

USO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE SOB A ÓTICA DA
GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Karen Juliana do Amaral

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS
EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovada por:

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph. D.

Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman, Ph. D.

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph. D.

Prof. Geraldo Lippel Sant'Anna, Dr. Ing.

Prof. José Carlos Cunha Petrus, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL DE 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

AMARAL, KAREN JULIANA DO

Uso de Água em Indústria de Papel
e Celulose sob a Ótica da Gestão de
Recursos Hídricos [Rio de Janeiro] 2008.

IX, 187p., 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,
Engenharia Civil, 2008)

Tese – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Uso da água
2. Indústria de papel e celulose
3. Gestão de recursos hídricos
4. Cobrança pelo uso da água

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que representa a minha raiz e a minha fonte de energia inesgotável, onde busquei e reencontrei minhas forças para vencer os momentos de fraqueza e desânimo e com isso pude chegar ao fim desse longo e muitas vezes solitário caminho.

Ao meu noivo Guilherme e sua família, pelo apoio e incentivo imensuráveis, sempre companheiro, compreensivo e paciente durante toda a caminhada.

A Elinor e Dietrich, pelas portas abertas, pelo carinho e apoio.

Ao Professor José Paulo Soares de Azevedo, pela orientação e apoio na elaboração da tese. Ao Professor Paulo Cesar Colonna Rosman, pela oportunidade inicial de poder cursar o doutorado e orientação no trabalho.

Ao Professor Geraldo Lippel, pelo constante acompanhamento e orientação durante o trabalho.

Ao Professor Uwe Menzel, pelo acolhimento e estrutura fornecida em seu departamento e pelo apoio na realização das visitas de campo na Europa.

Aos meus colegas da Universidade de Stuttgart, que me acolheram e ajudaram durante a minha adaptação e estada em seu país.

A todo o pessoal da Klabin Papéis Monte Alegre, pela receptividade e prestatividade durante meu estágio.

A todos os meus amigos queridos distribuídos nesse mundo, por sempre terem uma palavra de afeto e incentivo.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D. Sc.)

USO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE SOB A ÓTICA DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Karen Juliana do Amaral

Abril/2008

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo
Paulo Cesar Colonna Rosman

Programa: Engenharia Civil

O presente trabalho tem seu foco no setor industrial de celulose e papel, que, além da grande importância econômica no Brasil, sob a ótica da Gestão de Recursos Hídricos, é considerado um típico consumidor de água bruta, apresentando cargas elevadas de DQO e sólidos suspensos em seus efluentes. A tese apresenta e discute a legislação brasileira e alemã de Recursos Hídricos com destaque para esse setor industrial e identifica os usos da água e caracteriza o efluente produzido nas diferentes etapas do processo. Os parâmetros de controle de qualidade da água relevantes para identificação das cargas deste setor são apresentados e discutidos. O trabalho apresenta e discute também diferentes medidas para minimização do consumo de água bruta, vazão de efluentes e cargas poluentes, com aplicações práticas no setor e seus referentes custos, contrastando-os com o valor a ser pago pela cobrança pelo uso da água, calculado através de um exemplo prático de planta integrada de celulose e papel.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D. Sc.)

WATER USE IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY FOCUSING ON THE
WATER RESOURCES MANAGEMENT

Karen Juliana do Amaral

April/2008

Advisors: José Paulo Soares de Azevedo
Paulo Cesar Colonna Rosman

Department: Civil Engineering

The present work focuses on the pulp and paper sector. Beyond the great economic importance in Brazil and under the of the Water Resources Management framework, this sector is considered a typical raw water consumer, whose wastewater presents high loads of COD and suspended solids. This thesis presents and discusses the Brazilian and German Water Legislations for the pulp and paper industry, identifies water uses and characterizes the effluent produced at different stages of the industrial process. The most important water quality control parameters for this industry are discussed. The research work also presents and argues different measures for the minimization of water consumption, outflow of effluent and pollutant loads with practical applications in the sector and its referring costs, contrasting them with the value to be paid for the water and use collection, calculated through a practical example of an integrated pulp and paper plant.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	3
1.2	OBJETIVOS	4
1.3	METODOLOGIA E ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO DA TESE	4
2	A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	7
2.1	A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIRA.....	7
2.1.1	A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE RIOS FEDERAIS	7
2.1.2	A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS EM BACIAS ESTADUAIS – ESTUDO DE CASO ESTADO DO PARANÁ.....	8
2.2	A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS DA COMUNIDADE EUROPÉIA.....	20
2.2.1	HISTÓRICO	20
2.2.2	ESTRUTURA	22
2.2.3	DIRETIVAS DA COMUNIDADE EUROPÉIA.....	23
2.2.4	LEIS DE RECURSOS HÍDRICOS DA REPÚBLICA FEDERATIVA DA ALEMANHA	24
2.3	CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS.....	43
3	O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.....	47
3.1	DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE	47
3.2	BRANQUEAMENTO.....	49
3.3	FABRICAÇÃO DE PAPEL	51
3.3.1	ADITIVOS PARA ENCHIMENTO E PIGMENTOS.....	51
3.3.2	ADITIVOS QUÍMICOS	51
3.3.3	O PROCESSO DA PRODUÇÃO DO PAPEL.....	53

4	OS USOS DA ÁGUA NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.....	56
4.1	TERMINOLOGIA	57
4.2	PÁTIO DE MADEIRA	60
4.3	CELULOSE	60
4.4	BRANQUEAMENTO.....	61
4.5	EVAPORAÇÃO.....	62
4.6	CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO	62
4.7	CAUSTIFICAÇÃO E FORNO DE CAL.....	62
4.8	CALDEIRA DE FORÇA E COMPRESSORES DE AR.....	63
4.9	PLANTA DE QUÍMICOS	63
4.10	MÁQUINAS DE PAPEL	63
4.11	CENTRAL DE REJEITOS.....	64
4.12	CONSUMOS FORA DO PROCESSO E NÃO ESPECIFICADOS.....	64
4.13	CONSUMO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E EFLUENTES	64
5	PRINCIPAIS PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS.....	67
5.1	PARÂMETROS USUAIS	67
5.1.1	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO ₅).....	67
5.1.2	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	68
5.1.3	CARBONO ORGÂNICO TOTAL (TOC).....	69
5.1.4	SÓLIDOS	71
5.1.5	NUTRIENTES.....	72
5.1.6	METAIS	74
5.1.7	TOXICIDADE EM PEIXES	74
5.2	SUBSTÂNCIAS ESPECIAIS	74
5.2.1	HALETOS ORGÂNICOS ADSORVÍVEIS (AOX).....	75
5.2.2	ALQUILFENÓIS ETOXILADOS (APEO).....	76
5.2.3	QUELANTES	77
5.2.4	ADITIVOS PARA RESISTÊNCIA A ÚMIDO.....	77
5.2.5	BENZENO (C ₆ H ₆)	78

5.2.6	TOLUENO (C ₇ H ₈).....	78
5.2.7	XILENO	78
5.2.8	ADITIVOS PARA COMBATE DO ODOR NO PRODUTO	78
5.2.9	SUBSTÂNCIAS INDESEJÁVEIS.....	79
5.3	COMENTÁRIOS	80
6	CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL.....	82
6.1	DESCASCAMENTO.....	84
6.2	PLANTA DE CELULOSE.....	85
6.3	BRANQUEAMENTO.....	85
6.4	CONDENSADOS	87
6.5	RESÍDUOS DOS LICORES	88
6.6	PLANTA DE TALL OIL E TEREBENTINA	89
6.7	MÁQUINAS DE PAPEL	89
6.8	EFLUENTE TRATADO	90
7	MEDIDAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES EM CORPOS DE ÁGUA.....	92
7.1	MELHORES TÉCNICAS DISPONÍVEIS	92
7.2	COMENTÁRIOS	96
7.3	EXEMPLOS PRÁTICOS DE MEDIDAS INTERNAS PARA CONTROLE DE DISTÚRBIOS DA PRODUÇÃO.....	96
7.3.1	IDENTIFICAÇÃO E CONTROLE DE VAZAMENTOS.....	96
7.3.2	TANQUES PARA CONTENÇÃO DE VAZAMENTOS NO PROCESSO	97
7.3.3	TANQUES PARA CONTENÇÃO DE VAZAMENTOS E PROTEÇÃO DA ETE.....	97
7.3.4	ESTRUTURA PARA CONTENÇÃO DE VAZAMENTOS DE TANQUES.....	99
7.3.5	TRATAMENTO DA ÁGUA SUPERFICIAL NÃO CONTAMINADA E DE CHUVA	100
7.3.6	SEPARAÇÃO DE CORRENTES	100
7.4	O REÚSO NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL	100
7.4.1	FECHAMENTO DE CIRCUITO	101
7.4.2	PARÂMETROS DE CONTROLE PARA REÚSO	103

7.4.3 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE REÚSO NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL	107
8 ASPECTOS ECONÔMICOS DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA, MEDIDAS BVT E TECNOLOGIAS DE REÚSO NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL	130
8.1 METODOLOGIA	130
8.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	132
8.3 INTERVENÇÕES.....	142
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	154
10 CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES	157
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	162
ANEXO A – DECRETO Nº 5361, ARTIGO 19.....	183

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a escassez dos recursos advindos da natureza e a defesa do conceito de desenvolvimento sustentável é uma realidade mundial, ou seja, busca-se um desenvolvimento em harmonia com o ambiente, garantindo que as gerações futuras tenham a chance de viver, de acordo com as suas necessidades, com melhoria da qualidade de vida e das condições de sobrevivência.

Segundo a ANA (2007), o Brasil tem posição privilegiada no mundo, em relação à disponibilidade de recursos hídricos. A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de cerca de 180 mil m³/s, que corresponde a aproximadamente 53% da produção de água doce do continente sul-americano e 12% da disponibilidade mundial. Considerando a vazão média por habitante, o Brasil possui cerca de 30 mil m³/hab.ano, mas apresenta grande variação espacial e temporal das vazões. A região hidrográfica Amazônica, por exemplo, detém 74% dos recursos hídricos superficiais e é habitada por menos de 5% da população brasileira. Com essa distribuição irregular dos recursos, a degradação da qualidade das águas e o fato de que mais de 80% da população do Brasil vive em áreas urbanas, com 40% dessa população concentrada em 22 regiões metropolitanas (IBGE 2000a *apud* MIERZWA *et al.* (2005)), o Brasil já vem sofrendo com problemas de escassez de água, principalmente nas regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Porto Alegre.

Diante desse cenário, TELLES *et al.* (2007) chamam a atenção para a necessidade de gerenciamento à medida que a demanda cresce, incluindo controle efetivo e educação ambiental extensiva a toda a população, inibição do crescimento desordenado da demanda, assim como o controle do auto-abastecimento das indústrias e do uso agrícola. Aliado a essas medidas é também necessário o apoio do Estado ao controle e fiscalização das condições de uso e proteção da água, por meio de políticas reguladoras eficazes para os diversos usos da água, entre eles o consumo humano em áreas urbanas e rurais, industrial, irrigação e animal. Essas políticas devem estar baseadas na nova consciência a ser formada, não somente no Brasil, mas mundialmente, com relação à escassez dos recursos naturais, aos limites do meio ambiente em assimilar novos impactos e à preocupação com o bem estar das gerações futuras.

A instituição da Política de Recursos Hídricos brasileira fez-se através da promulgação da Lei 9433/1997, que adotou, pela primeira vez no Brasil, o conceito da água como recurso natural limitado, dotado de valor econômico. A nova lei representa, sem dúvida, uma importante iniciativa a favor do uso racional da água e da despoluição dos rios e mares.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos, um dos cinco instrumentos previstos no artigo 5º da Lei 9433/97, pode ser considerado, segundo CAMPOS (2001) *apud* MALTA (2006), como um dos principais instrumentos para a implementação da referida política. Essa cobrança incide sobre os usos sujeitos à outorga (artigo 20 da Lei 9.433/97), que são: derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; lançamento, em corpo de água, de efluentes e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; aproveitamento dos potenciais hidrelétricos; e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (artigo 12 da Lei 9433/97).

Nesse contexto, o setor de usuários diretamente afetado pela cobrança é o industrial, que, além de utilizar água como matéria prima, apresenta também uma das maiores contribuições para a poluição hídrica. O setor industrial brasileiro é responsável por três quintos da produção sul-americana (ANA, 2007), fato que destaca a importância do país na economia do continente e do setor usuário no contexto da Política de Recursos Hídricos.

O pagamento pelo uso da água aliado a políticas adequadas devem, então, conduzir a uma crescente demanda advinda do setor industrial por soluções para o uso racional, bem como para minimização do impacto da emissão de efluentes industriais sobre os corpos hídricos, a qual passa a ser um desafio presente na realidade brasileira. Nesse quadro, práticas de reúso de água ganham importância, pois permitem que efluentes tratados ou correntes com qualidade adequada possam ser reutilizados, levando a um menor consumo de água fresca e, muitas vezes, à melhora da qualidade do efluente descartado no corpo de água.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

Sendo a política de Recursos Hídricos ainda recente e havendo pouca experiência de gestão, a busca nas bases de informação, nos modelos e nas soluções já implementadas em países desenvolvidos com consistentes políticas ambientais, disponibiliza caminhos já percorridos que levaram a experiências bem sucedidas, informações resultantes de pesquisas de ponta e de grandes investimentos e uma visão de tendências futuras. Essa busca tem como objetivo, no contexto da Gestão de Recursos Hídricos, a busca e a manutenção da saúde dos corpos de água existentes, que tem como efeito direto a melhoria da qualidade de vida da população e a harmonização da convivência humana com a natureza.

Dentre os setores industriais brasileiros, o de celulose e papel está presente em 450 municípios, 17 estados e 5 regiões. O Brasil está entre os maiores produtores mundiais, sendo líder na produção de celulose de eucalipto, encontrando-se em 6º lugar na produção de celulose e 12º lugar na produção de papel em âmbito mundial (BRACELPA, 2007).

O saldo comercial do setor é de US\$ 3,3 bilhões com uma previsão para o ano de 2007 de 8,7 % do saldo da balança comercial brasileira. Além disso, é um setor em constante expansão, com uma perspectiva de crescimento em 2008 de 8,5% na produção de celulose e 3,1% no setor de papel.

Além da grande importância econômica desse setor no Brasil, sob a ótica da Gestão de Recursos Hídricos é considerado um típico consumidor de água bruta, apresentando cargas elevadas de DQO e sólidos suspensos em seus efluentes (LEHR *et al*, 2005). Segundo WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD), a água é um ingrediente essencial na fabricação de celulose e papel como parte integrante da polpa e remoção de impurezas através de repetidas lavagens da celulose, sendo a emissão de efluentes em corpos de água um dos impactos ambientais mais significantes causados por esse ramo industrial.

Apesar dos inúmeros processos existentes para produção de celulose e papel, que estão descritos no item 3.1, o presente trabalho enfatiza o processo de produção *Kraft* ou sulfato, pois é o processo responsável por 80% da produção mundial de polpa. No Brasil, a produção e exportação de pastas celulósicas é representada por 79,8% de

celulose branqueada de fibra curta (BRACELPA, 2007), oriunda principalmente do processamento *Kraft* do eucalipto (SOUZA e OLIVEIRA, 2001).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é fornecer bases legais e tecnológicas à adaptação do setor de celulose e papel nacional como usuário de recursos hídricos para atender padrões internacionais de desempenho socioambiental.

Dentre os objetivos específicos do trabalho, estão:

- apresentar criticamente uma visão do arcabouço legal da Gestão de Recursos Hídricos nos âmbitos nacional e internacional;
- identificar os diferentes processos de produção de celulose e papel;
- identificar os usos da água no processo de produção de celulose e papel *Kraft*, caracterizando o setor como usuário de Recursos Hídricos
- identificar e discutir os parâmetros relevantes para controle da qualidade da água e efluentes advindos da produção de celulose e papel;
- identificar, no processo de produção, as fontes geradoras de efluentes e sua respectiva composição;
- apresentar e discutir diferentes medidas para minimização do consumo de água fresca, vazão de efluentes e cargas de poluentes em corpo de água, relatando aplicações práticas dentro do setor realizadas em nível mundial;
- apresentar custos para implementação de intervenções no processo produtivo e de tecnologias de reúso, sob a ótica da Gestão de Recursos Hídricos, contrastando-os com o montante a ser pago pelo uso da água obtido através de dados práticos de uma planta integrada de celulose e papel brasileira.

1.3 METODOLOGIA E ESTRUTURA DA APRESENTAÇÃO DA TESE

Para o desenvolvimento desta tese, o primeiro passo foi a realização de um reconhecimento *in situ* do processo de produção de celulose e papel. Para tanto, foi escolhida uma planta integrada de celulose e papel *Kraft*, cujos dados de emissões são utilizados para a avaliação dos custos advindos da cobrança. Após esse reconhecimento,

foram, então, identificados os principais usos e as qualidades de água exigidas para cada etapa do processo.

Num próximo passo, foram feitas algumas visitas técnicas a fábricas de celulose *Kraft* na Áustria e Alemanha e ampla revisão bibliográfica sobre práticas de reúso no setor.

Posteriormente, foram levantados os custos advindos da cobrança pelo uso da água, utilizado-se dados reais da produção dos anos de 2004 e 2005 de uma planta integrada de celulose e papel e alguns custos relacionados a tecnologias *in line* e *end of pipe* consideradas promissoras para a realização de intervenções no processo produtivo.

A tese foi dividida em dez capítulos, descritos a seguir.

O capítulo 2 apresenta a política de Recursos Hídricos brasileira e da Comunidade Européia, com destaque para a República Federativa da Alemanha e o setor de celulose e papel.

No capítulo 3, foi feita uma breve descrição dos diversos processos de produção de celulose com destaque para o processo *Kraft* ou sulfato. O branqueamento, devido a sua complexidade, foi detalhado separadamente. A técnica de fabricação do papel e os principais aditivos empregados nesse processo finalizam o reconhecimento do processo de produção de celulose e papel.

O capítulo 4 inicia com uma breve terminologia empregada no setor, seguido do detalhamento dos diversos usos da água no processo de produção de celulose e papel *Kraft*.

O capítulo 5 traz os principais parâmetros para o controle de qualidade de água e efluentes, com enfoque para o controle de cargas advindas da produção de celulose e papel e definição de algumas substâncias específicas importantes para esse setor.

O capítulo 6 contém uma caracterização do efluente de indústria de celulose e papel, detalhado por setor da planta produtiva.

O capítulo 7 traz as medidas para redução de emissões hídricas, divididas em melhores técnicas disponíveis, exemplos práticos de medidas internas para controle de distúrbios da produção e o reúso no setor de celulose e papel.

O capítulo 8 apresenta os aspectos econômicos da cobrança pelo uso da água com o cálculo do valor a ser pago para uma planta integrada existente e os custos de diferentes intervenções possíveis no processo.

O capítulo 9 é composto das conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma visão crítica da Política de Recursos Hídricos nos âmbitos nacional e internacional.

A Política de Recursos Hídricos Nacional é dividida entre bacias federais e estaduais. Dentro das bacias estaduais, são expostos detalhes da política no estado do Paraná, particularmente na bacia do rio Tibagi, onde se localiza o rio de mesmo nome, corpo de água utilizado para captação e diluição dos efluentes da planta integrada de papel e celulose utilizada para o estudo de caso deste trabalho.

Numa segunda parte, é desenvolvida uma visão geral da estrutura dessa política na Europa e suas principais leis. Como exemplo de Política Nacional bem sucedida, foi escolhida aquela vigente na República Federativa da Alemanha, país que, apesar de altamente industrializado, participando inclusive do grupo dos sete maiores países industrializados do Ocidente (G7), atingiu níveis muito elevados de proteção ambiental.

2.1 A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIRA

Com a Lei Federal 9433/97 ou “Lei das Águas”, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água passa a ser considerada como um recurso limitado. Ocorre também a extinção do domínio privado da água, previsto em alguns casos no Código da Água de 1934, isto é, a água se transforma em um bem de domínio público, dotado de valor econômico.

A Gestão dos Recursos Hídricos deve possibilitar diferentes usos dentro da bacia hidrográfica, unidade de planejamento adotada pela lei 9433/97 em detrimento da divisão territorial político-administrativa que pressupõe o espaço geográfico dos estados e municípios. A partir dessa divisão, os rios podem ser federais (quando atravessam fronteiras entre estados) ou estaduais (quando dentro de um único estado).

2.1.1 A Política de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas de Rios Federais

A Lei Federal 9433/97 tem como principal característica o estímulo à descentralização das decisões e a participação efetiva da sociedade civil.

O artigo 1º inciso VI apresenta a essência da lei: “a Gestão dos Recursos Hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”. Essa gestão descentralizada deve respeitar os critérios de representatividade, legitimidade e respeito aos direitos individuais ou de grupos, organizados ou não (BARROS, 2000).

O artigo 2º enumera os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

I – assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II – a utilização racional e integrada dos Recursos Hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; e

III – a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Segundo o artigo 19 da Lei 9433/97, a cobrança pelo uso de recursos hídricos objetiva reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; incentivar a racionalização do uso da água; e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

A Lei 9.984/00 atribuiu à Agência Nacional de Águas (ANA) a competência para implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União. Atualmente, a cobrança já está operacionalizada na bacia do rio Paraíba do Sul e nas bacias PCJ (rios Piracicaba, Capivari e Jundiá).

2.1.2 A Política de Recursos Hídricos em Bacias Estaduais – Estudo de Caso Estado do Paraná

São considerados rios de domínio estadual aqueles cujos limites se encontram dentro de um mesmo estado. Os estados possuem autonomia para implantação da política de recursos hídricos nos rios de seu domínio.

No caso deste trabalho, será feito um estudo de caso do estado do Paraná, onde se localiza a bacia do rio Tibagi, à qual pertence o rio Tibagi, como já mencionado, corpo de água utilizado para captação e diluição da planta integrada de papel e celulose,

cujos dados foram utilizados para o estudo de caso apresentado no item 0. Uma breve descrição da bacia do rio Tibagi encontra-se na seqüência.

2.1.2.1 Histórico

A Política de Recursos no Estado do Paraná foi instituída através da Lei Estadual Nº12726 de 26/11/1999, responsável pela criação do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Atualmente, o órgão gestor de Recursos Hídricos é a Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), criada pela Lei Estadual Nº11352/96.

No período de 2000 a 2002, foram elaborados vários Decretos Regulamentadores, com objetivo de estabelecer um modelo institucional (Conselho, Comitês de Bacia, Unidade Executivas Descentralizadas e Poder Público Outorgante) e os instrumentos do sistema de gerenciamento de Recursos Hídricos (Procedimentos de Outorga, Fundo Estadual de Recursos Hídricos e Cobrança pelo Direito de Uso da Água) (ROORDA, 2005).

A implementação da Política de Recursos Hídricos no estado apresenta duas fases bem distintas. A primeira que vai de 1999 até 2003, na qual o Governo do Estado apresenta o papel de indutor do processo com presença no Conselho Estadual de Recursos Hídricos e participação nos Comitês de Bacia Hidrográfica. Nesta fase foi criada a primeira Agência de Bacia, através do Contrato de Gestão entre o Governo e a Associação de Usuários de Recursos Hídricos das Bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira (ROORDA, 2005).

A partir de 2003, com a mudança do representante do Governo Estadual, houve uma forte mudança na filosofia de gestão, com o entendimento de que a gestão deve ser de domínio público (CHEIDA (2003) apud ROORDA (2005)).

Através do Decreto Nº 1651 de 04/08/2003, o governo anulou os contratos com agências intermunicipais existentes, atribuindo a função de Agência de Bacia à Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), autarquia que é também a Agência Estadual de Águas, cujo regulamento foi aprovado pelo Decreto Nº 3.619 de 14 de setembro de 2004.

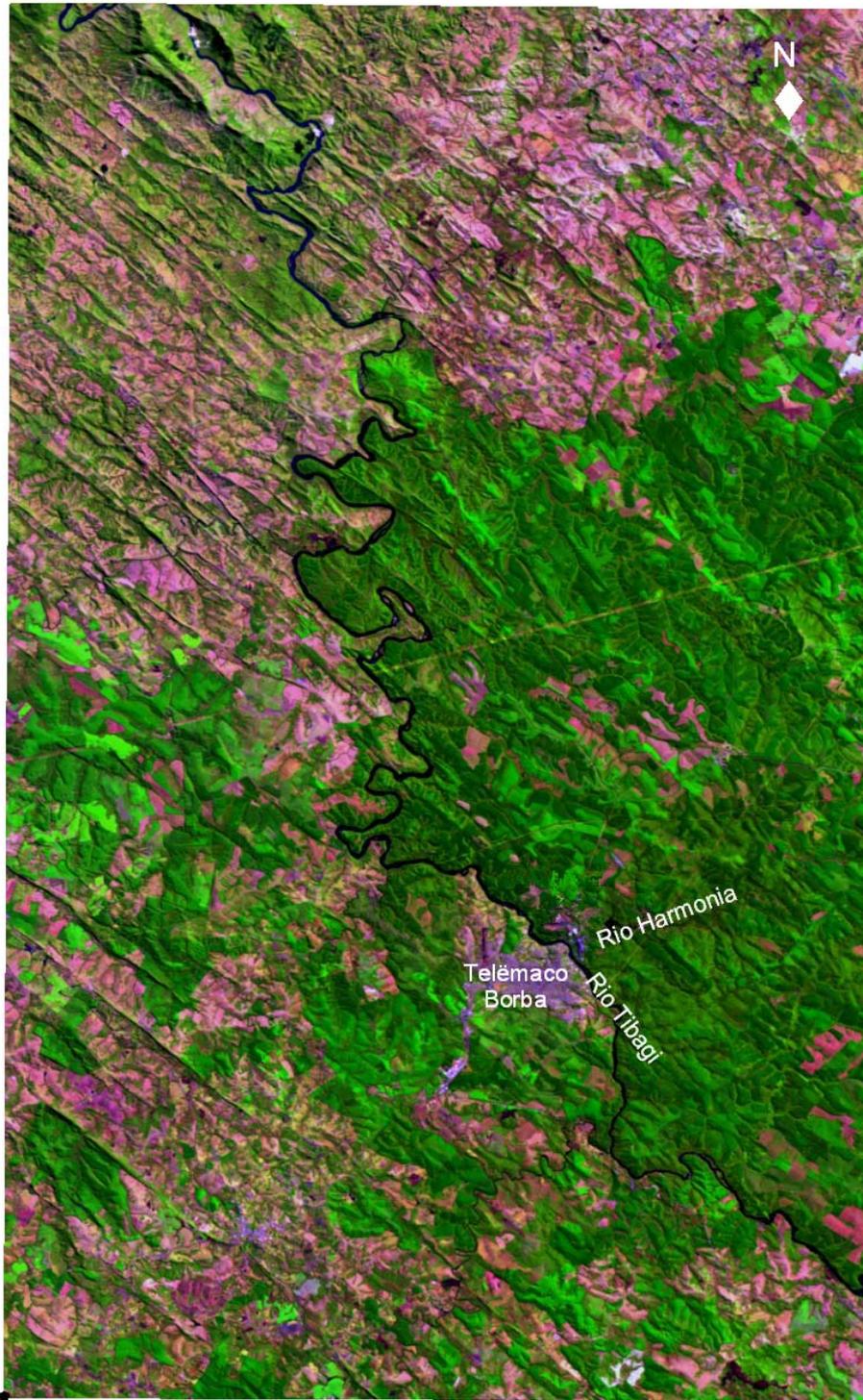
Segundo informações obtidas na SUDERHSA, o projeto de Lei Nº 343/05, que previa a modificação da Lei 12726/99, colocando a SUDERHSA como único órgão apto a exercer as funções de Agência de Bacia foi substituído por um novo projeto para transformar a SUDERHSA no Instituto Paranaense das Águas, que deverá agregar também a função de entidade reguladora prevista no artigo 23 da Lei 11445 de 5 de janeiro de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.

2.1.2.2 A bacia do rio Tibagi

Os rios Tibagi e Harmonia pertencem à Bacia do rio Tibagi, localizada inteiramente no estado do Paraná, com uma área de drenagem de 24712 km², sendo considerada uma das maiores bacias hidrográficas do estado e a segunda maior bacia em importância econômica e social.

A Figura 1 mostra uma montagem de imagens de satélite do estado do Paraná, com destaque para o curso dos rios Tibagi, Harmonia e a cidade de Telêmaco Borba.

O rio Tibagi é o principal afluente do rio Paranapanema, rio federal que demarca a divisa entre os estados de São Paulo e Paraná, percorrendo 550 km desde as suas nascentes na região de Ponta Grossa até a sua foz, no rio Paranapanema, atravessando 52 municípios do Estado, dos quais Londrina e Ponta Grossa são os principais.



(524000 , 7286276)
Coordenadas em UTM

Figura 1 – Rios Tibagi e Harmonia, cidade de Telêmaco Borba - montagem de imagens de satélite do estado do Paraná
(<http://www.ambientebrasil.com.br/estadual/hidrografia/hpr.html>).

HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DA BACIA

O texto deste capítulo foi adaptado de BRANNSTROM (2001).

A Bacia do Rio Tibagi divide-se em duas regiões distintas historicamente, o “Paraná Novo” e o “Paraná Velho”. A região do “Paraná Novo” compreende o trecho do Baixo e Médio Tibagi, no qual se destaca a cidade de Londrina. À região do “Paraná Velho” pertence o trecho do Alto Tibagi, aonde se destaca a cidade de Ponta Grossa.

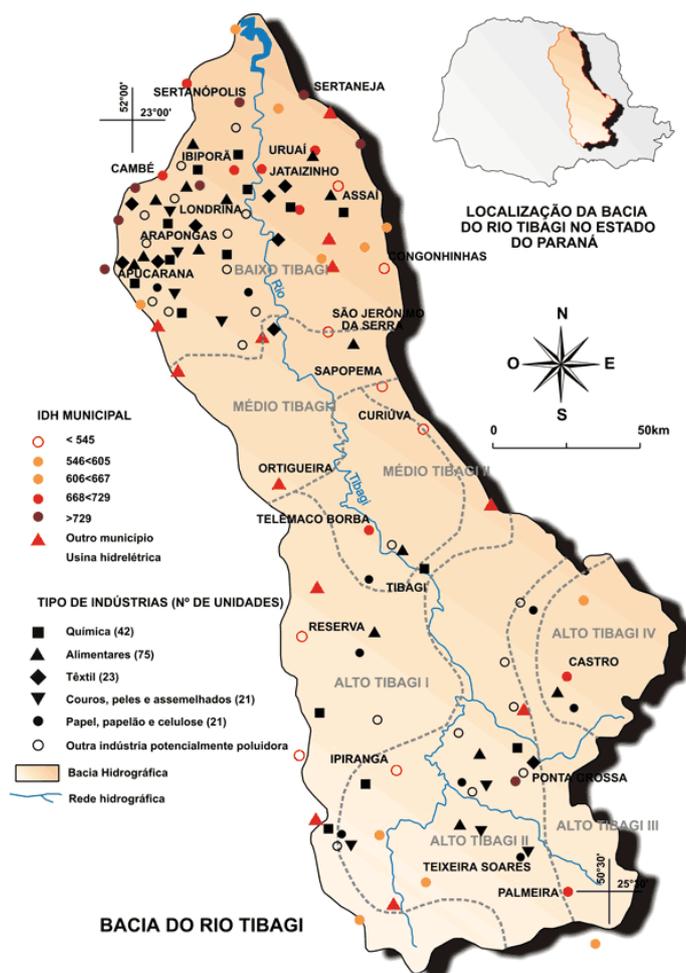


Figura 2 – Bacia do rio Tibagi: localização, divisão, distribuição das indústrias (<http://www.marcadagua.org.br/www.copati.org.br>).

A ocupação da bacia teve início entre 1700 e 1720, com a expansão da criação de animais a base de trabalho escravo, destinada ao estado de Minas Gerais, desde a zona costeira paranaense para os campos em Castro, Jaguariaíva e Ponta Grossa. Em 1731 foi aberta uma estrada para ligar a pecuária dos campos à cidade paulista de Sorocaba.

Em Castro, elevada à vila em 1789, a população escrava era 27% dos 4.000 habitantes.

No século XIX, as colônias de imigrantes europeus paranaenses tiveram pouca expressão na região, ficando sua ocupação restrita à parte alta da bacia (municípios de Palmeiras, Castro e Ponta Grossa), aonde introduziram a pecuária leiteira.

Em 1853 a parte baixa da bacia, o Paraná Novo, possuía enormes áreas ocupadas por colônias militares. Essas áreas foram incorporadas ao estado após sua doação a empresas particulares de colonização no início do século XX. São os casos de Corai, em Primeiro de Maio e Leopoldo Vieira, em Sertanópolis.

Entre 1920 e 1940 outros projetos de colonização ocuparam grandes áreas, como a Companhia de Terras do Norte do Paraná em Londrina, que comprou 13.600 km² de terras, a Brasil Tokushoku Kaisha, em Assaí e a Nambei Tochi Kabushiri Kaisha em Uruaí (STIPP, 2000, MONBEIG, 1984, DEAN, 1996 *apud* BRANNSTROM, 2001).

Depois de 1975 ocorreu a maior mudança no meio rural com a erradicação do café e o crescimento de culturas anuais (soja e trigo, principalmente), acarretando um grande êxodo rural com a desocupação em toda a bacia. Apenas quatro municípios, Castro, Palmeira, Ipiranga e Imbituva, tiveram taxas positivas de crescimento da população rural nesse período (FERREIRA, 2000 *apud* BRANNSTROM, 2001).

Entre 1975 e 1985 a área dedicada às culturas permanentes (principalmente café) no Tibagi caiu 58,5%, enquanto a área das culturas anuais aumentou para 29,9%, atingindo 879.400 hectares em 1985. Os municípios principais eram Ibitopã, Rancho Alegre, Sertaneja, Primeiro de Maio, Bela Vista do Paraíso, Cambé, Rolândia e Arapongas. A área dos reflorestamentos aumentou 75%, atingindo 230.110 hectares em 1985, sendo os principais municípios relacionados diretamente às indústrias de papel e celulose, principal responsável por esse aumento: Curiúva, Telêmaco Borba, Tibagi, Reserva, Ortigueira, Ipiranga e Castro (BARROS e CARVALHO, 2000 *apud* BRANNSTROM, 2001).

A bacia do Tibagi tem uma população total de 1, 566 milhões de habitantes, com uma taxa de urbanização de 84%. Entre 1980 e 1991 a população da bacia aumentou de 788700 a 923660 (17,1%). Sua principal cidade é Londrina (421.300 habitantes), seguida por Ponta Grossa (256.300 habitantes). Ambas as cidades possuem 95% do

total da população instalada na área urbana desses municípios. Essa população urbana da Bacia é abastecida por água encanada a uma alta taxa de 90% dos domicílios.

O sistema de abastecimento de água de Londrina é o segundo maior do Paraná e o terceiro maior na região Sul. Aproximadamente 70% dos municípios do Tibagi possuem a SANEPAR, uma concessionária (40% de capital francês), como responsável pelo abastecimento de água e esgoto. De acordo com o Termo de Compromisso com o Ministério Público Estadual, para 2002 ou 2003 a SANEPAR deve alcançar uma taxa de 100% no tratamento de esgoto. Londrina tem 100% de seu esgoto tratado em quatro estações. Na Bacia total, 39,1% dos domicílios urbanos possuem instalação sanitária por rede geral, enquanto 21% têm fossa séptica e 39% têm fossa rudimentar. A taxa de coleta de lixo de domicílios é 73,5%.

Os limites territoriais da bacia não coincidem com os limites político-administrativos dos municípios. No trecho baixo Cambé, Arapongas e Rolândia têm apenas uma parte do seu território dentro da bacia; no trecho médio, Ortigueira, Reserva e Curiúva possuem grandes extensões fora da Bacia; na parte alta, Castro, Irati e Ponta Grossa têm território em outras bacias vizinhas.

ATIVIDADES ECONÔMICAS DA BACIA

A Bacia do rio Tibagi pode ser dividida em 3 sub-bacias e sub-regiões (ver divisão na Figura 2), de acordo com o uso do solo (STIPP, 2000b, BARROS e MENDONÇA, 2000 *apud* BRANNSTROM, 2001), que são:

Alto Tibagi, o “Velho Paraná”

Sub-região Alto Tibagi I: corresponde às cidade de Reserva, Irati e Ventania. Caracterizada por pecuária extensiva, estrutura fundiária diversificada e degradação ambiental média a elevada

Sub-região Alto Tibagi II: Ponta Grossa e Teixeira Soares. Caracterizada por concentração industrial, com policultura e elevada degradação ambiental.

Sub-região (Alto Tibagi III): Porto Amazonas. Caracterizada pelo predomínio de matas, pastagens naturais, baixa aptidão agrícola e degradação ambiental baixa.

Sub-região Alto Tibagi IV: Castro e Piraí do Sul. Predomínio de matas, pastagens naturais, alta aptidão agrícola e degradação ambiental média e baixa.

Médio Tibagi

Sub-região Médio Tibagi I: Ortigueira, Mauá da Serra e São Jerônimo da Serra. Caracterizada pela pecuária extensiva e degradação ambiental média a baixa

Segunda sub-região Médio Tibagi II: Telêmaco Borba, Tibagi e Curiúva. Caracterizada pela grande área de reflorestamento pertencente à indústria Klabin Papéis Monte Alegre, em Telêmaco Borba e degradação ambiental média a elevada. Nesta sub-região existem áreas indígenas e “bolsões de pobreza”, por possuírem nas sub-regiões os mais pobres municípios da Bacia.

Baixo Tibagi, o “Novo Paraná”

Na parte do Baixo Tibagi, o trecho de São Jerônimo até o Paranapanema é uma área de intensa produtividade agrícola, forte urbanização, industrialização e elevada degradação ambiental com pequenas áreas de vegetação nativa. Este trecho abriga 65% das indústrias da Bacia do rio Tibagi, que estão distribuídas em seis municípios: Londrina, Apucarana, Rolândia, Arapongas, Cambé e Ibiporã, representando a maior concentração de indústrias da bacia.

Na área rural 40,4% dos estabelecimentos agropecuários têm áreas menores a 10 hectares e 49,4% estão entre 10 e 100 hectares. A maior concentração de propriedades com menos de 10 hectares está em Telêmaco Borba (61,7%), e a maior parcela de estabelecimentos com mais de 2.000 hectares estão em Tibagi (1,7%). Apenas 5,8% dos estabelecimentos agropecuários na Bacia usam irrigação.

O IDH¹ municipal mediano da bacia é 0,667, sendo o maior em Londrina (0,792) e o menor em Reserva (0,481). Além de Reserva, outros municípios com o menor IDH municipal são Congonhinhas (0,52), Curiúva (0,5), São Jerônimo da Serra (0,491), Sapopema (0,522) e Tibagi (0,518), todos da subbacia média do Tibagi. A Gini de renda municipal mediana é 0,5682, sendo o maior em Sertaneja (0,6879) e menor em Nova América (0,4369). Para alguns municípios não foi encontrado o IDH.

¹ IDH: Índice de Desenvolvimento Humano. Calculado pela combinação de 3 indicadores: esperança de vida ao nascer, alfabetização de adultos, escolarização e PIB per capita (http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/glossario/indicadores_desenvolvimento_humano.htm).

2.1.2.3 Classificação do rio Tibagi e limites de lançamento

O enquadramento de corpos de água é previsto na Lei 9433/97 (Art. 5º caput II) como um instrumento da Política de Recursos Hídricos e está ligado à qualidade compatível com o uso mais exigente a que é destinado o corpo de água. Condições e padrões de lançamento de efluentes são determinados pela Resolução Nº 357 Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Condições especiais de lançamento ou parâmetros adicionais para indústrias instaladas no estado do Paraná constam na Licença de Operação fornecida pelo órgão ambiental estadual responsável.

O Capítulo IV da Resolução Nº 357, Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes, artigos 24 e 25, deixa claro a obrigação da empresa de cumprir as exigências tanto dessa Resolução, como da Licença de Operação.

A Portaria SUREHMA (Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente) Nº003/91 de 21 de março de 1991 enquadra os cursos de água da Bacia do rio Tibagi, baseada na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Nº 20 de 18 de junho de 1986, recentemente substituída pela Resolução Nº 357, de 17 de maio de 2005, a qual dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

De acordo com o Artigo 1 dessa mesma Portaria, todos os cursos de água da Bacia do rio Tibagi pertencem à classe 2. O Artigo 2 enumera as exceções ao enquadramento do Artigo 1, no qual consta o rio Harmonia e seus afluentes, contribuintes da margem direita do rio Tibagi, município de Telêmaco Borba, até a barragem de Harmonia, que pertence à classe 1.

A seguir são citados alguns padrões de lançamento contidos na Licença de Operação de uma indústria integrada de papel e celulose. Essa licença deve ser requerida antes do início efetivo das operações e se destina a autorizar o funcionamento do empreendimento depois de verificada a compatibilidade com o projeto aprovado e a eficácia das medidas de controle ambiental. A concessão se dará pelo prazo de 2 a 10 anos, a critério do IAP, sujeita a renovação (<http://www.iap.pr.gov.br>).

“Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam as seguintes condições:

- a) pH entre 5 e 9;
- b) temperatura inferior a 40°C, sendo que a elevação da temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C;
- c) materiais sedimentáveis - até 1mL/L em teste de 1 hora em cone *Imhoff*, para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor;
- e) óleos e graxas - óleos minerais até 20 mg/L; óleos vegetais e gorduras animais até 50 mg/L;
- f) ausência de materiais flutuantes;
- g) DBO inferior a 50 mg/L ou 3600 kg DBO/dia;
- h) DQO inferior a 263,8 mg/L ou 19000 kg DQO/dia, deverá atingir o valor de 15000 kg/dia, num prazo de 3 anos a contar da data da Licença Prévia;
- i) características de toxicidade aguda (Tabela 1)''.

Tabela 1 – Características de toxicidade aguda contidas na Licença de Operação de planta integrada de celulose e papel, localizada na bacia do rio Tibagi.

Organismo	Faixa de Toxicidade	Método de Teste
Brachydanio rerio (peixe)**	Fator de diluição* para peixes (FDp) = 1 a 2	IAP, segundo DIN 38412 parte 30
Daphnia magna (microcrustáceo)**	Fator de diluição* para Daphnia (FDp) = 2 a 4	IAP, adaptada segundo DIN 38412 parte 2

* Fator de diluição: primeira diluição (dentre uma série) que não causa morte ou imobilidade dos organismos nas condições de teste

** Fator considerado razoável, tendo em vista, os valores obtidos nos testes de toxicidade, realizados pelo Laboratório de Ecotoxicidade do IAP, para efluente final da planta produtiva em questão''.

Além dos padrões acima citados, no § 5º do Art. 34 da Resolução CONAMA 357, ainda aparecem outros padrões de lançamento inorgânicos e orgânicos de efluentes.

2.1.2.4 A cobrança pelo direito de uso

O instrumento da cobrança, que permitirá a arrecadação de insumos para a realização das ações previstas nos Planos de Bacia foi regulamentada no estado do Paraná através do Decreto Nº 5361 de 26 de fevereiro de 2002, porém a implementação ainda não aconteceu. Em parte, esse atraso na instalação da cobrança deve-se a grande mudança na configuração da política imposta pelo governo, que exigiu reestruturação da SUDERHSA. Atualmente também há discussão sobre o Artigo 7º do Decreto Nº 5361, que determina: “O direito de uso de recursos hídricos sujeito à outorga será objeto de cobrança”, pois os usuários declaram que o ato de outorga emite valores máximos de vazão de captação e lançamento e exigem o pagamento sobre um valor médio.

A Agência Nacional de Águas (ANA) e a SUDERHSA efetuaram um convênio para realização do projeto intitulado “Implementação da Gestão de Recursos Hídricos nas Bacias Hidrográficas do Alto Iguaçu/Afluentes do Alto Ribeira e Rio Tibagi” (SUDERHSA, 2005). Por problemas de inadimplência do estado do Paraná junto ao Sistema Integrado de Administração Financeira do Governo Federal (SIAFI), não foi possível a continuação desse convênio com a ANA. Atualmente, a SUDERHSA continua trabalhando na elaboração dos Planos de Bacia, e a cobrança vem sendo discutida em reuniões com a participação dos usuários, sociedade civil e estado dentro do Comitê do Alto Iguaçu para mais tarde se estender aos outros comitês.

Segundo o Decreto Nº 5361, Artigo 19, contido no Anexo A, o cálculo dos valores a serem cobrados deverá obedecer a fórmulas especificadas para os diferentes tipos de usos conforme discriminados no Artigo 13 de Lei Estadual Nº 12726/99.

A Tabela 2 apresenta valores unitários propostos para cobrança pelo uso da água no estado do Paraná.

Tabela 2 – Valores de cobrança propostos para o estado do Paraná (ROORDA, 2005).

USOS		USUÁRIOS				
		Doméstico	Urbano Não-Industrial	Industrial / Mineração	Geração de Energia Hidrelétrica (5)	Agropecuária (3)
Derivações / Captações / Extrações	Volume Captado Superficial (R\$/m ³)	0,010	0,050	0,080	x	
	Volume Consumido (R\$/m ³)	0,020	0,100	0,150	x	
	Volume Derivado (R\$/m ³)				0,002	
	Volume Extraído (R\$/m ³)	0,020	0,100	0,150	x	
Lançamentos	DBO (R\$/kg)	0,100	0,250	0,300	x	
	Sólidos Suspensos (R\$/kg)	0,150	0,350	0,450	x	
	Diferença entre DQO e DBO (R\$/kg)	0,200	0,500	0,600	x	
	Parâmetros Adicionais (4)	-	-	-	x	
Aproveitamento de Potenciais Hidrelétricos	(2)	x	x	x		x

LEGENDA:

x	Não se aplica
	Usos / Usuários Isentos de Cobrança

A partir da tabela, observa-se que o uso doméstico, considerado uso prioritário segundo Art. 1º, inciso III da Lei 9433/97, apresenta os menores custos unitários. Esses custos incidem sobre os volumes captado, consumido e extraído e no lançamento sobre a carga de DQO, sólidos suspensos e a diferença entre a carga de DQO e DBO.

Para o uso para geração de energia hidrelétrica deverá há também a cobrança sobre o volume derivado.

Por outro lado, os maiores valores unitários para lançamentos de cargas poluentes em corpo de água pertencem ao setor industrial e à mineração, considerados os mais críticos à saúde do corpo de água.

Um detalhe importante da tabela de valores propostos para cobrança é a abertura existente para inserção de parâmetros adicionais, muito importantes para o controle de lançamentos, principalmente no caso do uso industrial.

2.2 A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS DA COMUNIDADE EUROPÉIA

Neste item, serão discutidas as políticas relacionadas à Gestão de Recursos Hídricos vigentes na Comunidade Européia e como exemplos de política nacional serão, então, apresentadas as principais leis da República Federativa da Alemanha, inclusive aquelas relacionadas ao setor industrial de celulose e papel.

2.2.1 Histórico

As primeiras canalizações de água datam de aproximadamente 6000 a.C. em *Ephesus* (antiga Grécia, hoje região da Anatólia na Turquia), 700 a.C. na Babilônia e menos de 400 a.C. em Roma, valia o ditado “Proteja-se de defecar nas ruas ou a fúria de Júpiter te encontrará” (Illi, 1987).

Com a invenção dos toaletes, em 1775, na Inglaterra, e da descarga, houve uma melhora da situação das ruas, porém não dos rios. Um exemplo da gravidade da situação dos rios europeus foi a interrupção de uma audiência da Câmara Inglesa em 1858 por causa do cheiro insuportável do rio Tâmis. Como os rios também forneciam água para consumo humano, ocorriam sempre epidemias de cólera e tifo. Em 1842 foi iniciada a construção de canalizações em Hamburgo.

No final do século XIX, cientistas descobriram a capacidade de depuração dos efluentes quando lançados em corpos de água, isto é, a auto-depuração dos rios, segundo Max Von Pettenkofer (1818-1901). Daí surgiu, então, a idéia para o aproveitamento dessa característica em estações de tratamento de efluentes, ou seja, reproduzir artificialmente a autodepuração dos rios.

A Europa foi, então, a pioneira na introdução de técnicas de saneamento, com as primeiras estações de tratamento de água para abastecimento humano com base na filtração e em 1910 na cloração. Em 1920 e 1930, as grandes cidades, como Londres e Paris, iniciaram a construção de sistemas de tratamento de esgotos.

Quando o problema com os esgotos domésticos estava em parte resolvido, surgem então, com a Revolução Industrial, efluentes contendo compostos recalcitrantes e tóxicos. Alguns fatos descritos no livro Planeta Azul de John R. McNeill merecem destaque: “Uma comissão real descobre, em 1866, que a água do rio Calder, localizado no norte da Inglaterra, fornecia uma tinta de qualidade aceitável e como prova uma parte do relatório foi escrito com a água do rio Calder.

Na Alemanha, no século XVIII, havia tanto salmão no rio Reno, que os garçons reclamavam por ter que comê-los. No século XIX foi criada na metade do curso do rio uma área industrial com produção de ferro e metal e também indústrias químicas. O rio Reno foi poluído com metais pesados, sais e produtos químicos orgânicos, sendo a última pesca de salmão em quantidade registrada em 1931. Desde 1948 são descartados fósforo e nitrogênio de detergentes e adubos, o que eliminou os peixes na parte inferior e impediu banhos. A partir de 1970, iniciaram-se as mudanças com a construção de estações de tratamento de efluentes ao longo do rio e, a partir de 1976, os peixes começaram a reaparecer, sendo que, em 1992, o salmão retornou a esse ecossistema aquático.

Atualmente, a proteção ambiental na Europa atingiu níveis elevados, através de políticas ambientais para redução das emissões e emprego eficiente das matérias-primas, bem como de energia e água. Essas políticas abrangem, além da prevenção de ameaças concretas à saúde, a busca de um desenvolvimento sustentável.

A República Federativa da Alemanha é o país mais populoso da Europa depois da Federação Russa, estando essa população distribuída de forma heterogênea. Além disso, é considerada a terceira potência econômica mundial e a maior economia da Comunidade Européia. Apesar de todo o desenvolvimento e de ser considerado um dos principais países industrializados, a Alemanha, na liderança das questões ambientais, possui os limites mais rigorosos para emissões no ar, na água e no solo dentre os países da Comunidade Européia.

2.2.2 Estrutura

Na Figura 3, podem ser vistas as quatro esferas de atuação além da internacional: em nível nacional, no nível de *Land*² esfera municipal e de comunidades e a esfera de associações³. Essa estrutura mostra a grande descentralização legislativa, permitindo que regras mais restritivas ou adaptadas às condições de determinadas regiões possam ser elaboradas, por exemplo, por associações.

A Comunidade Européia edita as chamadas Diretivas e Decretos que buscam a unificação e direcionamento de ações para o alcance de objetivos comuns.

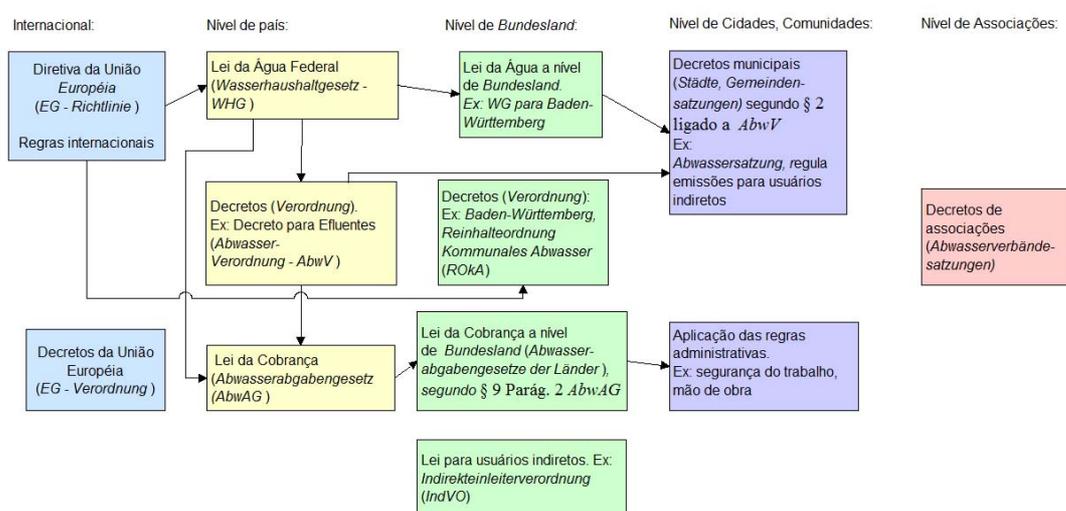


Figura 3 – Estrutura da Legislação para o Gerenciamento de Recursos Hídricos na República Federativa da Alemanha.

As Diretivas são criadas em conformidade com os legisladores nacionais da Comunidade Européia, e os países participantes são obrigados por lei a implementá-las como Lei Nacional, dentro de um prazo específico, ficando sujeitos a punições decididas pelo Tribunal da Comunidade Européia, que, geralmente, consistem em multas diárias variáveis. Em casos especiais, quando ocorre a participação ativa dos países inte-

² Land pode ser definido como cada estado independente formador da República Federativa da Alemanha. O termo Bundesland é empregado para definir cada unidade administrativa formadora da República.

³ No nível de Land pode ocorrer a terceirização do gerenciamento dos recursos hídricos, feito então por uma Associação, que tem também uma formação básica (membros do Estado e membros privados), determinada em lei. As Gemeinde são consideradas as menores unidades de administração na Alemanha.

grantes na formulação de determinada Diretiva, esta passa a ter validade a partir do momento de sua promulgação, sem haver a necessidade de um prazo para implementação.

Já os Decretos da Comunidade (*EG-Verordnung*) têm automaticamente validade como lei nacional, não precisando ser primeiramente postos em prática como Lei Nacional.

No caso do Gerenciamento de Recursos Hídricos, a Lei Nacional de Recursos Hídricos da Alemanha (*Wasserhaushaltgesetz*) teve sua origem na Diretiva 2000/60/EG do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de outubro de 2000, tendo como objetivo o estabelecimento de um ajuste para implementação de medidas na Política de Recursos Hídricos da Comunidade Européia.

Na República Federativa da Alemanha, a esfera nacional é responsável somente por trechos dos rios em que é feita a navegação, segundo o § 1 Parágrafo 1 da *Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG)*. Esses trechos estão definidos no Anexo 1 da mesma lei e aqueles não citados são automaticamente de responsabilidade dos estados-membros em que se localizam.

2.2.3 Diretivas da Comunidade Européia

A Tabela 3 traz algumas das Diretivas da Comunidade Européia (*EG-Richtlinie*) no contexto da Política de Recursos Hídricos e suas funções:

Tabela 3 – Principais Diretivas da Comunidade Européia e suas funções
(<http://umwelt-online.de/recht/wasser>).

Diretiva	O que rege?
91/271/EEC Data: 21 de maio de 1991	Trata das exigências para tratamento de efluentes domésticos. Mínimo tratamento secundário e medidas adicionais conforme bacia.
96/61/EG - Diretiva IVU (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) ⁴ Data: 24 de setembro de 1996	Princípios relevantes para gerenciamento de efluentes industriais. Padronização de tecnologias para diferentes setores industriais (BVT - Beste Verfügbare Techniken - BVT ⁵), Registro Europeu de Emissões de Poluentes EPER - European Pollutant Emission Register
2000/60/EG – Wasser-rahmenrichtlinie Data: 22 de dezembro de 2000	Incentivo à política integrada de Recursos Hídricos na Europa, bacia hidrográfica como unidade de gerenciamento.
2003/53/EG Data: 18 de junho 2003	Limita a circulação e utilização de substâncias perigosas e preparados como nonil fenol, nonil etoxilado e cimento

2.2.4 Leis de Recursos Hídricos da República Federativa da Alemanha

A seguir, serão apresentadas as principais leis de Recursos Hídricos vigentes na República Federativa da Alemanha. O objetivo é apresentar alternativas para o desenvolvimento futuro do arcabouço legislativo brasileiro, baseado em uma experiência já consolidada e bem sucedida.

A estrutura das leis na República Federativa da Alemanha divide os usuários em dois grupos, de acordo com o destino dos efluentes:

- Direto - quando o usuário lança seu efluente diretamente no corpo de água. Esses estão sujeitos a regras mais rígidas quanto à qualidade, quando comparados aos lançamentos indiretos. Os usuários diretos necessitam de uma permissão do órgão governamental para o uso do corpo de água para emissão de seus efluen-

⁴ Em inglês: IPPC (European Integrated Pollution Prevention Control)

⁵ Em inglês: best available techniques (BAT),

tes. Além disso, são obrigados a cumprir limites de lançamento impostos em lei. As quantidades e parâmetros limites constam nos anexos do Decreto para Lançamento de Efluentes em Corpos de Água (*Abwasserordnung – AbwV*). Esses usuários estão sujeitos à Lei da Cobrança (*Abwasserabgabegesetz - AbwAG*) e, dependendo do estado-membro em que se localiza, devem cumprir exigências extras como dispor de um programa de controle das emissões e protocolação dos resultados.

- Indireto - o usuário indireto direciona o seu efluente para uma estação de tratamento de efluentes domésticos. Nesse caso, a estação é o usuário direto. Para destinação dos efluentes, esses usuários utilizam a rede coletora pertencente ao estado-membro, mas não estão sujeitos à Lei da Cobrança - *AbwAG*. A regulação da permissão para o lançamento e do pagamento pelo efluente que é tratado é feita entre o usuário e a autoridade local, através de um Decreto (*Verordnung*) para usuários indiretos.

O controle das emissões assimiladas pela estação de tratamento de efluentes domésticos é feito por decretos municipais e ou decretos por estado-membro.

2.2.4.1 *Lei da Água Federal ou Wasserhaushaltgesetz (WHG)*

Esta lei foi promulgada em 1 Agosto de 1957, como instrumento político para regular o uso da água, considerando o bem estar nacional e a proteção ambiental. Essa lei foi novamente editada em 19 de agosto de 2002 e sofreu uma última modificação (7. *Novelle*⁶), entrando em vigor no dia 25 de junho de 2005.

Consiste na implementação da Diretiva 2000/60/EG (ver Tabela 3, p. 24) como Lei Nacional na República Federal da Alemanha.

DIREITO DO USO

Dentro do direito de uso da água, a *WHG* diferencia dois instrumentos: permissão (*Erlaubnis*) e Licença (*Bewilligung*):

⁶ *Novelle*: emenda, ou seja, qualquer alteração na lei.

Erlaubnis: permissão para o uso da água para um determinado objetivo, de acordo com regras quanto à forma e medida do uso. Esse tipo de permissão pode ser retirada a qualquer instante e possui um tempo determinado de validade.

Bewilligung: permissão para o uso da água para um determinado objetivo, porém consiste num direito subjetivo, somente podendo ser retirada em condições distintas, de acordo com §12 *WHG*. Outros usuários que se sintam em desvantagem ou prejudicados pelo uso não têm o direito de mover ações judiciais (§11 *WHG*). Geralmente essa permissão é dada para longos períodos de tempo.

No § 7, a *WHG* condiciona a permissão para o uso da água a cargas de emissão de efluentes mínimas, exigindo para isso o uso de tecnologias de acordo com *Stand der Technik*.

O termo *Stand der Technik* pode ser definido como estado de desenvolvimento de tecnologias avançadas, procedimentos de controle e supervisão, as quais aplicadas na prática compõem uma medida para limitar as emissões no ar, água e solo, garantindo assim a segurança de instalações, destinação de resíduos sólida ambientalmente correta, evitando ou diminuindo os efeitos prejudiciais ao Meio Ambiente, a fim de se atingir um alto nível de proteção ambiental conjunto e seguro (§ 7a parágrafo 5 *WHG*). No Anexo 2 da *WHG*, estão ainda os critérios para determinação de um *Stand der Technik*, como exemplos: uso de tecnologias que produzem menor quantidade de resíduos sólidos e utilizem menos produtos perigosos; avanços na implementação de tecnologias e nos conhecimentos científicos ligados a ela; consumo e forma de aproveitamento da matéria prima (por exemplo a água) e eficiência energética.

Definindo padrões *Stand der Technik*, é possível padronizar, principalmente no caso do ramo industrial, medidas e técnicas distintas para cada setor produtivo. Exemplos de *Stand der Technik* para fábricas de celulose e papel podem ser encontrados no documento EUROPEAN COMMISSION (2001) e serão discutidos posteriormente.

2.2.4.2 *O Decreto de Efluentes da República Federativa da Alemanha ou Abwasserordnung (AbwV)*

O *AbwV* possui uma nova versão de 17 de junho de 2004, que segue após a última mudança em 23 de outubro de 2002 e contém as exigências mínimas, isto é, deixa

claro que os limites indicados devem ser obrigatoriamente cumpridos para que seja fornecida uma Licença para descarte de efluentes num corpo de água e traz nos seus anexos particularidades para diferentes ramos industriais.

No § 2 *AbwV*, são definidos alguns termos, entre eles:

ponto de incidência (*Ort des Anfalls*) - local em que o efluente é tratado ou coletado, antes da mistura com outros tipos de efluentes;

mistura (*Vermischung*) - a reunião de correntes de efluentes advindas diferentes origens.

O § 3 *AbwV* lista algumas exigências gerais relacionadas ao racionamento do uso da água, manutenção da poluição dentro do setor hídrico e diluições, que se encontram enumeradas abaixo como são apresentadas no Decreto, seguidas de algumas observações:

- a carga de poluentes deve ser minimizada através da utilização de técnicas de economia de água em lavagem, limpeza e resfriamento indireto e adoção de produtos químicos mais limpos, ou seja, livres de substâncias tóxicas. Essa exigência destaca indiretamente as medidas internas da gestão moderna na indústria;
- as técnicas adotadas para o cumprimento da lei não devem transmitir a poluição para outros meios como o ar e o solo;
- proibição da obtenção dos valores de concentração exigidos através da diluição. A diluição é uma das principais soluções encontradas pelo setor industrial para atender os padrões de lançamento previstos em lei; no entanto, não só provoca um maior consumo de água, como mascara a carga de poluição, que, na verdade, permanece inalterada e segue para o corpo de água;
- misturas para um tratamento em conjunto só são permitidas quando no tratamento dessa corrente, é adquirido, no mínimo, a mesma diminuição da carga de substâncias poluentes do tratamento feito separadamente;
- misturas em locais com exigências específicas só são permitidas diante do cumprimento dessas exigências;

- no caso do escoamento de duas correntes de efluentes na mesma rede coletora, cujos parâmetros de lançamento são diferentes, para cada parâmetro deve ser feita a determinação dos limites exigidos, através de cálculo de mistura.

Esse decreto traz ainda uma lista das normas e dos métodos a serem utilizados para as análises e medições das amostras (Anexo 4 § 4), permitindo também a adição de outros à Licença (§ 4 *AbwV* (2)). Essa listagem não só orienta como também padroniza uma etapa importante para o controle das emissões.

De acordo com § 5 *AbwV*, as exigências estão relacionadas ao ponto no qual o efluente é lançado no rio, ou seja, consistem em padrões de lançamento. No caso de existirem anexos específicos para a atividade relacionada, são obrigatórias análises e medições também no ponto de incidência do lançamento ou no ponto anterior a sua mistura. O local antes da mistura coincide com o ponto de lançamento no caso de ETE municipais.

A atual *AbwV* possui 57 anexos, divididos em quatro partes A (área de aplicação), B (informações gerais), C (exigências para usuários diretos), D (exigências para usuários indiretos).

O Anexo 1 trata de efluentes domésticos e originários após o tratamento numa ETE doméstica. Os demais anexos cobrem diversos ramos industriais, compreendendo o Anexo 19 os parâmetros a serem controlados no ramo de celulose e no Anexo 28 os parâmetros a serem controlados no ramo de papel.

Para determinação dos parâmetros, são utilizados os seguintes tipos de amostras:

- amostra unitária - uma única amostra de uma corrente de efluentes;
- amostra mistura - pode ser composta de uma amostra coletada continuamente num período de tempo ou uma amostra composta da mistura de diversas amostras coletadas num determinado período de tempo continuamente ou descontinuamente;
- Amostra unitária qualificada - é uma amostra mistura constituída de no mínimo 5 amostras unitárias, coletadas num período máximo de 2 horas com intervalos mínimos de 2 minutos entre elas.

Na República Federativa da Alemanha, é exigido, por lei, o controle da qualidade da água dentro da planta industrial, além do controle realizado pelo órgão ambiental.

A seguir, são apresentados, em detalhe, os Anexos 19 e 28 relacionados ao setor de celulose e papel.

ANEXO 19: PRODUÇÃO DE CELULOSE

Esse anexo determina os limites para efluentes originados da produção de celulose pelos processos sulfito ou sulfato (item A, (1)). Não regula limites para efluentes originados da produção de celulose a partir de plantas com um ano de vida (*Einjahrespflanzen*), de sistemas de resfriamento indiretos e da ETA para abastecimento da planta.

Entre as exigências gerais, contidas no item B deste anexo, estão:

- descascamento a seco;
- otimização no tratamento da madeira, como por exemplo, através de um cozimento avançado e deslignificação com oxigênio;
- circuito fechado para lavagem e seleção da celulose não branqueada;
- utilização de técnicas de lavagem da polpa após o cozimento, que possibilitem a separação de no mínimo 98% das substâncias orgânicas presentes em solução e racionalização do consumo da água;
- utilização dos produtos secundários originados da lavagem da celulose, como exemplo o *tall oil*;
- neutralização e evaporação da solução resultante da lavagem da polpa;
- utilização do concentrado e recuperação dos produtos químicos;
- *stripping* do condensado concentrado e reúso
- branqueamento sem utilização de cloro elementar ou produtos químicos contendo cloro, com exceção do dióxido de cloro para produção de celulose sulfato ECF (livre de cloro elementar)

- minimização da utilização e retenção de quelantes orgânicos, que não atingem uma redução do DOC (*dissolved organic carbon*) de no mínimo 80% em 28 dias.

O item B incorpora, na forma de lei, diversas técnicas que fazem parte das BVT, obrigando assim o setor industrial a implementar medidas comprovadamente eficazes na prática; outro detalhe é o limite da DQO, expresso em carga por unidade de produção.

O item C, do mesmo anexo, traz as exigências para qualidade do efluente no ponto de lançamento. Para o efluente no ponto de lançamento no corpo de água são exigidos os limites da Tabela 4 (item C, (1)):

Tabela 4 – Limites de lançamento em corpo de água, Anexo 19 do Decreto de Efluentes da República Federativa da Alemanha (*AbwV*).

	Amostra mistura de 24h	
Demanda química de oxigênio (DQO)	kg/t	25
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅)	mg/L	30
Fósforo total	mg/L	2
Nitrogênio total, como soma da amônia, nitrito e nitrato	mg/L	10
Toxicidade a ovos de peixe	2	

A exigência da toxicidade a ovos de peixe se relaciona a amostras unitárias.

(2) O limite de nitrogênio total é tido como obedecido quando for determinado o nitrogênio orgânico total e este estiver dentro do limite citado.

(3) A DQO específica (kg/t) listada na Tabela 4 relaciona-se à capacidade da produção de celulose seca ao ar (toneladas por dia) permitida e contida na licença de operação. A carga é determinada com valores de concentração de amostras mistura de 24h e da vazão correspondente de efluente durante a coleta da amostra.

No item D do anexo, aparecem as exigências antes da mistura com efluentes de outras origens. Geralmente este vale para casos de lançamento indireto, ou seja, a fábrica não lança diretamente no rio, mas direciona seus efluentes para tratamento em uma ETE doméstica ou em uma ETE industrial conjunta.

Algumas das exigências nesse caso são, por exemplo, que o efluente não contenha antes da mistura cloro ou agentes de branqueamento que contenham cloro, além de halogênios orgânicos adsorvíveis. Para fábricas ECF, é permitida uma concentração de 0,25 kg de AOX por tonelada de celulose produzida (item D, (1) e (2)).

No item E do anexo, não são apresentadas exigências da qualidade do efluente no local em que é gerado ou aonde este é tratado antes da mistura com outros efluentes.

No item F do anexo, estão as exigências para canalizações já existentes antes de 1º de agosto de 2001 ou cuja construção se iniciou antes dessa data. Nesse caso, valem os valores do item C com as exceções para DQO de 40 kg/t, AOX 0,35 kg/t (para ECF, para o qual vale o valor do item D, (1), frase 2).

ANEXO 28: PRODUÇÃO DE PAPEL E PAPEL COM ALTA GRAMATURA

Esse anexo determina os limites para efluentes originados da produção de papel e papel de alta gramatura (Item A (1)). Não regula limites para efluentes originados de sistemas de resfriamento indiretos e da ETA para abastecimento da planta. No item B, parágrafo 1, estão algumas medidas para diminuição da carga do efluente:

- abdicar de aditivos que contenham APEO⁷
- abdicar de quelantes que possuam degradabilidade inferior a 80% num período de 28 dias, de acordo com o ensaio descrito no anexo da mesma lei;
- abdicar de aditivos para resistência à úmido que contenham AOX⁸;
- abdicar do uso de aditivos e produtos de operação para rompimento das ligações de halogênios, a fim de diminuir o cheiro no produto;
- otimização da recirculação de água, uso de produtos químicos e de processos com efluentes de altas cargas.

7 Aquilfenol etoxilado: tenso-ativos não iônicos com bom desempenho e baixo custo. Presente em muitos aditivos utilizados na indústria de celulose e papel e devido às propriedades tóxicas e efeitos hormonais vem sendo substituído, encontrado somente para usos especiais (BADEN WÜRTTEMBERG, 2005). Proibição do uso através do 8º Decreto para Mudanças no Decreto de Legalização de Substâncias Químicas (Achte Verordnung zur Änderung chemikalienrechtlicher Verordnungen) de 25 de fevereiro de 2004. Esse decreto determina a adição do Trecho 27 no Anexo do § 1 do Decreto de Proibição de Substâncias Químicas (ver item 2.2.4.5, p.42), e do Número 25 no Anexo IV do Decreto de Substâncias Perigosas (ver item 2.2.4.6), ambos referentes a aquilfenóis e a proibição de seu uso na produção de celulose e papel.

8 AOX – haletos orgânicos adsorvíveis, ver definição no item 5.2.1, p. 75.

Neste mesmo item B, no parágrafo 2, são listados produtos provenientes de solventes e produtos de limpeza que são proibidos e alguns deles são discutidos no item 5.2: AOX, benzeno, tolueno e dimetil benzeno.

A verificação do cumprimento das exigências do parágrafo 1 pode ser feita através de um livro de operação diária que contém os produtos químicos e de processo e o uso desses produtos está restrito ao mínimo necessário (Parágrafo 3, Anexo 28 *AbwV*).

As exigências do parágrafo 2 podem ser comprovadas também através do livro de operação diária que contém uma listagem dos produtos químicos utilizados no processo, com dados fornecidos pelo produtor, no qual nenhum dos produtos ou grupos citados pode estar contido. Aqui vale o destaque para a forma de controle dos produtos químicos utilizados na produção, que incentiva a busca por composições menos nocivas ao meio ambiente.

Nas várias visitas de campo a plantas de celulose e papel localizadas na Europa, pode-se observar a existência do livro de operação e de procedimentos de controle quando ocorre compra ou substituição de produtos químicos. Geralmente, a pessoa encarregada desta tarefa é o responsável pela ETE, que deve garantir o cumprimento dos limites de lançamento em lei.

Para o efluente no ponto de lançamento, são exigidos os limites da Tabela 5 (item C).

Tabela 5 – Limites de lançamento em corpo de água, Anexo 28 do Decreto de Efluentes da República Federativa da Alemanha (*AbwV*).

	Amostra unitária qualificada ou Amostra mistura de 2 horas	
	mg/L	kg/t
Sólidos suspensos	50	
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅)	25	-
Nitrogênio total, como soma da amônia, nitrito e nitrato	10	-
Fósforo total	2	-
Demanda química de oxigênio (DQO)	-	3

Se o efluente for tratado biologicamente, a exigência para sólidos suspensos é anulada (item C (2)).

Para fabricação de papéis com baixo teor de fibra de madeira fica permitida uma concentração de DBO₅ de até 50 mg/L, quando a carga de DBO₅ específica da produção não ultrapassa 1 kg/t (item C, (3)).

Exigências para fósforo e nitrogênio total só são válidas para produções com volume de efluentes diários superiores a 500 m³.

Uma carga de DQO de até 5 kg/t pode ser permitida quando o efluente provém das áreas:

- fabricação de papel, no qual 50% da celulose é branqueada ou descolorida; fabricação de papel de alta gramatura com celulose pura; fabricação de papéis com mudança na produção superior a uma vez por dia na média do ano ou fabricação de papel higiênico com alta resistência à umidade através de celulose pura e técnica TAD (Through Air Drying⁹).

A carga específica da produção (kg/t) está relacionada à capacidade implementada das máquinas de papel contida na licença de operação. A carga de poluentes é calculada através dos valores de concentração das amostras qualificadas ou da amostra mistura de 2 horas e da vazão de efluente correspondente durante a coleta da amostra (item C (6)).

Antes da mistura com outras correntes, o efluente deve possuir AOX de 10 g/t medido através de amostra unitária (item D (1)).

A Tabela 6 mostra alguns limites de AOX permitidos, quando aditivos para resistência à umidade, contendo essas substâncias, não são utilizados. Nesta tabela, a carga específica da produção (g/t) está relacionada à capacidade de produção das máquinas de papel contida na licença de operação relacionada ao produto final. A carga de poluentes é calculada através dos valores de concentração de amostra única e do volume de efluente durante a coleta da amostra.

⁹ Through Air Dryers (TAD) utilizam calor para retirada de água do produto, ao invés do processo convencional por pressão mecânica

Tabela 6 – Limites de lançamento em corpo de água, Anexo 28 da *AbwV*, quando aditivos para resistência à úmido contendo AOX não são utilizados.

	Papel resistente à umidade (menos do que 25% de resistência relativa à úmido)	Papel resistente à umidade (pelo menos 25% de resistência relativa à úmido)	Papel para decoração	Uso de produtos para rompimento das ligações de halogênios, a fim de diminuir o cheiro no produto
	Amostra unitária (g/t)			
AOX	60	100	100	60

A importância da distinção entre fábricas de celulose e papel pode ser reconhecida da comparação entre os limites de lançamento para cada tipo de produção. Enquanto para produção de celulose os limites são 25 kg/t DQO e 30 mg/L DBO (ver Tabela 4, p.30, para papel esse limites são 3 kg/t DQO e 25 mg/L DBO (ver Tabela 5, p. 32). Essa grande diferença é explicada pela composição muito mais prejudicial do efluente advindo da produção de papel, pois contém diversas substâncias químicas específicas, discutidas no item 5.2.

Outra diferença nos parâmetros aplicados à produção de celulose e papel é a presença do controle de toxicidade a ovos de peixe somente na produção de celulose (Tabela 4), que pode ser explicada pelo processo de branqueamento das fibras, que compõe essa parte do processo.

2.2.4.3 *Lei da Cobrança pelo Lançamento de Efluentes ou Abwasserabgabengesetz (AbwAG)*

Comparada com a *WHG*, essa lei é nova. Foi promulgada em 13 de setembro de 1976 e entrou em vigor em 1 de janeiro de 1978, sendo instituída a cobrança a partir de 1981. Sofreu diversas revisões como a 2. *Novelle* em 19 de dezembro de 1986, a 3. *Novelle* em 1990. e a 4. *Novelle* em 1994. Com a entrada do euro, sofreu uma mudança em sua regulação em 09 de setembro de 2001, e a última versão data de 18 de janeiro de 2005.

A *AbwAG* é um instrumento político-financeiro para cumprir os objetivos descritos no §7 *WHG*, melhorando assim a performance dos tratamentos de efluentes e a qualidade dos corpos de água. Essa relação fica explícita no § 9 Parágrafo 5 da *AbwAG*.

Além disso, a filosofia da cobrança é a do poluidor-pagador, ou seja, requer que os produtores de descargas diretas (usuários diretos) paguem pelo menos parte dos custos pelo uso da água. As cargas são baseadas na quantidade e nocividade de certas substâncias que são descarregadas (VELTWISH, 2003).

Esta lei não engloba usuários que destinam seus efluentes a uma estação de tratamento (usuários indiretos). Nesses casos, a estação de destino para tratamento determina, através de contrato firmado, as exigências mínimas para a qualidade do efluente conduzido e o valor a ser pago pelo usuário indireto por esse tratamento.

TAXAMENTO

A cobrança é feita sobre despejos de efluentes (§ 1 *AbwAG*), definidos como (§ 2 *AbwAG*):

- j) a água cuja qualidade é modificada através de usos domésticos, comerciais, para agricultura ou outros usos;
- k) a água poluída (*Schmutzwasser*) conduzida juntamente com o item a em dias não chuvosos;
- l) a água da chuva, originada de áreas construídas ou impermeabilizadas.

O cálculo do valor a ser pago é baseado nos parâmetros de controle (*Überwachungswerte*) e na carga de efluentes anual. Essas informações estão contidas num documento denominado *Bescheid*¹⁰. O controle é feito tanto para os valores limites de descarte como para a carga anual produzida, ambas as exigências devem ser obedecidas, sendo que, para os valores de descarte, há o controle 5 vezes ao ano pelo órgão responsável.

O Anexo da *AbwAG* traz uma tabela contendo os *Schwellenwerte*¹¹ (valores limiares) em concentração e carga anual e as respectivas *Schadeinheiten* (Unidades de Poluição) para cada parâmetro controlado. A partir da carga anual e do valor de uma Uni-

¹⁰ Esse documento é uma licença para o uso da água, baseado normalmente em valores medidos. Contém os limites de lançamento para os parâmetros de controle e de toxicidade e determina a carga anual de efluentes permitida (§ 4 Parágrafo 1 *AbwAG*).

¹¹ Esses valores limiares não correspondem a exigências para o lançamento, mas sim, para a isenção do pagamento. Limites de lançamento são determinados na *AbwV* e não são tão rígidos como os do Anexo da *AbwAG*.

dade de Poluição, é possível calcular o valor a ser pago pelo usuário, de acordo com o grau de poluição da água, medida pelas Unidades de Poluição.

Se as concentrações ou cargas anuais das substâncias estão abaixo dos valores limiares, e a carga anual limite não é alcançada, não há taxaço. No entanto, os *Schwellenwerte* têm valores tão pequenos, que normalmente não conseguem ser obedecidos. Outra possibilidade para não taxaço é a ausência de toxicidade a ovos de peixe sob um fator de diluição 2 (§ 3 Parágrafo 1 *AbwAG*).

Para alguns setores industriais, os anexos da *Abwasserordnung* (ver item 2.2.4.2) apresentam, além dos limites de lançamento para os principais parâmetros, algumas exigências detalhadas quanto à presença de substâncias tóxicas. No caso da produção de celulose, elas se encontram no Anexo 19 e para produção de papel o Anexo 28 da *Abwasserordnung*.

PARÂMETROS CONTROLADOS

Os parâmetros de controle para determinação da quantidade de Unidades de Poluição são DQO, P, N, AOX, metais como mercúrio, cádmio, cromo, níquel, chumbo, cobre e a toxicidade a ovos de peixe.

A Tabela 7 mostra o valor de uma Unidade de Poluição para cada parâmetro e os valores limiares abaixo dos quais não há a taxaço. Somente o atendimento de uma dessas exigências é necessário para a isenção do pagamento.

O preço por Unidade de Poluição desde 1º de janeiro de 2002 é 35,79 € (§ 9 Parágrafo 4, Lei da Cobrança pelo Lançamento de Efluentes - *AbwAG*).

Casos em que a água captada para o uso já possui carga poluente são considerados de acordo com § 4 Parágrafo 3 da Lei da Cobrança pelo Lançamento de Efluentes (*AbwAG*), que prevê que o valor a ser arrecadado é descontado o valor correspondente a essa carga que é captada antes do uso.

Tabela 7 – Parâmetros de controle, Unidade de Poluição e valores limiars para isenção do pagamento da taxa anual de efluentes, contidos no § 3 Parágrafo 1 da Lei da Cobrança pelo Lançamento de Efluentes (AbwAG).

Poluente ou grupos de poluentes a serem analisados	Uma Unidade de Poluição corresponde:	Valores limiars (<i>Schwellenwerte</i>) de acordo com a concentração e carga anual
DQO	50 kg O ₂	20 mg/L e 250 kg/ano
Fósforo	3 kg	0,1 mg/L e 15 kg/ano
Nitrogênio	25 kg	5 mg/L e 125 kg/ano
AOX	2 kg Halogênio*	100 g/L e 10 kg/ano
Metais e ligações		
Merúrio	20 g	1 µg/L e 100 g/ano
Cádmio	100 g	5 µg/L e 500 g/ano
Cromo	500 g	50 µg/l e 2,5 kg/ano
Níquel	500 g	50 µg/l e 2,5 kg/ano
Ferro	500 g	50 µg/L e 2,5 kg/ano
Cobre	1000 g Metal	100 µg/L e 5 kg/ano
Toxidade a ovos de peixe	6000 m ³ efluente dividido pelo fator de diluição (G _{EI})	G _{EI} = 2

CONTROLE

O cumprimento dos limites estabelecidos para os parâmetros é provado através de um programa de medidas estabelecido por um órgão público.

A quantia arrecadada da taxa deve ser investida em medidas para a melhoria e preservação do corpo de água. Além disso, os estados podem determinar se os custos de administração e gerenciamento do sistema devem ser cobertos também com essa fonte.

Problemas na operação da planta de efluentes devem ser imediatamente informados ao órgão estadual.

Durante o ano, são feitos cinco controles da qualidade do efluente por órgãos estaduais. Se durante esses controles forem detectados valores acima dos permitidos na Licença, são tomados diferentes procedimentos para punição, que são descritos no exemplo abaixo (Tabela 8), traduzido de LANDESANSTALT (2005):

Tabela 8 – Exemplos para cálculo do valor a ser pago pelo lançamento de efluentes, de acordo com o controle efetuado dentro da República Federativa da Alemanha.

Limites DQO (mg/L) 2002/2003	Resultados dos Controles feitos pelo estado (mg/L)									Aumento da Unidade de Poluição (%)	
	2002					2003				Nº controles	-
	1	2	3	4	5	1	2	3			
1 35/30	29	32	24	25	33	18	27	29	...	-	
2 35/30	29	32	24	25	33	34	27	29	1	-	
		↑	↑	↑	↑	↓					
3 35/30	29	32	24	25	38	34	27	29	1	6,67	
4 35/30	29	32	24	25	33	34	27	38	1 e 3	13,33	
		↑	↑	↑	↑	↑↓	↑	↓			
5 35/30	29	32	24	25	38	34	27	38	1 e 3	26,66	
					↑	↑↓	↑	↓			
6 35/30	29	32	24	25	33	18	27	65	3	58,33	

A primeira coluna representa os valores limites estipulados na licença e a partir da terceira coluna os valores medidos pelo controle do estado nos anos de 2002 e 2003. A última coluna mostra a porcentagem de aumento do valor da Unidade de Poluição, como punição pelo não cumprimento da lei.

No primeiro caso, todos os valores ficaram abaixo dos exigidos por lei, portanto não há qualquer aumento.

No caso 2, houve uma incidência de irregularidade. A lei declara que a primeira incidência de irregularidade não está sujeita ao aumento do valor da Unidade de Poluição. Portanto, há ausência de punição.

Já, no caso 3, ocorreram duas irregularidades. A primeira não teve como consequência o aumento da Unidade de Poluição. No entanto, a segunda incidência, por estar logo após a primeira (casos em que a segunda incidência não é considerada irregularidade são aqueles em que os 5 controles anteriores não apresentaram problema). O aumento de 6,67% é calculado pelo maior aumento entre os valores irregulares, ou seja, 34 quando o limite era 30, o que resulta em 13,33%. No entanto, o aumento da taxa que se dá na prática é de somente 50%, ou seja, a metade de 13,33% calculados, resultando apenas 6,67%, por ser a primeira incidência. Esse aumento incide no valor da Unidade de Poluição para o ano todo vigente. O caso 4 representa o mesmo do caso 3, porém com aumento de 50% sob 26,66%.

No caso 5, considerando as mesmas irregularidades do caso 3, a irregularidade ocorrida durante o terceiro controle anual de 2003, leva a incidência mais rígida de um aumento agora de 100%, ou seja, o maior aumento observado no período $38-30/30 = 26,66\%$, que agora é aplicado sem descontos.

No caso 6, houve somente a irregularidade durante o terceiro controle de 2003, porém, o valor medido supera o valor permitido em lei em mais de 100%. Nesse caso, incide aumento da Unidade de Poluição em 50%, ou seja, $65-30/30 * 0,5 = 58,33\%$

A punição aplicada através do aumento da Unidade de Poluição fica estendida para todo o ano em que foi cometida a irregularidade e não somente a um fato pontual, como no caso em que são aplicadas multas isoladas para cada não cumprimento dos limites vigentes. O papel do controle feito pelo estado é de grande importância e garante o respeito à lei.

CÁLCULO DO VALOR A SER PAGO

Um exemplo prático ilustrado em LANDESANSTALT (2005) considera uma Unidade de Poluição (Tabela 7):

DQO - 50kg; nitrogênio: 25kg; fósforo - 3 kg

Os valores limiares de concentração e carga:

DQO $\leq 20\text{mg/l}$ ou $\leq 250\text{ kg/ano}$; Nitrogênio $\leq 5\text{mg/l}$ ou $\leq 125\text{ kg/ano}$; DQO $\leq 0,1\text{mg/l}$ ou $\leq 15\text{ kg/ano}$

A quantidade de Unidades de Poluição é calculada pela fórmula:

parâmetros de controle [mg/l] * Vazão anual de efluentes [m³]/(Unidade de Poluição/1000)= total de Unidades de Poluição

DQO: $55 * 1200000 / (50 * 1000) = 1320$; nitrogênio total: $18 * 1200000 / (25 * 1000) = 864$; fósforo: $2 * 1200000 / (3 * 1000) = 800$

Água de chuva

Segundo a *AbwAG*, estão sujeitas a cobranças também as descargas de água de chuva (§2 Parágrafo 1).

A determinação do grau de poluição para água de chuva ou pequenos usuários é aproximada e nesses casos a quantidade de Unidades de Poluição pode ser determinada de acordo com os §7 e §8 da *AbwAG*, respectivamente, ficando livre para os estados-membros a determinação das condições nas quais há isenção do pagamento (§7 Parágrafo 2).

COMPENSAÇÃO

De acordo com § 10 Parágrafo 3 da *AbwAG*, uma alternativa permitida pela lei é a utilização da quantia paga pela emissão de efluentes em melhoramentos ou implantação de sistemas de tratamento de efluentes. A quantia que pode ser investida corresponde ao total pago durante, no máximo, 3 anos anteriores à entrada em funcionamento do sistema de tratamento ou, se o planejamento anual for apresentado ao órgão responsável, é possível obter a isenção do pagamento da taxa, podendo esse dinheiro ser diretamente investido. Porém, a parcela da taxa paga segundo § 4 pelo não cumprimento dos limites estabelecidos para os parâmetros de controle não pode entrar no cálculo (§ 10 Parágrafo 3 *AbwAG*).

A exigência para a compensação é 20% de melhora em pelo menos um parâmetro taxado e uma corrente de efluentes tratada, assim como minimização da carga de poluentes total. Isso pode ser aplicado não somente para toda a emissão, como também para correntes individuais. Para comprovar a melhora adquirida, cada estado-membro exige um programa de controle. No estado-membro de *Nord Westfalen*, por exemplo,

essa comprovação é feita através de análises num período anterior à implantação de medidas e de um período posterior. Normalmente, cada uma dessas duas campanhas de análises têm duração de aproximadamente 6 meses.

A ferramenta da compensação vem a ser um incentivo a instrumentos para melhoria da qualidade das emissões hídricas, principalmente para o setor industrial, cujos investimentos geralmente são impulsionados por uma relação custo-benefício favorável.

DESCONTOS

Descontos de 50% nos valores cobrados podem ser efetuados segundo o § 9 Parágrafo 5 *AbwAG*, exceto para águas de chuva e para pequenos usuários, se:

- os valores de controle não ultrapassem as exigências mínimas dadas pela *Abwasserordnung*;
- se esses valores foram alcançados com *Stand der Technik* e não através de diluição (neste caso os estados-membro podem, nas suas Leis, determinar as condições para desconto quando ocorre diluição).

DESTINO DOS VALORES ARRECADADOS

No § 13 Parágrafos 1 e 2 da *AbwAG* descrevem o destino das quantias arrecadadas pela cobrança e as medidas preferenciais a serem tomadas. Alguns exemplos das medidas a serem tomadas contidas no § 13 Parágrafo 2: construção de ETEs, construção de reservatórios para água de chuva e respectivos tratamentos, construção de anéis e canais de captação de efluentes em lagoas, beiras de praia, construção de plantas para tratamento do lodo, entre outras.

2.2.4.4 Decreto para Água Destinada a Consumo Humano ou Trinkwasserordnung (TrinkwV)

Essa lei de 21 de maio de 2001, com a última mudança em 31 de outubro de 2006.

No § 1, a *TrinkwV* descreve o seu objetivo: proteger a saúde humana das influências desvantajosas causadas pela água não tratada, garantindo características adequadas para o consumo humano e pureza.

Os decretos que serão apresentados a seguir relacionam-se indiretamente com o setor industrial.

2.2.4.5 *Decreto de Substâncias Químicas Proibidas ou Chemikalien-Verbotsverordnung (ChemVerbotsV)*

Trata-se do Decreto de 13 de junho de 2003 que controla a circulação e utilização de substâncias químicas. Determina as substâncias proibidas, os casos em que é necessária licença para o transporte, as responsabilidades quando estas são passadas para o poder de terceiros, limitações para vendas automatizadas em máquinas, abastecimento em tanques, normas em geral, infrações e multas.

Esse decreto sofreu algumas mudanças através do Oitavo Decreto para Mudanças dos Decretos para Substâncias Químicas (*Achte Verordnung zur Änderung chemikalienrechtlicher Verordnungen*), de 25 de fevereiro de 2004. Dentre essas, aparece a adição da Seção 27 referente ao Alquilfenol (Artigo 1 (6)). Este trecho proíbe a utilização do nonilfenol e nonilfenol etoxilado, assim como preparados que contenham essas substâncias em concentrações iguais ou superiores a 0,1% na produção de celulose e papel (letra f).

2.2.4.6 *Decreto de Substâncias Perigosas ou Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)*

Decreto de 23 de dezembro de 2004 que visa controlar a circulação, o preparo e os produtos que envolvem substâncias perigosas. O objetivo é a proteção contra danos à saúde e perigos que possam ser causados por essas substâncias, tanto para pessoas cuja ocupação exige um contato direto como para as demais, além da proteção ambiental contra possíveis danos ligados a essas substâncias (§ 1, (1)).

Esse decreto também sofreu algumas mudanças também através do Oitavo Decreto para Mudanças dos Decretos para Substâncias Químicas (*Achte Verordnung zur Änderung chemikalienrechtlicher Verordnungen*), de 25 de fevereiro de 2004. O Anexo IV recebe, entre outros, o trecho 25, referente ao Alquilfenol. Na letra f deste mesmo trecho aparece listada a fabricação de celulose e papel, como setor onde há a proibição do uso de nonilfenol e nonilfenol etoxilado, assim como preparados contendo essas substâncias em concentrações superiores a 0,1%.

2.2.4.7 *Lei de Proteção Contra Imissões ou Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG)*

Essa lei foi promulgada em setembro de 2002 e impõe condições e fornece medidas preventivas para proteger o homem, os animais, as plantas, o solo, a água e a atmosfera, assim como riquezas culturais, entre outras, de efeitos ambientais danosos.

No § 3 define imissões (2) e emissões (3). Imissões são poluições do ar, ruídos, luz, calor, raios ou outros impactos ao Meio Ambiente que têm efeitos sobre pessoas, animais, plantas, solos, água, atmosfera, bens culturais e materiais. Emissões são as poluições do ar, ruídos, luz, calor, raio e impactos do Meio Ambiente similares, que têm sua origem num determinado sistema.

No § 5, a lei determina as obrigações dos operadores de atividades que necessitam de licença de operação, dentre elas, a de tomar medidas de prevenção contra danos ao Meio Ambiente (2), a de evitar a produção de resíduos sólidos (3) e economia de energia (4).

O setor industrial, mais especificamente de celulose e papel, foi diretamente afetado e obrigado a minimizar a vazão de efluente específica e a quantidade de lodo produzido.

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS

Através da Lei 9433/97, ocorreu a divisão das bacias em estaduais e federais com a tomada de decisões realizada por um comitê de bacia, no qual há participação de diversas esferas da sociedade. Por um lado, essa é uma forma extremamente democrática para tomada de decisão, porém limitada por sua composição, fixa por bacia e não por natureza e usos dados ao corpo de água. A tomada de decisão sobre questões mais regionalizadas poderia ser delegada a comunidades ou associações diretamente envolvidas, a fim de colocar como prioridade a garantia de sua harmonia e bem estar com um envolvimento direto e significativo dos usuários na elaboração de ferramentas para o controle da qualidade das águas. Essa descentralização mais estendida se mostra eficiente em experiências verificadas em outros países, pois a tomada de decisão é baseada nas necessidades diretas dos usuários, principalmente em casos que envolvem o uso para fins industriais.

As ferramentas para controle de emissões em corpos hídricos devem ser construídas de maneira eficiente para não somente existirem, mas também exercerem seu papel de garantir o cumprimento da legislação. Uma sugestão para o primeiro passo neste sentido seria a padronização das normas para medição de parâmetros de controle da qualidade de efluentes em nível nacional, facilitando assim avaliações comparativas.

Diante da variedade de atividades industriais existentes, há necessidade da fixação de limites de lançamento e parâmetros adicionais, de acordo com o setor industrial e condições do corpo hídrico em questão, pois cada setor industrial possui correntes de efluentes específicas. Sob esse ponto de vista, é imprescindível que exista um esforço para a criação de normas específicas para emissões setorizadas. A importância da existência de ferramentas de gestão e controle das emissões advindas do setor industrial é uma forte arma contra a transferência da poluição de outros pontos do globo para os corpos de água brasileiros, estratégia que vem sendo muito utilizada por grandes empresas em busca de menores custos de produção e conseqüentemente maiores lucros. Sendo o setor industrial de celulose e papel brasileiro extremamente competitivo no mercado mundial, é importante desenvolver ferramentas capazes de evitar que essa competitividade seja baseada na redução de gastos necessários para o bom desempenho ambiental da planta e uma produção mais limpa.

Na Alemanha, é muito comum a fixação de limites para parâmetros críticos, neste caso a DQO e AOX, em carga por unidade de produção, como exemplo kg de DQO por tonelada de papel produzido. Parâmetros como a DBO são considerados como secundários e controlados somente em concentração, pois já foram atingidos altos níveis de qualidade no tratamento de efluentes. Considerando que o Brasil ainda está numa fase inicial do processo para recuperar e preservar seus corpos de água, não é aconselhável tal estratégia.

Uma relação entre a quantidade de carga produzida por unidade de produto final obtido expressa de forma simples e clara a magnitude da emissão, permitindo a comparação entre emissões de diferentes setores. No estudo de caso apresentado, os limites de lançamento presentes na Licença de Operação (item 2.1.2.3), percebe-se a presença de parâmetros que não têm relação com descargas advindas da produção de celulose e papel, como é o caso de óleos e graxas. Os limites de DBO e DQO estão expres-

sos em concentração e em carga diária, não havendo nenhuma relação com a quantidade produzida. Seria recomendável também a adição de parâmetros específicos de controle, como, por exemplo, sólidos suspensos, que é utilizado largamente para controle de emissões em corpos de água na República Federativa da Alemanha. Outros parâmetros adicionais, importantes para o controle de emissões desse ramo industrial encontram-se definidos no item 5.

Devido à grande variedade entre os tamanhos de plantas e capacidades de produção, é coerente estipular limites de lançamento em concentrações e em cargas. No entanto, para um controle adequado de concentrações, é necessário verificar a ocorrência de diluições que podem acontecer na planta antes do direcionamento para o corpo de água. Esse controle pode somente ser feito através de medições de cada corrente específica e de uma medição pós mistura, o que exige um alto investimento em campanhas de medições por parte do usuário.

Apesar de termos um Código das Águas de 1934, mais antigo que a Lei das Águas da Alemanha de 1957, o reconhecimento da água como um bem dotado de valor econômico vem somente com a Lei 9433/97, enquanto na Alemanha essa conscientização existe desde 1976. Na estipulação do valor a ser cobrado pelo uso da água, ocorre, no Brasil, uma tendência da fixação do valor por unidade, por exemplo, R\$ por m³ captado, R\$ por kg de DBO, enquanto na Alemanha foi fixado um preço para uma Unidade de Poluição e as emissões correspondentes para cada parâmetro que equivalem a uma unidade. Apesar dos valores limiares alemães serem muito baixos, há a possibilidade do não pagamento caso ocorra o atendimento de um desses parâmetros, o que flexibiliza um pouco a taxação. Outro ponto importante a ser observado é que, apesar dos valores limiares serem apresentados em concentrações, há também um limite anual, expresso em unidade de carga. Essa medida tem o objetivo de verificar a ocorrência de diluições, solução muito comum utilizada pelo setor industrial na busca de cumprir as concentrações limites para lançamentos.

A punição no Brasil dá-se através de multas pontuais, quando da ocorrência de irregularidade e quando esta é informada ou detectada pelo órgão ambiental. Essa estratégia talvez seja menos eficaz e mais facilmente esquecida por parte do usuário. Experiências com punição estendida por todo o período a que está sujeita a cobrança

podem trazer um maior envolvimento e comprometimento por parte dos usuários, e, portanto, devem ser consideradas.

Uma diferença crucial entre a coleta de efluentes nos dois países é a infra-estrutura utilizada. Na Alemanha, existe a coleta das águas pluviais e dos efluentes no mesmo sistema de canalizações, porém a lei contém também ferramentas para o controle de qualidade de águas pluviais descartadas nos corpos de água. No Brasil, as águas pluviais são coletadas separadamente e seguem sem tratamento para os corpos de água. Uma grande desvantagem desse sistema e um problema real são as ligações clandestinas, que direcionam os efluentes brutos diretamente aos rios, lagos e oceanos. Uma mudança no sistema atual é pouco possível do ponto de vista econômico, portanto deve haver um maior controle para evitar que essas ligações aconteçam, o que contribuirá muito para a diminuição das cargas que são direcionadas aos corpos d'água.

A compensação, apresentada na legislação alemã, é uma ferramenta poderosa de gestão para direcionar os valores arrecadados pela cobrança em melhorias diretas. O grande problema da implantação dessa ferramenta no Brasil é todo o suporte que ela necessita para ser eficaz: legislação adequada aos objetivos a serem atingidos, profissionais qualificados para atuar no controle das suas execuções e um programa de intervenção bem elaborado por parte do usuário interessado. O setor industrial seria um dos principais usuários a se beneficiar dessa ferramenta, podendo investir em melhorias dentro da produção, como o reúso e até nos tratamentos *end of pipe*, com a vantagem de poder deduzir diretamente os investimentos do montante a ser pago pelo uso da água. Uma medida dessa natureza, se eficaz, promove uma aceleração nas intervenções, pois há um benefício direto para o usuário e o corpo de água em questão.

A legislação brasileira vem ainda se estruturando e é coerente e inteligente observar ferramentas eficazes aplicadas em outros países, porém sem ignorar ou menosprezar a dimensão de toda a estrutura que garante o seu funcionamento.

O Brasil encontra-se no início do processo de conscientização ambiental. O arcabouço apresentado como exemplo mostra a importância de haver uma conectividade entre os meios ar, água e solo. Essa conectividade é real na prática e deve também estar representada legalmente, principalmente com o fim de evitar a transferência da poluição de um meio a outro.

3 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

Tanto a celulose como o papel são produzidos após uma série de etapas, variáveis de acordo com o processo utilizado e o produto final a ser obtido. A matéria-prima essencial são as fibras de celulose, virgens ou recicladas que, adicionadas a diferentes constituintes e após o processamento, se transformam no produto final desejado. Essas fibras são originadas, em sua maioria, da madeira, mas também podem ser encontradas em gramíneas e na palha, além de outras fontes.

A composição natural da madeira é de 50% água e a fração sólida é composta por aproximadamente 45% de celulose, 25% de hemicelulose; 25% de lignina e os 5% restantes são materiais orgânicos e inorgânicos (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

3.1 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE

A produção de celulose e papel pode ser feita por processos puramente químicos, puramente mecânicos ou também da combinação entre estes.

Na Tabela 9 encontra-se a descrição resumida dos principais processos utilizados, adaptada de PIOTTO (2003). O processo *Kraft* ou sulfato, por ser o foco deste trabalho, será descrito de forma mais detalhada na seqüência.

Tabela 9 – Principais características dos processos de produção de celulose.

Processo	Sistema	Rendimento	Observação	Tipo de papel
Mecânico (MP)	Prensagem a úmido contra rolo giratório	93-98%	Separação de fibras não é completa	Jornal, revistas, embrulhos
Termomecânico (TMP)	Aquecimento cavacos com vapor, seguido de desfibramento em refinador a disco	92-95%	Papel com maior resistência mecânica, melhor imprimibilidade	Melhor qualidade em relação a MP
Processo Semi-químico	Acréscimo de produtos químicos antes da desfibragem	60-90%	Pasta CTMP – pré tratamento com sulfito de sódio ou álcali antes da desfibragem	
Processo Químico (Sulfito)	Cozimento em digestores com licor ácido	40-60%	Dificuldade de recuperação produtos químicos	Impressão e escrita

No processo *Kraft*, a madeira em forma de cavacos é tratada em vasos de pressão, denominados digestores, com soda cáustica e sulfeto de sódio.

É um processo químico que visa dissolver a lignina, preservando a resistência das fibras, obtendo-se dessa maneira uma pasta forte (daí a nomenclatura *Kraft*, que significa forte em alemão), com rendimento entre 50 a 60 %. É muito empregado para a produção de papéis, cuja resistência é o principal fator, como para as sacolas de supermercados, sacos para cimento, etc.

O processo *Kraft* é muitas vezes utilizado como sinônimo do processo sulfato, pois, em ambos, são utilizados os mesmos produtos químicos. Porém, ainda pode ser encontrada a diferenciação de acordo com as condições do processo, que são mais fortes no processo sulfato, isto é, emprega-se maior quantidade de sulfeto e de soda, além do cozimento ser feito por mais tempo e com temperaturas mais elevadas. Neste trabalho, porém, não foi feita essa distinção, sendo os dois processos considerados como sinônimos.

O processo *Kraft* ou sulfato é o mais usado no Brasil e se presta muito bem para a obtenção de pastas químicas com eucalipto, ou outras do tipo *hardwood*. Isso porque preserva a resistência das fibras e dissolve bem a lignina, formando uma pasta branqueável e com boas propriedades físico-mecânicas.

Uma das principais características dessa tecnologia é o processo de recuperação de produtos químicos, cujas etapas são:

- lavagem conduzida para obter a separação mais completa de massa e lixívia com a menor diluição possível;
- evaporação da água da lixívia até uma concentração suficiente para permitir sua queima;
- queima da lixívia seguida da dissolução dos fundidos;
- caustificação (conversão do carbonato de sódio em hidróxido).

A recuperação é formada por quatro grandes unidades: evaporação, caldeira de recuperação, caustificação e forno de cal, como mostra a Figura 4.

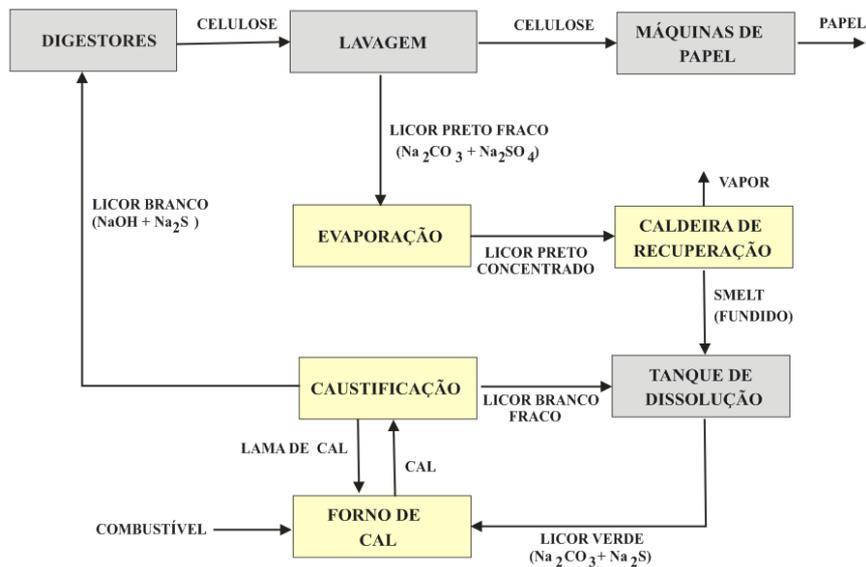


Figura 4 – Fluxograma representativo do processo de recuperação de produtos químicos utilizados no processo *Kraft*.

3.2 BRANQUEAMENTO

A fase de branqueamento pode ser precedida de um processo de depuração da polpa marrom, que tem por objetivo separar mecanicamente a polpa das impurezas que a acompanham após o processo de cozimento. Essas impurezas causam problemas nos estágios subseqüentes, tais como sujeira na polpa, perda de rendimento no processo, danos à máquina, desgastes de equipamento, problemas na secagem e um consumo adicional de vapor e produtos químicos.

A principal função do branqueamento é a obtenção de uma celulose mais resistente a alterações do tempo, facilitar o controle do tingimento e obter papéis com brancura adequada para impressão.

De acordo com PIOTTO (2003), o branqueamento convencional *Standard* (STD) começa com um tratamento da pasta com cloro, seguido por uma extração alcalina com soda cáustica, sendo aplicada, depois disso, uma série de combinações ou seqüências em que se alternam o dióxido de cloro, o hipoclorito e a soda cáustica.

Técnicas modernas de branqueamento possuem uma fase que precede o branqueamento propriamente dito, denominado de deslignificação com oxigênio ou pré-branqueamento. Nesta fase, há uma redução do teor de lignina residual da polpa e conseqüentemente um gasto menor de produtos químicos nas fases seguintes.

O ozônio e o peróxido de hidrogênio são agentes de branqueamento considerados menos prejudiciais ao Meio Ambiente, pois não apresentam cloro em sua composição, o que evita a formação de compostos organoclorados no efluente da planta de branqueamento, medidos na forma de haletos orgânicos adsorvíveis (AOX), definido no item 5.2.1.

A planta de branqueamento consiste numa seqüência de estágios com adição de diversas substâncias químicas, basicamente composta de equipamentos para mistura de produtos químicos à polpa, reator de branqueamento e o equipamento para lavagem e separação dos produtos usados, remoção da lignina e outros materiais dissolvidos (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Os estágios de branqueamento são designados por abreviações, de acordo com o agente de branqueamento utilizado, de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 – Diferentes estágios do branqueamento, suas denominações e descrições do agente utilizado (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Denominação	Descrição do agente
Q	Estágio ácido, remoção de metais com quelantes
Z	Ozônio (O ₃)
P	Peróxido (H ₂ O ₂)
D	Dióxido de cloro (ClO ₂)
E	Hidróxido de sódio (NaOH)
E/O	Extração com hidróxido de sódio e adição de oxigênio
E/P	Extração com hidróxido de sódio e adição de peróxido de hidrogênio

A celulose recebe então diferentes denominações, de acordo com o processo de branqueamento (PIOTTO, 2003):

- STD - Standard - com uso de cloro molecular
- ECF - Elementary chlorine free - sem uso do cloro molecular
- TCF - Totally chlorine free - sem uso de compostos clorados

Efluentes de uma planta de branqueamento que utiliza produtos químicos contendo cloro em sua composição apresentam emissões de compostos organoclorados medidos através do parâmetro AOX (5.2.1).

3.3 FABRICAÇÃO DE PAPEL

Na fabricação do papel são adicionadas à pasta celulósica matérias-primas não fibrosas, de acordo com a finalidade a que o papel se destina.

De acordo com HAMMAN (2003), os principais componentes dos papéis são as fibras, os materiais de enchimento ou cargas, os pigmentos e os aditivos químicos, descritos a seguir.

3.3.1 Aditivos para Enchimento e Pigmentos

Os aditivos de enchimento ou cargas são substâncias inorgânicas, normalmente encontradas na forma pulverizada, que são acrescentados à polpa antes da formação da folha e se distribuem na superfície da folha formada.

Quando a adição é feita após a formação da folha, na forma líquida, esses aditivos são denominados pigmentos.

A principal função desses materiais é o preenchimento de espaços vazios do papel, resultando numa superfície mais fechada e contribuindo assim para o aumento da opacidade e da brancura do papel, melhorando conseqüentemente as propriedades de impressão. São geralmente mais baratos do que as fibras, no entanto sua utilização deve ser feita em quantidades limitadas, a fim de não prejudicar a estabilidade do papel, podendo assim representar até 35% do produto final (HAMMAN, 2003). Esses aditivos devem ser insolúveis em água e são diferenciados pelo grau de brancura, densidade e solubilidade (AEV, BGBl. II Nr. 215/2000).

Alguns dos materiais de enchimento mais comuns são: silicatos (caulim e talco); carbonatos (giz e magnesita); sulfatos (gesso, sulfato de bário); óxidos (óxido de alumínio e dióxido de titânio).

3.3.2 Aditivos Químicos

Na produção de papel, é muito comum a utilização de aditivos com o objetivo de influenciar o processo da formação. Segundo HAMMAN (2003), os aditivos químicos

utilizados dividem-se em funcionais e de processo. Os aditivos químicos funcionais influenciam a técnica de produção, a qualidade e as propriedades do papel, enquanto os de processo são responsáveis pela manutenção de condições favoráveis de funcionamento para os equipamentos e máquinas de papel.

3.3.2.1 Aditivos químicos funcionais

Nesta classificação, estão os agentes ligantes (compostos pelos agentes de colagem e os agentes de resistência a úmido), agentes de retenção e de drenagem e branqueadores óticos (HAMMAN, 2003), (AEV, BGBl. II Nr. 215/2000).

Os agentes ligantes têm a função de permitir a ligação dos pigmentos entre si e com a superfície do papel, proporcionando assim a fixação do revestimento, o que garante um bom acabamento e boas características para impressão (HAMMAN, 2003). Como ligantes, são utilizados amidos naturais ou modificados, caseínas ou proteínas, colas à base de resina e outros (AEV, BGBl. II Nr. 215/2000).

Os agentes de colagem são agentes ligantes que têm a função de controlar a penetração de líquidos no papel, contribuindo principalmente para uma maior qualidade de impressão e escrita. São compostos de um grupo hidrofóbico e outro hidrófilo. Este último fixa-se na celulose, originando uma nova superfície hidrofóbica (GRUBER, 2006).

Os agentes de resistência a úmido dão ao papel uma maior resistência mecânica quando umedecidos. Os principais exemplos são resinas de melanina e formaldeído, resinas de uréia e formaldeído, entre outros (AEV, BGBl. II Nr. 215/2000).

Os agentes de retenção e de drenagem são produtos de alta massa molar utilizados para a fixação de pigmentos e aditivos de enchimento. Atuam modificando o carregamento destes para que haja uma maior afinidade com as fibras, evitando assim o descarte para o efluente. Melhoram a retenção e o deságüe, favorecendo também a flotação, sedimentação e filtração no processo de recuperação de fibras. Alguns exemplos são poliamina, poliamidoamina, poliacrilamido, entre outros (AEV, BGBl. II Nr. 215/2000).

Os branqueadores óticos absorvem raios ultravioletas, os transformam em luz visível de curto comprimento de onda e refletem uma luz fluorescente branco azulada, que

fornece a sensação ótica de um papel mais branco. Esses agentes branqueadores são normalmente derivados sulfonados de estilbeno (AEV, BGBl. II Nr. 215/2000).

3.3.2.2 *Aditivos químicos de processo*

Os aditivos químicos de processo melhoram a produtividade e contribuem para manter o sistema livre de impurezas. Os principais exemplos desses produtos são os biocidas e anti-espumantes.

Os biocidas evitam ou diminuem o crescimento de microorganismos nos equipamentos, além de evitar o mau cheiro e a corrosão do equipamento. Exemplos: ligações orgânicas de enxofre, bromo e nitrogênio como ditiocianato, ditiocarbamato, tiazoliona e outros (AEV, BGBl. II Nr. 215/2000).

O aparecimento de espumas ocorre devido à reação do ar ou do gás carbônico com colas à base de resinas. Atualmente, com a restrição da circulação de água e a crescente prática de reúso, a formação de espumas vem apresentando uma maior relevância. Como anti-espumantes são utilizadas óleos de parafina, gorduras, óleos de origem vegetal ou animal, silicone, entre outros (AEV, BGBl. II Nr. 215/2000).

3.3.3 O processo da produção do papel

Em plantas integradas, a celulose é armazenada na forma de suspensão em tanques que alimentam as máquinas de papel. Quando uma fábrica de papel não é integrada, a celulose utilizada no processo é fornecida na forma de fardos por outra planta que utiliza um dos processos já descritos no item 3.1.

O preparo da celulose para posterior abastecimento da máquina de papel a partir dos fardos ocorre em quatro etapas: desagregação, realizada nos *pulpers*, com o objetivo de desmanchar as folhas ou os tabletes; refinação, que aumenta a capacidade de ligação e a flexibilidade das fibras; dosagem dos aditivos para enchimento e produtos químicos e depuração para retirada de substâncias não desejáveis como sujeiras, *stickys*¹², etc.

¹² Stickies são pequenas partículas de poliéster, poliestireno, polietileno ou outros plásticos ou adesivos. Problemáticos para produção de papel, pois derretem e aderem aos rolos em geral.

Após o preparo a celulose está pronta para ser enviada à máquina de papel (Figura 5), que é basicamente constituída de (SENAI, 1988, v.2):

- Caixa de entrada - responsável pela distribuição da suspensão de fibras (massa) sobre a tela formadora. Possui um ou mais cilindros rotativos perfurados no seu interior com a função de uniformizar a suspensão, evitando a aglomeração de fibras em flocos, o que prejudica a uniformidade da folha de papel e sua aparência, levando a uma má formação.
- Mesa plana - onde se dá a formação da folha. Consiste numa mesa propriamente dita com suporte e colunas de aço, sobre o qual corre a tela formadora (feita de plástico ou metal). Essa tela tem uma malha bastante fechada, por exemplo, 80 mesh para papéis grossos e 100 mesh para papéis finos. A tela encontra-se apoiada sobre os elementos desaguadores, rolo de cabeceira, rolo de sucção e rolos guias. A suspensão (polpa) tem uma concentração que varia entre 4 a 15 g/L, dependendo da máquina, do tipo de papel, da velocidade, entre outros. Ao caírem sobre a tela, as fibras ficam retidas na superfície e a água passa através da mesma, escoando em calhas apropriadas. Esta água, denominada água branca (ver definição em 4.1), rica em partículas de fibras e cargas, pode ser reusada, por exemplo, para diluição da massa que alimenta a máquina. Além do movimento longitudinal, a tela tem outro movimento transversal realizado por um *shaker*. A conjugação certa da frequência do sacudimento com a amplitude é um dos pontos-chave para uma boa formação do papel.
- Prensagem - a folha de papel, ao sair da mesa plana já está formada, porém 80 a 85 % da sua constituição é água. A finalidade das prensas é retirar a quantidade máxima de água da folha antes de submetê-la a secagem por calor. Essa retirada é feita por compressão da folha entre rolos (com ou sem sucção) sobre um feltro. Ao sair das prensas para a fase seguinte do processo (secagem), a folha de papel ainda contém 50 a 65 % de água.
- Secagem - setor da máquina de papel onde se faz a secagem final da folha e realiza-se a cura das resinas adicionadas. A folha de papel é mantida em contato íntimo com a superfície dos cilindros secadores, que trabalham com pressão de vapor. Para condução da folha, entre os cilindros secadores, usam-se feltros ou

telas secadoras. A umidade da folha, ao deixar a seção de secagem, varia de 3 a 8 %.

- Calandra - usada para o acerto da espessura e aspereza do papel.
- Enrolamento ou corte - é a última seção da máquina de papel. Neste ponto, o papel é enrolado em bobinas de tamanho determinado. No caso de cartões, esses podem ser cortados em folhas.

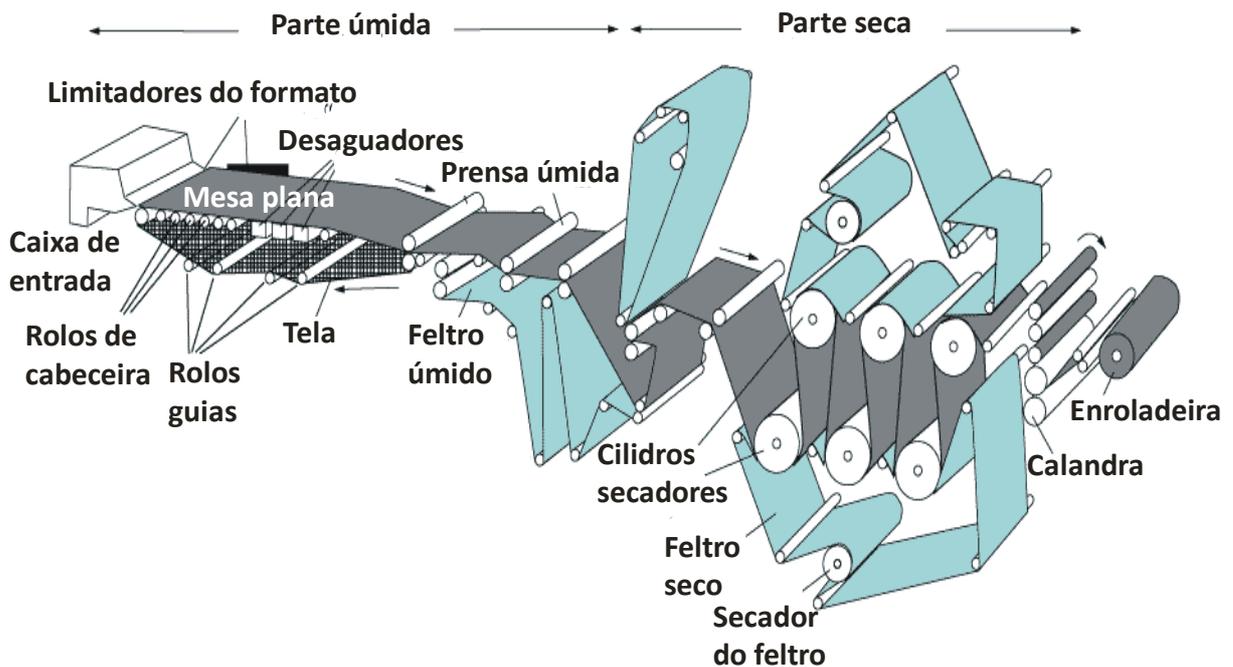


Figura 5 – Esquema representativo de uma máquina de papel (adaptado e traduzido de http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Langsieb_masch1_sw.gif).

As máquinas de papel dispõem de sistemas de recuperação de águas e de massa. A água drenada da tela da máquina (água branca) é coletada em tanques e posteriormente encaminhada para recuperadores de fibras, já que aproximadamente 5% das mesmas passam pela tela. O recuperador de fibras tem a função de tratar a água ao ponto desta poder ser reutilizada e fazer com que o máximo de fibras e cargas insolúveis seja devolvido ao sistema de produção de papel.

4 OS USOS DA ÁGUA NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

Neste capítulo serão descritos os diferentes usos da água em cada parte do processo de fabricação integrada de celulose e papel, considerando o processo *Kraft* ou sulfato com o branqueamento das fibras.

De acordo com NORDELL (1961), SHEREVE e BRINK Jr (1980), NALCO (1988), SILVA E SIMÕES (1999) *apud* MIERZWA (2005), a água na indústria pode ser utilizada como:

- matéria-prima - quando é incorporada no produto final, como, por exemplo, na indústria de bebidas, ou quando é utilizada para gerar outros produtos, como exemplo o hidrogênio;
- fluido auxiliar - preparo de suspensões e soluções, reagentes químicos, lavagem ou como veículo;
- geração de energia - transformação de energia cinética, potencial ou térmica acumulada na água inicialmente em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica;
- fluido de aquecimento e/ou resfriamento - neste caso, o aquecimento normalmente se dá na forma de vapor e o resfriamento é exigido devido à geração de calor ou às condições de operação estabelecidas, pois a elevação de temperatura pode comprometer o desempenho do sistema e danificar equipamentos;
- transporte e assimilação de contaminantes - neste uso ficam incluídas as instalações sanitárias, lavagem de equipamentos e instalações, incorporação de subprodutos sólidos, líquidos ou gasosos gerados pelo processo.

De acordo com EUROPEAN UNION (2001), o consumo de água para os diversos usos nas indústrias de papel na Europa varia consideravelmente, ficando entre 15 e 100 m³/t. Normalmente, as demandas que ficam em torno de 50 m³/t utilizam água fresca para resfriamento (*clean cooling water*), e o consumo pode ser reduzido através de recirculação interna de água resfriada

Aqui também cabe a distinção entre a Gestão de Recursos Hídricos de plantas integradas e não integradas. No processo integrado, a polpa é produzida e segue para as

máquinas, com uma consistência de aproximadamente 4% e os efluentes gerados na planta da celulose e nas máquinas seguem para tratamento numa planta única. Já no caso de plantas não integradas, a polpa produzida sofre um desagamento e secagem para posterior comercialização, e o volume de água utilizado na produção está muito ligado à carga de efluentes descarregada pela planta da celulose.

4.1 TERMINOLOGIA

Neste item, são apresentadas definições importantes para a caracterização hídrica da indústria de celulose e papel.

Água bruta: água captada em um corpo de água, sem tratamento.

Água fresca: é aquela fornecida diretamente pela Estação de Tratamento de Água (ETA), temperatura em torno entre 18° no inverno, chegando até 30°C no verão.

Água morna: é a água fresca que passou pelos condensadores da evaporação. Sua temperatura fica entre 45° e 54°C, dependendo da estação do ano.

Água quente: é a água que possui temperatura acima de 65°C.

Água branca ou água de recuperação: é a água recolhida no poço da tela e do rolo de sucção da mesa plana da máquina, que contém fibras e materiais sólidos em suspensão. Esta água é usada em vários pontos, como para diluir a matéria prima nova nos desagregadores, indo o excesso para a instalação de recuperação de fibras (Glossário - Fabricação do Papel (português - português), disponível em URL: <http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?iditem=170>). Em alguns casos, faz-se a distinção entre a água branca branca e água branca marrom, a primeira resultante da aplicação de fibras branqueadas.

Água recuperada: é a água branca depois de passar pela instalação de recuperação de fibras. Neste processo, é retirada quase a totalidade das fibras e materiais sólidos em suspensão para que a água possa ser reutilizada em vários pontos, tais como chuveiros da mesa plana.

Licor branco: licor utilizado no cozimento dos cavacos no processo *Kraft* ou sulfato, constituído principalmente de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S). É obtido pela caustificação do licor verde.

Licor negro ou lixívia: licor recuperado dos digestores até o ponto de sua queima na caldeira. O licor preto contém na sua composição um grande número de substâncias orgânicas extraídas da madeira durante o processo de cozimento e componentes inorgânicos tais como Na_2CO_3 , Na_2SO_4 , Na_2S , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, NaOH , NaCl . É um resíduo altamente tóxico e poluente, pois nele estão presentes todos os produtos químicos utilizados no processo *Kraft* ou sulfato de fabricação de celulose. Esse licor é utilizado como combustível na caldeira de recuperação, com a finalidade de recuperar esses produtos químicos e gerar vapor. Caso esse licor fosse descartado no Meio Ambiente, seria causador de elevados impactos ambientais em rios, lagos e lençóis freáticos.

Licor verde: obtido pela dissolução em água dos reagentes recuperados nas reações da caldeira de recuperação, preparatório para a caustificação. O licor verde é composto por carbonato de sódio (Na_2CO_3) e sulfeto de sódio (Na_2S).

Condensado: o condensado pode ser classificado em três categorias, de acordo com a sua composição:

- *Condensado A ou Primário*: vapor condensado puro, retirado dos cilindros secadores das máquinas e dos concentradores do licor negro (primeiros efeitos da recuperação), que é posteriormente bombeado para as caldeiras. Essa água não passa pelo tratamento avançado antes de alimentar as caldeiras, pois não contém qualquer tipo de impureza. O condensado puro proveniente das máquinas passa por uma filtragem para retirada das fibras antes de ser armazenado.
- *Condensado B ou Secundário*: também denominado Evaporado, esse condensado tem sua origem nos efeitos da Evaporação (exceto dos primeiros, mencionados na definição de condensado A). Esse vapor dá origem a um condensado contaminado, que pode ser enviado à celulose para lavagem da polpa e à caustificação, para lavagem de lama e limpeza de filtros. Em casos de excesso de condensado, este é direcionado para a ETE. Geralmente, a condutividade desse condensado deve estar entre $450 \mu\text{S}/\text{cm}$ – $600 \mu\text{S}/\text{cm}$ (AMARAL, 2007).

- *Condensado C*: condensado contaminado com licor negro. Geralmente esse condensado é armazenado em um tanque *spill*¹³, do qual segue para um filtro de fibras e depois retorna para os efeitos da Evaporação. Condensados com condutividades em torno de 1000 μS – 1300 μS podem ser tratados na torre *stripping*¹⁴ e depois seguem para um tanque de armazenagem. Na torre *stripping* ocorre a separação dos TRS¹⁵, metanol e mercaptanas. O metanol é reaproveitado na queima do forno de cal e os outros gases seguem para o incinerador de gases. O condensado tratado é aceito na celulose quando apresenta condutividade do Condensado B inferior a 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$, caso contrário retorna para a Evaporação, o que pode causar problemas, pois às vezes essa grande área não comporta essa vazão (AMARAL, 2006).
- *Filtrado*: parcela do fluido que passa por um filtro.

Vapor indireto: vapor que está contido no interior de um trocador de calor e não tem, portanto, contato direto durante a troca.

Água de selagem: água limpa utilizada para selar equipamentos, evitando o contato direto deste com o que está sendo transportado, garantindo assim sua durabilidade.

A seguir, serão descritos os principais usos da água dentro de uma planta integrada de celulose e papel que utiliza a tecnologia *Kraft* de produção. A caracterização dos usos da água será feita de acordo com as etapas da produção integrada *Kraft*, que estão representadas na Figura 6.

13 Tanque *spill*: tanque para contenção de derrames de condensado contaminado

14 Stripper: coluna de arraste com vapor. O condensado gerado na Evaporação do licor negro é enviado ao topo da coluna e o vapor vem do fundo, em contra-corrente. O vapor d'água e os gases são enviados a um condensador de refluxo. Os gases não condensáveis são enviados para incineração onde os compostos orgânicos e TRS são destruídos por oxidação (PIOTTO, 2003).

15 Total reduced sulfides: compostos reduzidos de enxofre, gerados pela deslignificação da madeira em geral. São eles: sulfeto de hidrogênio (H₂S), metil mercaptana (CH₃SH), dimetil sulfeto [(CH₃)₂S] e dimetil dissulfeto [(CH₃)₂S₂]

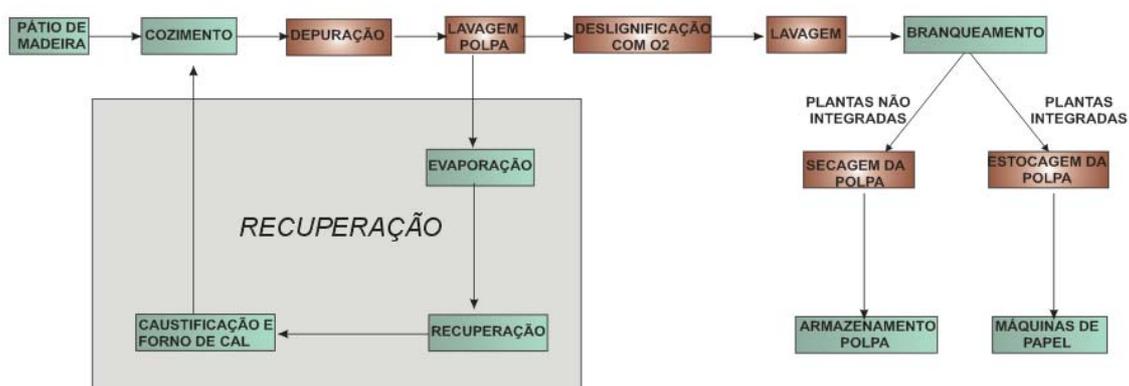


Figura 6 – Etapas do processo de produção de celulose e papel *Kraf*, de acordo com os usos da água.

4.2 PÁTIO DE MADEIRA

O Pátio de Madeira é o local de processamento e/ou armazenamento da madeira que chega à fábrica. Nesta fase inicial, a madeira é submetida a uma série de operações, com o objetivo de fornecer a matéria-prima na forma e pureza desejadas, em quantidade suficiente e com características adequadas a cada processo.

Qualidade da Água para Uso no Pátio de Madeira

A água para abastecimento do Pátio de Madeira deve estar livre de sólidos, areia, lascas de madeira e na faixa de pH entre 6,8 e 7,8, a fim de evitar danos e entupimento aos equipamentos. Outro ponto mencionado por DEL GRANDE (2004) é a preservação das condições de operação visual da área, que pode ser prejudicada com a formação e dispersão de vapor de água sobre os equipamentos, quando utilizada águas com temperaturas superiores a 60°C.

4.3 CELULOSE

A celulose é a parte do processo em que ocorrem os processos descritos no item 3.1, de acordo com a tecnologia adotada pela planta industrial.

Nos digestores, geralmente a água fresca é utilizada para abastecimento de água destinada a selagem e controle de temperatura em trocadores de calor por contato indireto.

Para diluição da polpa, pode ser utilizado o condensado tipo B ou água branca. Na lavagem da polpa, utiliza-se o condensado B, enquanto que, para lavagem dos equipamentos, a água fresca.

Com exceção da saída de licor negro dos digestores para a recuperação e entrada de licor branco na celulose, geralmente originado do processo da caustificação, o circuito da celulose é fechado, com utilização do licor negro para homogeneização no digestor, transporte de cavaco e correções de temperatura por contato indireto em trocadores de calor. O licor branco aliado à temperatura e pressão pré-estabelecidos têm a função de reagir com os componentes da madeira, transformando-a em polpa de celulose. Além dessa função, as correções de álcalis fazem parte do cozimento e a função do licor branco é exatamente garantir a estabilidade da carga de álcali aplicada sobre a madeira seca.

Qualidade da Água para Uso na Celulose

O padrão de qualidade requerido para água fresca segue os parâmetros químicos e microbiológicos da água fornecida pela ETA.

Quanto ao licor branco, existem limites para sulfidez ($\text{Na}_2\text{S}/(\text{NaOH}+\text{Na}_2\text{S})$) e álcali ativo ($\text{NaOH}+\text{Na}_2\text{S}$) variáveis. Exemplos práticos aplicados para o processo sulfato são sulfidez de 32% e álcali ativo de 105 a 110 g/L.

4.4 BRANQUEAMENTO

As plantas de branqueamento consistem em sistema abertos, com diferentes processos descritos no item 3.2.

Controles de consistência, chuveiros de prensas e filtros podem ser alimentados com o filtrado. Esse filtrado também pode ser usado para limpeza, quando da parada do sistema.

A água branca pode ser usada para diluição, porém em alguns pontos é utilizada água fresca, como nas bombas de média consistência e chuveiros.

Água morna tem a função de controle de temperatura, e a água quente alimenta as prensas.

Qualidade da Água para Uso no Branqueamento

O padrão de qualidade requerido para água fresca segue os parâmetros químicos e microbiológicos da água fornecida pela estação de tratamento de água.

4.5 EVAPORAÇÃO

A Evaporação é parte do processo sulfato, cujo produto é o licor preto com concentração final de 80% de sólidos. Geralmente é nessa área que está localizado o *stripping*, responsável pela descontaminação do condensado C, o que permite seu reúso.

A Evaporação é responsável pela produção da água morna para abastecimento de toda a unidade industrial.

Qualidade da Água para Uso na Evaporação

O padrão de qualidade requerido para água fresca segue os parâmetros químicos e microbiológicos da água fornecida pela ETA.

4.6 CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO

A caldeira de recuperação gera licor verde e vapor, queima sólidos secos sem cinzas, com geração de vapor.

Qualidade da Água para Uso na Caldeira de Recuperação

O padrão de qualidade requerido para água fresca segue os parâmetros químicos e microbiológicos da água fornecida pela ETA.

4.7 CAUSTIFICAÇÃO E FORNO DE CAL

A caustificação processa o licor verde gerando a lama de CaCO_3 e produz licor branco com eficiência de 80%. O forno de cal produz CaO a partir da calcinação de carbonato de cálcio (CaCO_3), com teor de CaO útil de 85%.

Além do resfriamento de equipamentos, a água fresca também é utilizada para resfriamento do licor verde.

Qualidade da Água para Uso na Caustificação e Forno de Cal

O padrão de qualidade requerido para água fresca segue os parâmetros químicos e microbiológicos da água fornecida pela ETA.

4.8 CALDEIRA DE FORÇA E COMPRESSORES DE AR

O princípio de funcionamento de uma caldeira é baseado na produção de vapor. Inicialmente, adiciona-se energia para elevar a temperatura da água para o ponto de ebulição. Depois de atingido esse ponto, é fornecida mais energia para a passagem da água para a fase vapor até completa evaporação, sem que haja aumento de temperatura, obtendo-se o vapor saturado, que é utilizado para aquecimento.

As caldeiras de força fornecem energia térmica para o funcionamento da planta através do aquecimento da água.

Qualidade da Água para Uso nas Caldeiras

O padrão de qualidade requerido para água de abastecimento das caldeiras é extremamente alto, portanto, a água geralmente já tratada externamente na ETA passa por um tratamento interno especial antes de alimentar as caldeiras. Esse tratamento é avançado e tem como objetivo evitar problemas de operação como: incrustações advindas do aumento da concentração de sais e a oxidação pela presença de gases dissolvidos, principalmente o oxigênio.

Os tratamentos avançados mais comuns são a desmineralização e a osmose reversa para remoção dos íons e os desaeradores para remoção dos gases.

4.9 PLANTA DE QUÍMICOS

A planta de químicos é o espaço físico para produção do dióxido de cloro utilizado no branqueamento.

Qualidade da Água para Uso na Planta de Químicos

O padrão de qualidade requerido para água fresca segue os parâmetros químicos e microbiológicos da água fornecida pela ETA.

4.10 MÁQUINAS DE PAPEL

Quando a massa é lançada na tela da máquina, a água branca é colhida em bandejas colocadas abaixo dela. Depois da coleta, essa água passa por equipamentos de recuperação de fibras e é usada para diluição da massa. Usualmente, a água proveniente das caixas de sucção é coletada em recipiente diferente da água da tela e é utilizada para lavagem da mesma. Com esse circuito, uma maior proporção de água branca é

reutilizada, o que diminui a poluição hídrica e possibilita uma economia de matéria fibrosa e de produtos químicos (SENAI, 1988, v.2).

O sistema de circulação de massa e água branca apresenta importância no quadro do consumo de água de uma planta, pois permite vários *loopings* de reuso, que estão representados e serão discutidos juntos à Figura 12.

Qualidade da Água para Uso na Máquina de Papel

O padrão de qualidade requerido para água fresca segue os parâmetros químicos e microbiológicos da água fornecida pela ETA.

4.11 CENTRAL DE REJEITOS

A Central de Rejeitos é o local de onde se processa o reaproveitamento das fibras recuperadas ao longo do processo, como por exemplo, na ETE, celulose e Máquinas de Papel e os rejeitos, como, por exemplo, da depuração da pasta celulósica.

Os principais usos da água neste ponto são atendidos com a recirculação de água branca ou marrom originadas nas máquinas de papel e dos filtrados.

4.12 CONSUMOS FORA DO PROCESSO E NÃO ESPECIFICADOS

Além do processo de fabricação, existem os consumos externos. Esses consumos compreendem os laboratórios, cozinha, restaurante, chuveiros, toaletes e as perdas advindas de problemas em equipamentos e tubulações.

4.13 CONSUMO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA E AFLUENTES

Na ETA, o uso seria basicamente para a compensação das perdas no sistema e consumo humano. Na ETE, os usos são para lavagem dos filtros e serviços de manutenção em geral.

Normalmente, a água utilizada na ETA e ETE, obedece ao padrão de qualidade requerido para água fresca e segue os parâmetros químicos e microbiológicos da água tratada.

A Tabela 10 apresenta um resumo dos principais usos da água no processo *Kraft* integrado com branqueamento, já descritos anteriormente.

Tabela 11 – Usos da água numa planta integrada utilizando processo *Kraft* e branqueamento (AMARAL, 2006).

SETOR	USOS													
	CH	RE	AR	SE	REf	VA	PQ	LA	CT	DI	BV	CC	AQ	AM
Pátio de Madeira	x	x		x				x						
Cozimento, Lavagem, Depuração e Deslignificação		x	x	x	x	x		x/o	x	o/oo			x	x
Branqueamento				x	x	x	x	x/#		oo/x/#			x	x
Evaporação				x	x	x		x						x
Caldeira de Recuperação		x		x		x		x						
Caustificação e Forno de Cal		x		x		x		x						x
Caldeiras de Força e Compressores			x	x				x						
Tratamento interno de água								x						
Planta de Químicos				x		x	x						x	
Máquinas de Papel				x		x	x	x/oo		oo	x		x	x
Central de Rejeitos										x				
ETA e ETE								x						

LEGENDA:

Usos:

x Água fresca o Condensados oo Água branca # Filtrado	CH – chuveiros; AR – água de reação; SE – selagem; REf – refrigeração de equipamentos; VA – produção de vapor; PQ – preparo de químicos; LA – lavagem de equipamentos e linhas; CT – controle de temperatura; DI – diluição; BV – bombas de vácuo; CC – controle de consistência; AQ – produção de água quente; AM – produção de água morna; RE – resfriamento de unidades hidráulicas e outros
--	---

De acordo com a tabela anterior, em alguns pontos da produção já é possível reusar condensados, água branca e filtrados, como, por exemplo, no branqueamento e nas máquinas de papel para lavagem de equipamentos e linhas. A diluição no cozimento, lavagem, depuração, deslignificação, branqueamento e máquinas de papel é um uso caracterizado por não exigir consumo de água fresca.

A Figura 7 apresenta o consumo de água fresca por setor, de acordo com balanço hídrico realizado durante o desenvolvimento desta tese, para uma planta integrada *Kraft* de celulose e papel, ano de 2005.

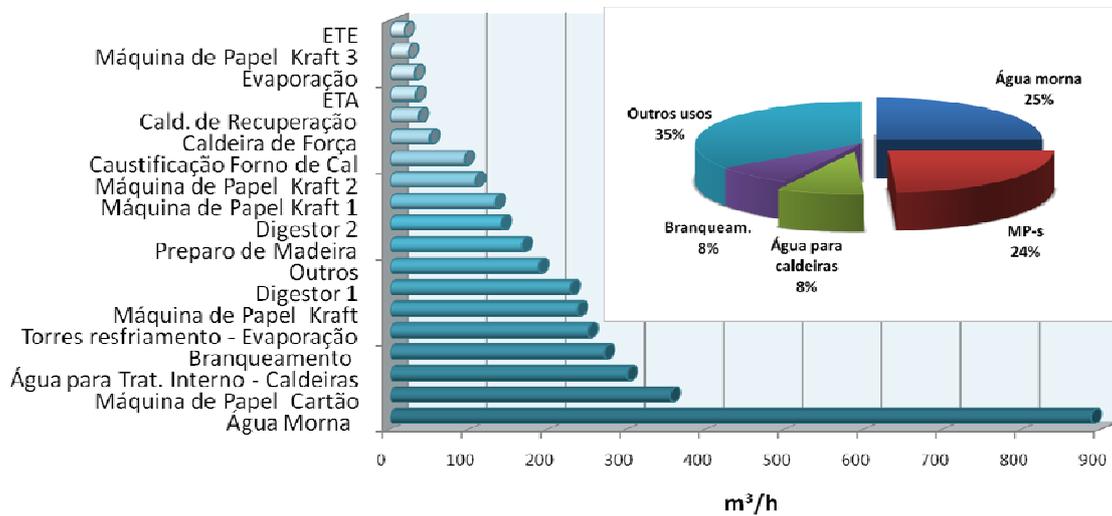


Figura 7 – Consumo de água fresca numa fábrica integrada *Kraft* de celulose e papel.

O maior consumo de água fresca se dá para fornecimento de água morna para a produção e posteriormente para o conjunto das máquinas, totalizando aproximadamente 50% da vazão de água bruta consumida.

A água destinada às caldeiras para produção de energia térmica passa por um tratamento interno avançado e ocupa, neste caso, o terceiro maior uso de água fresca dentro da produção.

O branqueamento é o quarto maior consumidor, o que pode ser explicado pela impossibilidade do fechamento total dos circuitos.

5 PRINCIPAIS PARÂMETROS DE CONTROLE DE QUALIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS

Na indústria de celulose e papel, a água é matéria-prima essencial, exercendo direta influência no custo e qualidade de produtos intermediários e finais do processo. Com isso, o modelo de gestão dos recursos hídricos planejado para uma planta se torna um constante desafio em busca do cumprimento das emissões exigidas em lei e da proteção ambiental integrada entre o processo e o produto, que são premissas essenciais da gestão moderna de recursos hídricos industriais. Além disso, entre as metas de proteção ambiental que constituem a moderna gestão de recursos hídricos está a realização de medidas internas na empresa para redução de quantidade e cargas de efluentes e a minimização do consumo de água bruta na produção.

Neste capítulo, serão definidos e discutidos alguns dos parâmetros de controle importantes para o monitoramento da qualidade da água e efluentes industriais. Na primeira parte, estão apresentados parâmetros usuais, alguns deles utilizados também para controle em água destinada ao consumo humano e de efluentes domésticos. Numa segunda parte, estão definidas substâncias especiais presentes nas emissões hídricas do ramo de celulose e papel, cujo controle já é previsto na legislação da União Européia.

5.1 PARÂMETROS USUAIS

Neste item, estão apresentados os parâmetros para controle da qualidade de água e efluentes mais usuais, portanto, com uma breve definição e valores de referência relacionados ao setor de celulose e papel.

5.1.1 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A DBO₅ é um parâmetro que mede a quantidade de oxigênio necessário a microorganismos aeróbicos para a oxidação de substâncias (em sua maioria orgânicas) presentes na água ou efluente, ou seja, mede indiretamente as substâncias orgânicas biologicamente oxidáveis.

A DBO₅ é um parâmetro de soma, portanto não é capaz de determinar quais as substâncias estão presentes no conjunto. Juntamente com a demanda química de oxigênio

(DQO), é um parâmetro de medida da poluição de um corpo de água e de avaliação do desempenho de um processo de tratamento de efluentes.

Durante o ensaio para medição da DBO_5 , devem ser tomados certos cuidados para evitar a inibição dos microorganismos: presença de uma biocenose bacteriana rica em espécies e sem deficiência em sais nutrientes inorgânicos essenciais, como, por exemplo, sais de P e N. Essa última condição, geralmente, não é atendida em efluentes industriais, havendo, então, a necessidade de inocular suspensões bacterianas nas amostras de água e enriquecê-las com sais nutrientes. Outros fatores inibidores da ação dos microorganismos e que podem estar presentes no efluente industrial são os valores extremos de pH, os agentes desinfetantes e os metais pesados. Estes precisam ser desativados, por exemplo, através de uma neutralização (BEVER *et al.*, 2002).

Um efluente municipal apresenta em média uma concentração de DBO_5 entre 0,2-0,3 g/L. Já no ramo industrial, a concentração de DBO varia muito, para efluente de celulose, a concentração pode ser de 100 g/L (BoKu, 2007).

Valores típicos de DBO após o tratamento primário são de 13-19 kg/ADt¹⁶ e 6-9 kg/ADt para plantas *Kraft* com branqueamento e plantas *Kraft* integradas sem branqueamento, respectivamente (EUROPEAN COMMISSION, 2001). Algumas descargas de DBO_5 em corpos de água para diferentes processos após tratamento podem ser encontradas no item 7.4.3.

5.1.2 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO indica a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação química de substâncias orgânicas na água, ou seja, mede indiretamente as substâncias orgânicas quimicamente oxidáveis.

Com exceção de alguns elementos inorgânicos (íons de metal, nitrito, brometos, iodetos e ligações de enxofre), a DQO abrange os materiais orgânicos em geral, sendo assim uma medida da poluição das águas e efluentes (RÖMMP, 2006). A DQO engloba também substâncias orgânicas recalcitrantes, por isso é um parâmetro importante a ser considerado para avaliação dos demais usos praticados no corpo de água.

¹⁶ ADt: Air Dry ton (tonelada seca ao ar): corresponde à unidade de medida de celulose

Na determinação da DQO, são utilizadas substâncias químicas compostas por mercúrio, prata e cromo, que exigem processos de destinação final especiais, caros e longos. Devido a esta desvantagem, têm-se considerado substituir a DQO pelo carbono orgânico total (*TOC: Total Organic Carbon*), cuja análise é feita quase que livre de compostos químicos.

A relação DBO₅/DQO indica a degradabilidade da amostra medida, permitindo uma avaliação aproximada da decomposição obtida através de um tratamento biológico, porém não abrange a oxidação da amônia em nitrito e nitrato. Sendo a diferença entre DBO e DQO pequena, isto indica que os compostos orgânicos são biologicamente degradáveis. Casos em que a DQO é consideravelmente maior podem indicar a presença de substâncias recalcitrantes ou podem ser consequência da presença de substâncias tóxicas aos microorganismos utilizados no teste.

Alguns valores de descargas de DQO para uma planta de celulose podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12 – Descargas de DQO para processo *Kraft* não integrado, antes do tratamento externo (OSPAR (1995); FINNISH BAT REPORT (1996); CEPI 97 *apud* EUROPEAN COMMISSION (2001)).

Parte do processo	DQO kg/ADt
Pátio de madeira	1-10
Condensados	2-8
Vazamentos	2-10
Perdas de lavagens	6-12
Branqueamento	15-65
Total	31-105

Concentrações típicas de DQO em efluentes de produção de celulose ficam entre 250-400 mg/L (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

5.1.3 Carbono Orgânico Total (TOC)

O carbono orgânico total fornece a concentração de todas as formas de carbono orgânicas (dissolvidas ou não) existentes numa amostra, as quais podem ter sua origem na natureza ou em produtos desenvolvidos pelo homem.

Em muitos casos, há a preferência na determinação do carbono orgânico dissolvido (DOC) que utiliza amostras já livres de sólidos ou filtradas por membranas e, por isso, resultados muito mais reproduzíveis, já que poucos equipamentos encontram-se equipados ou são adequados para as determinações de carbono total orgânico em águas contendo sólidos.

Neste item, cabe ainda uma discussão entre a relação entre TOC e DQO, ambos parâmetros de grande importância na avaliação da qualidade do efluente industrial. O TOC se diferencia da DQO, pois não fornece informações sobre o consumo de oxigênio necessário para a decomposição dessas substâncias e sim sua concentração. TOC e DQO juntos representam uma medida importante para avaliar quais substâncias orgânicas estão presentes na água (RÖMMP, 2006). A relação DQO/TOC deve estar situada entre 2,5 e 4 (www.chemie.de). Valores acima indicam que a análise da DQO engloba substâncias inorgânicas, como por exemplo, metais e ligações de enxofre. Valores abaixo de 2,5 indicam ligações orgânicas muito estáveis, que não são oxidadas durante a determinação da DQO.

Segundo a Tabela 2 - p. 19, a diferença entre DQO e DBO deverá ser um parâmetro de análise para cálculo do valor a ser cobrado pelo uso da água no estado do Paraná. Essa diferença indica a presença de substâncias que não conseguem ser degradadas biologicamente durante os 5 dias do teste. Entre essas substâncias podem estar aquelas pouco ou não degradáveis, como é o caso de ácidos húmicos, lignina e produtos artificiais, mas também substâncias degradáveis num período superior aos 5 dias de duração da análise, como, por exemplo, polissacarídeos e gorduras.

Baseado nas definições discutidas pode-se, então, concluir que a diferença entre DBO e DQO não indica, obrigatoriamente, que as substâncias medidas na DQO pertencem ao grupo de recalcitrantes. Para uma melhor análise é aconselhável avaliar também o TOC, além de conhecer as características do efluente analisado, principalmente a presença de metais pesados ou substâncias inorgânicas que influenciam no resultado da DQO.

O valor de TOC de efluentes domésticos é aproximadamente 200 mg/L (RÖMMP, 2006). De acordo com WRIGHT & WELBOURN (2002) *apud* CAMPBELL (2007),

os valores de TOC para indústria de celulose são 200-750 mg/L para efluentes não tratados e 50-100 mg/L para efluentes tratados.

5.1.4 Sólidos

Os sólidos presentes na água dividem-se em dissolvidos e não dissolvidos (suspensos), sendo que cada um deles se subdivide em voláteis e fixos.

Alguns dos parâmetros relacionados à presença de sólidos que são importantes para avaliação da qualidade da água são:

SÓLIDOS TOTAIS [*Feststoffgehalt*]

Consiste no resíduo total presente no efluente, isto é, inclui os sólidos dissolvidos e suspensos.

SÓLIDOS DISSOLVIDOS

Os sólidos dissolvidos representam a massa total dos constituintes minerais presentes na água por unidade de volume.

Podem incluir grande parte do material inorgânico, que estava dissolvido (sais, sobretudo) e material orgânico não volátil originalmente dissolvido como as proteínas, lipídeos, polissacarídeos e outros.

SÓLIDOS SUSPENSOS OU NÃO DISSOLVIDOS [*Abfiltrierbare Stoffe*]

Os sólidos suspensos englobam partículas filtrantes, nadantes e sedimentáveis que podem ser separadas através de filtração em condições definidas por normas padronizadas. São insolúveis em água e representam a parcela de sólidos grosseiros, com partículas de diâmetro maior ou igual a 1 µm, geralmente responsáveis por uma visível turbidez. A parcela de sólidos suspensos voláteis se perde após a calcinação a 600°C, restando os sólidos fixos.

Esse parâmetro é utilizado no controle da qualidade do efluente de indústria de papel que não foi tratado biologicamente (ver 2.2.4.2, Anexo 28 da *AbwV*, item C, (2)) e na qual a eliminação dos sólidos deve ser garantida. A medição de sólidos suspensos em efluente proveniente da produção de papel e celulose pode indicar, por exemplo, quando uma grande quantidade de fibras é descarregada juntamente com o efluente.

O parâmetro sólidos suspensos, apesar de não aparecer na legislação brasileira, é utilizado em muitos países para o controle da qualidade do efluente descartado, inclusive em indústria de papel. De acordo com BADEN WÜRTTEMBERG (2005), esse parâmetro é considerado de grande importância ambiental, pois abrange também substâncias que não aparecem na soma da DQO, como, por exemplo, aquelas advindas do uso de aditivos, descritos em 3.3.1 e 3.3.2.

O valor de sólidos suspensos total no efluente tratado de indústria de celulose fica entre 10-100 mg/L (WRIGHT & WELBOURN (2002) *apud* ENSC (2007)). Após o clarificador secundário, a concentração fica entre 20-30 mg/L.

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS [*Absetzbare Stoffe*]

Parcela dos sólidos suspensos que sedimenta após 1 hora no Cone de *Imhoff*. O conhecimento desse parâmetro indica se a carga poluente compõe uma solução ou uma suspensão estável¹⁷.

Os materiais sedimentáveis na produção de celulose e papel podem representar areia, fibras, cascas e outros materiais de alta densidade e deve ser considerado um parâmetro importante para o controle de emissões.

Um alto valor de materiais sedimentáveis após o tratamento biológico pode estar ligado a um curto tempo de retenção na planta de tratamento de efluentes, causado geralmente pelo desequilíbrio entre a produção e a capacidade de tratamento da planta, problemas na sedimentação do lodo ou por algum tipo de problema ocorrido no processo. Uma baixa *performance* no reaproveitamento das fibras na produção pode também ser a causa da presença de materiais sedimentáveis.

5.1.5 Nutrientes

A emissão de nutrientes no corpo de água pode levar a uma eutrofização. Os principais nutrientes presentes tanto em efluentes domésticos como industriais são o fósforo e o nitrogênio. É muito comum a adição de nutrientes na planta de tratamento de

¹⁷ A solução é uma mistura homogênea composta geralmente de partículas com diâmetro inferior a 1µm, que não se sedimentam sob a ação da gravidade, nem sob a ação dos centrifugadores comuns. A suspensão apresenta partículas dispersas com diâmetros entre 1µm e 100µm, que se sedimentam sob a ação da gravidade ou dos centrifugadores comuns.

efluentes para garantir a relação C:N:P (100:5:1) necessária. No caso de plantas de produção de celulose não integradas, geralmente não é adicionado fósforo, enquanto a adição de nitrogênio é essencial. Alguns exemplos de emissões para plantas que utilizam o processo *Kraft* se encontram na Tabela 13 e Tabela 14.

Tabela 13 – Valores típicos de emissões de fósforo e nitrogênio para processo *Kraft* antes do tratamento (OSPAR (1994) apud EUROPEAN COMMISSION (2001)).

Processo	Fósforo (kg/ADt)	Nitrogênio (kg/ADt)
Não branqueado	0,01-1,04	0,2-0,4
Branqueamento	0,04-0,06	<0,1*

* O uso de quelantes pode aumentar esse valor para 0,1-0,2 kg/t quando estes são descartados na água branca e não são incinerados na caldeira de recuperação.

Tabela 14 – Emissões alcançadas após tratamento biológico e uso de BVTs em sistemas otimizados para vazões de 50 m³/ADt (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Produção	Fósforo	Nitrogênio
Celulose	0,2 – 0,5 mg Ptotal/L ¹⁸ 0,01 – 0,03 kg P/t celulose	2 - 5 mg Ntotal/L 0,1 – 0,25 kg N/t celulose
Papel	1 mg Ptotal/L 0,005 – 0,01 kg P/t ¹⁹	5 mg Ntotal/L 0,05 – 0,1 kg N/t ²⁰

Os nutrientes do processo têm sua origem principalmente na madeira. Estudos mostraram que as descargas de nitrogênio têm sua origem na parte não branqueada, enquanto o fósforo está presente no efluente do branqueamento (EUROPEAN COMMISSION, 2001). A grande proporção de descarga de nitrogênio de um processo *Kraft* está presente nos condensados.

¹⁸ Para celulose branqueada a concentração do Ptotal é um pouco maior, pois no branqueamento o fósforo é dissolvido.

¹⁹ Valores para plantas com deinking (processo para remoção da tinta aplicada no papel, geralmente usada na planta para reciclagem de papel.). Para fábricas sem deinking, essa carga é um pouco menor devido à vazão inferior de efluentes.

²⁰ Idem anterior

5.1.6 Metais

Os metais aparecem geralmente em pequenas concentrações individuais e são extraídos da madeira usada como matéria-prima. A Tabela 15 mostra algumas concentrações de metais encontradas nos efluentes.

Tabela 15 – Descargas de metais em fábricas de celulose Kraft em g/ADt (OSPAR (1994) apud EUROPEAN COMMISSION (2001)).

	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
Polpa não branqueada	0,03	0,3	0,5	0,2	0,4	5
Polpa branqueada	0,1	0,4	1	0,7	0,9	15

Concentrações de metais pesados são geralmente insignificantes em efluentes de celulose e papel, mesmo quando são usadas fibras recicladas. Medidas realizadas em plantas com *deinking* localizadas na Holanda mostraram elevadas concentrações de cobre e zinco, originados nestes casos da tinta de cobertura do papel (LUTTMER (1996) apud EUROPEAN COMMISSION (2001)).

5.1.7 Toxicidade em Peixes

No ensaio para determinação da toxicidade, empregam-se peixes de teste que ficam expostos em vários graus de diluição do efluente para medir o efeito letal nesses organismos, que indica o grau de toxicidade do efluente em questão.

A toxicidade fornece um indicativo do efeito letal do efluente em si, sem distinção entre os agentes causadores. Por esse motivo, deve ser considerado um teste tão importante quanto os diversos testes químicos, principalmente na avaliação de efluentes industriais que geralmente são compostos pela mistura de diversas correntes de produção e contêm inúmeros compostos.

5.2 SUBSTÂNCIAS ESPECIAIS

O setor industrial é composto por uma grande variedade de usuários que, sob a ótica da gestão de recursos hídricos, podem ser diferenciados de acordo com a natureza e a magnitude de cada processo de produção. Logo, a identificação de parâmetros de controle de emissões hídricas adicionais por setor é uma tendência para um aprimo-

ramento futuro da legislação de Recursos Hídricos e uma prática consolidada em países com uma legislação comprovadamente eficaz.

Este item traz as principais substâncias especiais relacionadas ao ramo de celulose e papel presentes na legislação da República Federativa da Alemanha, que se encontram enumerados nos Anexos 19 (Celulose) e 28 (Papel) da *Abwasserordnung* (*AbwV*), descritos no item 2.2.4.2.

5.2.1 Halletos Orgânicos Adsorvíveis (AOX)

Halletos orgânicos adsorvíveis são substâncias que contêm cloro, bromo ou iodo em sua estrutura. AOX é um parâmetro de soma que engloba todas as ligações de halletos orgânicos adsorvíveis em carvão ativado.

A maioria das ligações orgânicas adsorvíveis presentes no Meio Ambiente ainda não foram identificadas, portanto a afirmação de que esse parâmetro engloba somente substâncias perigosas é limitada (RÖMMP, 2006).

Ecologicamente, o AOX é de grande interesse, pois o parâmetro engloba uma grande parte de elementos sintetizados produzidos pelos homens e fornece uma sinalização para áreas sob influência industrial ou também áreas de infiltração do chorume em aterros sanitários.

A relevância ambiental dessas ligações é justificada pela sua difícil degradação, possibilidade de bioacumulação e toxicidade. A difícil degradação pode ser explicada pela formação de ligações mais hidrofóbicas com átomos de halógenos, ou seja, a solubilidade em água reduz-se e, com um teor crescente de halógenos, as substâncias tornam-se mais resistentes à biodegradação.

Em função dos muitos compostos individuais, surgem grandes dificuldades para estimar o significado toxicológico ou ecológico do parâmetro total AOX. Assim, teores iguais de AOX podem apresentar toxicidades diferentes.

Como uma instalação central de tratamento biológico de água, via de regra, não pode eliminar AOX de forma direcionada, é necessário realizar um tratamento prévio de correntes específicas que contenham essas substâncias. Alguns dos processos utilizados são:

- destrutivos - combustão, oxidação úmida; tratamento com ozônio e H₂O₂; processos eletroquímicos;
- separadores - separação de fases; adsorção, extração, destilação, separação, precipitação/floculação; processos com membranas.

Entre 1985 e 2000, foram comprovadas diminuições das concentrações de AOX no rio Reno em Basel, Mainz, Karlsruhe e Düsseldorf, consequência da mudança das tecnologias adotadas por indústrias de celulose ali instaladas (RÖMMP, 2006).

O uso de aditivos para resistência a úmido com base em epícloridrina e celulose branqueada a base de substâncias cloradas são os principais contribuintes de AOX no efluente de indústria de celulose e papel (BADEN WÜRTTEMBERG, 2005).

É importante destacar que é possível limitar o uso de solventes e produtos de limpeza que contenham esse tipo de substâncias através de instrumentos legislativos e oferecendo produtos alternativos no mercado. Na República Federativa da Alemanha isso está previsto no Anexo 28 da *AbwV*, letra B (2).

5.2.2 Alquilfenóis Etoxilados (APEO)

Alquilfenóis etoxilados são tenso-ativos não iônicos com bom desempenho e baixo custo, presentes em muitos aditivos utilizados na indústria de celulose e papel.

O principal problema desses compostos é o produto resultante da decomposição biológica, Alquilfenol, que consiste numa substância persistente e com efeitos tóxicos relevantes sobre organismos aquáticos (Agência Federal do Meio Ambiente da Alemanha – *Umweltbundesamt* – UBA).

Por esse motivo, o APEO vem sendo substituído e até proibido em muitos usos industriais, sendo adotado e aceito somente para usos especiais (BADEN WÜRTTEMBERG, 2005).

Através do 8º Decreto para Mudanças no Decreto de Legalização de Substâncias Químicas (*Achte Verordnung zur Änderung chemikalienrechtlicher Verordnungen*, item 2.2.4.5) de 25 de fevereiro de 2004, foi estritamente proibido o uso dessa substância em certos setores industriais e sob certas condições. Esse decreto determina a adição do Número 27 no Anexo do § 1 do Decreto de Proibição de Substâncias Quí-

micas (*Chemikalien-Verbotsverordnung, item 2.2.4.5*), e do Número 25 no Anexo IV do Decreto de Substâncias Perigosas (*Gefahrstoffverordnung, item 2.2.4.6*), ambos referentes à alquilfenóis e à proibição de seu uso na produção de celulose e papel.

5.2.3 Quelantes

A quelação consiste num dos estágios do branqueamento, onde há a remoção de metais de transição, com o objetivo de eliminar consumidores de peróxido no estágio subsequente. Um agente quelante comum na produção de celulose e papel é o Di-etileno-tri-amino-pentaacetato (DTPA), o qual apresenta alta capacidade para captura de íons de ferro e manganês. No entanto, o grau de degradabilidade em termos de carbono orgânico dissolvido (DOC) após 28 dias não chega a 80%.

A maioria dos agentes quelantes apresentam baixa biodegradabilidade e podem vir a prejudicar a qualidade do corpo de água através da mobilização de metais pesados, que podem estar presentes tanto no efluente, como nos sedimentos do corpo de água.

Enquanto o uso desses produtos é indispensável, é aconselhável buscar utilizar quelantes que apresentam uma boa degradabilidade através de tratamento biológico.

5.2.4 Aditivos para resistência a úmido

As pontes de hidrogênio entre as fibras do papel são facilmente quebradas pela água, o que tem como consequência a perda da firmeza do papel. Alguns tipos de papel devem, no entanto, apresentar certa resistência quando em contato com água, como, por exemplo, os papéis destinados a filtros, etiquetas, embalagem de chás, entre outros. Nesses casos, são necessários aditivos para resistência a úmido.

Aditivos para resistência a úmido com base em epiclorigrina contêm resíduos de cloro orgânico que aparecem no efluente em forma de AOX. As resinas a base de epiclorigrina possuem propriedades especiais, que muitas vezes são necessárias e indicadas para a produção de certos tipos de papel como, por exemplo, papelão ou papel cartão.

Resinas a base de epiclorigrina pobres em cloro orgânico e aditivos para resistência a úmido a base de melamina/formaldeído ou isocianato contribuem para a diminuição de AOX no efluente (BADEN WÜRTTEMBERG, 2005).

5.2.5 Benzeno (C₆H₆)

Benzeno constitui um líquido transparente, com odor característico e extremamente venenoso; se inalado por um longo período, pode levar até à morte. A principal fonte para produção de benzeno é o tolueno (RÖMMP, 2006).

Na indústria química, o benzeno é a principal base para os demais aromáticos.

O uso de solventes e produtos de limpeza que contenham benzeno é estritamente proibido na produção de papel na República Federativa da Alemanha (Anexo 28 da *AbwV*, letra B (2)), havendo produtos alternativos no mercado.

5.2.6 Tolueno (C₇H₈)

Tolueno é um aromático inflamável com odor agradável e transparente.

A principal fonte de tolueno é o petróleo. É uma substância prejudicial à saúde; se inalada, pode causar problemas no fígado, no coração, nos ossos e no sangue (RÖMMP, 2006).

Geralmente, o tolueno é utilizado como solvente, substituindo o benzeno.

O uso de solventes e produtos de limpeza que contenham tolueno é estritamente proibido na produção de papel na República Federativa da Alemanha (Anexo 28 da *AbwV*, letra B (2)), havendo produtos alternativos no mercado.

5.2.7 Xileno

Líquido incolor, inflamável e com odor característico. Geralmente é utilizado para substituição do benzeno. Utilizado na produção de resinas, cera, tintas, colas, inseticidas, entre outros.

O uso de solventes e produtos de limpeza que contenham xileno é estritamente proibido na produção de papel na República Federativa da Alemanha (Anexo 28 da *AbwV*, letra B (2)), havendo produtos alternativos no mercado.

5.2.8 Aditivos para combate do odor no produto

Papéis originados de fibras de madeira quando em contato com produtos alimentícios podem produzir odores após um período de uma semana, originados da oxidação de resinas provenientes da madeira. Esse odor tem um efeito prejudicial sobre os gêne-

ros alimentícios; por esse motivo, na produção de papéis para embalagens alimentícias, é comum a utilização de um aditivo para combate desse mau cheiro, que geralmente contém bromo.

De acordo com BADEN WÜRTTEMBERG (2005), em casos da utilização desse tipo de aditivo, o produtor deve apresentar uma justificativa ao órgão estadual de controle.

5.2.9 Substâncias Indesejáveis

As substâncias indesejáveis são provenientes da matéria-prima e produtos químicos utilizados no processo de produção. Essas substâncias devem ser consideradas quando se realiza o tratamento da água de processo para reúso.

As principais substâncias indesejáveis estão listadas na Tabela 16.

Com o fechamento do circuito, essas substâncias tendem a se acumular e podem prejudicar, por exemplo, o andamento da máquina de papel e a qualidade do produto final.

Tabela 16 – Substâncias indesejáveis na produção de celulose e papel, classificadas de acordo com a sua natureza química (adaptado de KLEEMANN, 2006).

Substância	Origem/Conseqüência
Ácidos graxos/ Sais	Resinas (Celulose sulfato) Produtos da hidrólise do ASA ²¹ (agente de colagem)
Ésteres	Resinas (Celulose sulfato) <i>Stickies</i> (Papel reciclado) Cores de impressão - resinas (descoloração – <i>carryover</i>) Plastificantes (adesivos, cola de etiquetas) PET (fibras, plástico)
Amido	Poliacrilamido (agentes de retenção) Proteína (presença de microorganismos, ligantes, agentes de colagem) Poliamido (agentes de resistência a úmido)
Hidrocarbonetos/ Óleo de silicone	Anti-espumante Lubrificantes (máquinas)
Sílica/ Silicato	Caulim (enchimento, pigmentos do revestimento) Talco (controle de resinas) Agentes de retenção Silicatos amorfos (planta de descoloração, impurezas na água)

5.3 COMENTÁRIOS

Este capítulo apresenta, além dos parâmetros de qualidade usuais, que são os comumente aplicados para controle de qualidade de água no Brasil, as substâncias especiais. Essas merecem atenção quando da análise das emissões em corpos de água oriundas do processo de fabricação de celulose e papel.

A ótica setORIZADA europeia permite incluir no rol de parâmetros relevantes aqueles que efetivamente podem causar sérios danos ambientais e leva em consideração as possibilidades tecnológicas disponíveis, tanto no que se refere às tecnologias de re-

²¹ Anidrido alfa-succínico (ASA): agente de colagem de alta reatividade. A hidrólise do ASA é uma reação concorrente que resulta em produtos de propriedades adesivas, as quais prejudicam a ação do próprio agente e o andamento da máquina de papel (GLIESE, 2003).

moção de poluentes, como de oferta de produtos para substituição de outros mais agressivos.

Mais uma vez, a adoção de critérios baseados na produção industrial (tonelada produto/ano) contribui para comparar o desempenho ambiental de diferentes empresas no mesmo setor.

6 CARACTERÍSTICAS DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Neste capítulo, serão definidas as características de cada corrente de efluente gerada no processo produtivo, as quais compõem o efluente final, destinado ao tratamento.

As principais emissões contidas no efluente do processo *Kraft* ou sulfato são substâncias orgânicas, compostos advindos da madeira como ácidos resinosos, nitrogênio, fósforo, sólidos suspensos, metais, sais e substâncias coloridas (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

A Figura 8 e Figura 9 ilustram as etapas do processo de fabricação de celulose *Kraft* e papel com a respectiva natureza dos efluentes produzidos. No caso de fábricas integradas, após o branqueamento, a polpa segue para a alimentação da máquina de papel, representada na Figura 9.

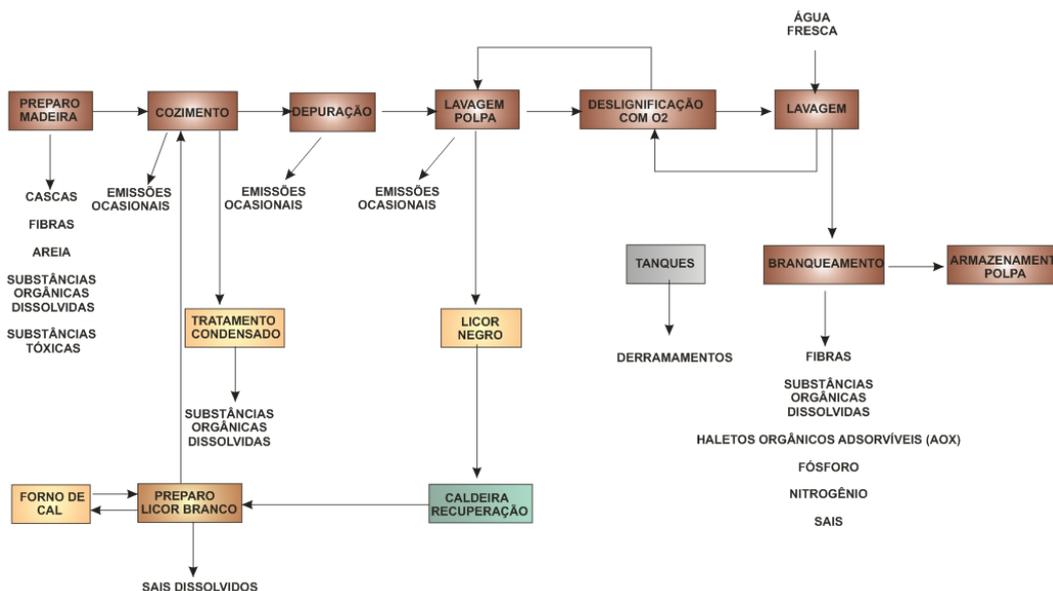


Figura 8 – Emissões e usos da água de uma planta de celulose *Kraft* (adaptado e traduzido de EUROPEAN UNION, 2001).

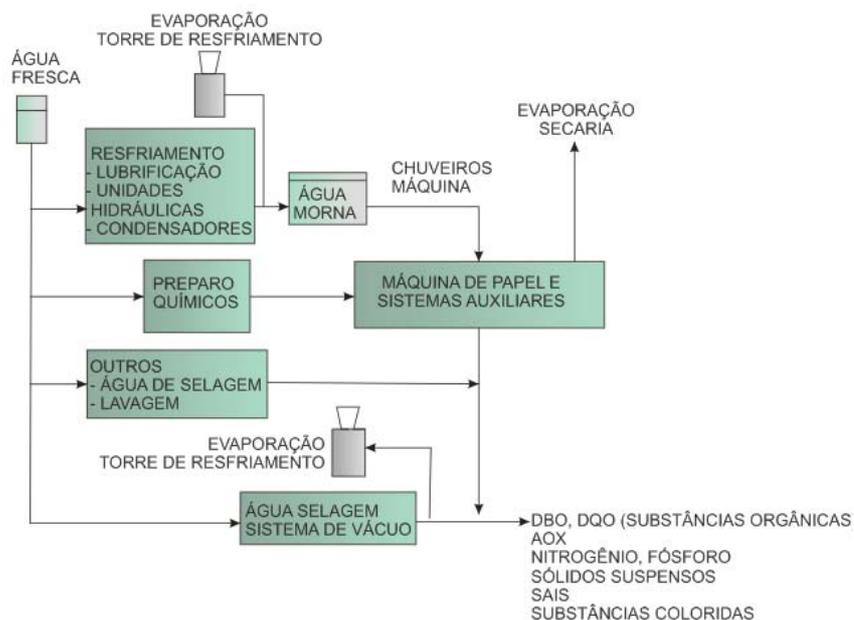


Figura 9 – Emissões e usos da água de uma máquina de papel (adaptado e traduzido de EUROPEAN UNION, 2001).

Segundo EUROPEAN COMMISSION (2001), as emissões no corpo de água de fábricas não integradas e integradas não apresentam grande diferença. O efluente é composto de substâncias orgânicas, dissolvidas ou não, originadas da madeira (celulose, hemicelulose, lignina, extratos lipofílicos e sais), bem como de outras matérias-primas e aditivos utilizados durante processo e que, geralmente, apresentam biodegradabilidade (BADEN WÜRTTEMBERG, 2005).

A presença de nitrogênio e fósforo é geralmente pequena. Em casos especiais, o nitrogênio é introduzido no sistema por determinadas matérias-primas e aditivos, por exemplo, agentes de clareamento ótico, modificadores de resistência, resinas de uréia ou formaldeído e aparece no efluente final (BADEN WÜRTTEMBERG, 2005). Outra fonte de fósforo e nitrogênio que não deve ser esquecida é o efluente doméstico originado na planta.

Substâncias orgânicas halogenadas adsorvíveis (AOX) podem estar presentes no efluente, e suas fontes são: aditivos para resistência a úmido, cloro ou organo-clorados presentes na celulose branqueada, papel reciclado composto por celulose branqueada com cloro ou que possuem cores e cola contendo AOX.

A seguir, são definidas as fontes geradoras dos efluentes em cada setor.

6.1 DESCASCAMENTO

A água usada durante o descascamento é normalmente reutilizada, enquanto a casca é removida, drenada e pressionada, geralmente usada como combustível para produção de vapor.

A água em excesso do descascamento possui, geralmente, alta DBO, devido aos açúcares extraídos durante o processo de descascamento e alta presença de coliformes originados da exposição na floresta (NALCO, 1988).

De acordo com EUROPEAN COMMISSION (2001), as águas pluviais do Pátio de Madeira podem apresentar grau de contaminação; no entanto, a maior fonte poluente é o descascamento, que consome água e dá origem a um efluente composto de nutrientes, fibras e compostos consumidores de oxigênio, como ácidos resinosos e ácidos graxos que são tóxicos para o ecossistema aquático se lançados no corpo hídrico antes do tratamento biológico.

Uma transferência do descascamento a úmido para o descascamento a seco leva a redução do consumo de água e das descargas. Apesar disso, não há alteração na umidade da casca removida a seco em relação ao descascamento úmido, pois o descascamento a seco significa que a água é reciclada e não que a água não é utilizada.

A prensagem pode diminuir o teor de umidade da madeira aumentando o teor de sólidos de 30 – 35% para 40 – 45%, mas existe um efluente adicional a ser considerado. O efluente da prensagem das cascas é tóxico e possui alta DQO (20 – 60 kg/m³). Esse efluente pode ser alimentado no digestor com os cavacos e seguir para a Evaporação e caldeira de recuperação (EUROPEAN UNION, 2001).

A Tabela 17 traz alguns valores de volume e das cargas de efluentes gerados antes do tratamento biológico.

Tabela 17 - Carga poluidora do efluente do descascamento da madeira a ser utilizada na produção de celulose e papel, antes do tratamento biológico (BAT REPORT (1997) *apud* EUROPEAN UNION (2001)).

Técnica	Volume efluente	DBO ₅	DQO	P-total
Úmido com prensagem	0,6 -2 m ³ /m ³ madeira	0,9 – 2,6 kg/m ³ madeira	4 – 6 kg/m ³ madeira	5 -7 kg/m ³ madeira
	3-10 m ³ /t polpa	5-15 kg/t polpa	20-30 kg/t polpa	25-35 g/t polpa
Seco com prensagem	0,1 – 0,5 m ³ /m ³ madeira	0,1 – 0,4 kg/m ³ madeira	0,2 – 2 kg/m ³ madeira	2 – 4 kg/m ³ madeira
	0,5-2,5 m ³ /t polpa	0,5-2,5 kg/t polpa	1-10 kg/t polpa	10-20 g/t polpa

Para um controle inicial do volume de efluente produzido no Pátio de Madeira, pode-se calcular a relação entre o volume de efluente e o volume de madeira processada, considerando as densidades do pinus igual a 380 kg/m³ e a do eucalipto de 480 kg/m³.

6.2 PLANTA DE CELULOSE

A planta da celulose é geralmente um sistema fechado quanto à emissão de efluentes, podendo ocorrer emissões temporárias no caso de algum distúrbio no processo e, quando há a depuração, pode haver emissões de condensado (ver item 6.4).

A presença de estágio de depuração após o cozimento é uma medida interna que contribui para a redução do teor de compostos orgânicos nos efluentes, levando-os para a incineração na caldeira de recuperação.

6.3 BRANQUEAMENTO

O branqueamento é um dos setores de maior consumo de água dentro de uma planta de celulose e papel, consumo esse que pode ser explicado pela impossibilidade do fechamento total dos circuitos devido à falta, ainda, de tecnologias adequadas (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

A vazão de efluentes típica é de 20-40 m³/t de polpa e pode ser reduzida para 20-25 m³/ADt com a instalação de filtros modernos, podendo chegar até 10 m³/ADt, o que corresponde a uma descarga de DQO de 6kg/ADt e concomitante redução da toxicidade nos efluentes (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

O cozimento modificado (processo *Kraft*), ou seja, aquele composto pelo processo de deslignificação, anterior ao branqueamento contribui muito para a diminuição da descarga de poluentes desse estágio produtivo (uso de menor quantidade de produtos químicos) e aumento da quantidade de substâncias orgânicas com destino à caldeira de recuperação.

Emissões dessa etapa dependem de diversos fatores como: grau de deslignificação atingido, perdas na lavagem, seqüências de branqueamento adotadas e produtos químicos utilizados, tipo de madeira, grau de branqueamento final a ser atingido e grau de fechamento do sistema.

No branqueamento, são gerados filtrados básicos e ácidos. Os filtrados básicos, geralmente, são recirculados, com a possibilidade do reúso após filtração por membrana, para remover substâncias orgânicas e inorgânicas ou até combinação entre membrana e tratamento biológico, para destruição de compostos orgânicos. Já os filtrados ácidos, originados a partir das condições para a ocorrência das reações quando se utiliza dióxido de cloro ou ozônio e para a separação de metais pesados que prejudiquem a ação do peróxido, seguem para descarte sem recirculação.

O filtrado básico pode ainda ser reusado na lavagem da polpa não branqueada, contribuindo para uma redução considerável da descarga da planta de branqueamento. Esse reúso leva a uma acumulação de substâncias dissolvidas e *non process elements (NPE)*²² nos estágios do branqueamento com problemas associados como o consumo de químicos e a deposição dos sólidos. Tanques pulmão para a retirada dessas subs-

22 Non Process Elements (NPE): elementos que não servem de matéria-prima no processo. Geralmente a entrada desses elementos se faz através da madeira, químicos e água de processo (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Com o fechamento dos circuitos de água ocorre o acúmulo desses elementos, podendo levar a problemas operacionais. Alguns exemplos são K, Cl, Al, Mg, Ca, Cu, Fe, Mn entre outros (PARTHASARATHY, 1999).

tâncias do sistema são necessários, tanto no branqueamento como na recuperação (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

O filtrado ácido é uma das principais fontes de NPE (EUROPEAN COMMISSION, 2001). A solução adotada por muitas fábricas hoje é de enviar esse filtrado para a ETE, criando assim um ponto de abertura no branqueamento para eliminação dos NPE. Além disso, como esse filtrado é extremamente diluído, seria necessária uma enorme capacidade nas caldeiras, aumentando muito o custo da produção. Muitas plantas, como por exemplo, da *Zellstoff und Papierfabrik 1* utilizam trocadores de calor para o filtrado ácido que é descartado do circuito do branqueamento, pois esse se encontra em uma temperatura muito alta, podendo fornecer grande quantidade de calor (AMARAL, 2007).

Em plantas de branqueamento, que utilizam dióxido de cloro, outro limitante para a recirculação é a quantidade de cloro presente, que possui características corrosivas, exigindo que o cloro seja purgado do sistema antes do reúso.

O branqueamento é considerado um ponto importante de descarga de poluentes, sendo essa descarga proporcional ao número *kappa*²³ a ser atingido: 1 unidade *kappa* corresponde a 2 kg de DQO. Para *kappa* inferior a 10, tem-se 1,5 kg DQO (EUROPEAN, 2001).

Os filtrados ácidos e básicos são conduzidos normalmente separadamente, pois a mistura pode ocasionar reações com a formação de H₂S, que é um gás venenoso.

6.4 CONDENSADOS

Originados do processo de vaporização nos digestores e na planta de Evaporação num volume de 8-10 m³/ADt, apresentam uma carga de 20-30 kg/t de DQO e 7-10 kg/t de DBO. A DQO é composta principalmente de metanol (5-10 kg/ADt), etanol e componentes orgânicos de enxofre, terpentinas e compostos inorgânicos nitrosos. O Condensado C (ver 4.1) possui de 10-20 kg DQO/m³, com uma produção de 1 m³ por

²³ Kappa: número que indica o teor residual de lignina. Quanto menor o número kappa menos resistente é o papel e menor o teor de lignina presente.

tonelada de polpa e após tratamento (*stripping*) apresenta uma concentração de 1-1,5 kg DQO/m³ de condensado.

O Condensado tipo B ou Condensado fraco apresenta 0,5-2 kg DQO/m³ condensado ou 8-12 kg DQO/t polpa. Esse condensado, por ser livre de metais, pode ser reutilizado na planta de branqueamento.

A descarga total de condensados para o efluente é de 4-8 kg DQO/t polpa, com características de boa biodegradabilidade.

No processo *Kraft* ou sulfato, a grande proporção de descarga de nitrogênio está presente nos condensados.

O reúso de condensados limpos e condensados tratados por *stripping*, pode diminuir o consumo de água fresca a 6 m³/ADt. Para controle da qualidade deste condensado geralmente são utilizados condutivímetros, situados antes do tanque pulmão da Evaporação.

6.5 RESÍDUOS DOS LICORES

Na lavagem do licor negro resultante do cozimento, não é possível remover todos os produtos químicos, atingindo 100% de eficiência. Por esse motivo, segue para o branqueamento ainda alguma carga, que aumenta gasto em produtos químicos. Como o branqueamento é um sistema semi aberto, esses produtos químicos acabam na ETE. Perdas nessa lavagem são estimadas em torno de 7-12 kg DQO/t para *hardwood* e 5-10 para *softwood* (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

No processo *Kraft*, grandes vazões de licor branco e de licor verde têm várias consequências prejudiciais ao sistema quando chegam à ETE (AMARAL, 2007), entre elas: prejudicam a sedimentação do lodo e levam a um grande aumento no consumo de oxigênio no tratamento biológico, devido à oxidação do sulfeto de sódio presente nesses licores a Na₂SO₄.

Os vazamentos de licores podem ser identificados através de medições de condutividade e DQO na entrada da estação ou mais tardiamente através do alto consumo de oxigênio na ETE. Nesses casos, é necessário que exista uma grande capacidade de aeração na ETE para manutenção da concentração ideal de oxigênio no tanque de tratamento (AMARAL, 2007).

Plantas com sistemas de emergência para vazamento de condensados contaminados necessitam de 5-10% mais capacidade na planta de Evaporação, com uma redução na carga do efluente de 3-8 kg DQO/ADt. Esses sistemas são descritos no item 7.3.

O licor originado após a caldeira de recuperação e que depois de vários processos se transforma no licor de cozimento é livre de substâncias orgânicas, mas tem um alto valor de pH. Nos casos em que esse licor chega até a ETE, sem o devido controle, há um choque de pH que desestrutura a comunidade microbiana do tratamento biológico.

6.6 PLANTA DE TALL OIL E TERESENTINA

Aproximadamente 90% dos extrativos da madeira são removidos durante a fase do Cozimento no processo *Kraft*.

Os ácidos graxos e resinosos presentes na madeira formam sais de sódio e são removidos posteriormente do licor residual. Entre eles, está o *tall oil*, um líquido oleoso de coloração amarelo escuro, composto pela mistura de resinas, ácidos graxos, esteróides, alcoóis de grandes cadeias e outros.

A terebentina é uma substância volátil removida na fase de pré-vaporização que precede o Cozimento. Consiste num óleo natural utilizado para fabricação de tintas e vernizes.

Vazamentos nessas plantas devem ser evitados, pois o sabão e a terebentina contêm substâncias que podem causar efeitos tóxicos quando chegam à planta de tratamento biológico (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

6.7 MÁQUINAS DE PAPEL

Quando a massa é lançada na tela da máquina, a água branca é colhida em bandejas colocadas abaixo dela. Depois da coleta, essa água passa por equipamentos de recuperação de fibras e é usada para diluição da massa. Essa água branca resultante do tratamento é praticamente livre de fibras e recebe o nome de filtrado clarificado, considerado uma das águas mais limpas do processo de produção de celulose e papel.

Geralmente a água proveniente das caixas de sucção é coletada em recipiente diferente da água da tela e é utilizada para lavagem desta. Com este circuito, uma maior

proporção de água branca é reutilizada, o que diminui a poluição hídrica e possibilita uma economia de matéria fibrosa e de produtos químicos (SENAI, 1988, v.2).

Questões práticas mostraram que o sistema de água branca nunca deve ser completamente fechado, pois sem a reposição com água fresca, a qualidade do produto final fica prejudicada devido ao acúmulo de resinas e lodo no sistema. O sistema completamente fechado torna-se um ambiente ideal de proliferação para bactérias e formação de lodo. Esse lodo se deposita nos encanamentos, tanques e outras partes do circuito, podendo se soltar e penetrar na massa, originando um papel com furos e outros defeitos (SENAI (1988), vol. 2).

6.8 EFLUENTE TRATADO

Segundo MÄNTTÄRI *et al.* (2005) o efluente de indústria de celulose e papel tratado pelo processo de lodos ativados contém ainda algumas substâncias orgânicas, sais, micróbios e cor, os quais podem causar problemas no processo de fabricação do papel se essa água foi recirculada na planta sem nenhuma purificação. Especialmente a coloração e a presença de micróbios devem ser removidos antes do reúso.

A Tabela 18 mostra os valores de emissões medidas em efluentes tratados em plantas localizadas na União Européia.

Tabela 18 – Descargas médias anuais de plantas *Kraft* (FINNISH BAT REPORT (1996), SEPA REPORT 4869, FINNISH FORESTRY INDUSTRIES FEDERATION (1998), CEPI (1997) *apud* EUROPEAN COMMISSION (2001)).

Processo	Vazão (m ³ /t)	DBO ₅ (kg/t)	DQO (kg/t)	AOX (kg/t)	TSS (kg/t)	N _{total} (kg/t)	P _{total} (kg/t)
Não branqueada	20 -80	1- 20	7 - 50	---	0,2 - 15	0,1 – 1	3 - 40
Branqueada	30 – 110 ¹⁾	0,2 - 40	4 - 90 ²⁾	0 - 2	0,2 - 10	0,1 – 0,8	5 - 90

Notas explicativas: ¹⁾ Vazões acima de 50 m³/t são justificadas quando a água resfriada está incluída. ²⁾ Há relatos de cargas médias de 1998 iguais a 4 kg DQO/t de uma planta de celulose que entrou em operação em 1996.

Da tabela percebe-se a significativa contribuição do branqueamento para as cargas de poluentes emitidas. Certamente os valores de carga acima registrados poderiam ser

muito maiores se não houvesse reaproveitamento de água nos processos e cuidados com as emissões, além de tratamento adequado dos efluentes finais. Apesar de complexos, os processos implantados ainda permitem a adoção de medidas integradoras como será discutido no próximo capítulo.

7 MEDIDAS PARA REDUÇÃO DAS EMISSÕES EM CORPOS DE ÁGUA

Existem diversas técnicas que podem ser adotadas no processo produtivo para diminuir os impactos no corpo hídrico, principalmente através do menor consumo de água fresca e redução da produção de efluentes. Neste capítulo serão apresentadas algumas delas, baseadas em pesquisas de campo e revisão bibliográfica.

7.1 MELHORES TÉCNICAS DISPONÍVEIS

A Diretiva 96/61/EG de 24 de setembro de 1996 da Comunidade Européia, também chamada Diretiva *IVU - integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung* trata da prevenção e controle integrados da poluição ambiental, trazendo no Artigo 3, princípios relevantes para o gerenciamento de efluentes industriais, sendo alguns deles:

- medidas preventivas contra formas de poluição do Meio Ambiente, especialmente através do uso das melhores técnicas disponíveis (item a); usar eficientemente a energia (item d); evitar a produção de resíduos sólidos (item e); em caso de finalização da operação do equipamento, tomar as medidas necessárias para evitar danos posteriores ao Meio Ambiente, assim como assegurar uma condição ambiental apropriada para a área até então utilizada (item f)

Segundo a Diretiva *IVU*, a redução das emissões ao Meio Ambiente deve ser alcançada usando as melhores técnicas disponíveis (*Beste Verfügbare Techniken - BVT*) e sem a transferência da poluição de um meio para o outro, por exemplo, da água para o solo ou para o ar.

O Artigo 2 e Anexo IV dessa mesma Diretiva traz a importante definição de *BVT*, como sendo o estágio mais efetivo e avançado no desenvolvimento de atividades e de seus métodos de operação. Esse estágio é indicado através de experiência prática na aplicação de técnicas que garantem, a princípio, o cumprimento de valores básicos limites para prevenção da poluição e, em casos em que a prevenção não é possível, levam à redução tanto das emissões como do impacto ao Meio Ambiente. *BVT* consiste num padrão geral a ser aplicado para todos os setores industriais relevantes.

A definição mais detalhada dos termos é dada:

Técnicas (*Techniken*): consiste tanto nas instalações a serem utilizadas, assim como no modo como elas são projetadas, construídas, mantidas, operadas e desativadas.

Disponíveis (*verfügbare*): refere-se à disponibilidade, em uma dada escala e sob condições economicamente e tecnicamente viáveis, podendo assim ser implementadas no setor industrial. Produzidas ou não dentro por estado membro da Comunidade Europeia, são consideradas disponíveis enquanto estejam viavelmente acessíveis ao interessado.

Melhores (*beste*): melhor no sentido de mais efetiva, ou seja, aquela tecnologia com a qual é possível atingir um alto nível de Proteção Ambiental, considerando, neste caso, o Meio Ambiente como um todo.

Essa Diretiva procura determinar a padronização de tecnologias a serem utilizadas para diferentes setores industriais. No Artigo 5, menciona que as instalações existentes devem cumprir a Diretiva *IVU*, incluindo o uso de *BVT* num período de transição de 8 anos.

A Comissão Europeia dá suporte a implementação da Diretiva *IVU* através do provimento de descrições das *BVT*, documentos conhecidos como *BVT-Merkblatt*. Esses documentos apresentam as *BVT* para cada setor mencionado na diretiva, sendo a Tabela 19 um resumo das principais medidas e técnicas selecionadas, publicadas na versão em língua inglesa *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry*.

Outra medida prevista nessa diretiva, no Artigo 15 da Diretiva 96/61/EG, é o acesso livre a informações relacionadas ao Meio Ambiente e publicação das novas permissões de operação. Assim nasceu o Registro Europeu de Emissões de Poluentes, denominado *EPER - European Pollutant Emission Register*, que foi criado através da Decisão da Comissão Europeia 2000/479/EG de 17 de julho de 2000. O objetivo desse registro é a criação de inventários nacionais e internacionais com publicação na internet, acelerando assim a implementação de métodos para redução das emissões. Um guia inicial foi preparado pela Comissão Europeia em novembro de 2000, denominado *Guidance Document*, e, em junho de 2001, implementado na Alemanha (KÜHNE, 2001).

Segundo o site oficial do EPER (<http://www.eper.de/eper-info.php>), a função do registro é de informar sobre as emissões de grandes ramos industriais no ar e na água. Os parâmetros a serem controlados se encontram listados no Anexo A1 da Decisão 2000/479/EG acima citada.

Algumas medidas importantes para reduzir as emissões em corpos de água já foram apresentadas no item 5.3, de acordo com a área da produção a que se relaciona. A Tabela 19 traz uma lista dessas técnicas *BVT* para o processo *Kraft*, as conseqüências da redução das emissões hídricas e os impactos no processo produtivo.

A primeira coluna da Tabela 19 apresenta uma identificação numérica da técnica *BVT* para processo *Kraft*, que se encontra detalhada na legenda. A segunda coluna contém as conseqüências da redução de emissões em corpos de água. A terceira coluna traz alguns dos impactos, quando da adoção dessas medidas, no processo produtivo. A diminuição está representada por uma flecha apontada para baixo, enquanto para o aumento a flecha está apontada para cima.

Tabela 19 – Técnicas disponíveis para diminuição das emissões em corpos hídricos (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Técnica	Conseqüências da redução de emissões em corpos de água	Impactos na produção
1	↑gasto energia ↓quantidade de água na casca	Bons resultados são obtidos com madeira fresca
2	↑consumo álcali (NaOH+Na ₂ S) ↑substâncias dissolvidas para caldeira de recuperação ↑geração de energia ↓ químicos no branqueamento	Digestor ou recuperação operam com capacidade máxima, pode ocorrer perda de 4-8% da produção (↑ orgânicos a serem incinerados)
3	↓orgânicos nos efluentes (recuperados e incinerados na recuperação)	↑Gasto energia ↑Capacidade da Evaporação necessário
4	↓químicos no branqueamento ↓ valor calorífico licor (perda i-norgânicos)	↑Energia recuperada dos compostos orgânicos
5	-	-

Tabela 19 – Técnicas disponíveis para diminuição das emissões em corpos hídricos (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Técnica	Conseqüências da redução de emissões em corpos de água	Impactos na produção
6	Alto custo químicos sem melhora na qualidade do produto Necessidade remoção de metais de transição com quelantes.	Para atingir um clareamento ideal: polpa com kappa suficientemente baixo
7	-	ClO ₂ agente branqueador Custos com químicos de branqueamento aumentam
8	Necessidade de nova estratégia para gestão de recursos hídricos interna	Remodelamento do sistema hidráulico: armazenamento para efluentes internos
9	-	5-10% capacidade da Evaporação para tratamento das coletas ↑consumo de vapor e energia (5-10%)
10	↓Carga de DQO levada junto com as fibras: 5-8 kg DQO/ADt para 2-4 kg DQO/ADt. Vários estágios de lavagem podem atingir a recuperação de 96-98% do licor negro	Menor consumo de químicos no branqueamento
11	↓Consumo de água fresca ↓Carga orgânica de poluição para ETE ↓Emissões de TRS (odor)	↓Carga para ETE, evitando novos investimentos Condensados limpos podem ser usados nas lavagens do branqueamento, da celulose, lavagem da lama na caustificação (chuveiros filtros da lama, diluição da lama), make-up de licor branco
12	↓Consumo de água fresca, melhora na performance ambiental da planta	Manutenção, químicos de alto custo no processo
13	Melhora na performance ambiental da planta	Produção de lodo

1- descascamento à seco 2 - cozimento modificado 3 - depuração com circuito fechado 4 - deslignificação com oxigênio 5 - branqueamento com ozônio 6 - branqueamento TCF 7 - branqueamento ECF 8 - fechamento parcial do branqueamento 9 - coleta de vazamentos 10 - lavagem eficiente e controle de processo 11 - *stripping* e reúso de condensados 12 - tanques de armazenamento para líquidos concentrados em altas temperaturas 13 - tratamento biológico de efluentes.

7.2 COMENTÁRIOS

As *BVT* reconhecidas na Europa impõem-se como uma tendência no mercado mundial, inclusive no brasileiro, representando, sem dúvida alternativas para investimentos com a melhora do desempenho ambiental da planta garantida na prática.

Soluções técnicas implementadas no processo de produção possibilitam redução das cargas advindas do lançamento de efluentes em corpos de água. Já as soluções *end of pipe* são de fácil implementação, porém os custos adicionais são muito maiores. Medidas integradas à produção também podem ser responsáveis pela redução da quantidade de efluentes, o que traz não somente benefícios ambientais, mas também vantagens econômicas, evitando muitas vezes investimentos na planta de tratamento de efluentes.

Em plantas integradas, uma separação efetiva dos circuitos de água da celulose e da Máquina de Papel garante que os poluentes não sejam transportados de uma área para a outra e, dependendo do grau de integração é possível o uso da água branca em contra corrente, no sentido Máquina de Papel para celulose.

7.3 EXEMPLOS PRÁTICOS DE MEDIDAS INTERNAS PARA CONTROLE DE DISTÚRBIOS DA PRODUÇÃO

Durante as diversas visitas técnicas realizadas em plantas de celulose e papel na Europa foi possível reconhecer medidas internas comumente implementadas, capazes de levar a uma maior proteção do corpo de água utilizado para descarte dos efluentes.

7.3.1 Identificação e controle de vazamentos

Um vazamento, principalmente de licor negro ou verde, provoca um aumento no consumo de oxigênio na ETE e DQO. Medidores de condutividade distribuídos em pontos da planta permitem uma rápida identificação dessa irregularidade, muitas vezes permitindo o desvio da corrente para um tanque de controle.

Isso permite que, de acordo com a condutividade apresentada, o líquido seja novamente direcionado ao setor de origem ou seja encaminhado para a ETE. Na planta da fábrica de celulose *Zellstoff Fabrik 3*, após a caldeira de recuperação existe um tanque de armazenamento de 10 m³ com controle de condutividade. Quando essa condu-

tividade supera 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o licor é bombeado para um tanque *spill* e desse segue para a Evaporação.

7.3.2 Tanques para contenção de vazamentos no processo

Com um volume adequado de tanques, os vazamentos podem ser armazenados e encaminhados para a destinação mais adequada, reduzindo as descargas no corpo de água e permitindo estratégias de reúso não só de efluentes, mas de produtos químicos, fibras e até energia.

Algumas fontes de vazamento de licor são: selagem dos lavadores, bombas e válvulas que conduzem o licor, *boil-out* canalizado dos evaporadores, inicialização e parada de equipamento, extravasamento de tanques, erros operacionais, entre outros (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Um dos princípios básicos para projetar uma planta de celulose, integrada ou não, é planejar a coleta de vazamentos ou desvios de vazão de licores, com o retorno destes em pontos apropriados da planta. Essa coleta leva, no mínimo, a uma adição de 30% do volume projetado para produção.

7.3.3 Tanques para contenção de vazamentos e proteção da ETE

Todas as plantas visitadas na Europa possuem tanques de contenção de vazamentos. Esses tanques geralmente estão localizados próximos à ETE e evitam que, caso o vazamento não possa ser identificado e contido no local de origem ou em algum ponto a montante da ETE, venha a prejudicar o funcionamento da mesma.

Nas diversas plantas visitadas na Europa, observou-se que o período de armazenamento dos tanques de contenção varia de 5 a 15 horas de produção. Além disso, todas as áreas de produção dispõem de uma circulação alternativa de efluentes para casos de distúrbios na produção. Sistemas de bombeamento acoplados a medidores de condutividade estão presentes em todas as grandes áreas. Em casos de condutividades altas, 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para uso do condensado B e 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para os licores, ocorre o retorno do efluente para a área de origem e não para a ETE. Um exemplo prático desse sistema é ilustrado na Figura 10.

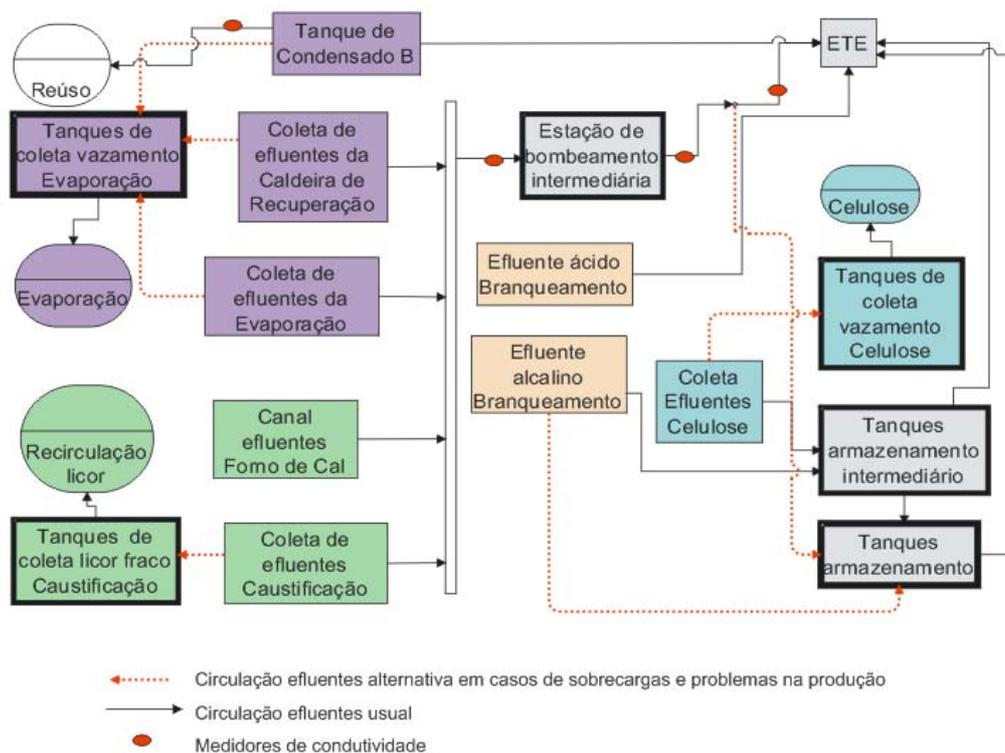


Figura 10 – Sistema para transporte de efluentes com alternativas para casos de distúrbios na produção (adaptado de AMARAL, 2007).

Na figura anterior observam-se as grandes áreas representadas por colorações diferentes: evaporação (roxo), caustificação e forno de cal (verde), celulose (azul) e branqueamento (laranja).

As setas cheias representam a circulação usual de efluentes, enquanto as setas pontilhadas representam o sistema de circulação alternativo, utilizado quando ocorrem sobrecargas ou problemas na produção. Os medidores de condutividade estão representados por elipses.

Na evaporação, quando ocorrem vazamentos oriundos da caldeira ou de outra parte do sistema, estes são enviados para os tanques de coleta de vazamento e o efluente retorna às caldeiras. Nos casos em que não ocorrem problemas, esses efluentes seguem para um canal de coleta, de onde são bombeados para a ETE, passando por controles de condutividade.

Na caustificação, os vazamentos são destinados ao tanque de coleta para que o licor seja recirculado. Sob condições normais de produção, os efluentes seguem para o mesmo canal de coleta dos efluentes da Evaporação e daí são bombeados para a ETE.

Os efluentes ácido e alcalino do branqueamento são coletados separadamente. O efluente ácido segue direto para a ETE, enquanto o efluente alcalino é armazenado em um tanque intermediário para depois seguir para a ETE. Quando ocorrem distúrbios, o efluente alcalino é armazenado em outro tanque, previsto para conter também os efluentes com alta condutividade que passam pela estação de bombeamento intermediária.

Na celulose, os efluentes são coletados e seguem para o tanque de armazenamento intermediário. Os vazamentos são direcionados aos tanques de coleta e voltam para serem reutilizados na celulose.

De acordo com EUROPEAN COMMISSION (2001), uma planta *Kraft* não integrada necessita de no mínimo cinco sistemas de coleta com bombeamento acoplado a medições de condutividade. Plantas mais complexas necessitam entre nove e doze sistemas. Com isso, os riscos de distúrbios na planta de tratamento de efluentes são reduzidos, evitando descargas com alta carga orgânica, tóxicas e variações contínuas de pH.

7.3.4 Estrutura para contenção de vazamentos de tanques

Em uma das visitas técnicas realizadas, foi identificada uma técnica construtiva para contenção de vazamentos próxima dos tanques, com o direcionamento do efluente para um tanque de armazenamento subterrâneo. Esse sistema está representado na Figura 11.



Figura 11 – Estrutura de proteção para vazamentos ao redor do tanque e poço para coleta de vazamentos.

7.3.5 Tratamento da água superficial não contaminada e de chuva

É muito comum um tratamento individual para água superficial não contaminada e de chuva, que normalmente consiste somente na sedimentação. A vantagem dessa coleta é a preservação da ETE dos choques de carga provocados quando ocorrem precipitações, cuja principal consequência é o sobrecarregamento dos clarificadores, geralmente dimensionados para maiores tempos de residência.

7.3.6 Separação de correntes

Uma separação efetiva das correntes facilita o controle de distúrbios na produção.

7.4 O REÚSO NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

O custo da água ainda é insignificante em muitos lugares do mundo, quando se considera a produção de celulose e papel. Na Finlândia, por exemplo, os Recursos Hídricos disponíveis apresentam alta qualidade e o custo da captação da água fresca é quase o mesmo do bombeamento. Por outro lado, na Europa Central e em algumas partes dos Estados Unidos, os recursos naturais são extremamente limitados, causando assim um elevado custo da água para os produtores de celulose e papel. Legislação, exigências dos clientes e outros fatores também podem levar as fábricas a reduzir sua vazão de captação.

7.4.1 Fechamento de circuito

A diminuição do consumo de água fresca leva a um aumento da necessidade do tratamento das águas de processo e dos efluentes finais. Isso significa a mudança da visão *end of pipe* para o tratamento no ponto em que cada efluente é gerado dentro da planta.

Para um fechamento de circuito sem conseqüências danosas à qualidade do produto final é necessário atentar para a necessidade de adotar medidas internas de tratamento de correntes individuais advindas de algumas áreas da produção e assim reusar esse efluente tratado. Fábricas modernas apresentam um consumo de água fresca de 6 m³/t de papel, enquanto as fábricas antigas apresentam um consumo de 60 m³/t (MÄNTTÄRI, 2004).

A Figura 12 mostra um esquema do percurso da água nos circuitos internos da produção de celulose e papel, indicando alguns dos pontos em que é possível o reúso, utilizando-se tecnologias de tratamento na linha de produção (*in line*) ou tecnologias de fim de linha (*end of pipe*), que serão descritas no item 7.4, de acordo com a qualidade exigida para reúso.

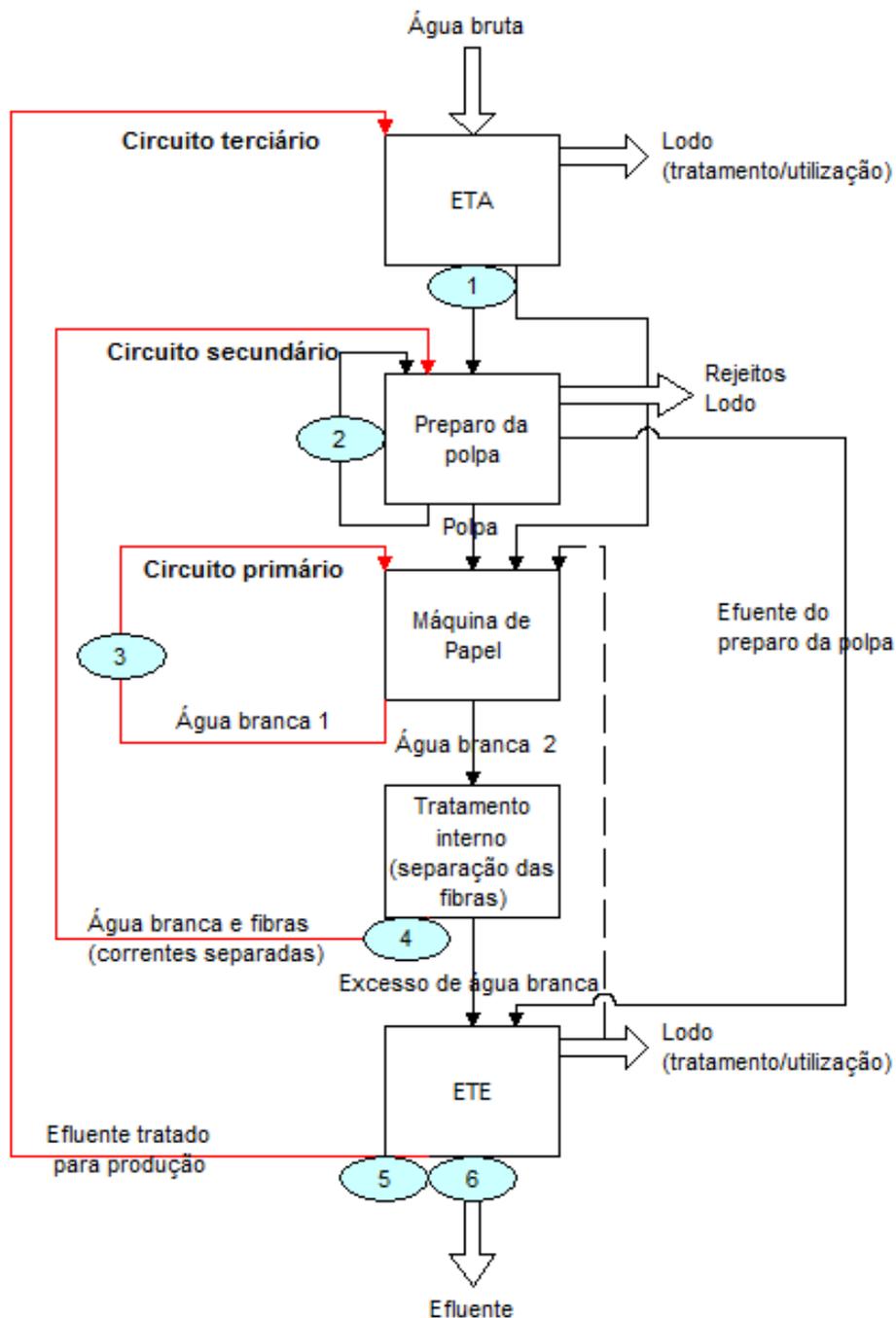


Figura 12 – Circuitos de origem de efluentes em indústria integrada de celulose e papel (adaptado e traduzido de BAUMGARTEN, 2006).

O ponto 1 indica o tratamento de água bruta para abastecimento dos diversos setores da produção. A água tratada na ETA abastece tanto o preparo da polpa como a máquina de papel. O ponto 2 indica a captação da água utilizada no preparo da polpa, enquanto o ponto 3 representa o circuito primário após a máquina de papel. O ponto 4

corresponde ao circuito secundário, no qual a água branca e as fibras são conduzidas em correntes distintas após uma separação interna. O ponto 5 indica o circuito terciário, geralmente precedido por um tratamento avançado, enquanto o número 6 indica o tratamento de efluentes para descarte.

Ainda na Figura 12, a possibilidade de recirculação das fibras recuperadas na ETE para a máquina de papel está indicado pela linha tracejada.

Os pontos geradores de lodo indicados são a ETA, o preparo da polpa e a ETE.

Tanto o excesso de água branca oriundo das máquinas, como o efluente do preparo da polpa são direcionados para tratamento conjunto na ETE.

Os circuitos 3 e 4 são exclusivos de água branca. Questões práticas mostraram que o sistema de água branca nunca deve ser completamente fechado, pois, sem a reposição com água fresca, os circuitos se tornam um ambiente ideal de proliferação de microorganismos, com conseqüências já mencionadas neste texto.

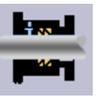
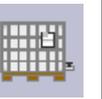
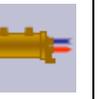
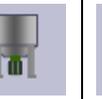
As fibras como matéria-prima são o componente principal do produto final (celulose ou papel), porém ainda não é possível atingir um aproveitamento de 100% e conseqüentemente essas estão presentes tanto no efluente da produção de celulose como da máquina de papel. Outros componentes presentes no efluente, cuja eliminação ou separação vem sendo largamente estudada, são os *stickys* (ver definição nota de rodapé p. 53), que se dividem em macro-*stickys* (separados através de seletor de 0,15mm) e micro-*stickys*.

7.4.2 Parâmetros de controle para reúso

Na produção de celulose e papel, existem alguns parâmetros que devem ser controlados quando há o interesse em reúso, principalmente para a garantia da qualidade do produto final e manutenção do bom funcionamento dos equipamentos.

A Tabela 20 mostra as áreas de consumo de água, parâmetros de controle e a avaliação da prática de reúso associada a esses dois fatores.

Tabela 20 – Exigências de qualidade de água para diferentes áreas consumidas na indústria de papel (adaptado e traduzido de PAULY et al., 2006).

	Chuveiros 	Bombas de Vácuo 	Água de selagem 	Preparo de químicos 	Água de resfriamento 	Diluição/Pulper 	Limpeza 
Sólidos	Green	Green	Red	Green	Red	Grey	Green
pH	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Scaling (Ca)	Red	Red	Green	Green	Red	Grey	Grey
Cl ⁻ , SO ₄ ⁻²	Green	Green	Green	Grey	Green	Grey	Grey
Condutividade	Grey	Grey	Grey	Red	Grey	Grey	Grey
Presença de microorganismos	Green	Green	Grey	Red	Green	Grey	Grey
Temperatura	Grey	Red	Grey	Green	Red	Grey	Grey
Coloração	Green	Grey	Grey	Green	Grey	Red	Green
Substâncias indesejáveis	Grey	Grey	Grey	Green	Red	Grey	Grey
	Reúso possível						
	Reúso tolerável, porém no limite						
	Reúso crítico						

Para interpretar a tabela acima é necessário entender os efeitos de cada fator:

Sólidos: a presença de sólidos na água de reúso pode levar a depósitos, desgaste ou entupimento (no caso de chuveiros) de equipamentos. Partículas muito finas podem ficar depositadas no trajeto, principalmente nas canalizações e reservatórios.

O pH deve ser controlado, para evitar, por exemplo, a corrosão dos equipamentos e tubulações.

A presença de cálcio pode levar ao depósito e incrustações nas tubulações.

Íons de sulfato e cloreto podem levar à salinização das águas, fenômeno que tem efeito comprovado sobre as propriedades do papel (ZIPPEL, 1999).

A condutividade em efluentes é um parâmetro de soma para a concentração de íons, conseqüentemente indica a concentração de sais.

A presença de microorganismos pode levar à formação de limo e mau cheiro originado do metabolismo de organismos anaeróbios.

A temperatura entre 28 e 30°C é ideal para uso em bombas, a fim de garantir sua máxima eficiência. O uso de água de selagem a 40°C apresenta uma eficiência 10% inferior a outra a 28°C (ZIPPEL, 1999).

A coloração tem influência nas qualidades óticas do papel, portanto é um parâmetro muito importante a ser controlado quando se pretende reutilizar uma corrente ou mistura de efluentes.

As substâncias indesejáveis foram definidas no item 5.2.

De acordo com a Tabela 20 a diluição, o *pulper* e a limpeza são os pontos mais adequados para práticas de reúso. Para casos de diluição de polpas brancas, a cor também deve ser analisada no conjunto.

O reúso em chuveiros pode ser feito para o combate de espuma, caso estes não sejam sensíveis ao entupimento. A água de selagem das bombas à vácuo seria outra opção, desde que esta apresente baixas temperaturas e pequenas concentrações de cálcio. O reúso para preparo de químicos, água de resfriamento, chuveiros de alta pressão, limpeza de telas e feltros é desaconselhável (PAULY *et al.*, 2006).

DEMEL *et al.* (2004) também desenvolveram alguns critérios para o reúso exclusivo do efluente tratado biologicamente, representados na Tabela 21.

Tabela 21 – Reúso possíveis para efluente tratado biologicamente.

Ponto de Reúso		Avaliação geral	Sólidos	Scaling	Temperatura	Substâncias indesejáveis	Coloração
Pulper/Diluição	Polpa marrom						
	Polpa branca	*		#			*
Limpeza da tela e feltros				# *	□ *		
Preparo de químicos		*	*	# *	□ *	*	
Bombas de vácuo							
Água de selagem				#	□		
Outros	Resfriamento						
	Limpeza						

LEGENDA:		TRATAMENTO
	Sem limitações	# Filtro □ Técnica para diminuição do cálcio
	Após tratamento	
	Não indicado	
*	Necessário experimentos de campo individuais	

A Tabela 20 traz as possibilidades de reúso, considerando qualquer tipo de corrente dentro do processo. Já a Tabela 21 apresenta os pontos de reúso possíveis para efluente tratado biologicamente, ou seja, a corrente para reúso é conhecida. Essa informação permite uma avaliação mais detalhada, ampliando as possibilidades de reúso, desde que o efluente passe por um tratamento.

Após análise da Tabela 21, pode-se determinar, então, uma seqüência candidata para reúso do efluente tratado biologicamente:

- Pulper/Diluição: a presença de sólidos não é crítica quando a polpa é marrom. Para polpa branca, é necessária uma tecnologia para separação dos sólidos presentes, evitando a formação de pontos de sujeira ou coloração marrom.
- Limpeza
- Água de selagem: não há oposição do uso de efluente tratado biologicamente desde que se tomem cuidados para evitar a abrasão, com a separação dos sólidos
- Preparo de químicos
- Limpeza da tela e dos feltros

7.4.3 Principais tecnologias de reúso no setor de celulose e papel

Este tópico traz, inicialmente, a definição das principais tecnologias *in line* e *end of pipe* utilizadas na indústria de celulose e papel, especialmente para o processo *Kraft*, além de exemplos de aplicações efetuadas na prática e que se encontram em estudo.

O investimento em tecnologias de reúso tem como objetivo a minimização dos impactos ambientais sob corpos d'água, possibilitando dentro do contexto da nova Política de Recursos Hídricos brasileira, um melhor aproveitamento da vazão outorgada dentro do processo, que traz não só a redução dos encargos advindos da cobrança sobre os produtos finais, mas também contribui para uma melhoria na qualidade da água do corpo hídrico e maior oferta de água a ser outorgada na bacia.

A Figura 13 mostra diferentes tecnologias que podem ser utilizadas para o tratamento de efluentes gerados na produção de celulose e papel, relacionadas à magnitude de seus efeitos de tratamento, avaliada segundo alguns parâmetros importantes no processo.

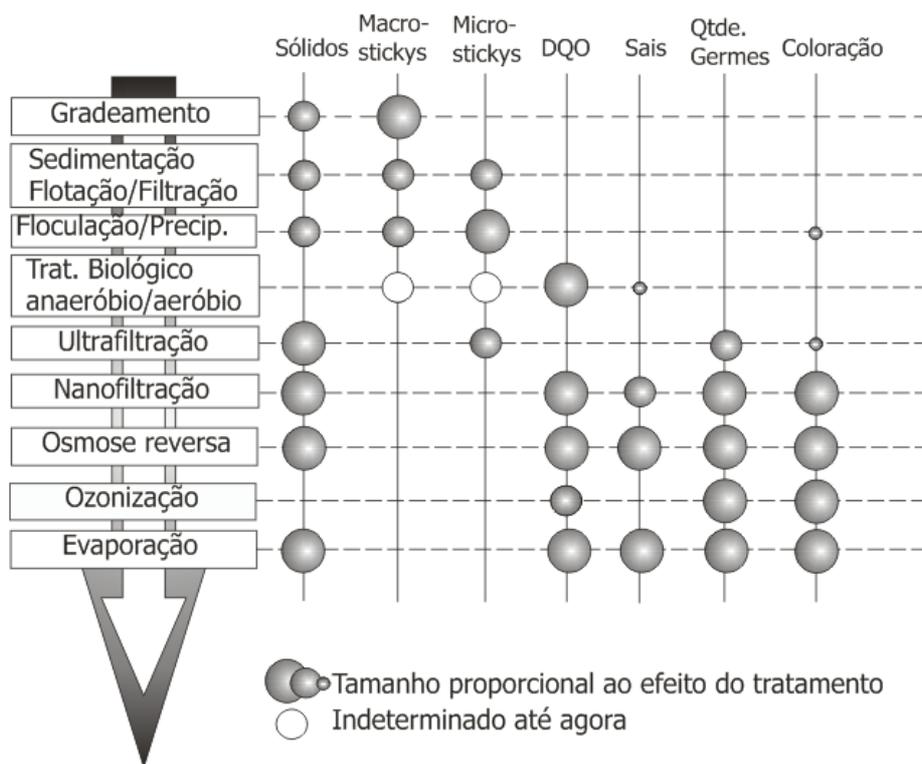


Figura 13 – Diferentes tipos de tratamento para efluente de indústria de celulose e papel e suas eficiências relacionadas a diferentes parâmetros (traduzido e adaptado de KAPPEN, 2006).

Uma rápida observação da figura anterior permite afirmar que as maiores efetividades de tratamento são atingidas com técnicas avançadas, entre elas as técnicas de membranas, a ozonização e a evaporação, que serão discutidas nos itens a seguir.

7.4.3.1 *Gradeamento*

Na indústria de celulose e papel, o gradeamento é responsável pela remoção dos sólidos grosseiros em suspensão e corpos flutuantes como, por exemplo, pedaços de madeira, fibras que não são recuperadas dentro do sistema e outros materiais estranhos que se incorporam ao efluente do processo.

A etapa do gradeamento é muito importante no tratamento de efluentes advindos desse setor industrial, pois evita que as fibras e os sólidos grosseiros sejam transportados para a ETE.

As fábricas *Zellstoffabrik 2* e *Zellstoffabrik 3* possuem sistemas de gradeamento do tipo giratório (Figura 14) e, uma dessas plantas possui um gradeamento posicionado na saída da celulose, responsável pela separação da maior parte das fibras originadas no setor.



Figura 14 – Sistemas de gradeamentos giratórios observados em visita técnica a fábricas de celulose localizadas na Europa (AMARAL, 2007).

Além do gradeamento, também foi possível identificar, em muitas plantas de tratamento de efluentes domésticos na República Federativa da Alemanha e outros países da Europa, instalações de bombas parafuso, cuja função é o transporte de líquidos que contêm grande quantidade de sólidos em suspensão ao longo de pequenas altitudes e com vazões muito variáveis.

7.4.3.2 Sedimentação

Por meio da sedimentação, podem ser removidos os sólidos suspensos cuja densidade supera a densidade do líquido em que estão misturados. A Tabela 22 mostra algumas das vantagens e desvantagens dessa tecnologia, assim como os parâmetros de projeto.

Tabela 22 – Características da sedimentação como tecnologia para reúso no setor de celulose e papel (traduzido e adaptado de KAPPEN, 2006).

Vantagens	Desvantagens
Custos baixos de investimento e operação	Grande volume, não adequado quando há mudanças no processo
Boa qualidade da água clarificada	Perigo de mau cheiro
Fácil manutenção	Pouco efeito de engrossamento
Limites para projeto	Tempo de residência
< 1,2m ³ /m ² h < 1,8 kg/m ² h	< 120 min

7.4.3.3 Flotação

O princípio da flotação consiste na emersão de componentes não solubilizados até a superfície de uma suspensão, em função da adesão destas a bolhas de gás (KAPPEN, 2005). A Tabela 23 mostra algumas das vantagens e desvantagens dessa tecnologia, assim como os parâmetros de projeto.

Tabela 23 – Características da flotação como tecnologia para reúso no setor de celulose e papel (traduzido e adaptado de KAPPEN, 2006).

Vantagens	Desvantagens
Boa qualidade da água clarificada	Sensível a choques de carga
Bom efeito de engrossamento	Grande investimento para acompanhamento do funcionamento
Volume pequeno	Utilização de químicos, alto custo
Limites para projeto	Tempo de residência
< 12 m ³ /m ² h < 8 kg/m ² h	< 15 min

Um problema comum da flotação é que ela não consegue absorver grandes variações de carga (KAPPEN, 2005).

Segundo informações obtidas de profissionais responsáveis pelo processo de produção de papel, para uma entrada de 4000 mg/L, a concentração de sólidos atingida na saída da flotação é de aproximadamente 700 mg/L.

7.4.3.4 Filtração

Na filtração, ocorre a separação de partículas através de uma camada de filtro poroso.

O filtro de discos é uma tecnologia muito usada para a recirculação de água branca na fabricação de papel, que, após recuperação das fibras através de um filtro de discos, origina dois tipos de filtrado, o clarificado, que retorna em grande quantidade (aprox. 85%) ao processo e o turvo segue direto para a ETE.

O filtrado clarificado vem sendo reusado atualmente em locais de pouca demanda, como, por exemplo, nos chuveiros de baixa pressão (MÄNTTÄRI *et al.*, 2004). Os efluentes tratados pelo processo de lodos ativados, em comparação com esses filtrados apresentam uma coloração forte e a presença de componentes inorgânicos. Outra aplicação observada durante visita técnica na *Papierfabrik 4* foi o reúso em chuveiros da máquina após tratamento em uma peneira de arco, ilustrada na Figura 15.



Figura 15 – Peneira de arco utilizada para separação das fibras, observada em visita técnica a fábricas de papel localizadas na Europa (AMARAL, 2007).

A Tabela 24 mostra algumas das vantagens e desvantagens do filtro de discos, assim como os parâmetros de projeto.

Tabela 24 – Características do filtro de discos utilizado no setor de celulose e papel (traduzido e adaptado de KAPPEN, 2006).

Vantagens	Desvantagens
Boa qualidade da água clarificada	Custos de investimento
Ótimo efeito de engrossamento	-
Volume mínimo	-
Limites para projeto	Tempo de residência
< 3 m ³ /m ² h	-
< 15 kg/m ² h	-

Segundo informações obtidas por profissionais responsáveis pelo processo de produção de papel, para uma entrada de 4000 mg/L, a concentração de sólidos atingida na saída do filtro de discos é de 70 mg/L.

7.4.3.5 *Tratamento Biológico*

A Tabela 25 traz uma comparação entre os dois processos de tratamento biológico, que é utilizado largamente em efluentes da indústria de celulose e papel, principalmente lodos ativados e lagoas aeradas.

As lagoas aeradas podem ser utilizadas quando não é exigida uma grande remoção de orgânicos, enquanto os lodos ativados são utilizados quando altas eficiências são necessárias.

Tabela 25 – Comparação entre lagoas aeradas e lodos ativados (adaptado de EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Tecnologia	Tempo de retenção	Recirculação do lodo	Vantagens	Desvantagens
Lagoas aeradas	3-20 dias	não	Remoção do lodo uma vez a cada 10 anos, menor produção de lodo em relação a lodos ativados	Baixa remoção de contaminantes, grandes áreas, baixa eficiência de aeração, odores (áreas anaeróbicas ou anóxicas)
Lodos ativados	15-48 horas	sim	Altas eficiências, área relativamente pequena, possibilidade de controle do processo através do consumo de oxigênio	Vulnerabilidade, riscos de instabilidades operacionais, produção de grande quantidade de lodo

A Tabela 26 apresenta as taxas de redução e média anual de emissões atingidas através de sedimentação e tratamento biológico.

Tabela 26 – Percentagem de redução através de tratamento de efluentes em plantas de celulose semiquímicas (OSPAR (1994), FINNISH BAT REPORT (1996) apud EUROPEAN COMMISSION (2001)).

Tecnologia	Taxa de redução (%)				
	DBO ₅	DQO	AOX	P	N
Lagoas aeradas	40-85	30-60	20-45	0-15	0
Lodos ativados	85-98	40-70	40-65	40-85	20-50

Tabela 27 – Concentrações típicas em mg/L de efluentes de plantas de celulose *Kraft* após tratamento biológico (lodos ativados) (EUROPEAN COMMISSION. 2001).

Parâmetro	DBO ₅	DQO	Sólidos Suspensos Totais	P _{total}	N _{total}
Concentração (mg/L)	20-40*	300-500	20-40	0,2-0,4	2-4

*Valores podem ficar entre 10 e 25 mg/L quando o tratamento de efluentes é associado a *BVT*.

Outro tratamento biológico que vem sendo muito utilizado pelo setor de papel e celulose, principalmente em plantas novas, é o reator de leito móvel²⁴. Através dessa tecnologia pode-se obter, quando o tempo de retenção é suficiente (> 2h), a eliminação de DBO em geral maior que 50% com um carregamento diário por unidade de volume de 6 kg/m³.d. Experiências práticas mostraram a necessidade de concentrações de oxigênio entre 2 e 4 mg/l (HELBLER, 2002).

Os *carriers* (ver Figura 16) são peças de polietileno ou polipropileno, com densidade entre 0,9 e 1,3 g/cm³. Através da estrutura aberta e da alta turbulência no reator, obtém-se movimento adequado dos *carriers*, a fim de promover a formação de um biofilme fino e evitar entupimentos dos orifícios pelo crescimento excessivo de microorganismos na superfície. O mercado oferece diferentes estruturas para essas peças, cujas características não foram, até hoje, sistematicamente avaliadas. A geometria aberta dos *carriers* e a turbulência no reator promovem mistura adequada, atingindo-se maior concentração de biomassa dentro do tanque (MÖBIUS, 2002).

A altura dos tanques deve ser superior a 8 m para propiciar uma mistura eficiente, além de melhor aproveitamento de oxigênio. A formação de espuma deve ser evitada com a instalação de um sistema de chuveiros na parte superior do reator. A presença de quantidade adequada de fósforo e nitrogênio deve ser garantida para fornecer con-

24 Moving bed biofilm reactor (MBBR) ou suspended carrier biofilm process

dições de crescimento aos microorganismos e, conseqüentemente, um tratamento biológico aeróbio efetivo.

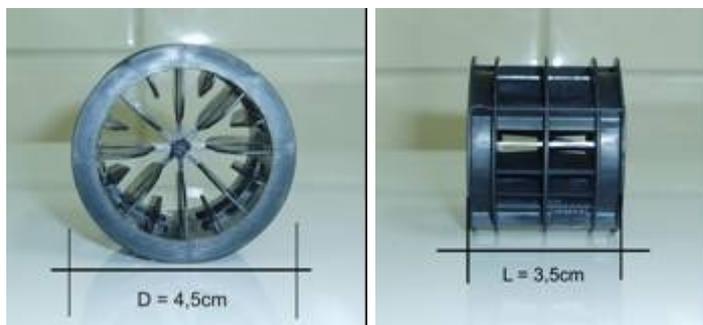


Figura 16 - Vista frontal e lateral de um *carrier*.

Em tratamentos biológicos realizados em duas etapas, a combinação de uma primeira etapa com reator de leito móvel com *carriers* e lodos ativados na segunda etapa é considerada uma das mais indicadas para processos sulfato. Experiências práticas com o uso desse reator como primeira etapa do tratamento biológico, para absorção de altas cargas, mostraram que para uma segunda etapa com lodos ativados, a idade do lodo de 10 dias foi suficiente para se alcançar uma eliminação ótima de DQO (HELBLE, 2002).

7.4.3.6 Tecnologia de Membranas

Segundo EUROPEAN COMMISSION (2001), as membranas são consideradas uma tecnologia promissora para separação de substâncias orgânicas e inorgânicas das correntes do processo, facilitando assim o fechamento do circuito.

As membranas consistem em uma tecnologia de tratamento físico com a função de separar a parte sólida da líquida. Após o tratamento, a parte líquida é denominada filtrado ou permeado, e a parte sólida, concentrado ou retido. Algumas vantagens da utilização de membranas no setor de papel e celulose são citadas por PAULY *et al.* (2006):

- separação de sólidos suspensos de diâmetros até 0,1 μm pode ser feita por microfiltração; o efluente tratado pode ser utilizado para usos mais exigentes como, por exemplo, chuveiros de alta pressão, que são mais suscetíveis ao entupimento quando material particulado está presente.

- eliminação da cor, pois no efluente de indústria de celulose e papel a cor marrom é causada principalmente pela presença de lignina e ácidos húmicos; a eliminação da cor no tratamento do efluente é um requisito importante se existe a intenção do reúso da água no processo.
- eliminação de germes: a microfiltração é indicada para eliminação de germes; apesar da concentração residual de DQO servir como fonte potencial de carbono, o *biofouling* não é possível pela ausência de certos microorganismos.
- redução de DQO, como resultado do tratamento inicial e do tratamento por membrana (ultra, nano e osmose reversa). Estudos mostraram que tratamento anaeróbio aliado a ultrafiltração é capaz de aumentar a retenção de DQO de 5 para 40%.

Algumas das desvantagens do uso de membranas são a alta sensibilidade à presença de sujeiras; por esse motivo, um ponto importante a ser considerado quando adotada essa tecnologia é a necessidade da separação desses elementos (fases longas, abrasivos, cortantes), pois a consequência é o entupimento da membrana ou até a sua inutilização. Além disso, substâncias dissolvidas presentes no efluente podem também ter um efeito prejudicial sobre a membrana.

Para diferentes tipos de separação existem diferentes técnicas de membrana: a microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) para separação de sólidos em suspensão na forma particulada ou coloidal e não os sólidos dissolvidos, a nanofiltração (NF) que permite uma separação em nível de íon, sendo utilizados para retenção de orgânicos, íons em geral, íons de cálcio dissolvidos e descoloração e a osmose reversa (OR), utilizada para remoção de íons de sais presentes no efluente.

A Figura 17 mostra o espectro de filtração de acordo com o tamanho das moléculas e a distribuição dos processos de separação nesta mesma escala e um resumo das presenças de operação para diferentes técnicas de membranas.

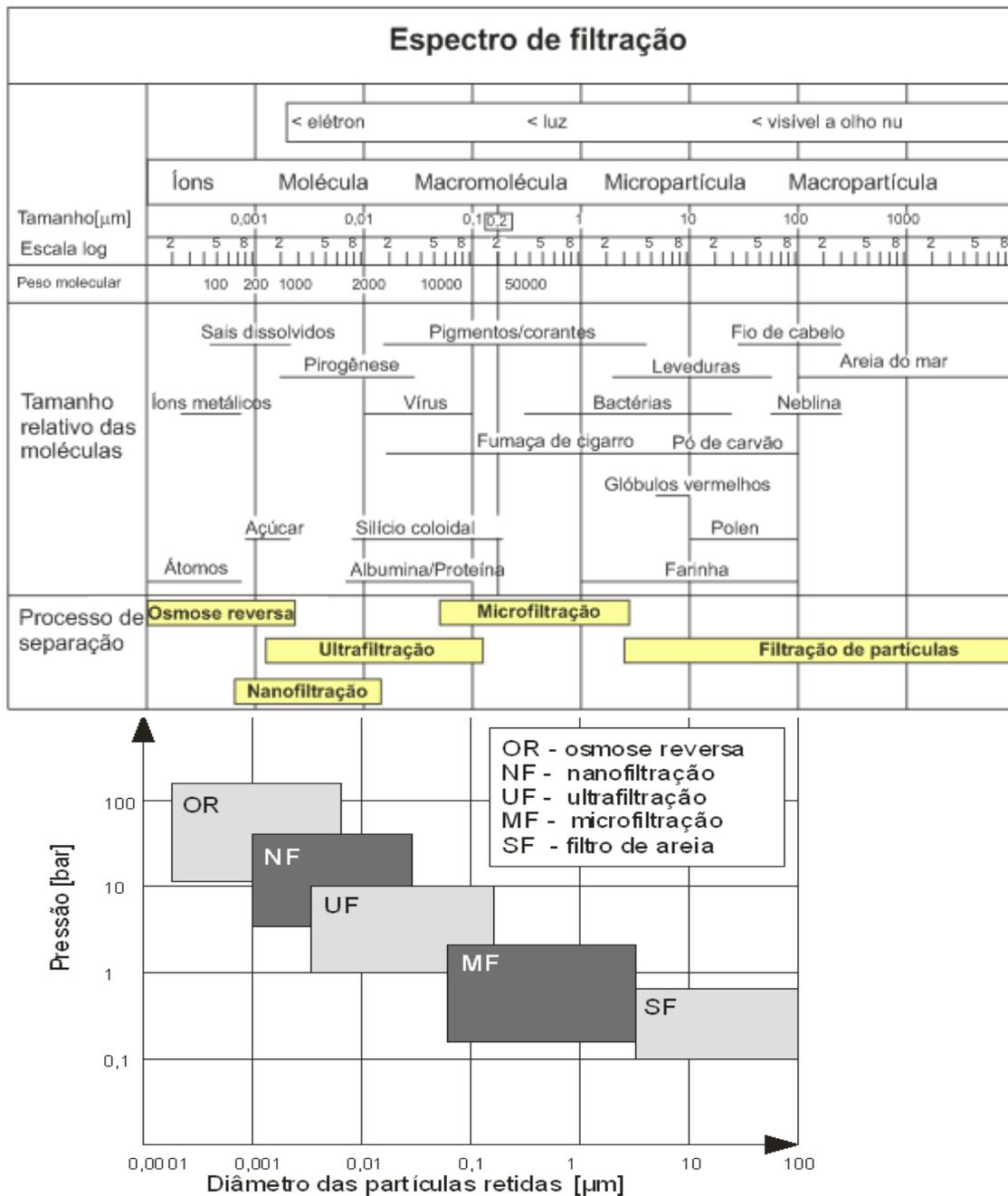


Figura 17 - Espectro de filtração e os processos de separação e pressão de operação para diferentes técnicas de membranas (adaptado de MENZEL, 2007).

A Tabela 28 mostra a retenção para as diferentes técnicas de membranas.

Tabela 28 – Qualidade de retenção para diferentes tipos de membrana (NUORTILA-JOKINEN *et al.*, 2004).

	Sólidos	DQO	Carbohidratos	Extra-tos	HMM lignina	LMM lignina	Íons multivalentes	Íons monovalentes
MF	+++++	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)		
UF	+++++	++	++	++(+)	++++	++	(+)	
NF	+++++	++++	++++	++++	+++++	++++	++++	
RO	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++

LEGENDA:

<p>HMM: alta massa molar; LMM: baixa massa molar +++++: muito bom (+): quase nulo</p>

Na Tabela 28, é possível observar que, dependendo do tipo de processo de membrana utilizado, são removidos os sólidos suspensos (microfiltração), polissacarídeos, extra-tivos e substâncias de alta massa molar (ultrafiltração) e sais multivalentes (nanofiltração).

Segundo BEVER (2002), a escolha da técnica de membrana para o tratamento de efluentes depende da qualidade da água exigida. Através da filtração com membranas, é possível alcançar concentrações de poluentes menores, quando comparado com efluentes tratados em lodos ativados convencionais. No efluente filtrado e livre de sólidos, há uma redução significativa da concentração de muitos produtos perigosos, aumentando a possibilidade de reuso desta água.

Outros objetivos foram citados por BAUMGARTEN (2006) além do reuso: o cumprimento dos limites de emissões exigidos por lei, concentração de poluentes contidos na água para, por exemplo, reutilização ou até para redução dos custos advindos da disposição desses poluentes.

A adoção de um tratamento com membrana pode ser motivado pela necessidade de medidas para o aumento da qualidade do efluente que é devolvido ao corpo de água, custos altos ou uma pequena disponibilidade de água fresca. No entanto, antes de

adotar esse tipo de tratamento, é necessário também considerar as condições locais, como, por exemplo, características químicas da água a ser tratada e as condições de operação do módulo.

Durante a operação de módulos de membranas, existem vários fatores a serem considerados para obtenção de um fluxo ótimo, evitando *fouling* ou *scaling* e até uma danificação do módulo pela presença de impurezas. A seguir, serão descritos alguns dos problemas a serem enfrentados na operação com membranas.

O *fouling* consiste na formação de um filme sobre a superfície da membrana que pode ser composto por substâncias orgânicas, coloidais ou microorganismos, entre outras. O fenômeno do *scaling* se caracteriza pela formação de cristais sobre a membrana.

Efluentes de papel e celulose contêm diversos componentes, inclusive hidrofóbicos, como anti-oxidantes e extratos, os quais podem adsorver na superfícies da membrana e causar diminuição do fluxo. Segundo NUORTILA-JOKINEN *et al.* (2004), quando mais hidrofóbica é uma membrana, mais substâncias hidrofóbicas, como resinas e ácidos graxos, são adsorvidas a ela causando o *fouling*.

No entanto, a hidrofocidade de um composto não é a única causa do *fouling*, uma membrana com um ângulo de contato com a água relativamente pequeno sofre provavelmente menos *fouling* do que outras com grande ângulo de contato. Esse ângulo depende do material de que a membrana é composta (MÄNTTÄRI *et al.*, 2004).

Ainda segundo MÄNTTÄRI *et al.* (2004), no tratamento de efluentes de papel e celulose, normalmente o *fouling* é maior quando utilizada a ultrafiltração em comparação com a nanofiltração. NYSTRÖM *et al.* (2003) explica esse fenômeno surpreendente pelo menor bloqueamento dos poros na nanofiltração, especialmente se o efluente foi tratado biologicamente.

As membranas quando utilizadas para tratamento de efluente de indústria de papel e celulose sofrem rapidamente *fouling* e precisam ser limpas periodicamente. Usualmente a limpeza é feita com agentes alcalinos e às vezes uma limpeza ácida é necessária (MÄNTTÄRI *et al.*, 2004). É preciso atentar para possíveis modificações das características da membrana, principalmente quando há a combinação de agentes alcalinos e altas temperaturas.

Experiências em laboratório mostraram que após uma limpeza seqüencial há um aumento no fluxo para um valor maior que o original e uma diminuição da retenção para um valor menor do que o original. A diminuição da retenção pode ser possivelmente causada por efeitos danosos do produto de limpeza utilizado (MÄNTTÄRI *et al.*, 2004).

Experiências com pré-tratamento da membrana para evitar o *fouling* foram feitas com efluentes de uma fábrica de papel *Kraft*, localizada na África do Sul e são descritas em MARTENS (2002).

A produção de papel e celulose está automaticamente ligada a altas temperaturas e o fechamento do circuito numa planta leva a um aumento da temperatura da água de processo. Esse aumento de temperatura é vantajoso, pois possibilita a remoção de água da polpa com maior facilidade, devido à pequena viscosidade, e no caso de fábricas não integradas possibilita a secagem com menor necessidade energia externa. Por outro lado, altas temperaturas podem prejudicar as propriedades de algumas membranas como, por exemplo, a permeabilidade, a retenção e o tempo de vida.

O aumento da temperatura causa um aumento linear do fluxo. Segundo experiências descritas em MÄNTTÄRI *et al.* (2004), numa primeira fase, a retenção em membranas para nanofiltração diminui com o aumento da temperatura, fenômeno que pode ser explicado pelo aumento da difusão dos solutos em altas temperaturas. Após essa primeira fase, a estrutura da membrana pode expandir causando uma maior passagem de solutos. No entanto, se a temperatura crítica de tolerância é excedida a estrutura da membrana mudará e a linearidade entre a relação fluxo temperatura desaparece. A maioria das membranas poliméricas pode ser usada em temperaturas entre 40 e 45°C.

Devido aos problemas descritos anteriormente, é necessário realizar um pré-tratamento do efluente a ser filtrado num módulo de membrana.

Experiências com plantas-piloto mostraram um aumento no fluxo de efluentes que sofreram pré-tratamento. Esses tratamentos podem ser químicos, ozonização ou tratamento biológico. O uso de um módulo de membrana com diâmetro dos poros superior, como pré-tratamento para um módulo com diâmetro menor, também é possível, como por exemplo, ultrafiltração para posterior nanofiltração.

NUORTILA-JOKINEN *et al.* (1998) *apud* NUORTILA-JOKINEN *et al.* (2004) afirmam que a super ou subdosagem de químicos durante o pré-tratamento pode resultar em *fouling* da membrana.

A remoção de produtos específicos pode muitas vezes não resultar num aumento do fluxo da membrana, como no caso da ozonização de substâncias hidrofóbicas, pela qual extratos podem ser completamente eliminados, no entanto, o fluxo na membrana diminui provavelmente devido aos subprodutos. Quando se utiliza o ozônio para pré-tratamento é preciso encontrar a dose ótima que contribua para o aumento do fluxo na membrana (NUORTILA-JOKINEN *et al.*, 2004).

O tratamento biológico também pode ser usado como pré-tratamento, removendo componentes de pequena massa molar. Experiências realizadas por HUUHILO *et al.* (2002); NUORTILA-JOKINEN *et al.* (2003) *apud* NUORTILA-JOKINEN *et al.* (2004) alcançaram uma remoção em torno de 60% da DQO em tratamento aeróbio termofílico. Dentre os métodos de maior vantagem custo-benefício estão a floculação e o tratamento biológico termofílico.

Devido às altas temperaturas (40-60°C), o número de membranas disponíveis comercialmente para o tratamento de efluentes do ramo de papel e celulose é limitado. O mais indicado neste caso são as membranas de cerâmica, que têm a desvantagem do alto preço e menor fluxo, porém um tempo de vida muito maior quando comparadas com as membranas poliméricas (NUORTILA-JOKINEN *et al.*, 2004).

O setor de papel e celulose utiliza grandes quantidades de água, por isso é indispensável que a membrana tenha alta capacidade de fluxo, resistência ao *fouling*, a altas temperaturas e a químicos de origem alcalina e ácida. A filtração por membrana pode ser utilizada para a separação de substâncias dissolvidas orgânicas e inorgânicas, de microorganismos ou cor (MÄNTTÄRI *et al.*, 2004), compensando riscos advindos da redução do consumo de água fresca (MYRTTINEN *et al.*, 2007).

Uma variação dessa tecnologia são os módulos de membranas imersos que podem apresentar problemas devido à precipitação do cálcio presente no efluente industrial, que ocorre com o *stripping* do CO₂ através da circulação de ar e o conseqüente aumento do pH. Neste caso observa-se diminuição da capacidade de filtração devido ao *scaling* e aumento dos custos de tratamento, custos altos com limpeza (produtos químicos).

micos e mão de obra), menor tempo de vida da membrana, devido à limpeza excessiva, necessidade de maior área de membrana em consequência da diminuição do fluxo e depósitos, sendo necessário um ciclo mais curto de lavagem.

Uma tendência de depósito nas canalizações e nos aeradores foi observada em efluentes tratados num primeiro estágio anaerobiamente, seguido de um tratamento por lodos ativados e sedimentação (SCHMID, F.; DIETZ, W. (2001) *apud* BAUMGARTEN (2006)).

Como o tratamento anaeróbio é considerado o estado da arte no tratamento de efluentes de indústrias que utilizam como matéria-prima o papel reciclado, é necessário tomar algumas providências para o uso de membranas nesses casos, como por exemplo, a eliminação do cálcio presente no efluente, evitando assim a sua precipitação, além da realização de limpeza efetiva e economicamente eficiente da membrana (BAUMGARTEN, 2006).

A seguir serão apresentadas algumas aplicações práticas de membranas no setor de celulose e papel.

Ultrafiltração (UF)

A ultrafiltração retém colóides, polissacarídeos, microorganismos, substâncias aniônicas, poucos íons multivalentes e componentes responsáveis pela coloração em um grau variável. Além disso, a ultrafiltração remove cerca de 30% da carga orgânica e o permeado é praticamente livre de microorganismos, reduzindo a formação de colônias na Máquina de Papel, podendo ainda substituir a água bruta tratada mecanicamente ou a água fresca utilizada nos chuveiros das máquinas de papel (SUTTELA *apud* NUORTILA-JOKINEN *et al.*, 2004). MÄNTTÄRI *et al.* (1997) afirmam que o permeado resultante da ultrafiltração ainda contém componentes de baixa massa molar e DQO e, em muitos casos, não é adequado para utilização em chuveiros de alta pressão. Neste mesmo estudo cita um caso prático de uma planta na Finlândia, da Metsä-Serla Kirkniemi, em que a ultrafiltração forneceu uma remoção total da turbidez e dos sólidos suspensos e o permeado resultante foi reusado como água de *make up* e água de selagem, além do abastecimento dos chuveiros.

LEONHARDT (2004); DEMEL e ÖLLER (1996), MÄNTTÄRI (2006) citam o sucesso do uso de ultrafiltração para recuperar pigmentos do efluente da máquina de

cobertura. Tanto o permeado como o retido são reutilizados no processo como matéria-prima para o preparo da tinta. Neste caso os custos são recuperados em menos de um ano (MÄNTTÄRI *et al.*, 2004).

Um exemplo de aplicação da ultrafiltração para recuperação do efluente originado da aplicação de camadas de tinta é o caso da MD Papier GmbH, planta de Plattling, Alemanha. O concentrado originado é reintroduzido como pigmento, diminuindo a matéria-prima necessária e o permeado é reusado na produção, com isso há uma diminuição dos custos com água fresca, pigmentos e deposição final (PAPIER TECHNOLOGIE STIFTUNG, 2007).

Segundo MÄNTTÄRI *et al.* (2004) águas de processo tratadas por ultrafiltração podem ser reusadas em diversas partes da máquina de papel, sem a necessidade de maior purificação.

Nanofiltração (NF)

A nanofiltração vem sendo cada vez mais utilizada para tratamento de águas de processo para reúso e até em estações de tratamento de água para consumo humano. A vantagem da nanofiltração em relação à ultrafiltração é sua capacidade de fornecer água livre de micro partículas e remover dureza. Quando comparada com a osmose reversa apresenta a vantagem de maior capacidade de fluxo (NYSTRÖM *et al.*, 2003).

Com a nanofiltração é possível a remoção da maioria da carga orgânica e íons multivalentes, como cálcio, ferro, alumínio, sílica, magnésio e sulfato. Esses íons quando acumulados no sistema podem trazer problemas de formação de depósitos e corrosões.

Águas tratadas em módulos de nanofiltração devem sofrer um bom pré-tratamento, especialmente quando há presença de sólidos, que é o caso de efluentes de indústrias de celulose e papel (NYSTRÖM *et al.*, 2003). Normalmente águas que estiveram em contato com o solo ou produtos de origem vegetal e animal, contêm produtos de degradação desse material orgânico e sais de diferentes fontes, sendo compostos de partes hidrofóbicas e hidrofílicas. As partes hidrofóbicas interagem com membranas da mesma natureza via adsorção, causando o *fouling*. De acordo com NYSTRÖM *et al.* (2003) para evitar o *fouling* deve haver um bom pré-tratamento para remoção de

substâncias hidrofóbicas, como por exemplo, através de filtração. Estudos já comprovaram que o *fouling* pode ser, em parte, evitado quando o efluente for filtrado em fluxos próximos ao crítico.

Na nanofiltração as propriedades da membrana afetam o processo de filtração dramaticamente. Alguns fatores que têm um efeito direto quando se consideram efluentes da indústria de papel e celulose são: a hidrofobicidade da membrana, molhabilidade, tendência ao *fouling*, resistência a temperatura, propriedades de retenção e permeabilidade (MÄNTTÄRI *et al.*, 2004).

NUORTILA-JOKINEN *et al.* (2004) utilizaram a nanofiltração para tratamento de filtrados claros originados na máquina de papel e concluíram que o fluxo do filtrado ácido foi superior ao do filtrado neutro, 80 L/m².h e 90 L/m².h, respectivamente. Outro fato foi o fluxo quase triplicado quando se utilizou efluente tratado biologicamente comparado com o do filtrado claro neutro (NUORTILA-JOKINEN *et al.*, 2004).

O permeado da nanofiltração pode substituir a água fresca nos chuveiros de alta pressão das máquinas de papel e tem a vantagem de possuir baixa concentração de sais (NUORTILA-JOKINEN *et al.*, 2004).

Uma das vantagens da alimentação da membrana com efluente tratado pelo processo de lodos ativados é que esse contém concentrações de componentes orgânicos significativamente mais baixas em comparação com a água branca clarificada advinda da máquina de papel (que é considerada uma das águas mais limpas no processo de fabricação). Outra vantagem é a pequena variação, em diferentes amostras, de alguns parâmetros medidos (p. ex. condutividade e DOC) de amostras de efluente tratado, o que pode ser explicado pela alta capacidade de equalização do lodo ativado (MÄNTTÄRI *et al.*, 2005).

MÄNTTÄRI *et al.* (2004) compararam a eficiência da nanofiltração de filtrados e de efluentes tratados na planta de lodos ativados. Após o tratamento biológico o efluente ainda contém forte coloração, microorganismos, substâncias orgânicas recalcitrantes e uma pequena quantidade de substâncias biodegradáveis, assim como sólidos suspensos. O tratamento biológico não significa a redução do conteúdo inorgânico e se há a intenção de reúso na produção, é necessária a dessalinização do efluente já tratado biologicamente (MÄNTTÄRI *et al.*, 2005). Para fins de reúso e garantia da quali-

dade do produto final, a coloração e a presença de microorganismos no efluente tratado devem ser evitadas. A remoção de cor e sais através de ultrafiltração é insuficiente, por isso a nanofiltração foi utilizada para avaliação em escala de laboratório.

Testes de laboratório feitos com diferentes tipos de membranas, utilizando filtrado clarificado e efluentes tratados em lodos ativados mostraram um melhor fluxo para efluentes tratados. Isso se justifica pela remoção dos anti-oxidantes hidrofóbicos e outras substâncias que causam *fouling* durante o tratamento por lodos ativados. Por outro lado, a retenção da condutividade mostrou-se menor nos efluentes tratados em comparação com o filtrado clarificado. Efluentes neutros ou que sofreram uma neutralização antes da nanofiltração fornecem melhores resultados quando comparados *fouling*, retenção e fluxo (MÄNTTÄRI *et al.*, 2004).

MÄNTTÄRI *et al.* (2005) realizaram um estudo para avaliar as possibilidades de implementar a nanofiltração para purificação de efluentes já tratados em lodos ativados. Este estudo afirma que um sistema de tratamento biológico bem operado pode estabilizar as flutuações na qualidade e na vazão do afluente, resultando assim numa alimентация da membrana mais estável em comparação com os processos nos quais o efluente é filtrado diretamente. Dentre as conclusões dos autores está a afirmação de que a nanofiltração direta dos efluentes tratados por processo de lodo ativado conduz a maior fluxo, com alta recuperação, quando comparado com a nanofiltração da água branca clarificada da máquina de papel. O permeado apresenta-se quase livre de componentes orgânicos, mas contém mais componentes inorgânicos, em comparação com permeados das águas de processo.

Um tratamento biológico efetivo é capaz de eliminar componentes orgânicos com baixa massa molar, resultando em alta retenção de componentes orgânicos na nanofiltração. No entanto, a nanofiltração se mostrou um método atrativo para purificação de efluentes tratados para fins de reúso, quando estes não contêm altas quantidades de íons monovalentes, o que pode acontecer em plantas integradas, que utilizam produtos químicos a base de cloretos no branqueamento. Nestes casos o efluente tratado apresenta grande quantidade de íons cloreto e, conseqüentemente, a nanofiltração não seria um método adequado de tratamento para o reúso na produção. Os autores aten-

tam para o *fouling*, pouco significativo devido à pequena vazão experimental e aconselham análise em longo prazo com grande vazão de efluente.

Osmose Reversa (OR)

PIZZICHINI (2004) obteve resultados insatisfatórios com o tratamento por osmose reversa de efluentes de indústria de papel e celulose pré-tratados biologicamente. Nestes casos, a DQO final do permeado ficou em 250 ppm. A explicação pode ser a composição química do efluente, que pode conter bactérias e componentes orgânicos como proteínas e gorduras, afetando negativamente a *performance* da membrana.

O tratamento do efluente da flotação, antes desse passar pelo tratamento biológico, utilizando-se a MF seguida de OR para o permeado, forneceu resultados satisfatórios, com bons fluxos de permeados e permitindo reúso de mais de 80% do efluente tratado, atingindo condutividade de 70 μ S/cm, DQO inferior a 25 mg/L e TOC de 1 mg/L (PIZZICHINI, 2004).

Geralmente a pressão externa aplicada para o uso da osmose reversa é muito alta (>100bar) devido à alta pressão osmótica causada pela alta concentração de sais na água.

Combinação de bioreator e membrana

Na indústria de celulose e papel, principalmente na Europa, vêm sendo desenvolvidas pesquisas em projetos-piloto com os bioreatores com membrana, denominados MBR. Nesses reatores, ocorre a combinação da filtração com membranas, que substitui o clarificador e o tratamento biológico, no qual a biomassa é recirculada como concentrado, e a água tratada é o permeado (MÖBIUS *et al.*, 2006).

Os MBR possuem algumas características que os diferenciam de um tratamento biológico comum que são: alta concentração de biomassa no reator; concentrações de 30 g/l no reator são possíveis; produção de calor devido à alta concentração de biomassa no reator; retenção de organismos específicos com tendência à suspensão evitando problemas com a sedimentação do lodo; boa qualidade do efluente. Esses reatores são indicados quando não há grande disponibilidade de espaço, para tratamento de efluentes com compostos recalcitrantes, quando é requerida alta qualidade do efluente tratado ou como tratamento *in line* para reúso. RAMAEKERS *et al.* (-) realizaram

projeto piloto com MBR termofílico para tratamento do efluente de máquinas de papel. Os resultados mostraram que essa tecnologia pode ser usada em combinação com outras técnicas, com resultados positivos para a qualidade do produto. A técnica permite economia de matéria-prima, consumo de água bruta, descarga de efluentes, e energia para aquecimento, com melhoramento no desaguamento da máquina de papel.

BRONOLD *et al.* (-) fizeram experimentos com MBR para tratamento da corrente vinda do branqueamento e uma corrente vinda da Máquina de Papel. Os resultados mostraram boa degradabilidade do efluente sob condições termofílicas. O efluente tratado atingiu qualidade adequada para ser reusado no branqueamento. O reator se mostrou estável a variações de temperatura, com fluxo dependente da estabilidade da biomassa e concentração de biomassa no reator de 25 g/L.

Muitas plantas já possuem módulos de membrana operantes no processo. A Tabela 29 reúne exemplos práticos atuais de utilização de membranas na indústria de celulose e papel.

Tabela 29 – Exemplos práticos de utilização de membranas na indústria de celulose e papel (PAPIER TECHNOLOGIE STIFTUNG, 2007).

Planta	MD Papier GmbH Plattling, Alemanha
Tecnologia	UF efluente do revestimento com tinta
Objetivo	Reúso do concentrado como substituição da tinta (até 10%) e do permeado como água de produção (chuveiros, água de selagem, produção)
Pré-tratamento	Peneira com abertura de 62 µm
Problemas	-

Planta	UPM-Kymmene Capacidade: 175000 t/ano Valkeakoski, Finlândia
Tecnologia	UF da mistura de filtrado claro e filtrado turvo
Objetivo	Reúso do permeado em chuveiro de alta pressão, diluição de químicos. Redução consumo água fresca de 11 para 6 m ³ /t
Pré-tratamento	Filtro de alta pressão, peneira em arco, sedimentação
Problemas	-

Planta	STORAENSO
Tecnologia	NF
Objetivo	Filtração efluente tratado biologicamente
Pré-tratamento	Filtros de areia e tratamento químico
Problemas	Difícultades na limpeza da membrana

Planta	WEIG Karton
Tecnologia	Módulo submerso, nanofiltração
Objetivo	Reúso no preparo da celulose e na máquina de cartão ou papelão. Clarificador secundário sobrecarregado.
Pré-tratamento	-
Problemas	Problema: depósito de carbonato de cálcio quando da aeração

Retido

A filtração por membranas fornece, além do permeado, que é o efluente tratado e praticamente livre de impurezas, o retido, que é a parcela que fica contida e apresenta concentrações altas de diversos componentes. Esse retido pode ter três destinos: disposição direta, tratamento e posterior disposição num corpo de água, tratamento para reúso no sistema. Atualmente, estão sendo realizados diversos estudos para determinar o melhor destino para esse subproduto da filtração por membrana.

PAULY *et al.* (2006) investigaram quatro possibilidades para o tratamento do retido advindo de indústria de papel e celulose: tratamento biológico (aeróbio e anaeróbio), ozonização, eletroflotação e floculação e filtro de micro areia. Após ensaios experimentais utilizando as diversas tecnologias, os resultados mostraram que a micro areia dá suporte à floculação e precipitação e à eletroflotação, promovendo redução de sólidos suspensos e da turbidez (até 90%). Com a eletroflotação, foi possível reduzir até 50% da coloração, no entanto, os custos em comparação com a floculação e sedimentação foram muito altos. O tratamento com ozônio teve objetivo de diminuir a carga de DQO para introdução no tratamento biológico. Com ozônio, foram atingidos bons resultados para redução da coloração (até 90%). Os experimentos com tratamento

biológico mostraram que o retido com altas cargas foi satisfatoriamente tratado por processo com membrana integrado com tratamento aeróbio ou anaeróbio. No caso do retido ser tratado juntamente na ETE, deve-se procurar garantir uma vazão constante para evitar picos de carga.

A *Zellstoffabrik 3* possui um módulo de osmose reversa para tratamento da água bruta destinada à produção. Com o objetivo de evitar o *fouling*, foi realizado, durante algum tempo, dosagem de hipoclorito no afluente. A presença de cloro livre levou à danificação da membrana e, após a completa suspensão da dosagem, houve um aumento repentino de microorganismos sob a membrana, causando um *biofouling*. A solução encontrada foi a dosagem de cloro livre durante o período de 2 horas. O tratamento é composto de duas etapas: da primeira etapa, o retido segue para a segunda, e o permeado já é utilizado como água de processo; na segunda etapa, o retido é devolvido ao corpo de água (numa qualidade superior), enquanto o permeado segue para o processo.

7.4.3.7 Ozonização

BAUMGARTEN (2007) fez testes com efluentes de fábricas de papel higiênico, cuja matéria-prima é a fibra reciclada e afirmou que, nesse caso, somente a ozonização do efluente não foi suficiente para possibilitar uma recirculação na produção sendo a membrana uma tecnologia que garante um efluente livre de sólidos.

BIERBAUM (2006) fez experimentos com ozonização seguida de tratamento biológico, o que resultou para a Fábrica de Papel kmU, em economia de 60% dos custos de capital e de operação com o reúso da água tratada por ozonização na produção, enquanto que a recirculação da corrente ozonizada no tratamento biológico levou a uma economia da mesma natureza de 26%.

8 ASPECTOS ECONÔMICOS DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA, MEDIDAS BVT E TECNOLOGIAS DE REÚSO NO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

Este capítulo apresenta um cálculo estimado do valor a ser pago pelo uso da água, com a cobrança para uma fábrica integrada de papel e celulose.

Para uma comparação entre os custos advindos pela cobrança e os custos para intervenções, são apresentados também alguns custos de investimentos e operacionais para diferentes medidas. Os valores de custos das tecnologias apresentados são baseados em valores fornecidos pela literatura e pesquisas de campo.

8.1 METODOLOGIA

Uma estimativa do valor a ser pago com a implantação da cobrança pelo uso da água deste trabalho foi feita baseada em dados reais medidos no controle da produção de uma planta integrada de celulose e papel, com capacidade média diária de produção de 2000 t de papel. Esses dados foram obtidos durante o período de reconhecimento *in situ* do processo de produção realizado para este estudo, entre março de 2005 e fevereiro de 2006. O universo de dados escolhido compreende medições dos anos de 2004 e 2005.

Inicialmente, foram selecionadas as planilhas relacionadas a consumo de água e produção de efluentes, contendo informações de vazão captada antes do tratamento de água e vazão descartada após a planta de tratamento de efluentes. Posteriormente, foram incorporadas planilhas contendo resultados das análises de amostras de lodo e efluente em laboratório, com concentrações de DBO, DQO e sólidos suspensos (SS), medidas em amostras coletadas na entrada e na saída do sistema de tratamento de efluentes.

O cálculo do montante a ser pago pela planta industrial foi baseado em valores unitários propostos pela SUDERHSA, para cobrança no estado do Paraná, já apresentados na Tabela 2. A Tabela 30 apresenta, dentre esses valores, somente os de interesse para o uso industrial e que serão utilizados no cálculo para o estudo de caso.

Tabela 30 – Valores unitários propostos pela SUDERHSA para cobrança para uso industrial (ROORDA, 2005).

Uso	Captação (R\$/ m ³)	Uso consuntivo (R\$/ m ³)	DBO (R\$/ kg)	SS (R\$/ kg)	Diferença DBO e DQO (R\$/ kg)
Preço Público	0,08	0,15	0,30	0,45	0,60

As vazões de captação consideradas foram aquelas medidas na entrada da ETA da fábrica. O uso consuntivo foi calculado através da diferença entre a vazão captada e a vazão lida na saída da ETE.

De acordo com a

Tabela 30, os parâmetros considerados para o cálculo são expressos em R\$/m³ para vazões de captação e consumida, e em R\$/kg para DBO, SS e a diferença entre DBO e DQO. Desta forma, os valores obtidos durante a pesquisa de campo foram transformados em cargas através da relação entre a concentração e a vazão.

8.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 31 reúne os gastos mensais e anuais calculados neste estudo para os anos de 2004 e 2005, baseados nos gastos unitários da planta integrada de papel e celulose escolhida para o estudo de caso. Para o cálculo, utiliza-se a carga acumulada no período, transformada em uma média mensal para o respectivo ano, a partir da qual foi calculado o montante anual.

Tabela 31 – Valores estimados dos custos da cobrança, baseados na produção dos anos de 2004 e 2005 de uma planta integrada de celulose e papel e valores unitários de cobrança propostos na Tabela 4.

Origem	Gasto total com o direito do uso da água em 2004 (R\$)		Gasto total com o direito do uso da água em 2005 (R\$)	
	Gasto Mensal	Gasto Anual	Gasto Mensal	Gasto Anual
Captação superficial	R\$ 196.987,99	R\$ 2.363.855,92	R\$ 182.568,94	R\$ 2.190.827,23
Uso consuntivo	R\$ 56.148,35	R\$ 673.780,14	R\$ 32.547,41	R\$ 390.568,86
DQO-DBO industrial	R\$ 100.872,91	R\$ 1.210.474,92	R\$ 86.421,59	R\$ 1.037.059,03
Sólidos Suspensos industriais	R\$ 126.091,14	R\$ 1.513.093,65	R\$ 125.686,22	R\$ 1.508.234,60
DBO industrial	R\$ 72.658,50	R\$ 871.902,02	R\$ 20.428,71	R\$ 245.144,48
TOTAL	R\$ 552.758,89	R\$ 6.633.106,65	R\$ 427.224,14	R\$ 5.126.689,72
Custo específico (R\$/ m ³ captado)	0,22		0,19	

De acordo com a Tabela 31, houve uma diminuição dos custos no ano de 2005 em relação a 2004, que será discutida a seguir.

A Figura 18 fornece uma comparação entre os parâmetros que compõem o cálculo e suas respectivas parcelas com relação ao valor total a ser pago para em 2004 e 2005, respectivamente.

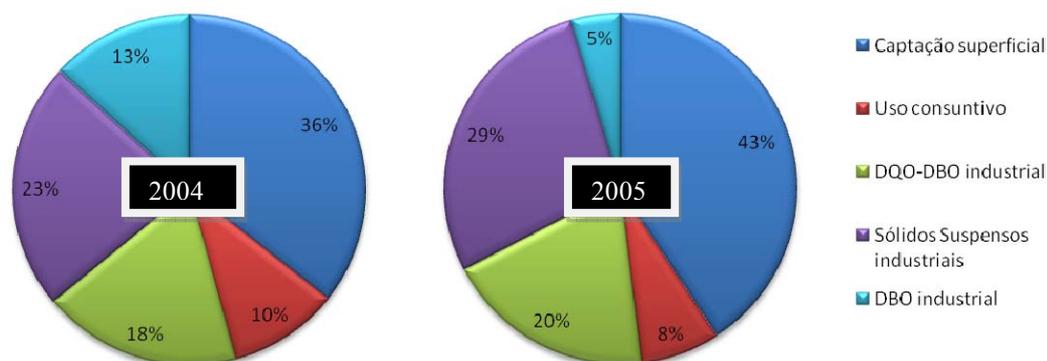


Figura 18 – Comparação entre as parcelas dos custos estimados advindos da cobrança para os anos de 2004 e 2005.

A captação superficial compõe, neste caso, a maior parcela dos custos advindos pela cobrança, seguida dos sólidos suspensos e da diferença entre DQO e DBO. Portanto, vale ressaltar a importância da identificação de possibilidades para reúso e o consumo ótimo de água fresca como meta para diminuição do volume captado e, conseqüentemente, economia do montante a ser pago.

Os gráficos da Figura 19 mostram o volume de captação superficial, o valor a ser pago para essa captação e a quantidade de papel produzida.

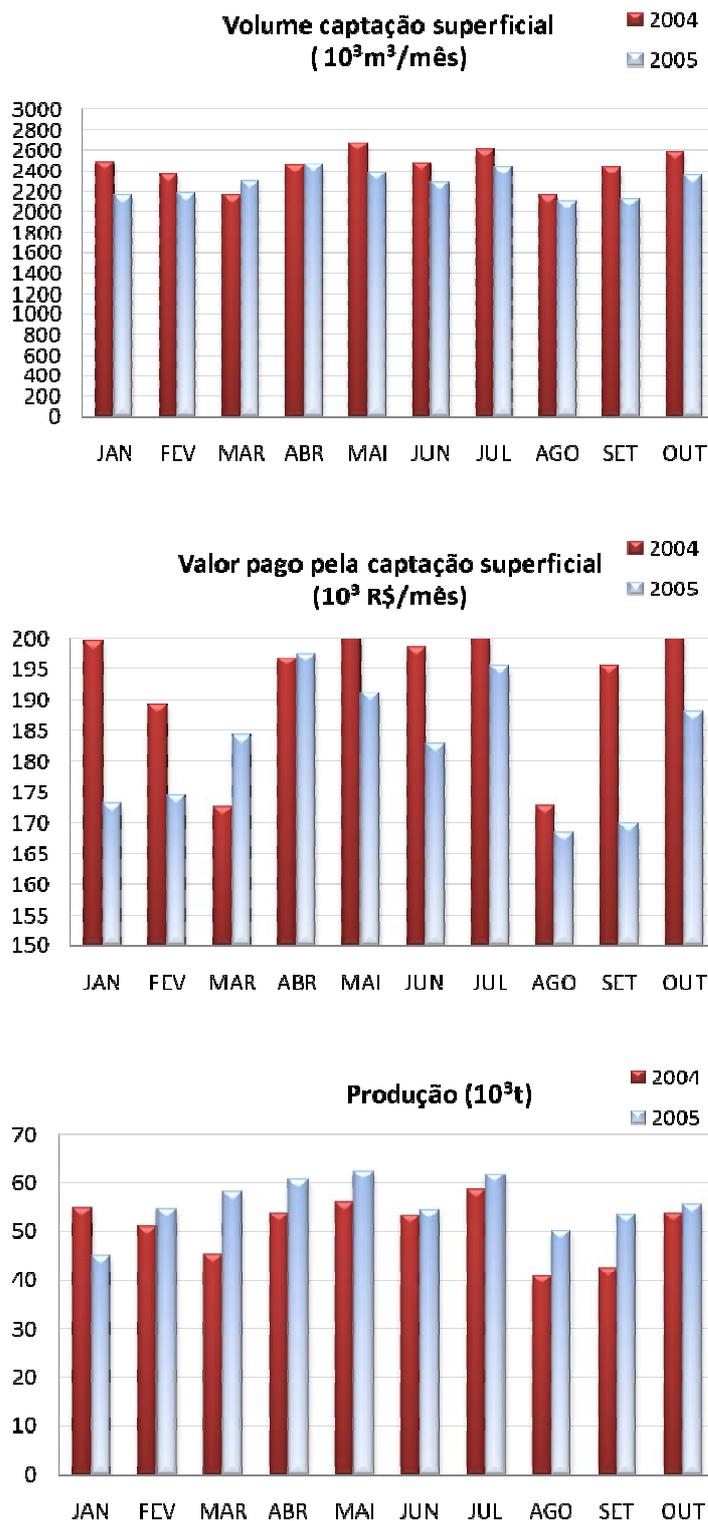


Figura 19 – Volumes de captação superficial, estimativa do valor a ser pago pela cobrança e produção de papel para os anos de 2004 e 2005.

Os menores valores de captação superficial ocorrem no mês de agosto devido à parada do processo produtivo durante um período para realização de manutenções e instalações dos equipamentos. O gráfico que contém os volumes de captação superficiais mostra que, no ano de 2005, esses foram inferiores em relação ao mesmo mês do ano anterior, exceto no mês de março, que pode ser explicada pela pequena quantidade de papel produzida no mesmo mês em 2004, que foi excedida em aproximadamente 30% em 2005.

A diminuição do consumo de água fresca de 2004 para 2005 pode ser explicada pela realização de medidas integradas no processo. Os problemas mais comuns identificados que levam ao desperdício de água e, conseqüentemente, a uma maior captação superficial são: vazamentos em unidades hidráulicas, sistema de torres de resfriamento subdimensionado, válvulas de selagem com vazamentos, tubulações com vazamentos de água e vapor, falta de volume de armazenamento para correntes que podem ser reusadas, como por exemplo, para a água de selagem de bombas, que é uma água limpa e pode ser reintroduzida no processo.

A Figura 20 mostra o volume consuntivo e o valor a ser pago por esse uso.

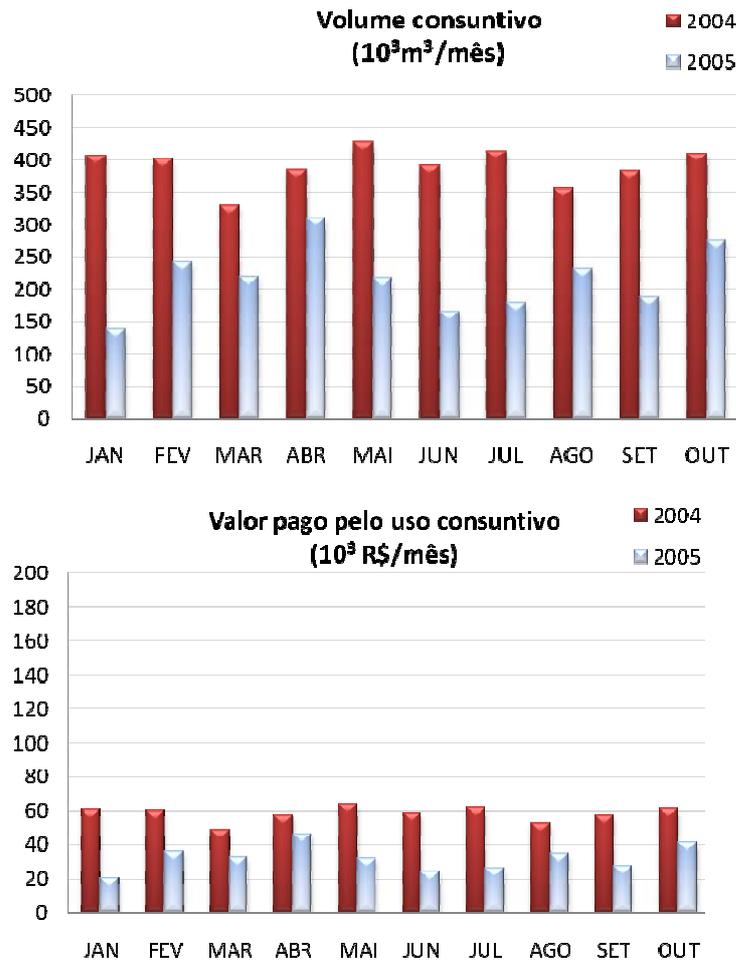


Figura 20 – Volume consumido e estimativa do valor a ser pago pelo uso consuntivo nos anos de 2004 e 2005.

Em todos os meses de 2005, houve um consumo inferior e, conseqüentemente menores quantias a serem pagas pelo uso consuntivo. Em plantas de celulose e papel, o uso consuntivo pode ocorrer, principalmente, através da evaporação, pois o processo utiliza em sua maioria água morna como mostra a Figura 7.

A Figura 22 ilustra as cargas de DBO e DQO lançadas nos anos de 2004 e 2005, sua diferença e o valor a ser pago por esta.

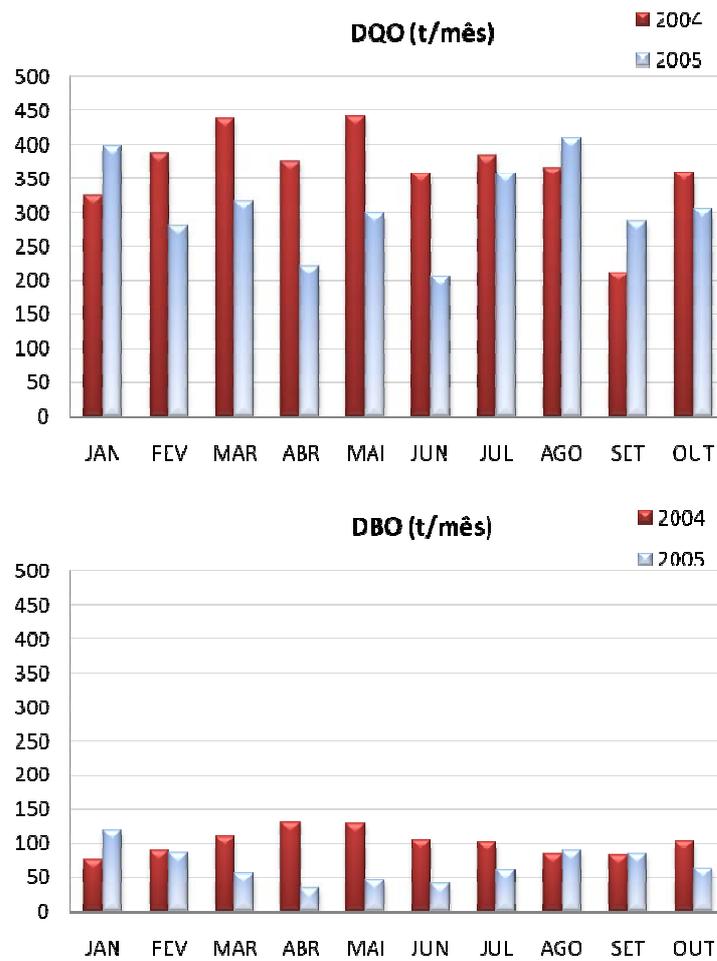


Figura 21 – Cargas de lançamentos de DBO e DQO para os anos de 2004 e 2005.

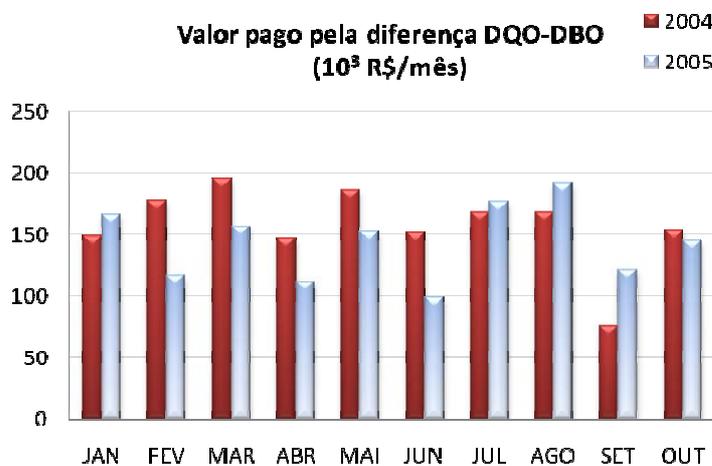
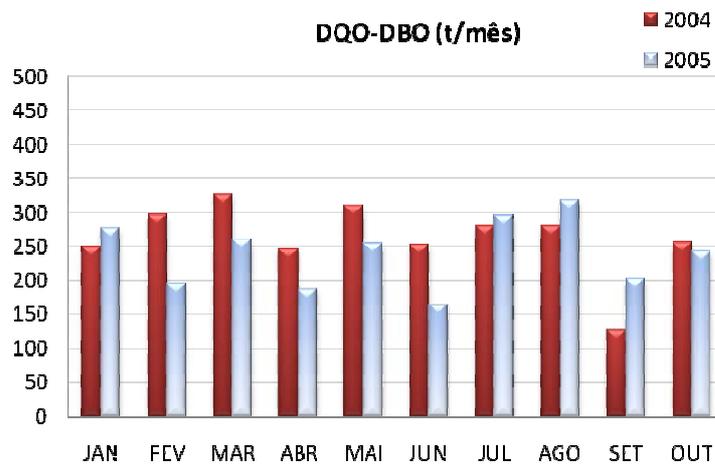


Figura 22 – Diferença entre lançamentos de DQO e DBO e estimativa do valor a ser pago por essa diferença para os anos de 2004 e 2005.

Em dezembro de 2004, entrou em funcionamento um primeiro estágio de tratamento aeróbio composto por um reator de leito móvel. Observa-se que, no mês de janeiro de 2005, tanto a carga de DBO como de DQO foi superior no ano de 2005 em relação a 2004, que pode ser explicado pelo período de adaptação da ETE à nova tecnologia instalada. O mês de agosto também apresenta o mesmo fenômeno, explicado pela parada da produção industrial.

Quanto à DQO, além do mês de janeiro e agosto, houve também uma superação da carga de 2004 em 2005 no mês de setembro, que pode ser explicada pelo esvaziamento do tanque de lodos ativados, permanecendo o tratamento somente com o primeiro estágio leito móvel.

Sendo o valor a ser pago pela diferença entre DQO e DBO o mais caro entre os usos (R\$ 0,60/kg, Tabela 30), qualquer diminuição nesta parcela reflete de forma significativa no valor tarifado, que, segundo a Tabela 31, diminuiu em aproximadamente 14% de 2004 para 2005. Depois da captação superficial e dos sólidos suspensos, a diferença entre DQO e DBO representa o critério mais crítico neste estudo de caso. Como já discutido anteriormente, essa diferença não indica obrigatoriamente a presença de substâncias recalcitrantes e, para que forneça a informação precisa, deve ser associado à medição de carbono orgânico total.

A Figura 23 mostra a carga de lançamento de sólidos suspensos no corpo de água para os anos de 2004 e 2005 e o valor a ser cobrado por esse lançamento.

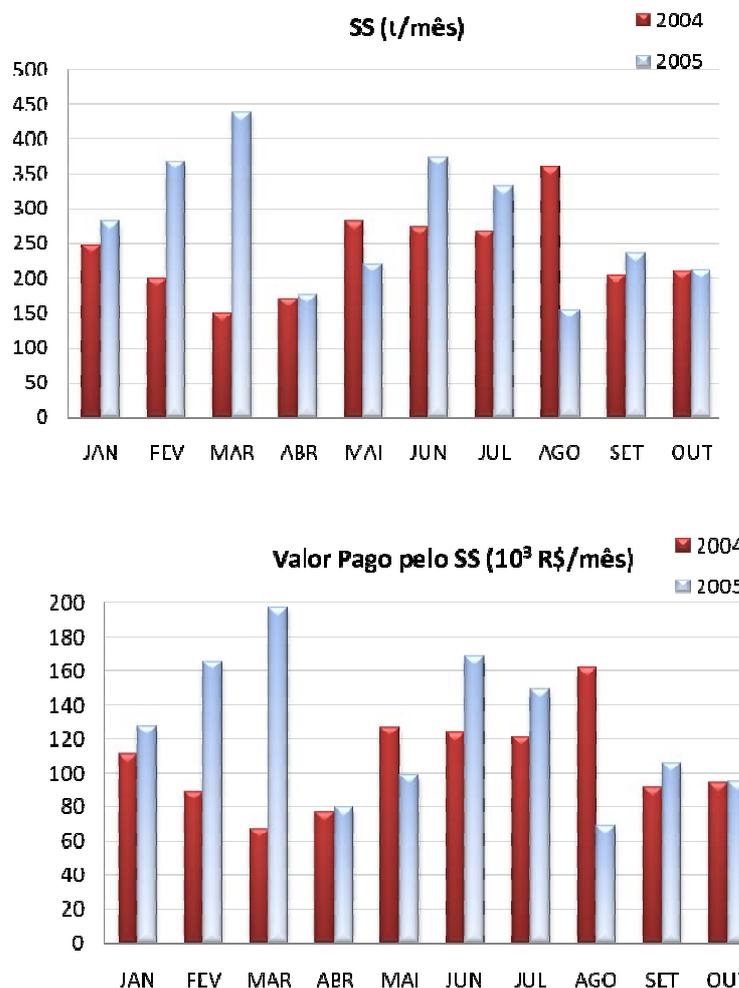


Figura 23 – Carga de sólidos suspensos para 2004 e 2005 e estimativa do valor a ser pago pelo lançamento.

A carga de sólidos suspensos foi superior em 2005 em comparação a 2004 durante quase todos os meses, exceto em maio e agosto. Esse problema pode ser explicado pelo aumento da produção de 2004 para 2005 e o sobrecarregamento do clarificador secundário, que não sofreu uma expansão, juntamente com os estágios de tratamento biológico. Nesse estudo de caso, apesar da implementação do primeiro estágio de tratamento biológico em 2005, a carga de sólidos suspensos lançadas no corpo de água representa uma parcela de quase 30% nos custos pelo uso da água e um prejuízo não só para o usuário, mas também ao meio ambiente. A descarga de sólidos suspensos, principalmente em plantas com produção de papel merece atenção quanto ao

risco ambiental, pois incorpora substâncias que não aparecem na soma da DQO, como as que compõem os aditivos.

A Figura 24 ilustra os lançamentos de DBO e os valores a serem pagos por estes, para os anos de 2004 e 2005.

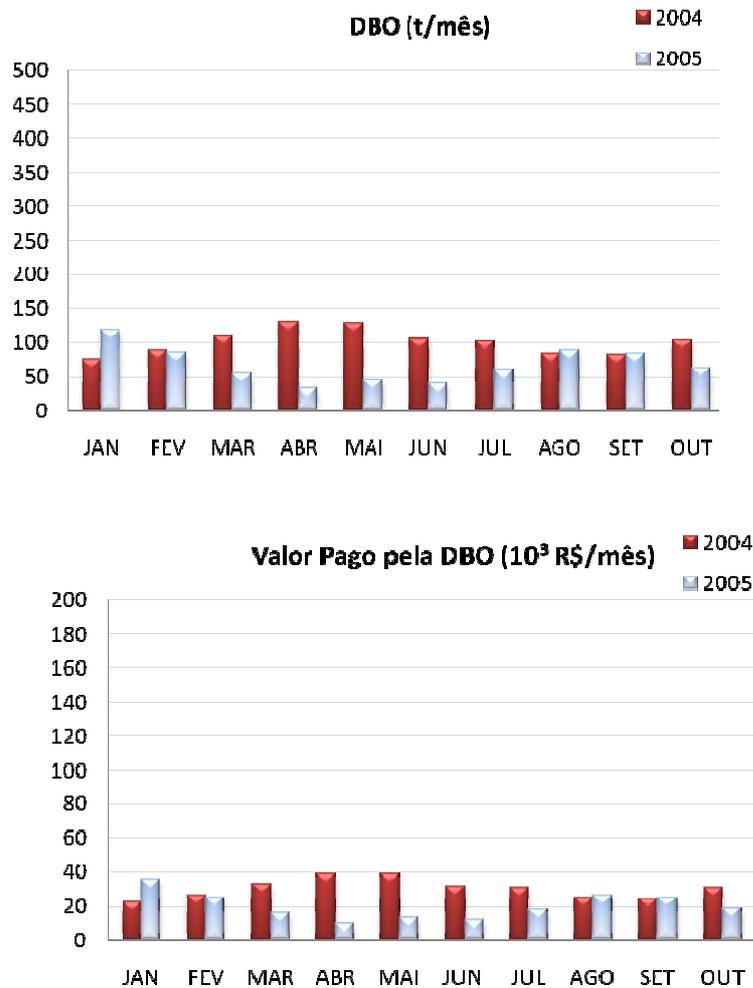


Figura 24 – Lançamentos de DBO nos anos de 2004 e 2005 e as respectivas estimativas do valor a ser pago.

As cargas de DBO diminuíram consideravelmente de 2004 para 2005. Exceções são os meses de janeiro (novo estágio de tratamento biológico em início de operação), agosto (parada da produção) e setembro (parada do tanque de lodos ativados). Houve uma diminuição do custo por esse lançamento de aproximadamente 72% de 2004 para 2005, provável consequência da entrada em operação do primeiro estágio do tratamento biológico.

8.3 INTERVENÇÕES

Com a implementação da cobrança pelo uso da água, o ramo industrial será induzido a buscar soluções para minimizar os custos, com a conseqüente minimização dos impactos ambientais, principalmente em corpos de água.

Para a realização de qualquer intervenção, devem-se considerar as medidas da moderna gestão de recursos hídricos industriais, que visam à proteção ambiental integrada, ou seja, a redução de custos concomitantemente com o aumento da qualidade ambiental. As metas de proteção ambiental devem seguir certas prioridades, que serão apresentadas na seqüência do texto (MENZEL, 2007).

PRIMEIRA PRIORIDADE: MEDIDAS INTEGRADAS NO PROCESSO

Compreendem adaptações ou a transformações completas do processo consideradas relevantes para o meio ambiente. Dentre as metas dessa prioridade, estão: minimização do consumo de matéria-prima e energia; otimização da exploração do produto; realização de processos e instalações pobres ou sem emissões.

No caso dos recursos hídricos, medidas desse tipo requerem pesquisas, investimentos e possíveis mudanças nas instalações.

As principais medidas integradas no processo de celulose e papel foram apresentadas no item 7. Na Tabela 32, são apresentados valores de custos de investimentos e operação para as técnicas *BVT* para processo *Kraft* já enumerados na Tabela 19 do mesmo item, associados às respectivas conseqüências sobre as emissões sobre corpos de água.

A primeira coluna da Tabela 32 apresenta uma identificação numérica da técnica *BVT* para processo *Kraft*, que se encontra detalhada na legenda. A segunda coluna contém os custos, divididos em custos de investimentos e operacionais. Os custos de investimentos compreendem o montante necessário para que a tecnologia esteja disponível para o uso *in situ*, ou seja, os custos de equipamentos, mão de obra e transportes. Já os custos operacionais são aqueles que envolvem o funcionamento da tecnologia, que já se encontra disponibilizada em campo, ou seja, os custos da mão de obra necessária para operação e que muitas vezes necessita ser especializada, custos com forneci-

mento de energia e matéria-prima para funcionamento e os custos para manutenção do equipamento em condições para operação adequada.

A terceira coluna apresenta então as conseqüências da implementação dessas medidas nas emissões em corpos de água. A diminuição está representada por uma flecha apontada para baixo, enquanto para o aumento a flecha está apontada para cima.

Tabela 32 – Técnicas disponíveis para diminuição das emissões em corpos hídricos (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Técnica	Custos para produção de 1500 ADt/d	Emissões causadas em corpos hídricos
1	Nova planta: 15 M€ Conversão: 4-6 M€	↓DBO ₅ , ↓DQO ↓sólidos suspensos ↓vazão
	Custos de operação: 250000-350000 €/a	
2	Conversão de sistemas convencionais existentes: 4-5 M€ Investimentos na lavagem opcional: 2-4 M€	↓DQO ↓AOX
3	Novo sistema: 4-6 M€ Para sistemas existentes: 6-8 M€	↓ componentes orgânicos nos efluentes
	Custos de operação: 0,3-0,5 M€/a	
4	Custos investimento 35-40 M€	↓ emissões para a ETE e conseqüentemente para os corpos de água
	Custos de operação: 2,5-3,0 M€/a	
5	Custos investimentos: 12-15 M€	↓AOX
	Custos de operação: 1,8-2,1 M€/a	
6	Custos investimentos: 7-8 M€ Plantas existentes: 2-5 M€	↓DQO AOX nulo ↑N (quelantes) Não formação de compostos orgânicos de cloro-
	Custos de operação 18-21 M€/a	

Tabela 32 – Técnicas disponíveis para diminuição das emissões em corpos hídricos (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Técnica	Custos para produção de 1500 ADt/d	Emissões causadas em corpos hídricos
7	Nova planta: 8-10M€ Plantas existentes: 3-5 M€ Custos de operação: 10-12 M€/a	↓AOX <0,3kg AOX/ADt geralmente é atingida
8	Não há dados	↓DBO ₅ ↓DQO
9	Custos investimentos: 0,8-1,5 M€ Expansão da planta Evaporação: 4-6 M€	↓ indireta de descargas em corpos hídricos, oriundas de colapsos na ETE
	Custos de operação (€/a): 100000 - 400000	
10	Custos investimentos: 4-6 M€ Para plantas existentes: 2-4 M€	↓AOX ↓DBO ₅ ↓DQO
11	Custos investimentos: 2,0-2,5 M€ Para aumento da planta de Evaporação: 1-4 M€	↓DQO muito significativo ↓N
	Custos de operação: 0,3-0,4 M€/a (<i>stripping</i> junto da Evaporação) 0,6-0,7 M€/a (<i>stripping</i> operando separadamente)	
12	Custos Investimentos: 0,8-1,0 M€ (dois tanques de 3000 m ³ , incluindo bombas, canalizações e controles)	↓ indireta de descargas em corpos hídricos ↓ riscos de colapsos na ETE

Tabela 32 – Técnicas disponíveis para diminuição das emissões em corpos hídricos (EUROPEAN COMMISSION, 2001).

Téc-nica	Custos para produção de 1500 ADt/d	Emissões causadas em corpos hídricos
13	Custos Investimentos: 16-24 M€, dependendo da tecnologia	↓cargas com o tratamento de efluentes
	Custos operação: 1,3-2,6 M€/a	

1- descascamento à seco 2 - cozimento modificado 3 - depuração com circuito fechado 4 - deslignificação com oxigênio 5 - branqueamento com ozônio 6 - branqueamento TCF 7 - branqueamento ECF 8 - fechamento parcial do branqueamento 9 - coleta de vazamentos 10 - lavagem eficiente e controle de processo 11 - *stripping* e reúso de condensados 12 - tanques de armazenamento para líquidos concentrados ou em altas temperaturas 13 - tratamento biológico de efluentes.

As medidas apresentadas na tabela anterior proporcionam menor consumo de matérias-primas e energia, melhores exploração e qualidade do produto e redução dos resíduos a serem dispostos, apresentando soluções econômicas em longo prazo.

Os custos de investimentos e operação foram baseados numa produção de 1500 ADt/dia. Em muitos casos, como na medida 1 apresentada na Tabela 32 (descascamentos à seco), pode ser realizada simplesmente a conversão ou a expansão das instalações já existentes na planta, acarretando com isso uma diminuição do montante a ser investido. Outros casos semelhantes são as medidas 2 (lavagem eficiente e controle de processo), 3 (depuração com circuito fechado), 6 (branqueamento TCF), 7 (branqueamento ECF), 10 (lavagem eficiente e controle de processo).

A lavagem eficiente e controle de processo (medida 2) também fornece a possibilidade de investimentos no sistema de lavagem após o cozimento, que não é obrigatório, mas proporciona um aumento na eficiência do sistema.

Para o fechamento parcial do branqueamento (medida 8) não foram encontrados dados relacionados aos custos de investimentos e operação.

Para *stripping* e reúso de condensados (medida 11) é preciso analisar se há a necessidade do aumento da planta de Evaporação, para que esta consiga absorver a vazão

adicional de condensado. Além disso, a planta de *stripping* pode operar conjuntamente ou independentemente da planta de Evaporação, o que resulta também em custos operacionais distintos.

O gráfico da Figura 25 apresenta uma comparação entre as diversas medidas listadas na Tabela 32, relacionando os custos mínimos e máximos de investimentos e de operação, valendo também a legenda da tabela anterior.

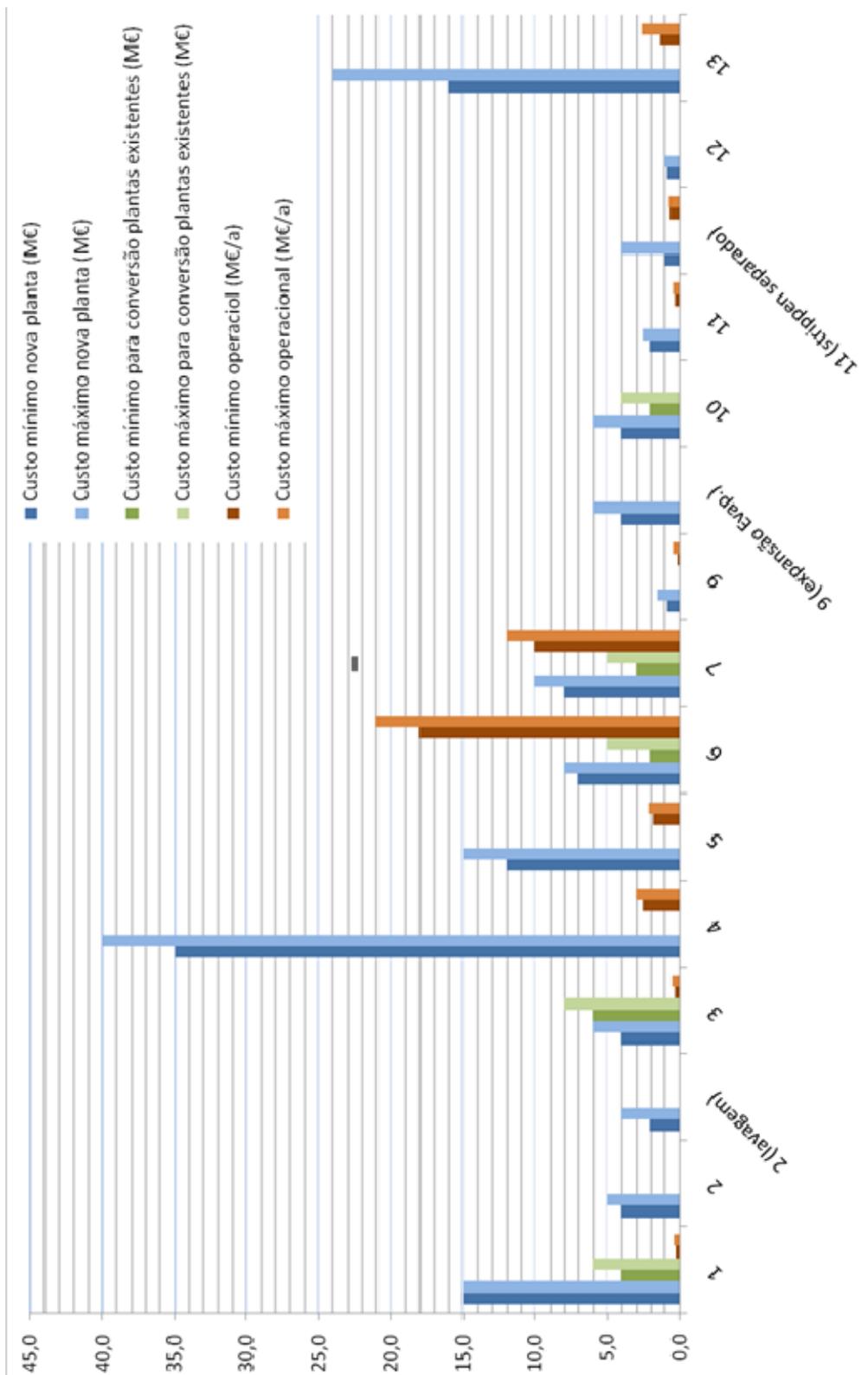


Figura 25 – Comparação entre custos de investimentos e operacionais para implantação das diferentes técnicas para minimização dos impactos sobre corpos de água apresentadas na Tabela 32.

Do gráfico apresentado, é possível identificar quais as técnicas que exigem um maior investimento, como, por exemplo, a deslignificação com oxigênio e o tratamento biológico de efluentes. Quanto aos custos operacionais, o branqueamento TCF e o branqueamento ECF estão à frente.

É importante ressaltar o poder do arcabouço legal e suas ferramentas para direcionamento dos investimentos do setor industrial. Parâmetros de controle adicionais como o AOX podem induzir a investimentos de maior porte, como no branqueamento sem cloro elementar, assim como as intervenções 9, 11 e 12 contidas na Tabela 32 podem ser um resultado da aplicação de punições mais duras para lançamentos fora dos padrões vigentes.

SEGUNDA PRIORIDADE: MEDIDAS INTEGRADAS NA PRODUÇÃO

Como não compreendem grandes transformações no processo, as medidas integradas na produção podem ser realizadas num período mais curto. Dentre essas medidas está o reúso de águas de processo sem tratamento, realimentação de matéria-prima (como é o caso dos químicos do processo *Kraft*), reciclagem de materiais e químicos.

Medidas dessa natureza visam separar, depurar ou concentrar matérias-primas, agentes auxiliares e produtos secundários não processados ou desviados, além dos resíduos inevitáveis para que possam ser reintegrados no processo.

Medidas integradas na produção relacionadas à gestão de recursos hídricos devem ser setorizadas por correntes de efluentes, caracterizadas no item 6.

TERCEIRA PRIORIDADE: MEDIDAS ADICIONAIS

O processo produtivo possui emissões que não podem ser evitadas; por esse motivo, as tecnologias *end of pipe*, como é o caso do tratamento biológico, são consideradas investimentos imprescindíveis para que possa ocorrer a devolução do efluente industrial tratado ao meio ambiente. As economias com instalação e operação dessas tecnologias estão diretamente ligadas à vazão a ser tratada e sua composição, que, por sua vez são uma consequência direta de como é conduzido o processo. Processos produtivos da mesma natureza resultam em cargas e vazões de efluentes diversas, resultados diretos de medidas integradas no processo e na produção realizadas na planta.

Além das medidas *BVT* propostas, existem também diversas tecnologias ou combinações de tecnologias comumente instaladas em plantas de celulose e papel, principalmente com o objetivo de reúso da corrente tratada ou recuperação de componentes que apresentam um alto custo. A aplicação de algumas dessas tecnologias e suas limitações foram enumeradas no item 7.1.

A Tabela 33 reúne algumas das principais tecnologias que atualmente estão sendo utilizadas pelo setor de celulose e papel mundial, associadas a alguns custos obtidos diretamente com especialistas e firmas e outros encontrados na literatura, para diferentes capacidades de produção.

Tabela 33 - Custos para diferentes tecnologias de reúso.

Tecnologia de tratamento		MBR		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
MÖBIUS, 2006	5250 m ³ /d	3 M€	415171 €/a	0,46 €/m ³ 4,8 €/t (inclusive custo de capital)

Tecnologia de tratamento		Flotação ar dissolvido+filtração+MBR		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
WEHRLE Umwelt, 2007	558450 m ³ /a, 1552 m ³ /d	1,9623 M€	335900 €/a	0,60 €/m ³ (operação)

Tecnologia de tratamento		Reator de leito móvel + lodo ativado		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
MÖBIUS, 2006	5250 m ³ /d	2,3 M€	177804 €/a	0,27 €/m ³ 2,9 €/t (inclusive custo de capital)

Tecnologia de tratamento		Lagoas aeradas		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
EUROPEAN COMMISSION, 2001	1500 ADt/d	16-20 M€	1,3-1,7 M€/a	-

Tecnologia de tratamento		Lodos ativados		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
EUROPEAN COMMISSION, 2001	1500 ADt/d	19-24 M€	2,0-2,6 M€/a	-

Tecnologia de tratamento		Tratamento biológico		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
EUROPEAN COMMISSION, 2001	30000 m ³ /d	620 (€/m ³ /dia)	136 €/1000 m ³	-

Tecnologia de tratamento		Ultrafiltração		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
NUORTILA-JOKINEN <i>et al.</i> , 2004	2000 m ³ /d	-	-	0,42 €/m ³ (custos totais)
EUROPEAN COMMISSION, 2001	5000 m ³ /d	470 (€/m ³ /dia)	153 €/1000 m ³	-
PAM MEMBRANAS, 2008	50-100 m ³ /h	R\$ 24M em 6 anos	R\$ 12M/ em 6 anos	R\$ 1/m ³ (invest. + operação)
WEHRLE UMWELT, 2008 Planta - Metso Paper	350000 m ³ /a	-	233000 €/a	0,66 €/m ³ (operação) Tratamento água de processo
WEHRLE UMWELT, 2008 Planta - MD Papier GmbH Werk Plattling	45000 m ³ /a	500000 €	130000 €/a	2,89 €/m ³ (operação) Recuperação de tinta de revestimento

Tecnologia de tratamento		Nanofiltração		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
PAPIER TECHNOLOGIE STIFTUNG, 2007 Planta -StoraEnso	75 m ³ /h permeado	0,31 €/m ³ permeado	0,53 €/m ³ permeado	0,84 €/m ³ permeado (custo total)
PAPIER TECHNOLOGIE STIFTUNG, 2007 Planta - WEIG Karton	Submersa	2,1 M€ 0,8 M€	0,17 €/m ³ permeado 0,10 €/m ³ filtrado do sedimentador compacto	-
NUORTILA-JOKINEN <i>et al.</i> , 2004	2000 m ³ /d	-	-	0,50 €/m ³ (custo total)
WEHRLE Umwelt, 2008	195 m ³ /h	-	-	0,75 €/m ³ (operação)
WEHRLE Umwelt, 2008	55 m ³ /h por linha (2 linhas)	-	184000 €/ano	-

Tecnologia de tratamento		Microflotação		
Fonte	Capacidade	Custos de investimento	Custos operacionais	Custos específicos
EUROPEAN COMMISSION, 2001	10400 m ³ /d	20 (€/m ³ /dia)	104 €/1000 m ³	-

Na tabela anterior, os custos específicos variam entre 0,27 €/m³ e 2,89 €/m³, dependendo do tipo de tecnologia. A filtração por membrana vem se destacando como um tratamento avançado no setor, principalmente com o objetivo de reúso do efluente e recuperação de materiais, porém os custos ainda são relativamente altos em comparação com os tratamentos convencionais, que ficam 0,27 e 0,60 €/m³, enquanto a tecnologia de membranas pode chegar até 2,89 €/m³.

Os custos advindos da cobrança expostos na Tabela 31 de aproximadamente R\$ 0,20/m³ captado podem, num período inicial, levar a investimentos para melhoria do desempenho do tratamento secundário. No entanto, para que as medidas da moderna gestão de efluentes industriais sejam colocadas em prática, será necessária a elabora-

ção de políticas adicionais de gestão para direcionar os investimentos na área de recursos hídricos.

Outra possibilidade seria também a liberação de créditos dentro da linha ambiental que sirvam como incentivo a investimentos dessa natureza. A Tabela 34 traz alguns exemplos de linhas de financiamento oferecidas atualmente pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para indústria com objetivo de modernização de equipamentos, importação de tecnologias não disponíveis no país e até para melhorias do desempenho ambiental da planta.

Tabela 34 – Linhas de financiamento possíveis através do BNDES.

Programa	Modernização de Máquinas e Equipamentos instalados no país – FINAME MODERNIZA BK
Taxa de juros	Remuneração básica BNDES 2,0% a.a. Taxa de intermediação Financeira 0,8% a.a. Remuneração Instituição Financeira Credenciada: negociável
Nível de participação	70% (grande empresas) 100% (pequenas e médias)
Prazo Total	48 meses
Fonte	http://www.bndes.gov.br/programas/industriais/finame_moderniza.asp

Programa	Apoio a importação de máquinas e equipamentos novos, sem similar nacional para o setor industrial
Taxa de juros	Remuneração básica BNDES 3,0% a.a. Taxa de intermediação Financeira 0,8% a.a. Taxa de risco de crédito: 0,46% a 3,57% a.a. Remuneração Instituição Financeira Credenciada: negociável
Nível de participação	80%
Prazo Total	60 meses
Fonte	http://www.bndes.gov.br/modernizacao/importacao.asp

Programa	Apoio a investimentos em Meio Ambiente
Taxa de juros	Remuneração básica BNDES 1,0% a.a. Taxa de intermediação Financeira 0,8% a.a. Taxa de risco de crédito: 0,46% a 3,57% a.a. Remuneração Instituição Financeira Credenciada: negociável
Nível de participação	90%
Prazo Total	não consta
Fonte	http://www.bndes.gov.br/ambiente/default.asp

A análise das linhas de crédito mostra que ocorre um incentivo a investimentos em Meio Ambiente, já que o nível de participação nesse tipo de financiamento é superior ao dos outros, 90% contra 80 e 70%, para grandes empresas. Além disso, a remuneração do BNDES é de apenas 1% para investimento em Meio Ambiente e 2 e 3% para investimentos em importação e modernização de máquinas.

De qualquer forma é importante ressaltar que os custos apresentados neste capítulo envolvem os investimentos e a operação de equipamentos e intervenções, sem considerar um fator importante atenuante que seriam os benefícios ambientais advindos da adoção dessas medidas. Para se efetuar uma avaliação custo benefício realista é necessário considerar também os custos que estão sendo pagos pelo meio ambiente através da absorção de cargas de efluentes industriais contendo substâncias estranhas ao meio, que muitas vezes apresentam toxicidade, além das cargas de DBO e DQO remanescentes que são “diluídas” nos corpos de água.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do arcabouço legislativo apresentado, com foco no setor de celulose e papel, é possível observar que ainda há um longo caminho a ser seguido pelo Brasil em busca da recuperação e manutenção da qualidade da água em seus corpos hídricos.

A padronização das unidades de controle de cargas baseada na quantidade produzida, fornece uma alternativa de comparação entre diversos setores. Cada setor industrial apresenta um efluente específico e deve ser considerado indispensável o acréscimo de parâmetros de controle não usuais, para controle de emissões em corpos hídricos, de acordo com o setor industrial. Este trabalho traz os principais parâmetros a serem controlados nas emissões do setor industrial de celulose e papel, suas definições e efeitos ambientais, baseado na legislação vigente na República Federativa da Alemanha. Na produção específica de papel, o uso de aditivos químicos, de enchimento e pigmentos traz contribuições nas cargas de efluentes. Esses aditivos encontram-se definidos com detalhes nos itens 3.3.1 e 3.3.2.

Os principais usos da água dentro da produção foram identificados e quantificados através de pesquisa de campo em uma fábrica integrada de celulose e papel, localizada no rio Tibagi, bacia do rio Tibagi, estado do Paraná. Também foi realizada uma caracterização dos efluentes originados em cada grande área da produção, com foco no processo *Kraft* ou sulfato. Essas definições são importantes quando se deseja realizar um controle das emissões de uma planta, identificando os consumos de água e origens dos efluente, principalmente para plantas integradas, as quais apresentam uma complexidade maior, devido à variedade de correntes de efluente, apresentada e definida no item 4.1.

O conceito de melhores técnicas disponíveis é muito difundido na União Européia. No item 7.1 são apresentadas as técnicas dessa natureza mais importantes para o setor de celulose e papel, bem como os impactos na produção, advindos da adoção dessas técnicas. Esses impactos são resultados de avaliação práticas já realizadas em diversas plantas localizadas na Europa e devem ser consideradas, quando da adoção no Brasil, pois são resultado de pesquisas em plantas piloto ou até em escala de produção e altos investimentos em pesquisa. Juntamente com essas técnicas o trabalho contém também alguns exemplos práticos de medidas internas para controle de distúrbios na produção, observados em visitas técnicas de campo, realizadas em fábricas de celulose e papel da Europa, como atividade integrante para elaboração deste trabalho.

O reúso de água é uma alternativa cada vez mais discutida sob o ponto de vista ambiental e, agora, com a implementação da cobrança, também passa a ser economicamente atraente. No entanto, para garantir a qualidade do produto final e evitar problemas no processo, existem limites e conceitos já consolidados através de experiências em plantas de celulose e papel localizadas em países com legislações ambientais mais restritivas. O resultado de uma vasta revisão bibliográfica sobre os problemas advindos da recirculação de águas, bem como alternativas de reúso no processo são abordados no item 7.4.

Em muitos casos, antes do reúso, é necessário um condicionamento do efluente para que esse adquira propriedades adequadas ao novo uso. O item 7.4.3 reúne as principais tecnologias de reúso no setor de celulose e papel e os resultados de pesquisas em laboratório e em campo, realizadas em diversas partes do mundo.

Baseado nos valores de cobrança propostos pela SUDERHSA, para o estado do Paraná, e com dados coletados durante levantamento de campo de uma fábrica integrada de celulose e papel, o trabalho traz uma estimativa dos custos advindos da cobrança e uma avaliação da evolução dos parâmetros de controle durante dois anos consecutivos, considerando o andamento da produção e as mudanças na ETE.

Para finalização, o trabalho traz as principais medidas *BVT*, relacionadas aos impactos de sua adoção nas emissões em corpos de água. Para avaliação dos custos de investimento e de operação, o trabalho traz um apanhado de custos para implementação de medidas *BVT* e das principais tecnologias de reúso, obtidas através de revisão bi-

bliográfica e pesquisas junto a fornecedores dessas tecnologias. Dentre as principais tecnologias apresentadas, a separação por membranas merece destaque, pois se mostra promissora para tratamento de efluentes de celulose e papel, com objetivo de reúso e para recuperação de matéria-prima de alto valor agregado.

Como incentivo às indústrias brasileiras na preservação ambiental, foram apresentadas algumas linhas de financiamento do BNDES, onde se identificou também uma tentativa governamental de impulsionar investimentos em meio ambiente por parte do setor industrial.

10 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A seguir apresentam-se as conclusões e recomendações organizadas segundo aspectos legais e tecnológicos.

O setor de celulose e papel é um importante usuário de água não só pela grande quantidade captada e consumida deste recurso, mas também pelas cargas de efluentes direcionadas a corpos d'água, como evidenciado no estudo de caso. Além disso, no mesmo estudo de caso, representa o segundo maior usuário da bacia do rio Ti-bagi, estado do Paraná.

A comparação entre as legislações relacionadas aos recursos hídricos do Brasil e da Alemanha mostrou que a legislação alemã pode servir como fonte na busca de soluções para os desafios que o Brasil começa a enfrentar na fase inicial de implantação da sua própria política.

O nível adicional de descentralização apresentado na política alemã, as associações, parece ser uma alternativa interessante para a tomada de decisão mais efetiva e direcionada em casos de corpos d'água sujeitos a usos que impactam não só a disponibilidade hídrica, mas também a qualidade do meio ambiente em comunidades localizadas na bacia, que é muitas vezes o caso do uso industrial. Para que esse nível possa existir, é necessário que essa descentralização estendida tenha sua previsão em lei.

Dentre os instrumentos apresentados na política de recursos hídricos alemã, a compensação deve ser considerada como uma ferramenta poderosa de gestão, permitindo direcionar investimentos de forma mais direta em busca da melhoria da qualidade das águas e diminuição das emissões advindas principalmente do setor industrial.

Apesar dos avanços obtidos na Gestão de Recursos Hídricos no Brasil, principalmente nas bacias do sudeste, observa-se que a mera ou simples adaptação de uma legislação exitosa não garante o perfeito funcionamento num país com tantas diferenças regionais e culturais como o Brasil. Os instrumentos existentes e sugeridos para uso prático contidos nesse trabalho, baseados em experiência alemã, devem passar por uma análise aprofundada, inclusive quanto à sua implementação prática, antes de serem colocados em prática.

Parâmetros usuais e especiais relacionados ao setor de celulose e papel devem ser considerados. Baseado nesses parâmetros, pode-se elaborar políticas para controle do uso de produtos nocivos no processo produtivo e das cargas em efluentes desse setor industrial, promovendo a diminuição dos efeitos danosos ao meio ambiente e principalmente aos corpos d'água. A adição desses parâmetros pode ser feita não só em nível federal, mas também podem ser mais restritivos ou ampliados em número pelo Comitê de Bacia.

Os usos mais significativos identificados para o setor são o fornecimento de água morna para produção e para as máquinas de papel, seguidos do branqueamento. O branqueamento não só é um grande consumidor de água, como também um dos maiores responsáveis por descargas de DQO para a ETE e, assim, para os corpos d'água. A avaliação dos custos das técnicas disponíveis para diminuição das emissões em corpos hídricos mostra que intervenções no branqueamento exigem altos investimentos e, no caso do branqueamento TCF acarretam altos custos operacionais. Um incentivo a investimentos nessa parte do processo, essenciais para a diminuição das cargas em corpos d'água, seria então o controle do parâmetro AOX, que é muito pouco difundido no Brasil, porém está presente nas leis de Recursos Hídricos da República Federativa da Alemanha desde 1985 e representa, no caso do ramo de papel e celulose, um indicador da presença de substâncias orgânicas cloradas e conseqüentemente, da quantidade de cloro utilizada na produção.

A globalização impõe ao setor industrial tomar posições não só ligadas aos aspectos econômicos, mas também ligadas aos aspectos socioambientais, dentre as quais a água ocupa um lugar de destaque pela sua importância como matéria-prima e recurso a ser preservado. Diversas tecnologias apresentam-se como tendência mundial para melhoria do desempenho ambiental das plantas. Intervenções no processo produtivo, principalmente as práticas de reúso, levam não somente a uma diminuição das emissões, mas também à economia de água bruta. Daí o destaque para sua importância como política prioritária a ser adotada pelo setor industrial, visando uma maior preservação ambiental.

As experiências e informações resultantes de pesquisas e experiências de intervenções praticadas mundialmente apresentadas neste trabalho devem servir para consulta

e orientação do setor de celulose e papel brasileiro na tomada de decisão e controle de processos, na busca para atender padrões internacionais de desempenho socioambiental, garantia da vazão outorgada e minimização dos custos da cobrança pelo uso da água.

Os custos da cobrança pelo uso da água calculados no estudo de caso foram de R\$ 0,22/m³ para o ano de 2004 e R\$ 0,19/m³ para 2005, que são ainda relativamente pequenos quando comparados com os diversos custos apresentados para determinadas tecnologias. No entanto, é importante considerar que esses custos são resultado de valores associados à realidade atual, calculados a partir do valor pago pelos produtos, serviços e manutenção da operação de sistemas em busca da preservação ambiental, ficando, infelizmente, os atuais e futuros custos absorvidos silenciosamente pelo mesmo meio ambiente sem a possibilidade de serem mensurados.

Ainda sem a implementação da cobrança, os valores calculados mostram que investimentos em tecnologias levaram também a uma redução do valor a ser pago pelo setor industrial.

É importante ressaltar também a importância da integração entre a vazão outorgada e os limites de lançamentos impostos através da Licença de Operação de uma planta industrial. No estado do Paraná, a outorga de uso e a Licença de Operação são fornecidas por órgãos distintos, a SUDERHSA e o Instituto Ambiental do Paraná, portanto, é de grande importância uma conexão entre esses dois órgãos, a fim de serem estipulados limites de lançamento relacionados à vazão outorgada.

As conclusões obtidas neste estudo, realizado em uma bacia estadual, são plenamente aplicáveis a bacias federais, particularmente aquelas consideradas prioritárias pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Recomendações

Recomenda-se, inicialmente, a formação de um banco de dados das indústrias de celulose e papel atuantes no Brasil, contendo, por exemplo, natureza e magnitude do processo, cargas lançadas em corpos d'água, consumo de água bruta e alguns exemplos de investimentos para melhoria da qualidade de efluentes ou redução do consumo de água bruta já efetuados, a fim de incentivar práticas dessa natureza no país.

Para que um modelo de arcabouço legal e suas ferramentas de gestão levem aos bons resultados, já obtidos na prática por outros países, não basta somente uma tradução em si, mas é necessário um retrato detalhado e real da situação local, para que a estratégia traçada não omita todos os esforços que terão que ser despendidos para se chegar a um resultado bem sucedido e que muitas vezes são ignorados.

Uma padronização das normas para medição de parâmetros de controle da qualidade de água e efluentes em nível nacional vem facilitar análises comparativas entre diferentes usuários, principalmente os industriais. A inclusão desses dados qualitativos no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é extremamente útil para operacionalização da cobrança e outorga e padronização dos instrumentos de engenharia utilizados nas coletas e medições.

A nova lei 11445/07 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, que passa a incorporar limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de água pluviais, vem impulsionar, principalmente, um maior controle e investimentos nas ETE domésticas, que, em muitos pontos do Brasil, encontram-se abandonadas ou mal operadas. Seria interessante também que projetos visando parcerias entre o setor industrial e ETE domésticas sejam discutidas. Soluções desse tipo podem ser altamente viáveis, pois, os efluentes de origem doméstica normalmente possuem uma alta concentração de nutrientes, que pode compensar a deficiência de nutrientes no caso de muitos efluentes industriais. Atualmente, soluções desse tipo não são comuns no Brasil. As plantas industriais utilizam da adição de nutrientes na ETE, a fim de assegurar a eficiência do tratamento.

O trabalho traz alguns resultados obtidos em diversas experiências realizadas com diferentes técnicas *in line* e *end of pipe*. É recomendável que ensaios em plantas piloto sejam realizados previamente *in situ*, sempre que possível. O objetivo da planta

piloto é prever os resultados a serem esperados de uma planta em grande escala, evitando com isso que esforços e gastos ocorram sem que os resultados mostrados em outras experiências sejam alcançados, levando muitas vezes ao abandono ou à operação de forma inadequada do equipamento.

Recomenda-se o desenvolvimento de metodologia de cobrança a fim de incorporar, nos custos apresentados, variáveis relacionadas aos efeitos sobre os corpos d'água. Desta forma, dos custos atuais apresentados, serão deduzidos custos a serem poupados pelo meio ambiente em virtude da intervenção realizada. Esse valor resultante retrata não só o custo assumido pelo homem, mas incorpora aquele que atualmente ainda é ignorado, porém está sendo pago pelo meio ambiente.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2007, *Geo Brasil Recursos Hídricos*. In: Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Brasília, Brasil.
- AMARAL, K.J., 2006, *Levantamento do Processo de Fabricação da Unidade Klabin Papéis Monte Alegre sob o Ponto de Vista da Gestão de Recursos Hídricos*. Relatório Integrante do Projeto de Tese de Doutorado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ.
- AMARAL, K.J., 2007, *Berichte und Abbildungen technischer Besichtigung in Zellstoff- und Papierfabriken in Europe* [Relatórios e Arquivo Fotográfico de Visitas Técnicas a Fábricas de Celulose e Papel na Europa]. Relatório Integrante do Projeto de Tese de Doutorado Sanduíche DAAD/CNPq, COPPE/UFRJ e Universidade de Stuttgart.
- AMARAL, K.J., AZEVEDO, J. P. S., 2007, "O Setor Industrial e a Cobrança pelo Uso da Água: o caso do setor industrial de papel e celulose". In: *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, pp. 237-253, São Paulo, Nov.
- ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS COPPE/UFRJ, 2004, *Estudo para Aperfeiçoamento da Metodologia de Cobrança das Bacias do Rio Paraíba do Sul e Guandu*, FINEP 2141/02.
- ASANO, T., LEVINE, A.D., 1998, *Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: an Introduction*. Lancaster, CRC Press, US.
- BADEN WÜRTTEMBERG, 2005, *Leitfaden Abwasserabgabe – Teil (Allgemeines und Vollzug)*. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Disponível em URL: https://iswa.uni-stuttgart.de/Session/51812-P2jPbVRg6uH1qC1rr0Je/MessagePart/INBOX/233-03-B/leitfaden_abwasserabgabe_1.pdf (acesso em 24 de junho de 2007)
- BADEN WÜTTEMBERG, 2005, *Leitfaden Abwasserabgabe – Teil 2 (Beispiele)*. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Disponível em URL: <https://iswa.uni-stuttgart.de/Session/51812->

P2jPbVRg6uH1qC1rr0Je/MessagePart/INBOX/233-03-

B/leitfaden_abwasserabgabe_1.pdf (acesso em 24 de junho de 2007)

- BARROS, A. B., 2000, *Na Gestão de Bacias Hidrográficas, é preciso respeitar o espírito da Lei 9433: a descentralização das decisões e a participação efetiva da sociedade civil*, Revista da Secretaria de Recursos Hídricos (14/03/2000), Ministério do Meio Ambiente.
- BAUMGARTEN, M.F. Z., POZZA, S.A., 2001, *Qualidade de Águas: Descrição de Parâmetros Químicos Referidos na Legislação Ambiental*. Editora da FURG, Rio Grande.
- BAUMGARTEN, S., GOLLA, D., 2001, "Einsatz der Membrantechnologie zur Reduzierung der CSB-Belastung in Einer Tissue-Produktion, PTS Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen, München, Deutschland.
- BEVER, J., STEIN, A., TEICHMANN, H., 2002, *Weitergehende Abwasserreinigung*. Oldenbourg-Industrieverlage, 4. Auflage, München.
- BEZERRA, M.C.L., FACCHINA, M.M., RIBAS, O.T., 2002, *Agenda 21 Brasileira Resultado da Consulta Nacional*, MMA/PNUD, Brasília.
- BIERBAUM, S., 2006, „Verbesserung der Kreislaufwasser- und der Papiereigenschaften Papiereigenschaften durch Ozonbehandlung von Teilströmen am Beispiel von altpapierhaltigen Sorten“, *PTS-Forschungsbericht*. Disponível em URL: http://www.ptspaper.de/live//dokukategorien/dokumanagement/psfile/file/89/AiF_13666441ac5f7cefeb.pdf (acesso em 18 de julho de 2006)
- BIERBAUM, S., 2006, „Verringerung des Frischwasserbedarfs durch Wiederverwendung biologisch gereinigter und ozonbehandelter Wässer“, *PTS Forschungsbericht*. Disponível em URL: http://ptspaper.de/live/dokukategorien/dokumanagement//psfile/file/56/AiF_139124462ec27321aa.pdf (acesso em 18 de julho de 2006)
- BIERBAUM, S., ÖLLER, H. J. 2000, „Verringerung des Wasserbedarfs durch Wiederverwendung ozonbehandelter biologisch gereinigter Papierfabriksabwässer“, *PTS-Forschungsbericht*. Disponível em URL:

<http://www.ptspaper.de/live//dokukategorien/dokumanagement/psfile/file/81/BA Y03003df9a4075fdef.pdf> (acesso em 18 de julho de 2006)

BRACELPA, 2007, *Estatísticas do Setor de Celulose e Papel*. Disponível em URL: <http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/index.html> (acesso em 1 de março de 2008)

BRAILE, P.M., CAVALCANTI, J.E., 1993, “Celulose e Papel”. In: BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E., *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais*, capítulo 12, CETESB, São Paulo.

BRANNSTROM, C., 2002, *A Bacia do Rio Tibagi, Paraná*. In: Projeto Marca D Água - Relatórios Preliminares, Núcleo de Pesquisa em Políticas Públicas, Brasília, DF.

BRONOLD, N., van DIJK, L. *Betriebserfahrungen mit der Membranbioreaktor-Anlage in einer Papierfabrik zur Herstellung von Spezialpapieren*. PTS-Forschungsbericht.

CAMPBELL, L., 2007, *Environmental Impacts of Pulp & Paper Mills*. Engineering Science (ENSC), Department of the Faculty of Applied Sciences at Simon Fraser, Burnaby, British Columbia, Canada. Disponível em URL: http://biology.queensu.ca/~campbelm/ENSC201_PulpPaper_Feb2007.pdf (acesso 27 de fevereiro de 2008)

CENTRE TECHNIQUE DU PAPIER (CTP), PAPIERTECHNISCHE STIFFUNG (PTS), A.R.P.A.T., SERV ECO SRL, 2002, Technical Guidelines (Water Management Concept) for Paper Makers in European Regions with Difficult Boundary Conditions on How to Operate Mills with Minimum Water Use. Program Energy, Environment and Sustainable Development, Europe. Disponível em URL: http://www.paperbref.info/documenti/D16report_final_version.pdf (acesso em 31 de agosto de 2006).

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA (CIRRA), FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (FCTH), DTC ENGENHARIA, 2004, *Conservação e Reuso de Água Volume 1 – Manual de Orientação para o Setor Industrial*. Disponível em URL:

http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_imgs/Conservacao_e_Reuso_de_Agua.pdf (acesso em 10 de maio de 2005).

COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL, 2002, *Agenda 21 Brasileira – Ações Prioritárias*, MMA/PNUD, Brasília.

COMISSÃO DE POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E DA AGENDA 21 NACIONAL, 2002, *Agenda 21 Brasileira Resultado da Consulta Nacional*, MMA/PNUD, Brasília.

CONSÓRCIO PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO TIBAGI (COPATI), -. *Apresentação II Rede Brasil de Organismos de Bacia (REBOB)*. Disponível em URL: http://www.cidema.org.br/files/material_ii_encontro_rebob/anexo_2.8_apresentacao_6_copati.doc (acesso em 3 de outubro de 2005).

COSTANZI, N.C.; DANIEL, L.A.; REALI M.A.P., 2000, “Tratamento de Efluentes de Fábrica de Papel por Processos Físico-Químicos Empregando Flotação por Ar Dissolvido e Ozônio”. *XVI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Porto Alegre, Dez.

CROOK, J, 1993, “Critérios de Qualidade da Água para Reúso”, *Revista DAE*, v.53, n.174, p.10-18, São Paulo.

DEL GRANDE, M.H., 2004, *Racionalização do Uso e Água na Indústria de Celulose - O Caso Bahia Pulp*. Tese de M.Sc., Escola Politécnica Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

DEMEL, I., DIETZ, W., BOBEK, B., et al., 2004, „Kriterien für die Rückführung biologisch gereinigter Wässer in die Produktion (II)“, *Das Papier - ipw 2/2004*. Vortrag ZELLCHEMING – Hauptversammlung, Wiesbaden, Juni (2003)

DEMEL, I., SCHMID., U. F. (Hrsg.), 2002, Leistungssteigerung einer Abwasserreinigungsanlage mit dem Schwebbettverfahren in: I. Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen, PTS-Manuskript PTS-AR 50219, München.

ECKENFELDER, W.W., 2000, *Industrial Water Pollution Control*. 3rd ed. McGraw - Hill, Boston.

EMDER INSTITUT FÜR UMWELTTECHNIK (EUTEC),-, *Papierherstellung und Umweltbelastung*. Manuskript der Vorlesung Einführung in die Umwelttechnik, FH Oldenburg. Disponível em URL http://spot.fho-emen.de/ut/forsch/papierherstellung_umweltbelastung1.pdf (acesso em 22 de outubro de 2007)

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), 2004, *Guidelines for Water Reuse*, U.S. Municipal Support Division Office of Wastewater Management, Office of Water, Washington, DC.

ESTADO DO PARANÁ, 2000, *Plano Diretor de Recursos Hídricos – Bacia do Tibagi. Relatório Principal III*. Disponível em URL: <http://www.hidricos.mg.gov.br/in-mi.htm> (acesso em 16 de agosto de 2006)

EUROPAISCHE KOMMISSION, GENERALDIREKTION UMWELT, 2000, *Leitfaden für die Umsetzung des Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER)*. Auftrag des Umweltbundesamtes von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Sachgebiet 31.2 Industrielle Stoffströme, Industrieabwasser. Disponível em URL: http://eper.cec.eu.int/eper/documents/951885_EPER_DE.pdf (acesso em 23 de fevereiro de 2007)

EUROPEAN COMMISSION, 2001, *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry*. Disponível em URL: <http://europa.eu.int/comm/environment/pubs/> (acesso em 8 de agosto de 2005)

EUROPEAN COMMISSION, 2001, *Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU)*. Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung, Umweltbundesamt, Deutschland. Disponível em URL: <http://www.bvt.umweltbundesamt.de/archiv/zellstoffundpapierindustrie.pdf> (acesso em 08 de agosto de 2005)

GLIESE, T., 2003, “Alkenylbernsteinsäureanhydrid (ASA) als Leimungsmittel“. *Vortrag ZELLCHEMING – Hauptversammlung*, Wiesbaden, Juni.

- GRUBER, E., 2006, *Chemische Technologie des Zellstoffs und Papiers*. Manuskript der Vorlesung Papierchemie, Papieringenieurwesen, Technischen Universität Darmstadt.
- HAMMAN, A., 2003, *Untersuchung des Ablagerungsverhaltens klebender Verunreinigungen bei der Papierherstellung aus Altpapier*. Dissertation, Technischen Universität Darmstadt, Darmstadt, Deutschland.
- HELBLER, A., 2002, "Leistungssteigerung einer Abwasserreinigungsanlage mit dem Schwebbettverfahren", *PTS Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen*, München, Deutschland.
- HELBLER, A., JANSEN, F., 2002, "Optimierung und Leistungssteigerung der Abwasserreinigungsanlage einer groben Papierfabrik". *Vortrag ZELLCHEMING – Hauptversammlung*, Baden-Baden, Juni.
- HELBLER, A., JANSEN, F., 2002, "Optimierung und Leistungssteigerung der Abwasserreinigungsanlage einer grossen Papierfabrik". *Zellcheming Hauptversammlung 2002*, Baden-Baden, 25. Juni.
- HELBLER, A.; MÖBIUS, C.H., 2001, "Concepts for closing the Water Cycles in Paper Mills to Meet BAT Standards". *Berlin World Water*, Berlin, Germany, 15-19 Oktober.
- HESPANHOL, I., 1997, "Reúso Integrado à Gestão de Recursos Hídricos - Bases para Planeamento". In: *XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Anais 2, pp. 16-20, Vitória, Nov.
- HESPANHOL, I., 2002, "Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos", *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 07, n. 4 (Out/Dez), pp. 75-95.
- ILLI, M., 1992, *Von de Schissgrüb zur modernen Stadtentwässerung*, Zürich 1987. 2. Auflage, Buchverlag NZZ.
- INSTITUT FÜR SIEDLUNGSWASSERBAU, INDUSTRIEWASSERWIRTSCHAFT UND GEWÄSSERSCHUTZ, 2007, *Industrieabwasser*. Manuskript der Vorlesung VU Siedlungswasserbau und Gewässerschutz, Teil B: Abwasserentsorgung, Departament für Wasser-

Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien. Disponível em URL: http://www.wau.boku.ac.at/fileadmin//H81/H811/Skripten/811108/811108_B11.pdf (acesso em 03 de Janeiro de 2008)

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP), FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER (FEPAM), 1999. *Teste de Toxicidade Aguda com Daphnia Magna*.

JOKINEN, N., MÄNTTÄRI, M., HUUHLLLO, T., KALLOINEN, M., NYSTRÖM, M., 2004, “Water Circuit Closure with Membrane Technology in the Pulp and Paper Industry”, *Water Science and Technology*, v. 50, n. 3, pp. 217-227.

JUNG, H., DEMEL, I., GOTZ, B., 2004, „Wasser- und Abwassersituation in der deutschen Papierindustrie – Ergebnisse der Wasserumfrage“, *Wochenblatt für Papierfabrikation* N. 9/2006, pp. 478-481. Disponível em URL: http://ptspaper.de/live/dokukategorien/dokumanagement//psfile/file/25/Umfrage_wa446b321a7ef5a.pdf (acesso em 18 de julho de 2006)

KAPPEN, J., 2005. *Wasserkreisläufe in der Papiererzeugung*. Skriptum 6. Semester. Studiengang Papiertechnik zum Diplomingenieur (BA), Berufsakademie Karlsruhe und Papierzentrum Gernsbach.

KAPPEN, J., 2006. *Störstoffe und Kreislaufwasser*. Handout des Münchner Papier Seminars am 25.09.2006, Institut für Verfahrenstechnik Papier e.V. München, Deutschland.

KEMMER, F. N., 1988, *Nalco Water Handbook*. 2nd Edition, Mc Graw-Hill. Disponível em URL: <http://www.knovel.com/knovel2/Toc.jsp?BookID=699&VerticalID=0>. (acesso em 23 de abril de 2007).

KIELY, G., 1996, *Environmental Engineering*. McGraw Hill.

KRAMPE, J., 1999, *Einführung in den Siedlungswasserbau - Teil Abwassertechnik*. Manuskript der Vorlesung Siedlungswasserbau I, Institute für Siedlungswasserbau, Wassergüte – und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart.

- KRAUSE, S., CORNEL, P., HENKEL, J., *Forschungsarbeiten – Membranbelebungsverfahren*. Disponível em URL: <http://www.iwar.bauing.tu-darmstadt.de/personen/krause/membran.htm> (acesso em 10 de outubro de 2006)
- KÜHNE, C., KARLRUHE, G. S., 2001, *Leitfaden zur Umsetzung des Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER) in Deutschland*. Umweltbundesamtes von der Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg. Disponível em URL: http://www.home.eper.de/startseite/experten/dokumente/leitfaeden/EPER_Leitfaden.pdf (acesso em 23 de fevereiro de 2007)
- LANNA, R. L., 1995, *Gerenciamento de Bacia Hidrográfica: Aspectos Conceituais e Metodológicos*. IBAMA, Brasília.
- LANNA, R. L., et al., 1997, *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Editora da Universidade/UFRG, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- LEHR, J., KEELEY, J., LEHR, B. J., 2005, *Water encyclopedia, volumes 1-5*. Publisher John Wiley & Sons.
- MAARTENS, A., JACOBS, A.P., SWART, P., 2002, “UF of Pulp and Paper Effluent: Membrane Fouling-Prevention and Cleaning”, *Journal Membrane Science*, Elsevier, v. 209 (2002), pp. 81-92.
- MALTA, V. F., 2006, *A Busca de uma Solução de Compromisso em Problemas de Conflitos em Recursos Hídricos Utilizando um Modelo de Análise de Conflito - MACPROL*. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MANCUSO, P. C. S., SANTOS, H. F. (editores), 2002, *Reúso de Água*. 1 ed. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental.
- MÄNTARRI, M., PEKURI, T., NYSTRÖM, M., 2004, “NF270, a New Membrane having promising Characteristics and being Suitable for Treatment of Dilute Effluents from the Paper Industry”, *Journal Membrane Science*, Elsevier, v. 242 (2004), pp.107-116.

- MÄNTARRI, M., VIITIKKO, K. NYSTRÖM, M., 2006, "Nanofiltration of Biologically Treated Effluents from the Pulp and Paper Industry", *Journal of Membrane Science*, Elsevier, v. 272 (2006), pp. 152-160.
- MATTIO, J. A., 1999. "Reúso de Água Industrial", *Revista de Meio Ambiente Industrial*, ano IV, edição 20, n. 19 (Jul/Ago), pp. 130-134.
- MENZEL, A. U., 2007, *Industrielle Wassertechnologie*. Manuskript der Vorlesung Industrielle Wassertechnologie, Institute für Siedlungswasserbau, Wassergüte – und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart.
- MENZEL, U., EBSE, S.; ROTT, U., 2001, „Sauerstoffeintrag in Membranbioreaktoren“, *Fachzeitschrift Wasserwirtschaft/Abwassertechnik*, Heft 3/2001, S. 21 - 24.
- METCALF & EDDY, I., 1991, *Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse*. 3rd ed. McGraw Hill, NY.
- MIERZWA, J. C., 2002, *O Uso Racional para o Gerenciamento de Águas e Efluentes na Indústria: Estudo de Caso da Kodak Brasileira*. Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- MIERZWA, J. C., HESPANHOL, I., 2005, *Água na Indústria Uso Racional e Reúso*. 1 ed., Oficina de Textos, São Paulo.
- MÖBIUS, C. H., 2004, „Investitionen zum Nulltarif - Möglichkeiten zur Verrechnung mit der Abwasserabgabe“. *PTS – Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen Symposium*, München, Deutschland, 6-10 Oktober.
- MÖBIUS, C. H., 2004, *Abwasser de Papier-und Zellstoffindustrie – Biologische Reinigung von Abwässern aus der Erzeugung von Papier und Zellstoff*. 3. Auflage. Disponível em URL: <http://www.cm-consult.de/>, Datei AbwasserCM_304.pdf (acesso em 30 de março de 2005).
- MÖBIUS, C. H., HELBLE, A., 2004, "Combined Ozonation and Biofilm Treatment for Reuse of Papermill Wastewaters", *Water Science and Technology*, v. 49, n. 4 (May), pp. 319-323.

- MÖBIUS, C. H., *Leistungssteigerung einer Abwasserreinigungsanlage mit dem Schwebebettverfahren*. Revista PTS Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen.
- MÖBIUS, C. H.; HELBLE, A., 2000, “Kreislaufreinigung und – Schliessung mit Hilfe interner und externer Verfahren zur weitergehenden Abwasserbehandlung“. *Vortrag ZELLCHEMING HV 2000*, Berlin, Deutschland, 27 Juni.
- MÖBIUS, C. H.; HELBLE, A., 2001, “Stand der Technik in Konzeption und Sanierung von Abwasserbehandlungsanlagen für Zellstoff- und Papierfabriken in Mitteleuropa“. 28. *Internationale Jahresfachtagung DITP*, Bled, Slowenien, 14. – 16. November.
- MÖBIUS, C. H.; HELBLE, A., 2001, “Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Verringerung der spezifischen Abwassermenge in Papierfabriken“. *COST E14 & PTS – Environmental Technology Symposium*, München, Deutschland, 14-16 Oktober.
- MÖBIUS, C. H.; HELBLE, A., 2006. “Membranbioreaktoren im Vergleich zu konventionell aeroben Abwasserreinigungsanlagen für Papierfabriks-Abwässer“. *Vortrag ZELLCHEMING – Hauptversammlung*, Wiesbaden, Deutschland, 29 Juni.
- MÖBIUS, C.H., HELBLE, A., 2006, „Membranbioreaktoren im Vergleich zu konventionell aeroben Abwasserreinigungsanlagen für Papierfabriks-Abwässer“. *Vortrag ZELLCHEMING – Hauptversammlung*, Wiesbaden, Juni.
- MUÑOZ, H. R. (organizador), 2000, *Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: desafios da Lei de Águas de 1997*. 2 ed. Brasília, Secretaria de Recursos Hídricos.
- NEMEROW, N., 1995, *Zero Pollution for Industry*. NY, John Willey and Sons.
- NYSTRÖM, M., PIHLAJAMÄKI, A., LIIKANEN, R., MÄNTTÄRI, 2003, “Influence of Process Conditions and Membrane Particle Interaction in NF of Wastewaters”, *Desalination*, Elsevier, v. 156 (2003), pp. 379-387.

- PAPIER TECHNOLOGIE STIFTUNG, 2007, *Membrantechnik in der Papier Industrie*. Handout des PTS Workshop am 21.03.2007.
- PARTHASARATHY, G., KIRSHNAGOPALAN, G., 1999, “Effluent Reduction and Control of Non-Process Elements towards a Cleaner *Kraft* Pulp Mill”, *Clean Products and Processes*, Springer-Verlag, pp. 264-277.
- PAULY, D., SIMSTICH, B., 2006, „Wirtschaftliche Konzepte zur Konzentratbehandlung bei Einsatz der Membrantechnologie zur Prozess- und Abwasserreinigung in Papierfabriken“, *PTS-Forschungsbericht*. Disponível em URL:
http://www.ptspaper.de/live//dokukategorien/dokumanagement/psfile/file/17/AiF_1391344747cace445f.pdf (acesso em 18 de julho de 2006)
- PERES, A. L., 2003, Impactos da Política Nacional de Recursos Hídricos na Gestão da Água e Efluentes na Indústria. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- PIOTTO, Z. C., 2003. *Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso*. Tese de D.Sc., Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.
- PIZZICHINI, M., RUSSO, C., DI MEO, C., 2005, “Purification of Pulp and Paper Wastewater, with Membrane Technology, for Water Reuse in a Closed Loop“, *Desalination*, Elsevier, v. 178 (2005), pp. 351-359.
- RAMAEKERS, J.P.C., van DIJK, L., LUMPE, C., VERSTRAETEN, E., JOORE, L., -. *Thermophilic Membrane Bioreactor in the Paper Industry – A Successful Key to in-mill Water Treatment*.
- REIS, E. M., 2000, *Estudos Fotoquímicos e Biológicos em Efluentes da Fabricação de Celulose e Papel*. Tese M.Sc., Departamento de Química/UEM, Maringá, PR, Brasil.
- RÖMMP, 2006, *Lexikon der Chemie*. Thieme Römmp On line, Thieme Chemistry. Disponível em URL: <http://www.roempp.com/> (acesso em 03 de abril de 2007)
- ROORDA, M., 2005, *A construção da Lei de Recursos Hídricos do Estado do Paraná e sua implementação*. Monografia curso de Especialização em Gerenciament

to Municipal de Recursos Hídricos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

SAWYER, C., Mc CARTY, P., 2002, *Chemistry for Environmental Engineering*, 5th ed. UK, McGraw Hill,

SCHINDLER, I., BÖHMER, S., SAMMER, G., 2001, „Evaluierung der EU BAT Dokumente Zement- und Kalkherstellung Papier- und Zellstoffherstellung Eisen und Stahlherstellung“. Umweltbundesamt, Wien. Disponível em URL: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE180.pdf> (aceso em 10 de outubro de 2006)

SELL, N. J., 1992, *Industrial Pollution Control – Issue and Techniques*. 2nd ed. Van Nostrand Reinhold.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI) – CENTRO DE TECNOLOGIA EM CELULOSE E PAPEL (CETCEP), 2004. *Curso em Fabricação de Celulose – Treinamento*.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI) – CENTRO DE TECNOLOGIA EM CELULOSE E PAPEL (CETCEP), 2004. *Produção de Papel*.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI), INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A (IPT), 1988, *Celulose e Papel Volume 1 - Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica*. 2 ed. Departamento de Divulgação do IPT.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI), Instituto DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A (IPT), 1988, *Celulose e Papel Volume 2 - Tecnologia de Fabricação do Papel*. 2 ed. Departamento de Divulgação do IPT.

SETTI, A. A., LIMA, J. E. F. W., CHAVES, A. G. M., PEREIRA, I. C., 2001. *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Águas (ANA).

SOUZA, R. L., OLIVERIA, M. J. L., 2001. “Desempenho da Indústria de Papel e Celulose de Mercado: Brasil e Bahia – 1999/2001”, Conjuntura de Planejam-

to da Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI, n. 92, pp. 19-29.

SPRINGER, A.M., 1993, *Industrial Environmental Control – Pulp and Paper Industry*. 2 ed. TAPPI Press.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (SUDERHSA), 2005, *Implementação da Gestão de Recursos Hídricos nas Bacias Hidrográficas do Alto Iguaçu/Afluentes do Alto Ribeira e Rio Tibagi- Projeto Básico*. Convênio Agência Nacional de Águas e SUDERHSA.

VASCONCELOS, A. G., PIOLI, F. L. S., BEUREN, I.M, 2007, „O Processo de Fabricação de Papel Reciclado e Ações Associadas aos Custos Ambientais em Indústria de Santa Catarina”. *VI Internacional PENSA Conference*, Ribeirão Preto, Brasil

VELTWISH, D., 2003, *Federal Water Act, Waste Water Charges Act, Waste Water Ordinance*.

VERBAND DEUTSCHER PAPIERFABRIKEN (VDP), -, *Papiermachen*. Informationen zu Rohstoffen und Papierherstellung. Disponível em URL: <http://www.vdp-online.de/pdf/Papiermachen.pdf> (acesso em 17 de dezembro de 2007)

VIEIRA, M., TAVARES, C. R., BERGAMASCO, R., PETRUS, J.C.C., 2001, “Application of Ultra-Filtration Complexation Process for Metal Removal from Pulp and Paper Industry Wastewater”, *Journal of Membrane Science*, v. 194, n. 2, pp. 273-276.

VON SPERLING, M., 1996, *Princípios de Tratamento Biológico de Águas Residuárias Vol. 2.: Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA, UFMG.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD), -, *A Changing Future for Paper: International Institute for Environment and Development*, Geneva, Switzerland. Disponível em URL:

<http://www.wbcsd.ch/DocRoot/0KT94DCD0JMKDTaYmccj/paper-future.pdf>
(acesso 13 de março de 2008)

ZIPPEL, F., 1999. *Wasserhaushalt von Papierfabriken*. Frankfurt am Main, Deutscher Fachverlag GmbH.

LEIS, DECRETOS E PORTARIAS FEDERAIS:

BRASIL. *Lei 9.433 de 08/01/1997 DOU 09/01/1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o Inciso XIX do ART.21 da Constituição Federal, e altera o ART.1 da Lei n. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. *Lei Nº 9.984, de 17 de julho de 2000 (D.O.U. de 18/07/00)*. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências.

BRASIL. *Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BRASIL. *Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de julho de 1986 (D.O.U. DE 30/07/86)*. Enquadramento de corpos d'água.

BRASIL. *Resolução CNRH Nº 48, de 21 de março de 2005*. Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

BRASIL. *Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluente, e dá outras providências.

LEIS, DECRETOS E PORTARIAS ESTADUAIS:

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARANÁ. *Lei Nº 10.066, de 27 de Julho de 1992.* Cria a Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SEMA, a entidade autárquica Instituto Ambiental do Paraná - IAP e adota outras providências.

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARANÁ. *Lei Nº 12.726, de 26 de novembro de 1999.* Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e adota outras providências.

ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO PARANÁ. *Lei Nº 14.778, de 12 de julho de 2005.* Cria na Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA, os cargos de provimento em comissão que especifica.

DIRETOR-PRESIDENTE DA SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. *Portaria SUDERHSA Nº 20, 23 de Julho de 1996.* Dispõe sobre o uso e a derivação de águas de domínio do Estado do Paraná.

DIRETOR-PRESIDENTE DA SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. *Portaria Nº 20/99 – SUDERHSA (D.O.E. DE 26/06/99).* Dispõe sobre critérios para outorga de recursos hídricos superficiais.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Constituição do Estado do Paraná - Capítulo V - DO MEIO AMBIENTE.* Imprensa Oficial do Paraná, Curitiba.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 2.314, de 17 de julho de 2000.* Regulamenta o Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH/PR

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 2.315, de 17 de julho de 2000.* Das normas e critérios para a instituição de Comitês de Bacia Hidrográfica.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 2.316, de 17 de julho de 2000.* Regulamentar as normas, critérios e procedimentos relativos à participação de organizações civis de recursos hídricos junto ao Sistema Estadual de Gerencia-

mento de Recursos Hídricos, conforme disposições constantes do Capítulo XI da Lei Estadual nº 12.726, de 26 de novembro de 1999.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 2.317, de 17 de julho de 2000.* Atribuições da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMA e Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 4.646, de 31 de agosto de 2001.* Dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos e adota outras providências.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 4.647, de 31 de agosto de 2001.* Aprovação do Regulamento do Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FRHI/PR.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 4.320, de 28 de julho de 2001.* Nomeação do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 5.361, de 26 de fevereiro de 2002.* Regulamenta a cobrança pelo direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 5.790, de 13 de junho de 2002.* Institui o Comitê de Bacia do Rio Tibagi e designa seus integrantes.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 1.651, de 04 de agosto de 2003.* Atribui a Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA a função de Agência de Bacia.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 2.806, de 13 de abril de 2004.* Nomeação de representantes para integrarem o Conselho Estadual de Recursos Hídricos e Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto Nº 6.713, de 22 de abril de 2004.* Retificar Decreto nº 5.790, de 13 de junho de 2002, que nomeou membros do Comitê de Bacia do Rio Tibagi.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Decreto N° 3.619, de 14 de setembro de 2004*. Aprova o Regulamento da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - SUDERHSA.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, SUPERINTENDENCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HIDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL (SUDERHSA). Normas de Solicitações de Outorga o Uso de Água de Domínio do Estado do Paraná.

SUPERINTENDENTE DA SUPERINTENDÊNCIA DOS RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE – SUREHMA. *Portaria SUREHMA N° 3, de 21 de Março de 1991*. Enquadra os cursos d'água da Bacia do Rio Tibagi.

Licenças Ambientais:

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE, INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Licença Prévia N° 453, concedida a Klabin Fabricadora de Papéis e Celulose S/A – Divisão Paraná, de 18 de agosto de 1996.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. *Licença de Operação N° 4855*, concedida a KLABIN S/A, de 13 de maio de 2004.

DECRETOS E LEIS DA COMUNIDADE EUROPÉIA, REPÚBLICA FEDERATIVA DA ALEMANHA E ÁUSTRIA:

EUROPÄISCHEN UNION. *Richtlinie 96/61/EG vom 24. September 1996*. Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, IVU – Richtlinie. Disponível em URL: <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ivu-richtlinie.pdf> (acesso em 23 de fevereiro de 2007)

EUROPÄISCHEN UNION. *Richtlinie 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000*. Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Disponível em URL: <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/prioritaer.pdf>, (acesso em 21 de fevereiro de 2007)

EUROPÄISCHEN UNION. *Entscheidung Nr. 2455/2001/EG vom 20 November 2001*. Festlegung der Liste prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. Disponível em URL: <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/prioritaer.pdf> (acesso em 21 de fevereiro de 2007)

EUROPÄISCHEN UNION. *Entscheidung 2000/479/EG der Kommission vom 17. Juli 2000*. Aufbau eines Europäischen Schadstoffemissionsregister (EPER) gemäß Artikel 15 der Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IPPC) Disponível em URL: http://www.umwelt-online.de/regelwerk/eu/00_04/00_479gs.htm (acesso em 26 de fevereiro de 2007)

EUROPÄISCHEN UNION. *Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001*. Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG.

EUROPÄISCHEN UNION. *Verordnung EG Nr. 166/2006 vom 18 Januar 2006*. Über die Schaffung eines Europäischen Schadstofffreisetzung- und -verbringungsregisters und zur Änderung der Richtlinien 91/689/EWG und 96/61/EG des Rates. Disponível em URL: http://europa.eu.int/eurlex/lex/LexUriServ/site/de/oj/2006/l_033/l_03320060204de00010017.pdf (acesso em 26 de fevereiro de 2007)

EUROPÄISCHEN UNION. *Entscheidung 2000/479/EG der Kommission vom 17. Juli 2000*. Aufbau eines Europäischen Schadstoffemissionsregisters (EPER) gemäß Artikel 15 der Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IPPC).

EUROPÄISCHEN UNION. *Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000*. Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik - Wasser-Rahmen-Richtlinie.

EUROPÄISCHEN UNION. *Richtlinie 2003/53/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2003*.

EUROPÄISCHEN UNION. *Richtlinie des Rates 76/464/EWG vom 4. Mai 1976.*
Betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher
Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft.

EUROPÄISCHEN UNION. *Richtlinie 2006/11/EG des Europäischen Parlaments
und des Rates vom 15. Februar 2006.* Betreffend die Verschmutzung infolge
der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
WHG - Wasserhaushaltsgesetz vom 19. August 2002.* Umsetzung der Richtlinie
2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000
zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im
Bereich der Wasserpolitik.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Abwasserverordnung (AbwV) vom 17. Juni
2004.* Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in
Gewässer.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Abwasserabgabengesetz (AbwAG) vom 18.
Januar 2005.* Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in
Gewässer.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG) vom
4. November 1998.*

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Achte Verordnung zur Änderung
chemikalienrechtlicher Verordnungen vom 25. Februar 2004.*

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Siebtes Gesetz zur Änderung des
Wasserhaushaltsgesetzes vom 18. Juni 2002.*

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Gesetz zum Schutz vor schädlichen
Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen
und ähnliche Vorgänge BImSchG - Bundes-Immissionsschutzgesetz.* Fassung
vom 26. September 2002.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Verordnung über Verbote und
Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und*

Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz ChemVerbotsV - Chemikalien-Verbotsverordnung vom 13. Juni 2003.

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND. *Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 28 - Herstellung von Papier und Pappe – der Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer Stand 19.05.2005 (BAnz. Nr. 92a)*

ÖSTERREICH. *Abwasser Emissionsverordnung (AEV) vom 18 Juli 2000.*
Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von Textil, Leder- und Papierhilfsmitteln. 9. Paket.

BADEN-WÜRTTEMBERG. *Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über das Einleiten von Abwasser in öffentliche Abwasseranlagen IndVO - Indirekteinleiterverordnung vom 19. April 1999.*

BADEN-WÜRTTEMBERG. *Wassergesetz für Baden-Württemberg (WG) vom 20. Januar 2005 (GBl. S. 219).*

BADEN-WÜRTTEMBERG. *Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 91/271/EWG des Rates vom 21. Mai 1991. Über die Behandlung von kommunalem Abwasser ROkA - Reinhalteordnung kommunales Abwasser - Baden-Württemberg - vom 10. Dezember 1993.*

STUTTGART. *Satzung der Landeshauptstadt Stuttgart. Über die öffentliche Abwasserbeseitigung (Abwasserbeseitigungssatzung - AbWS) vom 5. Dezember 2002.*

PÁGINAS INTERNET:

<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?iditem=226#1> (acesso em 15 de abril de 2005)

Conteúdo: descrição processo de fabricação do papel

<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?iditem=189> (acesso em 15 de abril de 2005)

Conteúdo: Glossário - Utilização do Papel (português - português)

<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?iditem=170> (acesso em 15 de abril de 2005)

Conteúdo: Glossário - Fabricação do Papel (português - português)

<http://www.celuloseonline.com.br/pagina/pagina.asp?iditem=193> (acesso em 15 de abril de 2005)

Conteúdo: Glossário - Tipos de Papel (português - português)

http://www.cidema.org.br/files/material_ii_encontro_rebob/anexo_2.8_-_apresentacao_6_copati.doc (acesso em 8 de maio de 2005)

Conteúdo: documento sobre o COPATI

<http://www.silex.com.br/leis/>

Conteúdo: leis federais

http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/pr/htm0/pr18_51.htm (acesso em 23 de junho de 2005)

Conteúdo: imagens satélite do estado do Paraná, escala 1:25000, fonte IBGE

<http://www.ambientebrasil.com.br/estadual/hidrografia/hpr.html> (acesso em 7 de novembro de 2005)

Conteúdo: mapa de hidrografia do Estado do Paraná

<http://www.ipardes.gov.br/> (acesso em 7 de novembro de 2005)

Conteúdo: mapa da divisão das bacias e da declividade

<http://www.iap.pr.gov.br> (acesso dia 6 de março de 2008)

Conteúdo: Licenças Ambientais

<http://umwelt-online.de/recht/wasser> (acesso entre abril de 2006 e abril de 2007)

Conteúdo: leis, decretos da República Federativa da Alemanha

ANEXO A – DECRETO N° 5361, ARTIGO 19

Art. 19 - O cálculo dos valores a serem cobrados deverá obedecer às seguintes fórmulas, especificadas para os diferentes tipos de usos, conforme discriminados no art. 13 da Lei Estadual n.º 12.726/99:

I. Para derivações ou captação de parcela de água existente em um corpo hídrico, para consumo final, inclusive abastecimento público ou insumo de processo produtivo

a) captações:

FÓRMULA		
$V_c = K_s * K_r * (P_{u_{cp}} * V_{cp} + P_{u_{cn}} * V_{cn})$		
DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DA FÓRMULA		
Preços	$P_{u_{cp}}$ $P_{u_{cn}}$ V_c	Preço por unidade de água captada Preço por unidade de volume de água consumida Valor da conta
Quantidades	V_{cp} V_{cn}	Volume de água captada Volume de água consumida

b) derivações de água dentro da área territorial de abrangência de um mesmo Comitê de Bacia Hidrográfica:

FÓRMULA		
$V_c = K_s * K_r * (P_{u_{dr}} * V_{dr})$		
DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DA FÓRMULA		
Preços	V_c $P_{u_{dr}}$	Valor da conta Preço por unidade de volume de água derivada
Quantidades	V_{dr}	Volume de água derivada

II. Para extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final, inclusive abastecimento público ou insumo de processo produtivo:

FÓRMULA		
$V_c = K_s * K_r * (P_{u_{ex}} * V_{ex} + P_{u_{cn}} * V_{cn})$		
DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DA FÓRMULA		
Preços	V_c	Valor da conta
	$P_{u_{ex}}$	Preço por unidade de água extraída
	$P_{u_{cn}}$	Preço por unidade de volume de água consumida
Quantidades	V_{ex}	Volume de água extraída
	V_{cn}	Volume de água consumida

III. Para lançamento em corpo de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final:

FÓRMULA		
$V_c = K_s * K_r * (P_{u_{dbo5}} * C_{dbo5} + P_{u_{SS}} * C_{SS} + P_{u_{\Delta}} * C_{\Delta} + P_{u_{pa}} * C_{pa})$		
DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS DA FÓRMULA		
Preços	V_c	Valor da conta
	$P_{u_{dbo5}}$	Preço por unidade de demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅) necessária para degradar a matéria orgânica, em R\$/kg
	$P_{u_{SS}}$	Preço por unidade da carga lançada de Sólidos em Suspensão, em R\$/kg
	$P_{u_{\Delta}}$	Preço por unidade da carga lançada correspondente à diferença entre a demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅), em R\$/kg
	$P_{u_{pa}}$	Preço por unidade da carga lançada de outros parâmetros adicionais (pa), incorporados à fórmula.
Quantidades	C_{dbo5}	Carga de DBO ₅ necessária para degradar a matéria orgânica, em kg/unidade de tempo
	C_{SS}	Carga lançada de Sólidos em Suspensão, em kg/unidade de tempo
	C_{Δ}	Carga lançada correspondente à diferença entre a DQO e a DBO ₅ do efluente, em kg/unidade de tempo
	C_{pa}	Carga lançada de outros parâmetros adicionais (pa), incorporados à fórmula por solicitação dos Comitês de Bacia Hidrográfica, mediante aprovação específica do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH/PR

De acordo Art. 19, caput III:

§ 6º – O coeficiente regional – K_r , constante das fórmulas apresentadas nos incisos I, II e III deste artigo, refere-se à possibilidade de serem estabelecidas diferenciações entre regiões de uma mesma bacia hidrográfica, levando-se em consideração os seguintes fatores, dentre aqueles enunciados no art. 20 da Lei Estadual n.º 12.726/99:

- a classe preponderante de uso em que esteja enquadrado o corpo de água objeto de utilização, como Fator FI;

- as prioridades regionais e as funções social, econômica e ecológica da água, como Fator FII;
- a disponibilidade e o grau de regularização da oferta hídrica, como Fator FIII;
- as proporcionalidades da vazão outorgada e do uso consuntivo em relação à vazão outorgável, como Fator FIV; e,
- outros fatores, estabelecidos a critério do Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH/PR, como Fator FV.

§ 7º – A escala de valores a serem adotados para os fatores FI a FV será estabelecida pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA, na qualidade de órgão executivo e coordenador central do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SEGRH/PR.

§ 8º – A determinação do coeficiente regional – K_r será definida pela média ponderada dos fatores apresentados nas alíneas do § 6º deste artigo, segundo a fórmula $K_r = (P_i * F_i) / P_i$, sendo que os pesos, P_I a P_V , correspondentes a cada fator, poderão ser sugeridos, pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA, como subsídio à sua definição pelos Comitês de Bacia Hidrográfica e respectivas Unidades Executivas Descentralizadas – UEDs.

§ 9º – O coeficiente sazonal – K_s , constante das fórmulas apresentadas nos incisos I, II e III deste artigo, refere-se à possibilidade de serem estabelecidos valores de cobrança distintos para diferentes épocas do ano, conforme previsto no inc. V do art. 20 da Lei Estadual n.º 12.726/99, sendo que seus valores, ou escalas de variação, poderão ser sugeridos, pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA, como subsídios à sua definição pelos Comitês de Bacia Hidrográfica e respectivas Unidades Executivas Descentralizadas – UEDs.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)