

Controle das emissões atmosféricas: uma preocupação permanente do setor

*Alberto Cavalho O. Filho**

*Ernesto R. Lima**

*Flávio Gomes da Silva**

*Jean Rosa**

*Jonas Vitti**

*Nei Rubens Lima**

*Nívio Dutra**

No contexto do controle ambiental nas indústrias de papel e celulose, as emissões atmosféricas ocupam um lugar de destaque, principalmente nas fábricas de celulose, devido às características peculiares que as mesmas possuem. Enquanto os resíduos sólidos, que têm nas fábricas de papel a geração de grandes quantidades, podem ser dispostos de forma conveniente e relativamente fácil em aterros industriais, e os efluentes hídricos possam ser dispostos adequadamente nos respectivos corpos receptores após as etapas de tratamentos primário e secundário, sem causarem grandes impactos imediatos, as emissões atmosféricas costumam gerar impactos diretos e imediatos, visto que provocam efeitos de percepção estética, como os mal odores que, embora nas concentrações usuais não provoquem danos à saúde, causam, no entanto, desconforto nas populações atingidas, gerando reclamações da comunidade, ataques por meio de artigos na imprensa, prejudicando desta forma a imagem da empresa e provocando a interferência do órgão estadual de controle. Além disso, há também o agravante de que as concentrações dos gases odoríferos presentes nas emissões possuem níveis de percepção extremamente baixos de forma que os equipamentos de controle destas emissões não dispõem de tecnologia

* Alberto Cavalho O. Filho, Ernesto R. Lima, Flávio Gomes da Silva, Jean Rosa, Jonas Vitti, Nei Rubens Lima, Nívio Dutra, membros da Comissão Técnica Permanente de Meio Ambiente da ABTCP.

suficiente para reduzi-los abaixo destes limites de percepção, de forma economicamente viável. Estes baixos limites de percepção também fazem com que as emanações sejam percebidas a grandes distâncias, afetando desta forma áreas relativamente extensas.

Por todas estas considerações, o controle das emissões atmosféricas obriga as empresas à instalação de grandes e dispendiosos equipamentos de controle e que, apesar de alguns destes itens de controle não serem objetos diretos de padrões dos órgãos ambientais, são necessários para evitar as reclamações e para a preservação da imagem e da boa convivência com as comunidades próximas às áreas de influência das indústrias.

Considerações gerais

As emissões de poluentes atmosféricos nas plantas de celulose por processo sulfato consistem de materiais particulados e gasosos.

Algumas fontes emitem material particulado resultante da combustão das caldeiras de recuperação, biomassa e forno de cal.

As maiores emissões gasosas são odoríferas e formados compostos de enxofre reduzido como sulfeto de hidrogênio (H_2S), metil mercaptana (CH_3SH), sulfeto dimetila (CH_3SCH_3) e dissulfeto dimetila (CH_3SSCH_3); outros gases são os óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e monóxido de carbono (CO).

O H_2S e os sulfetos orgânicos, quando tratados em conjunto, são chamados de compostos de enxofre

reduzido (TRS), que são extremamente odoríferos e possuem limites de percepção de odor muito baixo (da ordem de parte por bilhão - ppb).

Operacionalmente, existe um limite de detecção nos equipamentos de controle de emissão em uso que permite medir a concentração de TRS apenas em parte por milhão (ppm). Assim, o controle de odor nas plantas de celulose por processo sulfato representa o principal desafio para o controle da poluição do ar. Ressalta-se que o controle de poluentes do ar é, relativamente, complexo devido aos fatores e parâmetros envolvidos, tais como volume de efluente gasosos, poluentes de baixa percepção de odor e inflamáveis, grandes sistemas de controle, longos prazos de projeto e implementação, altos custos de sistemas de controle, equipamentos de medição *on-line* limitados à ppm etc.

Para efeito prático, convencionalmente divide-se as emissões de odor em duas categorias: normais e fugitivas. A diferença entre elas é o raio de influência na percepção de odor, sendo de até 2 km para as fugitivas e maior que isto para as normais.

Apesar de elevadas concentrações de H_2S serem agudamente tóxicos, a exposição humana a baixas concentrações (menor que 20 ppm) não é associada com efeitos adversos à saúde. Baseado em estudos em animais, concluiu-se que o dimetil sulfeto é cerca de 100 vezes menos tóxico que o H_2S e o dimetil dissulfeto.

Estudos epidemiológicos gerais não têm demonstrado efeitos signifi-

ficativos sobre a saúde ou aumento do risco de câncer em trabalhadores de fábricas *kraft* ou nas comunidades vizinhas a elas. Com base no conhecimento da toxicidade dos compostos TRS, é praticamente improvável que ocorram efeitos adversos à saúde como resultado da exposição nos níveis de TRS existentes no ar ambiente de dentro das fábricas ou em suas redondezas.

Fontes emissoras normais

Na fabricação da celulose *kraft*, existem diferentes processos associados ao seu sistema de recuperação de produtos químicos e geração de energia. Estes processos baseiam-se em reatores de combustão ou calcinação, cujos materiais a serem queimados são diferentes, como: licor negro (lignina + sais de sódio); biomassa; óleo e lama de cal (carbonato de cálcio + sódio).

Alguns processos associados à linha de fibra também apresentam emissões de gases, resultante das variações de pressão e temperatura das etapas de fabricação.

Como os processos são diferentes, as características dos gases resultantes também o são, como fluxo de gás, temperatura, teor de umidade (tabela 1).

Assim como suas características físicas, também a composição química varia grandemente em função do tipo de processo ou condições da combustão.

Odores

Digestor

As emissões de TRS formadas no digestor consistem, principalmente, de metil mercaptanas, sulfeto dimetila e dissulfeto dimetila. As variáveis operacionais do processo que influem na emissão de TRS incluem a taxa de reciclo de licor preto, o ciclo de cozimento, a sulfidez, o álcali residual, a pressão e temperatura.

Evaporadores de múltiplos efeitos

Os gases não condensáveis provenientes dos evaporadores contêm parte do TRS que estava dissolvido no licor preto e/ou formado durante o processo de evaporação.

As emissões de TRS também são provenientes do tipo de condensador (contato direto ou indireto) que oca-

sionam as seguintes características:

- contato direto: reduz a emissão de TRS devido à coleta de H₂S e CH₃SH no líquido de lavagem (resfriador), mas aumenta o nível do TRS no condensado/efluente líquido. A emissão de TRS gerado no evaporador de contato direto depende, principalmente, da concentração de sulfeto de sódio no licor preto que, em contato com os gases ácidos do produto de combustão (CO₂, SO₂), resultam na emissão de sulfeto de hidrogênio e metil mercaptana (H₂S e CH₃SH);

- contato indireto: aumenta a emissão de TRS devido à não mistura de líquido de resfriamento com os não condensáveis. As variáveis operacionais como pH e sulfidez do licor também influem na emissão do TRS.

Caldeiras de recuperação

As emissões de TRS são geradas tanto na caldeira como no evaporador de contato direto, sendo que as emissões da caldeira dependem do projeto e procedimentos de operação da fornalha, como quantidades e distribuição de ar para combustão, teor de sólidos do licor alimentado, tamanho de gota e formato do *spray* de licor, turbulência na zona de oxidação, formato e distribuição da camada (*smelt*), sulfidez e poder calorífico do

licor alimentado.

Tanque de dissolução

As emissões de TRS dependem de vários fatores operacionais:

- líquido de lavagem usado no equipamento de controle de material particulado (pH e sulfetos);

- utilização de condensado contaminado ou licor branco fraco no lavador e/ou no tanque de dissolução pode resultar no *stripping* de compostos de TRS, sendo que a turbulência pode aumentar a ação de *stripping*;

- arraste de gases ácidos da caldeira de recuperação para o tanque de dissolução que, em contato com os sulfetos, resultam na emissão de TRS.

Forno de cal

As emissões de TRS dependem dos seguintes fatores/parâmetros:

- teor de sulfeto de sódio na lama de cal alimentada ao forno;

- líquido de lavagem da lama;

- *dregs* e impurezas do clarificador de licor;

- perfil de temperatura de operação do forno;

- teor de oxigênio nos gases de exaustão;

- líquido de lavagem do equipamento de controle.

Basicamente, o mecanismo de

Tabela 1: Características típicas dos gases em fábricas *kraft*

Fonte de emissão	Fluxo m ³ /tSA	Temperatura °C	Umidade % v/v
Digestor Batch			
Gases de descarga	3 - 6.000	65 - 100	30 - 99
Gases de alívio	0,3 - 100	25 - 60	3 - 20
Digestor contínuo			
Tanque filtrado (lavador)	300 - 1.000	55 - 75	15 - 35
Evaporadores	0,3 - 12	80 - 145	50 - 90
Tanque licor preto oxidado	500 - 1.500	70 - 80	30 - 40
Caldeira de recuperação	6.000 - 12.000	120 - 180	25 - 35
Tanque de dissolução	500 - 1.000	70 - 110	35 - 45
Forno de cal	1.000 - 16.000	65 - 95	25 - 35
Apagadores de licor verde	12 - 30	65 - 75	20 - 25

m³ = metro cúbico na CNTP (21 °C e 760 mm Hg)
tSA = tonelada de celulose seca ao ar (10% umidade)
v/v = relação porcentual em volume

formação e emissão de TRS do forno de cal é devido ao contato de Na_2S residual com os gases ácidos de produto de combustão.

Oxidação de licor preto

A emissão de TRS do sistema de oxidação é devido à passagem do ar no licor resultando em *stripping*, que consiste, principalmente, de sulfeto dimetila e dissulfeto dimetila. Outros fatores que influem na emissão de TRS são o teor de sulfeto e a sulfidez do licor, temperatura, tempo de residência e taxa de ar no sistema.

Filtros de lavagem de pasta marrom

A emissão de TRS dos filtros de lavagem é proveniente da vaporização de sulfeto dimetila e dissulfeto dimetila, que dependem dos seguintes fatores:

- temperatura e quantidade do líquido de lavagem, pois a utilização de líquidos contaminados aumentará a emissão de TRS;
- grau de agitação e turbulência no tanque do filtrado;
- consistência da massa nas torres dos difusores.

Sistema de stripping

Os condensados provenientes dos digestores e evaporadores de múltiplos efeitos contêm, além dos compostos de enxofre reduzido, outros compostos que são voláteis. Este condensado contaminado, quando enviado para o sistema de tratamento e/ou utilizado no processo, resultará na emissão de

voláteis e TRS.

O teor de TRS contido nos condensados contaminados depende dos parâmetros de operação dos digestores, dos evaporadores de múltiplos efeitos e do tipo de equipamento.

Material particulado

As principais fontes geradoras de material particulado do processo *kraft* são a caldeira de recuperação, o tanque de dissolução e o forno de cal. A caldeira de recuperação é o maior contribuinte em termos de taxa de emissão, sendo que o principal componente das emissões particuladas é o Na_2SO_4 com pequenas quantidades de Na_2CO_3 e NaCl .

O tanque de dissolução e o forno de cal emitem uma composição diversa de carbonatos, hidróxidos, sulfatos e cloretos de cálcio e sódio.

A quantidade de material particulado emitido é função da operação dos processos e dos tipos de equipamentos de controle empregado (precipitador, lavadores etc.).

SOx

Óxidos de enxofre podem ser emitidos em várias quantidades pelas fontes do sistema de recuperação, sendo que a principal fonte é a caldeira de recuperação (queima licor negro composto por matéria orgânica e enxofre).

Sob determinadas situações, pode, também, haver emissão de SO_3 , principalmente quando óleo combustível é adicionado para auxiliar a queima.

Menores quantidades de SO_2 são emitidas pelo forno de cal e tanque de dissolução. Outras fontes do processo emitem quantidades mínimas de SO_2 (traços).

NOx

A formação de NO_x ocorre durante a combustão de qualquer tipo de material combustível, através de reações entre o oxigênio e nitrogênio em altas temperaturas.

O principal constituinte do NO_x é o óxido de nitrogênio (NO), cuja pe-

Tabela 3: Emissões e taxas de emissão típicas de material particulado em fábricas kraft

Fonte de emissão	mg/Nm ³	kg/tSa
Caldeira recuperação (*)	60 - 1.100	0,5 - 12
Forno de cal	70 - 1.100	0,2 - 2,5
Tanque de dissolução	40 - 2.300	0,1 - 0,5

(*) após precipitador eletrostático

Tabela 2: Emissões típicas de TRS (kgS/tSA) em fábricas kraft

Fonte de emissão	H ₂ S	CH ₃ SM	CHS ₃ SCH ₃	CH ₃ SSCH ₃	Total
Digestor Batch					
Gases descarga	0,0 - 0,1	0,0 - 1,0	0,0 - 2,5	0,0 - 1,0	0,0 - 4,6
Gases alívio	0,0 - 0,1	0,0 - 0,3	0,1 - 0,8	0,1 - 1,0	0,2 - 1,3
Digestor contínuo	0,0 - 0,1	0,5 - 1,0	0,1 - 0,5	0,1 - 0,4	0,7 - 2,0
Tanque filtrado lavador	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,4
Evaporadores	0,1 - 1,5	0,1 - 0,8	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0	0,4 - 4,3
Tanque de licor negro oxidado	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,4	0,0 - 0,3	0,0 - 0,9
Caldeira recuperação	0 - 25	0,0 - 2,0	0,0 - 1,0	0,0 - 0,3	0,0 - 28,3
Tanque de dissolução	0,0 - 1,0	0,0 - 0,8	0,0 - 0,5	0,0 - 0,3	0,0 - 2,6
Forno de cal	0,0 - 0,5	0,0 - 0,2	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,9
Apagadores de licor verde	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0 - 0,4

quena parcela é oxidada a NO_2 . Baixas quantidades de compostos NO_x são emitidas pela caldeira de recuperação e forno de cal e isto ocorre, principalmente, pela mais baixa temperatura de queima em relação à queima de combustível como óleo e madeira. Assim, altas quantidades de NO_x são emitidas pelas caldeiras auxiliares ou de biomassa.

Compostos orgânicos voláteis (VOC)

Outros compostos orgânicos que não contêm enxofre podem, também, ser emitidos em quantidades variadas por diferentes fontes da fábrica *kraft*.

Os principais compostos emitidos são terpenos, hidrocarbonetos, álcoois, fenóis etc. liberados pela madeira. Adicionalmente, compostos orgânicos podem ser produzidos quando materiais orgânicos são aplicados no *coating* de papéis ou pela adição de soluções caústicas residuais como *make-up* do processo.

O significado primário destes materiais é que eles podem atuar diretamente como gases odoríferos ou como transportadores líquidos das moléculas de compostos de enxofre, particularmente os terpenos.

As principais fontes emissoras do processo *kraft* são os gases do digestor, evaporador, lavadores de celulose marrom, tanques de oxidação de licor preto e tratamento de efluentes.

Fontes fugitivas de odor

As emissões fugitivas são responsáveis pela ocorrência de odor na área interna à fábrica *kraft* e pode atingir um raio de até 2 km.

Alguns tipos de emissões fugitivas são:

- vents de tanques de licor negro;
- drenos de tanques de licor negro;
- vedações de linhas de massa marrom;
- tanques de filtrado da lavagem marrom;
- vazamentos em válvulas e bombas.

Essas emissões, normalmente, apresentam-se numa altura relativamente baixa, podem ter alta concentração de TRS e baixa vazão de gás. Como resultado disto ocorre uma dispersão rápida e localizada do odor, o qual fica confinado entre prédios e equipamentos.

Combustíveis

Normalmente, a indústria de papel e celulose é um dos maiores consumidores de energia, analisando-se o total de energia consumida nos diversos segmentos da indústria química. Aproximadamente 46% da energia total requerida pela indústria de celulose é gerada pelas próprias indústrias e os 54% restantes são adquiridos das concessionárias de energia elétrica. A tabela 6 apresenta os percentuais de utilização de cada combustível na produção de energia elétrica gerada pelo setor.

Os tipos e quantidades dos poluentes atmosféricos emitidos a partir dos processos de combustão dependem das características do combus-

tível queimado, da configuração da unidade de queima e dos parâmetros operacionais de controle da relação ar/combustível.

Os equipamentos relacionados à utilização destes combustíveis correspondem às caldeiras de recuperação de produtos químicos que queimam basicamente o licor negro e, eventualmente, óleo combustível nos arranques e variações de carga.

As caldeiras auxiliares queimam a biomassa, o carvão mineral e o óleo combustível, e o forno de calcinação utiliza-se de óleo combustível ou gás natural. Existem, atualmente, experiências no sentido de utilização de outras fontes alternativas de energia, tais como o alcatrão e o biogás.

Biomassa, óleo combustível e carvão mineral

Os principais parâmetros que afetam as emissões atmosféricas durante a queima dos combustíveis em caldeiras são o estado físico, o poder calorífico e o teor de umidade, bem como as quantidades de nitrogênio, enxofre e cinzas. O carvão e a biomassa são os principais combustíveis sólidos utilizados e ambos necessitam de equipamentos de grande porte para a alimentação nas caldeiras e remoção das cinzas resultantes.

Os óleos combustíveis, tanto destilados quanto residuais, são empregados na indústria de papel e celulose, sendo os óleos residuais pesados os mais comumente usados com o inconveniente de possuírem um alto potencial de poluição atmosférica. O gás natural foi o primeiro combustível gasoso empregado na indústria de papel e celulose e possui relativa facilidade na queima com baixo potencial de poluição do ar, comparando-o a qualquer um dos outros combustíveis. Cada um dos combustíveis citados requer diferentes tipos de equipamentos para a operacionalização do processo de combustão em função das diferentes características da queima.

O poder calorífico dos combustíveis determina a quantidade necessária que deverá ser queimada a fim de se obter a energia para utilização e varia de acordo com o tipo de combustível empregado, o teor de umidade presente e, principalmente, com a localização e forma na qual o

Tabela 4: Concentrações e taxas de emissão típicos de SO_x em fábricas *kraft*

Fonte de emissão	Concentração (ppm)		Taxa (kg/tSA)	
	SO_2	SO_3	SO_2	SO_3
Gases				
Caldeira de recuperação	0 - 1.200	0 - 100	0 - 40	0 - 4
Forno de cal	0 - 200	-	0 - 1,4	-
Tanque de dissolução	0 - 100	-	0 - 0,2	-

Tabela 5: Concentrações e taxas de emissão típicos de NO_x (como NO_2)

Fonte de emissão	Concentração (ppm)	Taxa (kg/tSA)
Caldeira de recuperação	10 - 70	0,7 - 5
Forno de cal	50 - 400	1,2 - 10
Tanque de dissolução	100 - 260	10 - 25

combustível foi obtido. O poder calorífico do carvão mineral e da biomassa, por exemplo, podem variar substancialmente de região para região onde foram explorados, como também seus respectivos teores de enxofre e cinzas. A tabela 7 apresenta os valores típicos do poder calorífico, teor de cinzas, umidade e análise elementar do carvão mineral, biomassa e óleo combustível.

A emissão de material particulado proveniente da queima destes combustíveis são proporcionais ao teor de cinzas dos mesmos e tal relação apresenta-se mais significativa para o

Tabela 6: Geração própria de energia: porcentual de utilização de combustível

Fontes	% de utilização
Carvão mineral	5,5
Biomassa	21,9
Licor negro	53,2
Óleo combustível	8,4
Hidrelétrica	11,1

carvão mineral e a biomassa. Existem outros compostos que também estão relacionados à poluição do ar em função do processo de queima.

O teor de nitrogênio nos combustíveis contribui para a formação de óxidos de nitrogênio através da reação com o oxigênio atmosférico em temperaturas da ordem de 1300 °C. Em adição, elementos-traço particularmente presentes no carvão mineral e óleo combustível tornam-se poluentes significativos, tais como cloreto, fluoreto, fósforo e metais pesados, tais como berílio, mercúrio, chumbo, cádmio, zinco, arsênio e selênio.

Como as emissões de poluentes atmosféricos está altamente relacionada aos teores de cinzas, enxofre,

nitrogênio e outros componentes presentes nos combustíveis, os valores relativos às quantidades de material particulado, óxidos de enxofre e nitrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono foram relacionados a fatores que podem fornecer melhor aproximação da quantidade emitida em cada processo produtivo, de acordo com os dados da tabela 8.

De modo a ilustrar a forma de utilização destes fatores, consideremos o cálculo da concentração de material particulado em uma caldeira de biomassa que produz 100 toneladas/h de vapor a uma pressão de 65 kgf/cm², temperatura de 450 °C, entalpia de 786,7 kcal/kg e vazão dos gases de exaustão de 133.000 Nm³/h:

$$\begin{aligned}
 &100 \text{ ton/h} \rightarrow 100.000 \text{ kg/h} \times 786,7 \text{ kcal/kg} \\
 &= 78.670.000 \text{ kcal/h} \\
 &78.670.000 \text{ kcal/h} \times 4187 = 3,2939 \times 10^{11} \text{ J/h} \\
 &= 3,29 \times 10^9 \text{ kJ/h} \\
 &3,29 \times 10^9 \text{ kJ/h} \times 1,87 \text{ kg M.P./106} \\
 &= 615,96 \text{ kg M.P/h} \\
 &615,96 \text{ kg M.P/h} \\
 &= 6,16 \times 10^9 \text{ mg M.P/h} \\
 &6,16 \times 10^9 \text{ mg M.P/h} / 133.000 \text{ Nm}^3/\text{h} \\
 &= 4,631 \text{ mg/Nm}^3
 \end{aligned}$$

Em alguns casos, torna-se ainda necessário multiplicarmos ao fator apresentado na tabela o teor de cinzas ou de enxofre (%) para obtermos o valor das emissões finais.

Licor negro

O licor negro é o principal combustível das fábricas de celulose, sendo queimado nas caldeiras de recuperação para atender a duas finalidades:

- recuperação dos produtos químicos, basicamente o sódio e o enxofre utilizados no cozimento da madeira;
- utilizar a energia térmica proveniente da combustão dos compostos orgânicos na produção de vapor de alta pressão para a geração de energia elétrica.

A recuperação dos produtos químicos para a posterior reutilização no licor de cozimento é considerada mais importante do que a geração

de energia, sendo que durante esta regeneração os compostos de enxofre são convertidos em sulfeto de sódio. Tal conversão é obtida através do controle na distribuição do ar no interior da caldeira, exigindo uma combustão completa do licor negro com um mínimo de excesso de ar, mantendo-se uma atmosfera redutora junto a região de queima.

Em conseqüência, haverá a possibilidade da formação de grandes quantidades de gases odorosos constituídos, principalmente, pelos compostos reduzidos de enxofre (TRS), tais como o gás sulfídrico (H₂S), o metil mercaptana (CH₃SH) e o dimetil-sulfeto (CH₃SCH₃).

Para se evitar a emissão destes e de outros gases odorosos, os mesmos deverão ser completamente queimados nas zonas superiores da fornalha, mantendo-se um excesso de oxigênio nestas regiões. A tabela 9 apresenta os valores do limite de percepção de odor para estes e outros gases, mostrando que quantidades pequenas dos mesmos podem causar reações adversas do ponto de vista estético no ambiente das fábricas de celulose.

No passado, as caldeiras de recuperação eram as maiores fontes de poluição atmosférica das fábricas de celulose. Atualmente, devido aos avanços tecnológicos associado às maiores exigências dos órgãos de controle ambiental, as emissões de TRS das caldeiras situam-se em valores abaixo de 5,0 ppm. Os procedimentos para a combustão do licor negro são semelhantes aos dos combustíveis líquidos convencionais. Em sua análise elementar, os principais constituintes do licor negro são o carbono, o sódio, o enxofre, o hidrogênio e o oxigênio, podendo também serem incluídos o cloro, o potássio e outros compostos considerados como inertes. Como a água também se encontra

Tabela 7: Análise elementar e dados básicos dos combustíveis

Combustível	C %	H %	S %	O %	N %	PCS Kcal/Kg	Cinzas %	Umidade %
Carvão mineral	52	4,0	0,5	10	0,9	4850	33	12
Biomassa	47	6,0	-	44	1,0	3800	2,0	base seca
Óleo combustível	82	11	5,0	-	-	10.238	-	2,0

Legenda:

C: carbono; H: hidrogênio; S: enxofre; O: oxigênio; N: nitrogênio
PCS: poder calorífico superior

Tabela 8: Fatores de cálculo para emissões atmosféricas: fontes sem controle

Itens	M.P.	SOx	NOx	HC	CO
Carvão mineral	0,3175 x % C	0,82 x % E	0,435	0,0064	0,021
Óleo combustível	0,019	0,435 x % E	0,1785	0,0005	0,0005
Gás natural	0,006	0,00048	0,1715	0,016	0,0005
Biomassa	1,87	0,16	0,43	0,11	0,11

Legenda: M.P - Material particulado em suspensão, em Kg M.P/10⁶ KJ
 Sox: óxidos de enxofre, em Kg SOx / 106 KJ
 NOx: óxidos de nitrogênio, em Kg NOx / 106 KJ
 HC: hidrocarbonetos, em Kg HC / 106 KJ
 CO: Monóxido de carbono, em Kg CO / 106 KJ
 % C: teor de cinzas presente no combustível
 % E: teor de enxofre presente no combustível
 Valores estimados para fontes anteriores aos sistemas de tratamento

presente, esta pode ser considerada como um dos seus inertes. Os valores da análise elementar e do poder calorífico do licor negro estão apresentados na tabela 10

O licor negro ao ser queimado possui uma concentração de sólidos secos que varia de 62 a 72 %, e na sua combustão são gerados os produtos químicos recuperados que saem da caldeira na forma de uma massa de sólidos fundidos conhecida como *smelt*, basicamente formada de sulfeto de sódio, carbonato de sódio, sulfato de sódio, cloreto de sódio, cinzas e resíduos orgânicos da combustão incompleta. Os gases resultantes do processo de queima são constituídos, principalmente, de nitrogênio, oxigênio, vapor d'água, dióxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio. Durante sua exaustão, grandes quantidades de material particulado constituído, principalmente, por sulfato de sódio e carbonato de sódio são arrastados junto com os mesmos, sendo necessário a sua retenção em equipamentos coletores de partículas, tais como precipitadores eletrostáticos e multiciclones. A relação enxofre/sódio no licor negro exerce uma grande influência no controle das emissões de óxidos de enxofre. Quando a relação aumenta, ocorre uma grande elevação nos teores de SO₂ e em menor escala para o SO₃, tal como acontece quando a sulfididade do licor branco atinge valores acima de 30%. A formação dos óxidos de nitrogênio está fortemente ligada à temperatura global de combustão em função de reações complexas envolvendo o nitrogênio atmosférico.

Efeitos biológicos na saúde humana decorrentes da emissão de poluentes atmosféricos

Antes de qualquer referência sobre os efeitos dos principais poluentes atmosféricos sobre a saúde humana, é importante ressaltar que a intensidade do dano está diretamente relacionada a três fatores:

- da concentração do poluente na atmosfera, considerando-se aqui o efeito da dispersão que poluente sofre quando da sua emissão;
- do tempo de exposição do indivíduo frente ao poluente;
- da sensibilidade de cada pessoa a cada poluente específico, considerando-se que pessoas idosas, crianças e fumantes são, via de regra, mais sensíveis quando comparados a outros grupos.

Dióxido de enxofre (SO₂)

- Efeitos à saúde humana:
 - irritação dos olhos, nariz e garganta;
 - rinites;
 - tosse acentuada;
 - bronquiconstrição;

Tabela 9: Limites de percepção de odores

Gás	Limite de percepção ppm
Sulfeto de hidrogênio	0,00047
Metil mercapta	0,0021
Dimetil sulfeto	0,00026
Cloro	0,314
Amônia	46,8

- queimadura nos olhos e na pele;
- sérios problemas respiratórios;
- morte de doentes sensíveis.

Uma grande quantidade de estudos tem focalizado os efeitos dos óxidos de enxofre sobre a saúde populacional, sendo que as conclusões principais podem ser resumidas da seguinte forma:

- em situações de aumento dos níveis atmosféricos de SO₂ associado a material particulado, ocorre aumento significativo de admissões hospitalares por doenças respiratórias, sendo que pacientes portadores de doenças pulmonares relatam agravamento dos sintomas nestas condições. Outros estudos indicam haver também uma correlação positiva entre mortalidade e níveis atmosféricos de SO₂;

- estudos epidemiológicos têm revelado correlação entre níveis atmosféricos de SO₂ e material particulado, com doenças respiratórias na população infantil;

- avaliações populacionais têm revelado melhora das condições de saúde respiratória na população de áreas onde medidas de controle da emissão de SO₂ conseguem reduzir significativamente os níveis atmosféricos deste poluente;

- estudos realizados em necropsia mostram uma associação positiva entre hipertrofia de glândulas das vias aéreas e gravidade do enfisema em áreas com maiores concentrações de SO₂;

- estudos populacionais longitudinais revelam que habitantes de regiões com elevadas concentrações de SO₂ apresentam declínio mais acentuado da função pulmonar em relação a habitantes de regiões não poluídas;

- outras evidências significativas dos efeitos adversos do SO₂ surgem quando são observados os seus efeitos sobre pacientes com alguma incapacitação respiratória. Asmáticos e bronquíticos apresentam exarcebção dos sintomas quando, em experiências controladas, são expostos em níveis urbanos de SO₂. Seu TLV é de 5 ppm, sendo que a morbidade e mortalidade associadas ao dióxido de enxofre estão predominantemente associadas a doenças do sistema respiratório.

Obs: TLV (*Threshold Limit Va-*

Tabela 10: Dados típicos do licor negro

Carbono %	Hidrogênio %	Enxofre %	Oxigênio %	Sódio %	PCS Kcal/Kg
39,0	3,90	3,40	35,0	18,7	3.220 - 3.660

lue): limite de tolerância em ambiente de trabalho, concentração no ar do ambiente de trabalho que assegura saúde à maior parte dos trabalhadores.

Material particulado (partículas em suspensão):

- Efeitos à saúde humana:
 - bronquites;
 - asma;
 - morte de doentes mais sensíveis.
- O material particulado pode provocar alterações respiratórias diversas, tais como inibição do transporte mucociliar, destruição dos espaços aéreos distais e aumento da reatividade brônquica. Sabe-se que a interação de material particulado com o SO₂ tem efeitos lesivos sinérgicos, ou seja, multiplica a capacidade agressora de ambos poluentes.

O mesmo se pode dizer da associação de hidrocarbonetos e material particulado. Esta associação tem sido aventada para explicar a correlação entre cicatrizes pulmonares e adenocarcinomas dos pulmões.

Monóxido de carbono (CO):

- Efeitos à saúde humana:
 - dor de cabeça;
 - tontura;
 - alucinação;
 - depressão;
 - angina;
 - síncope;
 - asfixia e morte.

Gás extremamente tóxico principalmente pelas propriedades de se ligar fortemente à hemoglobina e pela pobreza de sinais e sintomas nas fases iniciais de intoxicação. O único efeito tóxico do CO é consequente à sua habilidade de se ligar à hemoglobina com afinidade muitas vezes maior que o oxigênio. Esta ligação é 245 vezes mais estável que a do O₂, bloqueia a hemoglobina que, desta forma, é chamada de carboxihemoglobina (COHb), tornando-se incapaz de transportar oxigênio aos tecidos. Estudos mais

recentes indicam que, além do prejuízo no transporte de O₂, o CO também interfere com a respiração celular, bloqueando a atividade dos citocromos de forma semelhante à do cianureto.

Dióxido de nitrogênio (NO₂) e óxidos de nitrogênio em geral (NO_x):

- Efeitos à saúde humana:
 - tosse e catarro;
 - dispnéia;
 - dor no peito;
 - edema pulmonar;
 - irritação nos olhos;
 - taquicardia.

O NO₂ exerce sua ação tóxica, principalmente, nos pulmões e vias aéreas periféricas. O NO₂ é um gás extremamente reativo, com um limite de odor de 1 a 3 ppm, sendo capaz de reproduzir irritação nos olhos e nariz a partir de 10 a 15 ppm. Seu TLV para o Brasil é de 4 ppm. Valores de 2 a 40 ppm têm sido reportados em causar aumento de mortalidade por infecção pulmonar, além de alterações histopatológicas em nível de vias aéreas e alvéolos e de desconforto respiratório.

Gás sulfídrico (H₂S):

- Efeitos à saúde humana:
 - irritação do sistema respiratório;
 - irritação dos olhos;
 - tontura;
 - convulsões;
 - coma;
 - morte.

Ozono (O₃) - Oxidante fotoquímico

- Efeitos à saúde humana:
 - irritação dos olhos e das mucosas;
 - edema pulmonar;
 - doenças respiratórias crônicas.

A maioria dos dados na literatura sobre os efeitos biológicos dos oxidantes fotoquímicos está consagrada a este gás, terrivelmente tóxico, que pode causar sérios incômodos em frações de ppm. Existe pouca

dúvida de que o ozônio permanecerá por longo tempo como substância chave do *smog* fotoquímico por ser o constituinte mais abundante e ser comum a todos os problemas relacionados ao *smog*.

Uma ampla variedade de alterações pulmonares tem sido relatada conseqüente à intoxicação aguda por O₃, em concentrações de 0,25 a 1,0 ppm, tais como degeneração e descamação do epitélio bronquiolar, hiperplasia e metaplasia cuboidal, proliferação de células clara (de localização preferencial em bronquíolos terminais), edema alveolar com degeneração de pneumócitos do tipo 1, edema do endotélio capilar, proliferação e hiperatividade de pneumócitos tipo 2, edema intersticial, aumento do número de macrófagos e debris celulares na luz alveolar, aumento de polimorfonucleares na luz dos capilares, aberrações cromossômicas de linfócitos circulantes e hemólise intravascular focal.

Equipamentos de proteção contra as emissões atmosféricas

Ciclones

- Princípio:

Os arranjos mais comuns consistem de fazer o gás entrar tangencialmente na parte superior ao da seção cilíndrica e dirigindo a espiral em direção ao fundo cuja configuração é, usualmente, cônica. As partículas sólidas, as quais estão sob ação de uma força centrífuga maior que as moléculas de gás, ficam acumuladas nas paredes do ciclone, por ação da velocidade do gás, sendo carregadas para o fundo do mesmo. No fundo do ciclone, o gás separado do pó flui em forma de espiral para saída no topo do ciclone. As faixas usuais de capacidade de ciclones industriais, em termos de fluxo, situam-se entre 200 - 85000 m³/h sendo que a velocidade de entrada dos gases nas unidades de alta eficiência encontram-se na faixa de 1500 - 2700 cm/seg. (ver figura 1).

Scrubbers de spray por gravidade

- Princípio:

O líquido é espargido em forma de *spray* no topo do torre formando

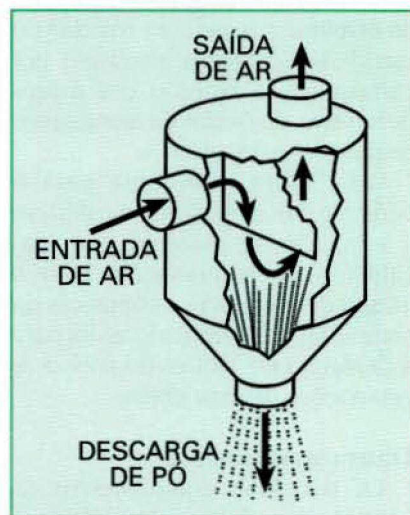
uma cortina de gotículas que caem por gravidade, passando em contracorrente ao fluxo de gás, lavando-o desta forma. As partículas sólidas são coletadas, principalmente, por impacto inercial e por interceptação. A entrada de gás é controlada de maneira a obter velocidades baixas do gás embora resulte em equipamentos com dimensões maiores. Os bicos *spray* de água também devem ser projetados de forma a obter gotículas com peso suficiente para caírem vencendo a força do gás em contracorrente (ver figura 2). Este tipo de equipamento é muito utilizado para lavagem de gases de forno de cal.

Scrubber centrífugo

- Princípio:

Um líquido é aspergido dentro da câmara do *scrubber* onde é misturado na região em que aumenta o vórtice do gás. Por impacto e interceptação, as partículas de gás e líquido, por ação da força centrífuga, são jogadas contra as paredes do *scrubber*, onde as partículas sólidas

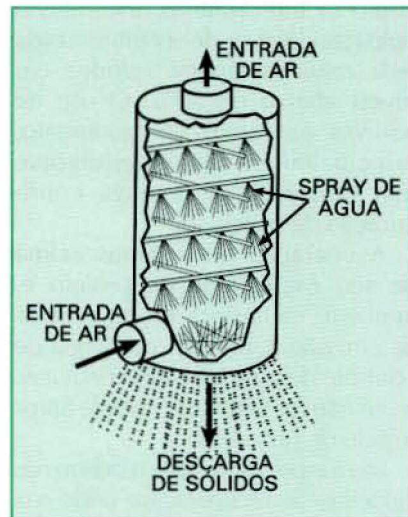
Figura 1



descem para o fundo do *scrubber*. Esta coleta torna-se facilitada pela umidade das paredes do equipamento.

A velocidade tangencial não deve exceder aos 3,05 cm/seg e deve ser tomado o cuidado, na fase de projeto de, na configuração do equipamento, prever o direcionamento da água para as paredes na seção de saída dos gases.

Figura 2



Scrubber venturi

- Princípio:

A água é introduzida na parte cônica (garganta) do equipamento e é atomizada pela alta velocidade do fluxo do gás. A alta velocidade relativa entre a partícula do líquido e a partícula sólida faz-se obter uma alta eficiência de separação pelo alto impacto inercial sobre as gotículas (ver figura 3).

Velocidades acima de 4,575 cm/seg são consideradas "velocidade mínima crítica" necessárias para obter uma completa atomização do líquido. Este tipo de equipamento, normalmente, é empregado para lavagem de gases de tanques de mistura de licor.

Precipitador eletrostático

- Princípio:

A precipitação eletrostática é um processo físico no qual as partículas suspensas presentes em um fluxo de gás são carregadas com cargas elétricas negativas.

As partículas migram, então, para eletrodos ou placas de coleta que estão carregadas com cargas positivas, onde partículas sólidas são removidas das placas coletoras através de um sistema de vibração que fazem as partículas caírem, no fundo da estrutura do precipitador, em um coletor de pó (ver figura 4).

Um dos parâmetros importantes de projeto é a velocidade de migração das partículas que tem uma relação direta com a eficiência de coleta de partículas. Os tama-

nhos das partículas têm uma relação direta com a velocidade de migração. A velocidade de migração é função direta do efeito Corona (nano amp./cm²). Os precipitadores são, mundialmente, empregados para separação de sólidos da corrente de gás das caldeiras de recuperação e de força. Também vêm sendo aplicado em fornos de cal em substituição aos scrubbers.

Incinerador

- Princípio:

Os incineradores, como outros processos de combustão, promovem reações de combustão e, para tanto, devem ser projetados de forma a prover tempo suficiente para ocorrer a reação de oxidação e produzir temperaturas elevadas o suficiente durante o período da reação. O aspecto "turbulência" também deve ser contemplado com a finalidade de promover a perfeita mistura entre o material a ser oxidado e o oxigênio. O tempo de residência, normalmente, empregado em projetos para queima de hidrocarbonetos é de 0,5 seg. Alguns incineradores são providos com sistemas de aproveitamento do calor produzido durante a incineração, visando seu aproveitamento para aquecer água ou outro fluido do processo. No setor de celulose e papel, equipamentos, como forno de cal e caldeira de recuperação, são utilizados para queima de gases não condensáveis do processo.

Controles internos de processos e tendências

Figura 3

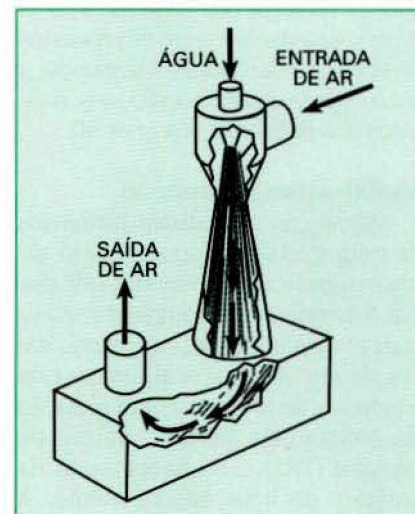
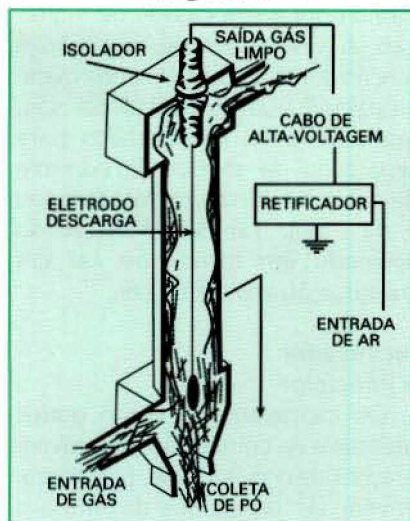


Figura 4



As melhorias de processo, com o objetivo de redução das emissões, não só atmosféricas como também hídras e sólidas, constituem uma preocupação constante e uma clara tendência da indústria nacional de celulose e papel.

As empresas do setor têm investido, maciçamente, em projetos de controle de poluição, de preservação ambiental e na implantação de sistemas de gerenciamento ambiental que garantirão melhorias contínuas em suas *performances* ambientais.

Modificações de processo (*up stream*) versus tratamentos externos (*end of pipe*)

Há duas alternativas para melhoria de desempenho ambiental; modificação do processo para torná-lo menos ou não poluidor ou aplicação de tecnologias para tratamentos externos, conhecidas como tecnologias *end of pipe*. Devido ao alto custo de instalação, manutenção e operação da maioria dos sistemas *end of pipe*, o desenvolvimento de processos produtivos não poluentes passou a ser o grande desafio técnico e econômico das indústrias nos anos 90.

Modificações de processo

Mudanças nos atuais processos de polpação têm proporcionado ganhos significativos em sua eficiência, advindo daí a redução das emissões atmosféricas de, mormente, gases de enxofre. Uma alternativa de mudança de processo para redução da emissão de gases reduzidos de enxofre (TRS) é o abaixamento da sulfidez do licor de cozimento. A

geração de compostos odorosos, tais como as mercaptanas, inerentes à polpação *kraft*, pode ser minimizada pela manutenção da sulfidez em níveis abaixo de 20%. O uso de aditivos auxiliares de cozimento, principalmente da antraquinona, tem favorecido essa nova configuração de processo.

A operação de sistemas acima de sua capacidade de projeto é, também, causadora de altas taxas de emissão. Qualquer estratégia de controle de poluição será ineficiente, se não for feito um controle apropriado de processo.

Isto é especialmente verdadeiro nas caldeiras de recuperação, onde sua superutilização acarreta alterações nas características de suas emissões atmosféricas. Conhecedoras deste fato, as empresas têm adequado seus equipamentos a esta nova taxa de utilização ou, em alguns poucos casos, têm operado os seus processos dentro de sua capacidade original de projeto. Fábricas com digestores operando em batelada podem adotar o processo de descarga fria (*cold blow process*) para conservar energia e reduzir as emissões de TRS. Este processo consiste no resfriamento do licor preto proveniente do digestor através da troca térmica com o licor preto oriundo do sistema de lavagem e depuração. Este último, já aquecido, é, então, reintroduzido ao digestor para o próximo cozimento. Uma vez que a descarga é feita a frio são produzidas emissões de TRS consideravelmente menores. O processo a frio produz em média 0,013 kg de TRS/ton, enquanto o processo convencional pode produzir até 0,091 kg de TRS/ton. Este nível de emissão não é suficientemente baixo para a eliminação da necessidade de incineração, entretanto.

Uma outra alternativa para a redução das emissões de odores e conservação de água é a desodorização e o reuso dos condensados. Para este fim, vem sendo usada a técnica de *stripping* do condensado contaminado, que pode ser feita com ar ou vapor. Os detalhes deste processo são discutidos na literatura.

A oxidação do licor preto também é outra tecnologia que vem sendo exaustivamente estudada e

já é empregada em algumas fábricas com sistemas de evaporação de contato direto.

A idéia central deste processo é oxidar todos os compostos de enxofre reduzido presentes no licor, antes da evaporação, através da injeção de ar ou de oxigênio puro, o que elimina a emissão de TRS. Todavia, existem algumas desvantagens nesta tecnologia, tais como a possibilidade da reversão ou oxidação incompleta e a redução do poder calorífico do licor, o que tem convencido muitas indústrias a optar por sistemas de evaporação por contato indireto, como os evaporadores de múltiplos efeitos. No Brasil, a grande maioria das plantas utiliza evaporação de contato indireto.

Emissões de óxidos de nitrogênio e enxofre também são objetos de controle por parte das fábricas de celulose e papel. O uso de combustíveis fósseis de baixo teor de enxofre nas caldeiras auxiliares reduzem as emissões de dióxido e trióxido de enxofre, compostos precursores do ácido sulfúrico e, por isso, responsáveis pela chuva ácida. A própria economia energética que vem sendo experimentada pelas indústrias de celulose e papel tem reduzido o uso de tais caldeiras auxiliares, por conseguinte, a emissão dos óxidos de enxofre, de óxidos de nitrogênio e de material particulado.

Uma outra tecnologia para o controle das emissões atmosféricas é a injeção de oxigênio puro nas caldeiras de recuperação, com o intuito de aumentar a eficiência da combustão, contribuindo assim para a oxidação de TRS e reduzindo as emanações de mau cheiro.

Tratamentos externos

Os principais equipamentos de controle da poluição atmosférica já foram discutidos no capítulo anterior do presente artigo. A tendência das indústrias é a otimização de tais processos de controle, objetivando o aumento da eficiência de abatimento e a redução de custos operacionais.

Com relação ao controle de material particulado, tecnologias alternativas, tais como lavagem dos gases a seco e a filtração em tecido, têm sido usadas em substituição aos ou em conjunto

com os processos tradicionais de precipitação eletrostática, separação inercial (ciclones) e a lavagem úmida dos gases.

Para os gases mau cheirosos, a principal estratégia de controle continua sendo a incineração feita,

na maioria das situações, nos fornos de cal e, eventualmente, nas caldeiras de recuperação para os casos de grandes volumes de gases odorosos pouco concentrados. Incrementos em relação ao controle de emissão destes gases têm sido feitos em sua captura

e posterior condensação, com o aproveitamento de calor.

As tecnologias *end of pipe* para as caldeiras auxiliares de força continuam sendo as tradicionais lavagens úmidas de gases ou, alternativamente, lavagens a seco.

Tabela 11: Limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão externa - Novas fontes fixas

Resolução Conama nº 8, de 06/12/90 (Publicada no D.O.U. de 28/12/90)

Potência nominal 70 MW			
Poluentes (*)	Áreas de classe I		Áreas de classe II e III
	Áreas a serem atmosféricamente preservadas (reservas, estações biológicas e ecológicas)	Áreas a serem atmosféricamente preservadas (lazer, turismo, estâncias climáticas, hidrominerais e hidrotermais)	-
Dióxido de enxofre (SO ₂) g/Mcal		2.000	5.000 (O.C/C.M.)
Partículas totais (M.P.) g/Mcal	Nesta área fica proibida qualquer atividade que gere poluição do ar	120	350 O.C. 1.500 C.M.
Densidade colorimétrica % (escala Ringelmann)		Máximo 20% (Ring 01) (exceto durante a ramonagem e na partida do equipamento)	Máximo 20% (Ring 01) (exceto durante a ramonagem e na partida do equipamento)
Limite de consumo de combustível por fonte fixa		Óleo combustível: 3.000 t/ano	-
Potência nominal > 70 MW			
Poluentes (*)	Áreas de classe I		Áreas de classe II e III
	Não será permitida a instalação de novas fontes fixas com este porte		
Dióxido de enxofre (SO ₂) g/Mcal			2.000 (O.C/C.M.)
Partículas totais (M.P.) g/Mcal			120 O.C. 800 C.M.
Densidade colorimétrica % (escala Ringelmann)			Máximo 20% (Ring 01) Exceto durante a ramonagem e na partida do equipamento

Onde: O.C: óleo combustível
C.M: carvão mineral

Finalmente, na fabricação de papel, cujas emissões atmosféricas contêm predominantemente ar quente e partículas de fibras, empregam-se, em algumas ocasiões, equipamentos para recuperação de fibras e de calor, o que reduz sensivelmente as emissões de material particulado.

Legislação

Enfocando especificamente a questão da limitação das emissões atmosféricas oriundas de fontes fixas de poluição do ar, verifica-se que a legislação federal brasileira atribui como de competência dos Estados e Municípios a adoção de normas e padrões supletivos e complementares na regionalização das medidas emanadas do Sisnama.

De forma mais particular, o § único do art. 14, do decreto no 99.274 de 06/06/90, apresenta a seguinte redação:

"As normas e Padrões dos Estados, Distrito Federal e dos Municípios, poderão fixar parâmetros de emissão, ejeção e emanção de agentes poluidores, observada a Legislação Federal. A Resolução Conama nº 5, de 15/06/89, instituiu o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar - Pronar, cuja a estratégia básica é limitar, em nível nacional, as emissões por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle." Tal programa baseia-se ainda em outros critérios, entre os quais a Preservação de Deterioração Significativa da Qualidade do Ar, baseada na classificação das áreas do território nacional, de acordo com três tipos de uso, associando os níveis de deterioração à manutenção de qualidades do ar específicas para cada classe de uso (vigente sem intervenção antropogênica); limitada pelo padrão secundário de qualidade do ar e limitada pelo padrão primário de qualidade do ar. Dentro da concepção do Pronar, só estão regulados em termos de emissão, até o momento, os processos de combustão externa para novas fontes fixas, conforme tabela 11.

• Valores mássicos de emissão específica são referidos ao poder calorífico superior do combustível.

• O consumo de óleo combustível em quantidade superior a limitação imposta, bem como o estabelecimento de limites máximos de emissões para outros poluentes, serão determinados pelos Órgãos Estaduais de Meio Ambiente (DEMA's) se for o caso, por ocasião do Licenciamento Ambiental.

Observações:

• Para efeito desta Resolução Conama, define-se como "Novas Fontes de Emissão" aquelas que a data da publicação da presente ainda não tenham dado entrada, formalmente, junto aos DEMA's com pedidos de Licença Prévia.

• Os limites máximos de emissão aqui fixados serão, inicialmente, revisados em um prazo de dois anos e, posteriormente, a cada cinco anos, quando poderão ser, eventualmente, acrescentados outros poluentes para este tipo de processo e fonte estacionária.

• O atendimento aos limites máximos de emissão não exige o empreendedor de eventuais exigências de controles complementares.

Em nível de legislação estadual, é geralmente conferido ao órgão ambiental estadual a competência de fixar o grau de controle das fontes de poluição, o qual é, usualmente, estabelecido em termos do uso de tecnologia comprovadamente mais eficiente para cada caso. Exemplos desse procedimento ficam bem caracterizados, a título ilustrativo, pelos artigos 23 e 25, do decreto nº 28.687, de 11/02/82 - Bahia; artigo 33-A, do decreto nº 8.468, de 08/09/76, conforme redação dada pelo decreto nº 15.425, de 23/07/80 - São Paulo; artigo 11º da Deliberação Normativa Copam nº 011/86, de 16/12/86 - Minas Gerais.

Em algumas legislações estaduais, os limites de emissão são explicitamente estabelecidos como valores numéricos; este é o caso das legislações de Minas Gerais e São Paulo, anteriormente citadas.

Em nível internacional, vários países regulam padrões de emissão por tipologia específica de fontes. A Agência de Proteção Ambiental norte-americana (U.S. EPA), que opera neste tipo de conceito, sempre antecede à promulgação de seus padrões de emissões pela publica-

ção oficial da proposta dos mesmos e de documentos base que lhe conferem lastro técnico e de viabilidade econômica de implementação. Este mesmo documento propõe estipular também os prazos para recebimento de alterações justificadas por parte da sociedade civil e, eventualmente, fixa data para audiências públicas. Infelizmente, este procedimento não ocorre em outros países, restando quase sempre indeterminada para o público especializado a base de origem de seus valores numéricos.

As tabelas 12, 13 e 14 apresentam os valores dos padrões de emissão para as fontes de produção de celulose respectivamente para os EUA, Austrália e Canadá (B.C.).

Revisões e alterações U.S. EPA - Maio/86:

• Isentou de padrões os sistemas de oxidação de licor negro.

• Revisou o padrão existente de TRS e suas unidades para Tanque de Dissolução de Fundidos.

• Tornou sem efeito o uso do monitor de temperatura para fornos de cal, caldeiras de força ou caldeiras de recuperação.

• Isentou os lavadores por difusão do padrão TRS para lavagem de polpa marron ou para os casos em que implementação tenha sido demonstrada ser técnica ou economicamente irrealizável.

• Incluiu NOx 80 ppmv (b.s.) a 8% O2 e 86,9 lb/hr (média móvel de 30 dias) para garantir ausência de impacto sobre a visibilidade nas áreas de classe I em termos prevenção da deterioração significativa (PSD).

Referências bibliográficas:

1. "Health Effects of Reduced Sulfur Gases - Boletim NCASI nº 691 (fevereiro 1995)
2. EPA - Informações gerais sobre emissões em fábricas de celulose
3. Emissões fugitivas na Aracruz - Relatório interno
4. Consumo de energia elétrica no setor de papel e celulose - 1993 - GT-13 / ENERGIA, ANFPC - São Paulo, S.P., 1994.
5. Teste de queima de alcatrão no forno de cal - CENIBRA, Div. Engenharia de Processos - Belo Oriente, M.G., 1995 (não publicado).
6. Projeto de produção de biogás

Tabela 12: EUA/U.S. EPA: padrões de desempenho para novas fontes - Fábricas de celulose kraft

Promulgados em 23.02.78, conforme emendas de 07.08.78 - U.S. EPA

Fases do processo	TRS		Material particulado		
	Concentração	Monitoramento	Concentração	Opacidade	Monitoramento
Sistema digestor	5 ppm (vol, b.s.), 10% O ₂		-	-	-
Sistema de lavagem de polpa marron	5 ppm (vol, b.s.), 10% O ₂	TRS: contínuo e temperatura do efluente (se incinerado)	-	-	-
Sistema de evaporação de múltiplo efeito	5 ppm (vol, b.s.), 10% O ₂		-	-	-
Sistema de oxidação de licor negro	5 ppm (vol, b.s.), 10% O ₂		-	-	-
Sistema de stripping de condensados	5 ppm (vol, b.s.), 10% O ₂		-	-	-
Sistema de caldeira de recuperação	5 ppm (vol, b.s.), 8% O ₂	TRS: contínuo	0,1 g/m ³ (20°C, seco) 8% O ₂	35%	Opacidade contínuo
Tanque de dissolução de fundidos	25 ppm (vol, b.s.), 8% O ₂ (cross recovery)	p Lavador P _{ent} líquido	0,1 g/kg SSLN (peso seco)		p lavador (se usado)
forno de cal	0,0084 g/kg SSLN (peso seco) 8 ppm (vol, b.s.), 10% O ₂	TRS: contínuo p lavador P _{ent} líquido	Gás : 0,15 g/m ³ (20°C, seco) Óleo: 0,30 g/m ³ (20°C, seco) Ambos (10% O ₂)		

partir do excesso de lodo biológico da ETE da CENIBRA - Rossi, A.M; Cunha, E; Santana, A.F; Sena, G.M.V - EEUFMG - LOP - Belo Horizonte, M.G, 1995 (não publicado).

7.Environmental pollution control, pulp and paper industry, part I air - U.S. Environmental Protection Agency, technology transfer - EPA. 625/7-76-001, pag. 16-2, Washington D.C., 1976.
8.Control of atmospheric emissions in the wood pulping industry, volume II, Final report, Hendrickson, E.R; Robertson, J.E; and Koogler, J.B; Contract N° CAP 22-69-18, U.S Department of Health, Education and Welfare, National Air Pollution Control Administration - 1970.
9.Geradores de Vapor - Pera, H;

Ed. Fama, pag. 2-34,2-48,2-49, São Paulo - S.P, 1990.

10.Environmental pollution control, pulp and paper industry, part I air - U.S. Environmental Protection Agency, technology transfer - EPA. 625/7-76-001, pag. 16-3, Washington D.C, 1976.

11.Compilation of air pollutant emission factors. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Programs, Research Triangle Park, North Carolina, Publication N° AP-42 - 1972.

12.Industrial odor technology assessment - Cheremisinoff, P.E; Young, R.A; Ann Arbor Science Publishers Inc., 0-250-40093-6,pag. 119, Ann Arbor, Michigan - 1975

13.Chemical Recovery in the Alkaline Pulping Processes, TAPPI Press, 0-89852-046-0, pag. 10,89, Technology Park, Atlanta, G.A, 1985.

14.Environmental pollution control, pulp and paper industry, part I air - U.S. Environmental Protection Agency, technology transfer - EPA. 625/7-76-001, pag. 1-7, 1-9, Washington D.C, 1976.

15.Industrial Environmental Control - Springer, Allan M., Second Edition, Atlanta, GA, U.S.A. Tappi Press, 1993

16.Tappi Journal - Sarkanen, K. V. et al., 53 (6) : p. 766 - 783 (1970).
17.Antraquinina para redução das emissões de TRS: a experiência da Riocell - Lima A. F., 26º Congresso Anual de Celulose e Papel da

Tabela 13: Austrália: padrões de emissões atmosféricas

Poluente	Padrão mg/Nm ³
Particulados:	
Caldeira de recuperação (12% CO ₂)	150
Forno de cal (10% CO ₂)	150
Caldeira auxiliar (12% CO ₂)	225
Névoas ácidas e SO ₃ (como SO ₃)	200
Compostos de enxofre reduzido (como H₂S):	
Caldeira de recuperação (8% O ₂)	5
Forno de cal (10% O ₂)	10
Ácido clorídrico	400
Cloro e compostos clorados (exceto HCl)	200
Óxido de nitrogênio, como NO ₂ (7% O ₂)	500
Opacidade:	% Obscurecimento
Caldeira de recuperação	35
Outras caldeiras	20
Fornos de cal	10
Outros calcinadores	20

Tabela 14: Canadá: emissões atmosféricas para novas fábricas de celulose kraft

Província de British Colúmbia			
Fase de processo	Poluente	Unidade	Valor
Caldeira de recuperação	Particulados	kg/tcsa	2,3
	TRS	kg/tcsa	0,0073
	SO ₂	ppm	200
Forno de cal	Particulados	kg/tcsa	0,68
	TRS	kg/tcsa	0,18
Branqueamento	Cl ₂ + ClO ₂	ppm	0,1
Caldeira de biomassa	Particulados	mg/m ³ (12% CO ₂)	230

ABTCP, SP, nov. 1993, p. 777 - 785.

18. A 12 year review of fluidized bed technology as applied to pulp and paper, Alkaline Pulp Conference, Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, 1975, p. 53.

19. Investigation of TRS emission and raw waste load impact of the use of the rade cold blow process - Jain, A. K., National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement, New York Technical Bulletin N^o 403, 1983.

20. Pulp and Paper Magazine of Canada, Morgan I. P., and Murray, F. E., 73 (5), p. 62 - 66 (1972).

21. Fundamentos de Toxicologia Ambiental - : Anotações da Disciplina de Pós Graduação Prof. Dr. Edmundo Garcia Agudo - Departamento de Ciência Ambiental - USP - São Paulo.

22. Diário Oficial da União, de 30/08/89

23. Diário Oficial da União, de 22/08/90

24. Diário Oficial da União, de 28/12/90

25. Federal Register: Thursday, February 23, Part V

26. Federal Register: Friday, december 17, Part II

27. Poluição Ambiental: Legislação Nacional Internacional GT-08/ANFPC - Maio 1992 ▲

Bolsa de Emprego Representante Técnico

Para atendimento exclusivo de vendas técnicas nas indústrias de papel e celulose para região Sul (SC, RS), com bons conhecimentos dos equipamentos do setor. Imprescindível estar participante na área de atividade, disponibilidade para viagens e nível de instrução qualificado. Currículo e pretensões globais para: Av. Dr. José Maciel, 362 - sala 05 - Taboão da Serra - SP - CEP 06763-270