

TRATAMENTO BIOLÓGICO E FÍSICO-QUÍMICO PARA REUSO DOS EFLUENTES DO ESTÁGIO DE BRANQUEAMENTO

BIOLOGICAL AND PHYSICAL-CHEMICAL TREATMENT FOR BLEACH PLANT EFFLUENTS REUSE

Eduardo Cleto Pires
Luciana Nalim

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, EESC-USP

Português / Portuguese



Tratamento Biológico e Físico-Químico Para Reuso dos Efluentes do Estágio de Branqueamento

Eduardo Cleto Pires

Luciana Nalim

Escola de Engenharia de São Carlos, EESC-USP, Departamento de Hidráulica e Saneamento

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados parciais de pesquisa realizada com objetivo de avaliar a a qualidade das águas residuárias do branqueamento após aplicação de filtração por osmose reversa precedida de tratamento biológico e físico-químico para depuração inicial. Os tratamentos foram aplicados aos efluentes coletados nos estágios de extração alcalina e ácida da planta de branqueamento, sem diluição posterior. Obteve-se remoção de 83% da DQO; 95% da DBO; 80% do COT; remoção total de sólidos decantáveis, turbidez e fósforo, deixando apenas 63 mg/IPt de cor residual. Com relação aos sólidos totais, que englobam os íons cloreto e sulfato, além de outros componentes, conseguiu-se remoção de 70%. Não houve remoção significativa de cloretos. Comparando-se a qualidade do efluente final com os parâmetros requeridos para água fresca conclui-se que a qualidade atingida está próxima daquela requerida para preparo de produtos químicos na fabricação tanto de polpa química quanto de polpa mecânica.

Palavras chaves: Osmose reversa; efluentes do branqueamento; reuso da água; processo anaeróbio.

INTRODUÇÃO

A iminente cobrança pelo uso e disposição das águas, mesmo por usuários que possuam seu próprio sistema de captação, tratamento e disposição da água servida, poderá significar aumento considerável nos custos de fabricação de produtos que façam uso intensivo desse insumo (1). Este é o caso da celulose e papel. As tecnologias que estão sendo desenvolvida com o objetivo de diminuir o consumo de água de fabricação, em parte podem ser uma resposta para essa nova situação. Outra possibilidade é o reuso das águas servidas após algum tipo de tratamento. Tecnologias de tratamento que eram consideradas economicamente inviáveis podem, agora, tornar-se competitivas e até mesmo necessárias. A presente proposta insere-se nesse campo de atuação.

O branqueamento da celulose, ainda hoje, apesar da introdução de novas seqüências e reagentes, é a etapa de produção que gera a maior carga poluente. Normalmente, no branqueamento convencional, são feitos descartes de água em dois pontos, sendo um com pH ácido, correspondendo a 60% do efluente e outro com pH alcalino, correspondendo a 40% do volume descartado. O próprio objetivo do branqueamento ocasiona a formação de efluentes que geralmente possuem cor e cargas orgânicas elevadas, contendo compostos químicos orgânicos complexos,

muitos deles com elevada toxicidade. Mesmo o branqueamento totalmente livre de cloro produz efluentes de difícil degradação biológica. Dessa forma o reuso direto desses efluentes, mesmo para fins que requerem água com baixa qualidade, normalmente é impossível.

Por sua vez as tecnologias de tratamento avançado de águas residuárias industriais estão alcançando estágios não imaginados a poucos anos atrás, com custos cada vez mais atraentes. Produtores de equipamentos para osmose reversa, por exemplo, indicam que hoje o custo de instalação e operação da maioria dos sistemas de tratamento que empregam essa tecnologia é cerca de 1/3 daquele encontrado há dez anos.

Assim, considerando-se esses fatos – aumento do custo de água, volume elevado de efluentes do branqueamento e disponibilidade com custos competitivos de tratamento avançados para águas residuárias –, justifica-se a avaliação técnica e econômica da integração de processos de tratamento de efluentes que permitam o reuso industrial das águas descartadas na planta de branqueamento.

OBJETIVO

Avaliar a utilidade e desempenho da osmose reversa no tratamento de efluentes da planta de branqueamento da pasta celulósica para produzir água com qualidade industrial para reuso no processamento de polpa celulósica visando redução significativa do consumo específico da água de fabricação – vide Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água.

Parâmetro	Fabricação de Polpa Kraft Branqueada*	Fabricação de Polpa Mecânica*	Portaria 36 Ministério da Saúde (Água Potável)
DBO (mg/l)			5
SD (mg/l)	<300	200	
Cor	<25 HU	5 TCU	5 mg/lPt (aparente)
Turbidez (NTU)	<40	5	1
COT (mg/l)			5
Alcalinidade (mg/l)	<75	75	
Dureza (mg/l)	<100	100	500,0
Cloretos (mg/l)	<200	20	250,0
Sulfato (mg/l)			400,0

* - Fonte: Water use reduction in the pulp and paper industry (2)

DBO - Demanda bioquímica de oxigênio

SD - Sólidos decantáveis

COT - Carbono orgânico total

FUNDAMENTOS

Osmose Reversa

O fenômeno da osmose é de fundamental importância na natureza já que o transporte seletivo através de membranas é essencial à vida e foi descrito pela primeira vez há mais de duzentos anos.

A Osmose Reversa é obtida por meio da aplicação mecânica de uma pressão superior à pressão osmótica do lado da solução mais concentrada. Assim sendo, por esse processo pode ser retirada, por meio de uma membrana semi-permeável, água pura de uma solução salina. Para isso basta que a solução em questão se encontre a uma pressão superior a pressão osmótica relativa à

sua concentração salina. Na prática, esse efeito é obtido pressionando-se a solução, por meio de uma bomba, através de um vaso de pressão onde está contida a membrana, vaso este denominado permeador. A Figura 1 mostra o fluxograma da separação por osmose reversa.

A água pura e a solução agora mais concentrada são retiradas de forma contínua dos dois lados da membrana, de modo que a pressão osmótica e a concentração de sais se mantenham em níveis aceitáveis para que o processo não seja interrompido. A água assim obtida é denominada de produto, ou permeado, e a solução concentrada de concentrado ou rejeito.

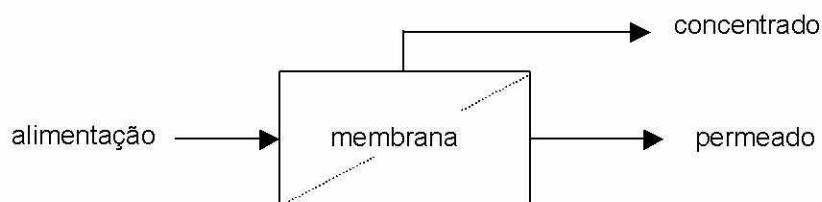


Figura1 - Fluxograma do processo de separação por osmose reversa

A princípio, o processo de osmose reversa é aplicado na separação, concentração e fracionamento de substâncias inorgânicas e orgânicas (iônicas ou não iônicas), em soluções aquosas ou não aquosas, tanto no estado gasoso como no estado líquido. Considerando o mecanismo de retenção de partículas de soluto preferivelmente às moléculas de água, o processo é regido por um fenômeno de superfície. A natureza química adequada da superfície do filme em contato com a solução a ser purificada, assim como a existência de poros de dimensão apropriada na superfície deste filme constituem os requisitos indispensáveis ao sucesso deste processo de separação.

Algumas Aplicações dos Processos de Separação por Membranas na Indústrias de Polpa Celulósica e Papel

Pode-se destacar cinco grandes setores da indústria de polpa e papel onde o tratamento via processos com membranas já é viável, embora nem sempre aplicado:

- recuperação de lignina sulfonada do processo sulfito,
- recuperação de lignina alcalina no processo sulfato,
- concentração de licor sulfito esgotado,
- tratamento de efluentes do estágio de branqueamento,
- tratamento de água branca gerada na fabricação de papel.

O emprego de processos de separação com membranas na indústria de polpa e papel teve início em 1971, quando a DDS (De Danske Sukkerfabikker - Dinamarca) desenvolveu o primeiro processo de recuperação de lignina do processo sulfito para a sua utilização como ligante, aditivos e vanilina (3). Em 1973, foi instalada a sua primeira planta de ultrafiltração, substituindo o processo convencional de precipitação com excesso de cal. Empregando apenas o processo de ultrafiltração é possível obter um produto (lignina sulfonada) com 80% de pureza. Em algumas plantas a ultrafiltração é combinada com a diafiltração (adição de água de alimentação) obtendo-se um concentrado com 25% de sólidos totais, com lignina sulfonada de 95% de pureza.

No processo de polpeamento Kraft Sulfato a composição típica do licor negro produzido contém aproximadamente 41% de lignina alcalina (4). O processo de ultrafiltração é utilizado na fabricação de adesivos. A diafiltração também é usada para obtenção de um produto mais puro.

Desde o início da década de 70 estudos tem sido realizados utilizando processos com membranas para o tratamento de água branca, que é um efluente da fabricação de papel. Os sérios problemas operacionais, causados pela polarização de concentração (fenômeno no qual a concentração de sais dissolvidos próximos à superfície da membrana é maior que a concentração média da água que flui mais distante da superfície considerada) têm impedido que processos com membranas para tratamento de água branca sejam empregados em escalas superiores à de laboratório. Vários exemplos destes processos são fornecidos por Jonsson e colaboradores (4, 5), utilizando membranas de polissulfona e membranas compostas. Com o desenvolvimento de novas membranas e módulos abrem-se novas perspectivas para aplicação destes processos para o tratamento de efluentes.

Os principais estudos e plantas instaladas de ultrafiltração, em escala de laboratório e piloto, estão concentrados no tratamento de efluentes do estágio da extração alcalina (E) para a remoção de cor (remoção de 85% a 95%). Essa remoção está associada aos compostos de alto peso molecular provenientes da lignina.

Segundo boletim técnico publicado pelo NCASI (6), desde 1970 pesquisas importantes tem sido conduzidas usando processos de membranas para remoção de cor, DQO, AOX, TOC, e produtos químicos variáveis para descargas de efluentes. Na remoção de poluentes do efluentes, os processos de membranas tem sido examinados por seu potencial de conservação de energia e recuperação de água e matéria prima. O boletim técnico citado é uma revisão comparativa do desenvolvimento de membranas e comercialização da tecnologia de membranas para abatimento da poluição e conservação da água na industria de papel e celulose

Observe-se ainda que a filtração por membranas pode remover substâncias não biodegradáveis tendo uma boa eficiência na combinação com tratamentos biológicos, conforme comentado na próxima sessão.

Processos Híbridos: Membranas / Biológicos

Muitos exemplos de combinação de dois ou mais processos (processos híbridos) são encontrados na literatura pois, em geral, estas combinações são mais vantajosas do que a utilização dos processos em separado (7). Os processos híbridos podem reduzir o custo total de produção, o consumo de energia e aumentar a eficiência de separação. A tecnologia de membranas é extremamente flexível quanto a sua utilização associada a outros processos, tornando-a, portanto, bastante atrativa para aplicações híbridas. Recentemente, a aplicação no tratamento de águas residuárias vem se destacando devido ao grande potencial para a produção de um efluente de alta qualidade.

A idéia de combinar filtração com membranas e processos biológicos para o tratamento de efluente da indústria de polpa e papel data da década de 80, quando as normas ambientais se tornaram mais rígidas. Entretanto a grande maioria das patentes pertinentes foram registradas recentemente e têm uma aplicação geral para tratamento de águas residuárias.

Uma patente específica (8) sobre o tratamento de efluentes da indústria de polpa e papel foi depositada em 1990. O processo proposto utiliza um estágio de tratamento biológico, aeróbio ou anaeróbio seguido de filtração com membranas, com reciclo do concentrado e descarte do permeado. O trabalho científico mais completo sobre o assunto é atribuído à este mesmo grupo e aborda a influência das condições de branqueamento e filtração por membrana no tratamento biológico do efluente de branqueamento Kraft.

Condições para Aplicação do Processo de Osmose Reversa

O pré-tratamento adequado da água de alimentação, afluente de um sistema de osmose reversa, é primordial para a operação bem sucedida do equipamento. Os requisitos básicos de pré-tratamento devem ser cuidadosamente avaliados sendo esta etapa do processo de desmineralização considerada como o subsistema de maior importância dentro do sistema que constitui a instalação completa (9)

No caso da indústria de papel e celulose, experimentos desenvolvidos no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, têm demonstrado que muitos compostos considerados recalcitrantes aos tratamentos biológicos aeróbios, em condições adequadas e com adaptação dos meios de cultura, chegam a ter remoção superior a 90% quando submetidos a tratamentos anaeróbios. Tem-se observado redução significativa na concentração de organoclorados.

O pré-tratamento anaeróbio consiste na manutenção do efluente em um reator biológico que contem um lodo adaptado ao substrato em tratamento. O reator pode ser contínuo, atualmente os mais usados, ou em batelada. Esse tratamento provoca a solubilização de parte da matéria sólida e crescimento de microrganismos que em seu metabolismo transformam compostos complexos em outros mais simples, culminando com a formação de metano e gás carbônico. Os microrganismos são eliminados como lodo orgânico. Uma das vantagens dos processos anaeróbios é a baixa produção de lodo em relação àquela que é formado nos tratamentos aeróbios convencionais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram avaliados alguns procedimentos para o pré-tratamento, avaliando-se a qualidade da água obtida em cada etapa para um estudo posterior sobre o uso possível que pode ser dado à água pré-tratada.

A base de todo trabalho está na caracterização e controle das substâncias potencialmente incrustantes, eventualmente presentes no afluente do equipamento de filtração por osmose reversa. Já se verificou que o sucesso na operação, a longo prazo, de um equipamento de osmose reversa é fácil de ser atingido, desde que este seja precedido de um método apropriado para o pré-tratamento da água de alimentação.

A seleção do sistema de pré-tratamento, aplicado neste trabalho, objetiva maximizar a eficiência da remoção de compostos orgânicos e inorgânicos, aumentando a vida útil das membranas, Figura 2.

Para esta pesquisa foram utilizados efluentes gerados em uma indústria de celulose, coletados nos estágios de extração ácida e alcalina da planta de branqueamento. Para diminuir a

necessidade de grandes volumes de amostras, que inviabilizariam a execução dos ensaios nos Laboratórios do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, exigindo que todos os testes fossem feitos na própria indústria, os testes foram realizados em batelada. Os volumes dos reatores e o projeto de equipamento experimental de filtração por osmose reversa foram determinados, em função da capacidade de armazenamento das amostras e custos de transporte.

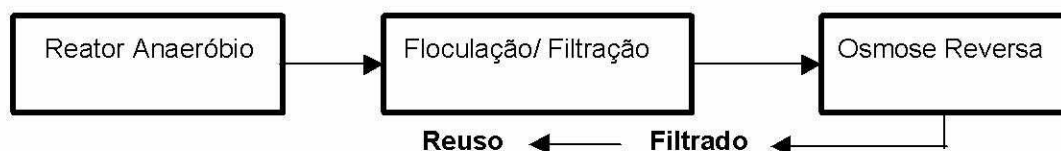


Figura 2 - Fluxograma do tratamento empregado neste trabalho.

O condicionamento do efluente do tratamento biológico, para que possa ser recebido pelo equipamento de osmose reversa, consistiu em decantação, seguida de floculação/filtração. A floculação/filtração foi empregada para simular as operações de floculação seguida de flotação por ar dissolvido. Essa última operação não pode ser empregada por que os equipamentos disponíveis exigiam um volume de água a ser tratada maior que o disponível. Assim sendo escolheu-se um filtro que proporcionava a mesma eficiência de remoção que tem sido observada na flotação por ar dissolvido – papel de filtro Whatman 42. A floculação foi provocada com a adição de 2,5 mg/l de sulfato de alumínio e carbonato de cálcio, para controle do pH, mantido em 8. Experimentos realizados em uma instalação piloto, tratando os efluentes de um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo - UASB - que tem esgoto sanitário como substrato, mostrou que esse processo tem proporcionado remoção significativa de diversos metais resultando em eficiência global para o sistema de tratamento superior a 95%

Mesmo esse nível de tratamento ainda é inadequado para o condicionamento da água para aplicação do processo de osmose reversa. A duração das membranas será curta. Portanto foram testados sistemas de floculação/filtração adicionais.

Em resumo, a metodologia consistiu na execução de tratamento biológico anaeróbio seguido de pós tratamento para retirada de material sólido – floculação/filtração antes da aplicação de osmose reversa.

Na fase de estudos laboratoriais foram realizados os seguintes ensaios: sólidos suspensos e sólidos totais, sólidos decantáveis, sólidos voláteis, DBO, DQO, condutividade, cor, cloretos, turbidez, dureza, sulfeto, sulfato, fosfato total, nitrato. As amostras foram caracterizadas após no mínimo três repetições, em cada uma das etapas de tratamento.

O trabalho experimental foi realizado durante quatro semanas, acumulando-se durante a semana o efluente do tratamento biológico para receber o pós-tratamento físico-químico. Durante todos os ensaios foi mantida a mesma membrana, fornecida pela empresa OSMONICS Inc., cujas características encontram-se resumidas na Tabela 2.

Todas as análises seguiram procedimentos padronizados apresentados no “Standard Methods for Water and Wastewater Examination (10)

Tabela 2 - Características da membrana de osmose reversa

Fornecedor:	OSMONICS Inc. (EUA)
Peso molecular - (faixa de corte nominal aproximada):	1.100 a 8.000
Tipo de polímero:	HP
Pressão de trabalho:	6,9 bar (máxima: 69 bar)
Faixa de pH recomendado:	0,5 a 13
Temperatura máxima:	100°C
Concentração máxima de cloro livre recomendada:	25ppm

RESULTADOS

A Tabela 3 resume os principais resultados desse trabalho. Alguns aspectos mais importantes são realçados a seguir. Nestes comentários os valores apresentados representam o valor central do parâmetro, calculado pela média ou eventualmente pela mediana.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de tratamento.

Parâmetro	Etapa	Afluente Bruto	Afluente Floculação/ Filtração	Afluente Osmose Reversa	Efluente Tratado
DBO (mg/l)	S1	552	465	74	33,3
	S2	570	350	46	25,5
	S3	576	260	69	32,7
	S4	576	315	180	22,7
DQO (mg/l)	S1	1360	734	262	225
	S2	1482	866	232	219
	S3	1344	680	241	217
	S4	1344	830	425	350
ST (mg/l)	S1	2222	1572	935	701
	S2	2477	1663	715	600
	S3	2526	1757	1000	829
	S4	2526	2089	1200	769
SS (mg/l)	S1	430	56	20	4
	S2	409	91	10	2
	S3	224	42	18	6
	S4	224	167	22	8
SV (mg/l)	S1	1041	1041	306	152
	S2	1480	600	487	172
	S3	733	520	164	65
	S4	733	731	564	381
SD (mg/l)	S1	57	7	nd	nd
	S2	60	1	nd	nd
	S3	30	4	nd	nd
	S4	30	10	nd	nd
Cor (mg/l Pt)	S1	1460	1232	103	69
	S2	1280	1560	173	68
	S3	780	1505	199	57
	S4	780	1600	342	60
Turbidez (NTU)	S1	111,0	82,3	4,68	0,3
	S2	75,0	60,3	9,90	0,2
	S3	56,5	48,4	11,7	0,3
	S4	56,5	135,0	22,7	0,4

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de tratamento - cont.

Parâmetro	Etapa	Afluente Bruto	Afluente Floculação/ Filtração	Afluente Osmose Reversa	Efluente Tratado
COT (mg/l)	S1	361,0	148,0	117,0	94,2
	S2	320,0	130,0	98,3	84,6
	S3	290,3	140,0	85,7	56,7
	S4	290,3	150,0	64,3	21,4
Alcalinidade (mg/l)	S1	156,0	600,0	185,2	84,2
	S2	216,0	610,0	170,7	77,7
	S3	297,8	668,0	185,2	90,2
	S4	297,8	608,8	267,3	122,2
Dureza (mg/l)	S1	42,0	31,5	5074,0	49,3
	S2	11,2	50,8	5075,0	45,3
	S3	44,66	54,8	4060,0	29,5
	S4	44,66	50,7	3045,0	25,6
Cloretos (mg/l)	S1	200,4	300,0	230,0	184,0
	S2	250,0	225,0	235,0	194,0
	S3	215,0	325,0	265,0	234,0
	S4	215,0	310,0	255,0	198,0
Sulfato (mg/l)	S1	27,0	nd	540,0	506,0
	S2	27,5	0,98	470,0	402,9
	S3	38,3	1,95	445,0	410,3
	S4	38,3	0,80	400,0	390,4
Fosfato (mg/l)	S1	5,2	4,8	0,0457	nd
	S2	2,22	4,37	0,0404	0,022
	S3	1,78	2,64	0,0275	nd
	S4	1,78	3,93	0,0517	0,0057

DQO - Demanda Química de Oxigênio
 DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
 COT - Carbono Orgânico Total

ST - Sólidos Totais
 SS - Sólidos Suspensos
 SV - Sólidos Voláteis
 SD - Sólidos Decantáveis

Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): O pré-tratamento biológico proporcionou uma eficiência de remoção de 44% na DQO e 46% na DBO. Esses dois parâmetros foram significativamente reduzidos na etapa de floculação/filtração. A operação de osmose reversa removeu a DBO porém não reduziu a DQO. Essa ocorrência é explicada pela pequena remoção de íons pela membrana, como pode ser observado para as medidas de cloretos e sulfato. A remoção global atingiu 95% para a DBO e 83% para a DQO.

Sólidos: Os sólidos suspensos e decantáveis foram totalmente removidos pelo pré-tratamento biológico e físico-químico. Após a aplicação da osmose reversa restaram cerca de 720 mg/l de sólidos totais dos quais 540 mg/l são cinzas (sólidos totais menos sólidos voláteis).

Cor e turbidez: O tratamento aplicado removeu 94% da cor inicial e 99,5% da turbidez. Observa-se que pelas características do processo anaeróbio, estes parâmetros podem ser elevados durante o tratamento biológico, como ocorreu nos experimentos aqui reportados.

Alcalinidade e dureza: O pré-tratamento anaeróbio exige, para manter sua eficiência, que a alcalinidade inicial seja mantida em torno de 200 mg/l a 300 mg/l, que quando necessário é alcançada adicionando-se bicarbonato. Os tratamentos subsequentes, em função ou da adição de outros íons ou da remoção de compostos diversos provocaram a redução da alcalinidade encontrada na saída do reator anaeróbio para valores em torno de 90 mg/l no efluente da osmose reversa. O aumento da dureza na etapa de floculação/filtração é resultado da adição de carbonato de cálcio para controle do

pH, necessário para proporcionar floculação eficiente. Essa dureza adicional é praticamente toda removida pela osmose reversa, voltando esse parâmetro aos valores encontrados na entrada do tratamento.

Carbono orgânico total (COT): Porcentualmente a maior remoção de matéria orgânica se dá no tratamento biológico, 55%. Conseguem-se remoções adicionais nos processos subsequentes, havendo decaimento de 20% na passagem pela osmose reversa. Em termos globais a remoção atingiu 80% do carbono orgânico total.

Cloretos, sulfato e fosfato: A remoção global de cloretos, particularmente na operação de osmose reversa foi insignificante, não ultrapassando 22%. Portanto, se houver necessidade de remoção desses íons, um tratamento posterior seria necessário. Com relação ao fósforo, medido pela quantidade de fosfato, a operação de floculação com sulfato de alumínio provoca a precipitação desses íons que foram removidos posteriormente na filtração. Praticamente nada restou para ser removido pela membrana de osmose reversa. A adição de sulfato de alumínio para provocar a floculação acarreta o aparecimento de íons sulfato que também não foram removidos pela operação de osmose reversa.

CONCLUSÃO

O tratamento proposto neste trabalho proporcionou a remoção de 83% da DQO; 95% da DBO; 80% do COT; remoção total de sólidos decantáveis, turbidez e fósforo, deixando apenas 63 mg/lPt de cor residual. Com relação aos sólidos totais, que englobam os íons cloreto e sulfato, além de outros componentes, conseguiu-se remoção de 70%. Não houve remoção significativa de cloretos e o processo requer a adição de sulfato de alumínio na dosagem de 2,5 mg/l. A etapa de osmose reversa, em particular, foi responsável pela remoção elevada de cor, turbidez e DBO.

Comparando-se a qualidade do efluente final com os parâmetros de potabilidade encontrados na Tabela 1 conclui-se que a qualidade atingida está próxima daquela requerida para preparo de produtos químicos na fabricação tanto de polpa química quanto de polpa mecânica. Requer-se um esforço adicional de otimização das operações e eventualmente da escolha de uma membrana mais adequada para a osmose reversa. Nesta etapa do trabalho não se avaliaram os aspectos econômicos.

Agradecimentos: Os autores agradecem à Fapesp pelo auxílio financeiro para esta pesquisa (Processo 96/4544-8 e 95/0472-0), ao CNPq (Processo 300038/88-7) pela concessão da bolsa de pesquisa do Prof. Eduardo Pires e mestrado da Quim. Luciana Nalim e à Celpav pelo fornecimento dos efluentes do branqueamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SOUZA M. P., *A Cobrança Sobre o Uso dos Recursos Hídricos*, Revista Cetesb de tecnologia e Ambiente, Vol. 6 número 1 pg 25-27 - 1992.
2. H. A. Simons Ltd.; NLK Consultants Inc. e Sandwell Inc. *Water Use Reduction in the Pulp and Paper Industry 1994*, PAPRICAN
3. OLSEN, O., "Membrane Technology in the pulp and paper industry", *Desalination*, No 35, 291-302, (1980) (Apud Lage 1997).

4. JONSSON, A-S & WMMERSTEDT, R., "The Application of membrane technology in pulp and paper industry", *Desalination*, No 53, 181-196, (1985) (Apud Lage 1997).
5. JONSSON A-S & TRAGARDH, G., "Ultrafiltration Aplicacion", 77, 135-179, (1990) (Apud Lage 1997).
6. Boletim Técnico NCASE nº 763, Membrane Technology Applications in the pulp and paper industry .
7. LAGE L.E.C., ARAÚJO A G., BORGES R. M. H., SANT'ANNA JR. G. L. E NOBREGA R. *Aplicação de Processos Híbridos: Membranas / Biológicos na Indústria de Polpa e Papel*, 1997.
8. ALMEMARK, M., BOMAN, B. & FROSTELL, B., "A Method for Biological Treatment of Wastewater", Pat WO 90/15028, PCT, AB Institutet for Vatten-och Luftvardsforskning, (1990) (Apud Lage 1997)
9. MINERBO M., *Manual Técnico Sobre Osmose Reversa "Membrane Filtration Systems"*
10. APHA, AWWA e WEF - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19th ed.