, R.R., Allen, D.G. Evaluation of Biolog MT plates for aromatic and chloroaromatic substrate utilization tests. **Can. J. Microbiol.**, v. 40, p.1067-1071, 1994.
- Garland, J.L., Mills, A.L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization. **Appl. Environ. Microbiol.** v. 57, n.8, p.2351-2359, 1991.
- Grady, C.P.L., Daigger, G.T., Lim, H.C (Eds.). **Biological wastewater treatment. 2 ed.** New York: Marcel Dekker, 1999. 1076p.
- Herstad-Svård, S., Basta, J., Jour, P., Wåne, G. Caracterização comparativa dos efluentes de modernas plantas de branqueamento (ECF) – celulose de eucalipto e de fibra longa. In: Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, 30, 1997, São Paulo. **Anais...**, São Paulo: ABTCP, 1997. p.49-62.
- Jenkins, D., Richard, M.G., Daigger, G.T. **Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. 2 ed.** Chelsea: Lewis Publishers, 1993. 193p.
- Jokela, J.K., Laine, M., Ek, M., Salkinoja-Salonen, M. Effect of biological treatment on halogenated organics in bleached kraft pulp mill effluents studied by molecular weight distribution analysis. **Environ. Sci. Technol.**, v. 27, n.3, p 547-557, 1993.

- Larisch, B.C., Duff, S.J.B. Effect of H₂O₂ and DTPA on the characteristics and treatment of TCF (totally chlorine free) and ECF (elementally chlorine free) kraft pulping effluents. **Wat. Sci. Tech.**, v. 35, n.2-3, p.163-171, 1997.
- Liss, S.N., Allen, D.G. Microbiological study of a bleached kraft pulp mill aerated lagoon. **J. Pulp Paper Sci.**, v. 18, n. 6, p.J216-J221, 1992.
- Manz, W., Wagner, M., Amann, R., Schleifer, K-L. *In situ* characterization of the microbial consortia active in two wastewater treatment plants. **Wat. Res.**, v. 28, n.8, p.1715-1723, 1994.
- Mounteer, A.H. Caracterização de lodos ativados e de efluentes de branqueamento ECF e TCF de polpa kraft de eucalipto. Tese (doutorado). Viçosa: UFV, 2000. 114p.
- Mounteer, A.H., Colodette, J.L., Silva, D.O. Treatability of eucalypt kraft pulp ECF and TCF bleaching effluents: influence of molecular mass of dissolved organic matter. In: International Environmental Conference, 2001. **Tappi Proceedings**..., Atlanta: Tappi Press, 2001.
- Mounteer, A.H., Silva, D.O. Análise *in situ* da estrutura taxonômica de lodos ativados oriundos do tratamento de efluentes de branqueamento ECF e TCF em sistema de batelada. In: Encontro Nacional de Microbiologia Ambiental, 7. **Anais**..., Recife: FASA, 2000, p.37.
- Saunamäki, R. Treatability of wastewaters from totally chlorine-free bleaching. **Tappi**, v. 78, n.8, p.185-192, 1995.
- SCAN. **Test Methods**, Estocolmo: Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee, 1989.
- Stauber, J., Gunthorpe, G., Woodworth, J., Munday, B., Krasso, R., Simon, J. Comparative toxicity of effluents from ECF and TCF bleaching of eucalypt kraft pulps. **Appita**, v. 49, n.3, p.184-188, 1996.
- Tana, J., Lehtinen, K-J. **The aquatic environmental impact of pulping and bleaching operations – an overview**. Helsinki: Finnish Environment Institute, 1996, 103 pp.
- TAPPI - Technical Association Of The American Pulp And Paper Industry. **Test Methods**. Atlanta: Tappi Press, 1988.
- Victorio, L., Gilbride, K.A., Allen, D.G., Liss, S.N. Phenotypic fingerprinting of microbial communities in wastewater treatment systems. **Wat. Res.**, v. 30, n.5, p.1077-1086, 1996.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES pela concessão de uma bolsa de doutorado a um dos autores.