

# Tratamento Biológico de Emissões Gasosas



**João Monteiro Peixoto**  
Departamento de Engenharia  
Biológica, UM

## 1. Introdução

O ar tem vindo a merecer cada vez mais atenção, sobretudo nos ambientes urbanos, em que as taxas de poluição chegam a atingir níveis preocupantes. O buraco do ozono e o efeito de estufa têm servido para a sensibilização do grande público. Do outro lado, inseparáveis, encontram-se os interesses das muitas indústrias poluentes, empregadoras das populações potencialmente lesadas.

Antes, os problemas de poluição do ar eram locais. Os poluentes mais habituais tinham tempos de vida curtos, ou as suas emissões eram tão pequenas que não eram vistos como um problema sério, longe do local de emissão. Agora, é uma questão sem fronteiras. Temos poluição a várias escalas: local (CO dos veículos, COVs – compostos orgânicos voláteis – evaporados em estações de tratamento de águas residuais); urbana (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>); regional (SO<sub>2</sub> → SO<sub>3</sub> → H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → sulfatos; NO → NO<sub>2</sub> → nitratos); continental (chuva ácida); e, por fim, global (radioactividade, efeito de estufa).

## 2. A poluição do ar

Uma situação atmosférica em que existam substâncias em concentrações maiores que o normal é considerada poluição do ar se tiver efeitos mensuráveis nos humanos, nos animais, na flora ou nos materiais. São poluentes primários os que são emitidos por fontes identificáveis. Os mais significativos são: SO<sub>2</sub>, CO, NO, SO<sub>x</sub>, partículas, hidrocarbonetos (HC) e metais. São secundários aqueles que se formam na própria

atmosfera, devido a reacções químicas, e são exemplos o O<sub>3</sub>, outros oxidantes fotoquímicos, como o nitrato de peroxiacilo, e os HC oxidados. Os EUA e a UE definem ainda os “criteria pollutants” que são CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, MP10 (matéria particulada com diâmetro inferior a 10 µm) e Pb. Estes existem em todas as áreas urbanas e as suas concentrações variam de acordo com o nível de industrialização e o grau de sofisticação do controlo (Kiely, 1997). Nos EUA as emissões gasosas, excepto para o Pb, são da ordem dos Gg/d.

COVs são líquidos ou sólidos, que contêm C orgânico (carbono ligado a C, H, N ou S, mas não CaCO<sub>3</sub>, CaC<sub>2</sub>, CO ou CO<sub>2</sub>), e vaporizam a velocidades significativas. Incluem a maioria dos compostos com menos de 12 átomos de C (Nevers, 1995). Na legislação comunitária (UE), define-se COV como um composto orgânico com pressão de vapor maior ou igual a 0.01 kPa, a 293.15 K, ou com volatilidade equivalente nas condições de utilização. São, provavelmente, depois das partículas, a mais alargada e diversa classe de emissões. Podem ser emitidas de grandes fontes, mas a maioria é emitida de pequenas, como os automóveis, tintas, solventes, etc. Os aterros sanitários também emitem COVs (além do CH<sub>4</sub> e do CO<sub>2</sub>). Incluem HC não-metano, como alcanos, alquenos, aromáticos (tolueno, benzeno, xilenos, fenol), halocarbonetos, álcoois, aldeídos e cetonas. A figura 1 (Gaete, 2001) mostra as origens das emissões na Europa.

Apesar dos esforços, os níveis de emissão antropogénica continuam a aumentar. As emissões anuais de HC usados em veículos, só nos EUA, são da ordem dos 109 kg (Nevers, 1995).

Por causa da sua solubilidade em lípidos, os COVs são rapidamente absorvidos pelo pulmão (vapores), tracto gastrointestinal e pele (líquidos). Podem acumular-se nos tecidos adiposos do corpo, mas a maior parte é rapidamente eliminada. O tabagismo é a maior fonte de COVs no corpo (Rafson, 1998).

Os COVs são todos considerados, na prática, foto-reactivos e, por isso, contribuem para a formação de oxidantes fotoquímicos. Por oxidante fotoquímico entende-se uma substância atmosférica que, por interacção com a luz, oxida materiais não imediatamente oxidáveis pelo oxigénio gasoso. Em concentrações elevadas, podem prejudicar a saúde humana e danificar a vegetação e os materiais inorgânicos. Os NO<sub>x</sub> reagem com os COVs, para formar O<sub>3</sub>, sobretudo em períodos de maior calor. É grande a complexidade de reacções com COVs na atmosfera, que contribuem para a formação de chuvas ácidas e para o efeito de estufa.

## 3. Legislação

A legislação tem-se tornado mais restritiva quanto às descargas atmosféricas industriais. Diluir o ar poluído deixou de ser a solução. É fundamental controlar as emissões, reduzindo-as até

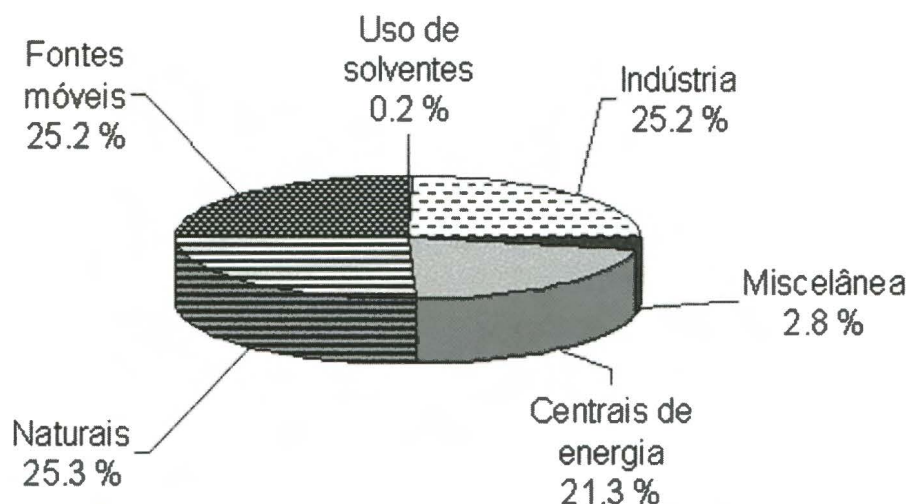


Figura 1 - Contribuição, por fonte, para as emissões de COVs na Europa, em 1980



níveis seguros, não só dos compostos tóxicos, pelo perigo que representam, mas também dos menos agradáveis ao olfacto e à visão.

EPER é a sigla inglesa para European Pollutant Emission Register (Registo Europeu das Emissões Poluentes), criado pela Decisão da Comissão n.º 2000/479/CE, de 17 de Julho de 2000 (Decisão EPER). Todos os países da União Europeia estão obrigados a reportar as emissões das instalações PCIP (Prevenção e Controlo Integrado da Poluição), novas e existentes, para uma lista de 50 poluentes do ar e da água. O primeiro envio de informação estava previsto até Junho de 2003, sobre dados de 2000, 2001 ou 2002; e o segundo envio até Junho de 2006, sobre dados de 2004. A partir de 2008 o exercício far-se-á com periodicidade anual, sobre o ano anterior. Para efeitos de troca de informação no âmbito da UE, os países devem reportar todas as emissões de actividades PCIP que excedam um patamar pré-estabelecido e, ainda, as emissões associadas das actividades não-PCIP, sempre que contribuam em mais de 10 % para as emissões totais da instalação. As instalações cobertas pela Directiva PCIP deverão obter uma autorização baseada no conceito de Melhor Técnica Disponível. Depois do período de transição (até 11 anos), não poderão funcionar sem a autorização. Em Portugal, o Diploma PCIP é o Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto.

#### 4. Estratégias e tecnologias de controlo

A maior parte dos poluentes atmosféricos tem diminuído entre 1970 e 1993

nos EUA, como resultado do controlo de emissões. Tem sido um processo lento, com algumas excepções, havendo muito mais a fazer do que o que já foi feito. A necessidade de controlo advém dos efeitos nefastos na saúde humana, nos bens e propriedades (animais, plantas, monumentos, etc.), na estética (visibilidade) e no clima global. Situações de exposição repetida, a baixas concentrações, por longos períodos, têm efeitos menos evidentes mas igualmente lesivos e mortais. Contrapõem-se aos efeitos agudos dos acidentes industriais os efeitos crónicos da exposição prolongada. Por isso, os limites, quer de emissão, quer de exposição, definem valores de concentração e tempos de exposição.

Da melhor solução para a pior, em termos ambientais, temos a seguinte cadeia: não produzir poluentes → produzir menos → tratar antes de rejeitar → rejeitar sem tratamento.

A correcta instalação dos dispositivos e condutas é também de primordial importância. Se a fonte poluente for localizada e não dispersa, o volume de ar aspirado é minimizado (figura 2).

#### 5. Processos físico-químicos

Para o controlo de partículas primárias (e. g., metais pesados, amianto) usam-se sedimentadores, ciclones e electrofiltros. Podem-se usar, alternativamente, filtros de mangas e câmaras de chuveiros. Outros métodos baseiam-se na combustão (incineração térmica, incineração catalítica, chamejamento, "caldeiras"), e na recuperação. A com-

bustão tem alta capacidade de remoção de vapores, destruindo-os. Os processos de recuperação usam a condensação, a adsorção (em carvão activado ou outros sólidos) e a absorção. Fazer reagir os vapores com químicos para os reutilizar ou obter outros de mais fácil controlo é também uma opção.

#### 6. Reactores biológicos

O número de contaminantes, susceptível de ser tratado biologicamente, tem aumentado continuamente. Sobre os xenobióticos, não degradáveis por via biológica, não é, provavelmente, demasiado ousado afirmar que na natureza existem microrganismos para a degradação de qualquer composto, desde que se reúnam as condições adequadas. Utilizar métodos biológicos é, afinal, apenas imitar o que a natureza tem feito desde sempre.

A purificação biológica de efluentes gasosos pode vir a tornar-se tão importante e indispensável como os tratamentos biológicos de efluentes líquidos. As propriedades dos biocatalisadores, nomeadamente a sua alta afinidade pelo substrato, permitem a sua utilização mesmo com baixas concentrações de poluente. A temperatura de trabalho, habitualmente próxima da ambiente, e os produtos inofensivos da oxidação dos resíduos (poluentes orgânicos +  $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \text{calor} + \text{biomassa}$ ) são os seus grandes trunfos.

A taxa de remoção pode ser limitada pelos processos difusivos ( $Ar \rightarrow \text{Água} \rightarrow \text{Biofilme} \rightarrow \text{Célula}$ ), ou pela actividade biológica. Se os microrganismos forem capazes de degradar completamente o material absorvido pela água, então o processo é controlado pela difusão. É fundamental garantir um caudal mínimo de humedecimento.

##### 6.1. Sistemas com biomassa suspensa

Os microrganismos encontram-se em suspensão na fase líquida, como nos tanques de lamas activadas.

##### • Biolavadores

O princípio das câmaras de chuveiros (scrubbers), tem por base um sistema que transfere partículas de um gás para um líquido, por contacto do gás poluído com gotas do líquido. O fluxo pode ser feito transversalmente (fluxos, gasoso e líquido, perpendiculares), em contra-corrente (fluxos paralelos com sentidos opostos) e, por fim, em co-corrente (paralelos e no mesmo sentido).

A forma mais representativa dos reactores de biomassa suspensa é o Biolavador. É uma câmara de chuveiros biológica (também chamada coluna de

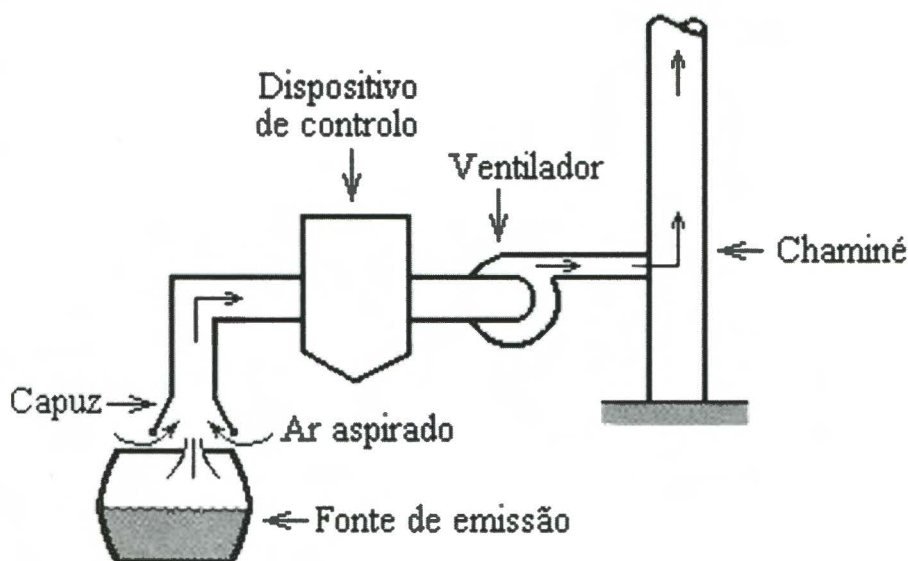


Figura 2 - Sistema típico de controlo (adaptado de Nevers, 1995)



aspersão biológica ou "bioscrubber"). A corrente gasosa é lavada, habitualmente em contra-corrente, numa câmara de chuveiros de água, dando-se a transferência do poluente e do  $O_2$  para a fase líquida. Esta é então dirigida para um tanque de lamas activadas (ou equivalente), onde os microrganismos metabolizam o poluente, num processo denominado regeneração.

Exigem muito menor área que os Biofiltros e permitem praticar caudais mais elevados. São bastante indicados se os compostos forem muito solúveis, mas consomem muita água no caso dos pouco solúveis.

Têm sido usados em processos como o tratamento de gases dos fornos das indústrias de esmalte (álcoois, glicóis, cetonas, etc.) e gases de incineradoras e fundições (aminas, fenol, formaldeído, amónia, etc.).

## 6.2. Sistemas com biomassa fixa

A imobilização das células em suportes permite acumular maior quantidade de biocatalizador, aumentando a produtividade, pois a biomassa não é arrastada pela corrente líquida. O microambiente criado pelo biofilme altera o metabolismo do microrganismo, dando-lhe maior resistência a condições mais agressivas ou de carência.

### • Biofiltros

São o sistema mais usado. Apresentam a máxima área de transferência, são baratos (leito, consumo de água e electricidade), mas os caudais específicos são baixos e exigem grandes áreas superficiais. Foram usados inicialmente (década de 50) para desodorização em estações de tratamento de águas ou estações de compostagem. Hoje usam-se para tratar gases orgânicos como COVs ou HC, mas também para inorgânicos como  $NH_4^+$  ou  $H_2S$ . Degradam melhor compostos de baixa massa molar, mais solúveis e com ligações simples. Constam de uma camada de material biologicamente activo, habitualmente de origem natural, espessura de 1.0 m a 1.5 m, com áreas que vão desde 1  $m^2$  a 3000  $m^2$ . Os caudais a tratar podem atingir 300 000  $m^3/h$ , sendo os tempos de residência da ordem dos 15 s a 60 s. A concentração de poluente na entrada pode ir desde 0.01  $g/m^3$  até 10  $g/m^3$ , sendo remoções típicas de poluente, em relação ao volume de filtro, 10  $g/(m^3/h)$  a 200  $g/(m^3/h)$ . As eficiências de remoção variam entre 60 % e 100 %. Podem ser fechados, localizados sobre o solo, ou abertos no subsolo.

Deve-se garantir 30 % a 60 % de humidade. O material utilizado no leito

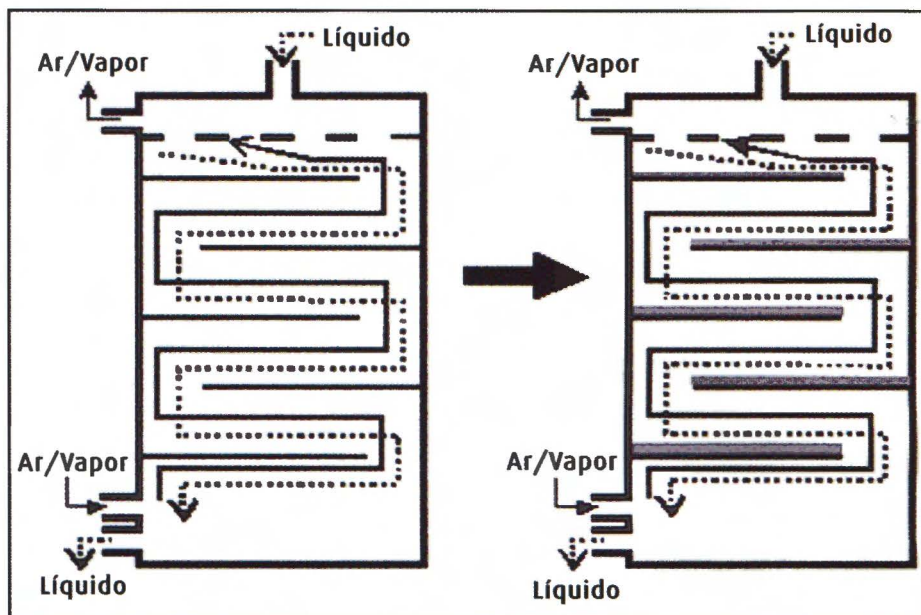


Figura 3 - Esquema reduzido (5 pratos) do formato interno de um módulo, com os trajectos dos fluidos e o crescimento da biomassa sobre os pratos

fornece os nutrientes inorgânicos e a microflora (sobretudo bactérias e fungos). Após vários anos de operação, tem de ser renovado devido a colmatção. Os enchimentos são, na maior parte das aplicações, à base de composto, turfa, fragmentos de arbustos como a urze, ou misturas dos anteriores com esferas de vidro, grânulos de polistireno, polietileno ou carvão activado. Estas misturas destinam-se a minimizar as resistências aerodinâmicas.

O controlo do pH é bastante difícil, se houver produção de intermediários ácidos (e. g., ácido acético), com a consequente acidificação do filtro. Compensa-se esta ocorrência misturando produtos alcalinos, como o carbonato de cálcio, com o material do leito.

### • Biopercoladores

Permitem o máximo caudal e têm níveis de purificação e resistências aerodinâmicas semelhantes aos Biolavadores, desde que utilizem enchimentos adequados (e. g., materiais poliméricos porosos ou carvão activado granulado). Também denominados leitos ou filtros percoladores, ou, ainda, colunas de percolação, são colunas com enchimento, às quais se acrescenta a fase biológica, que fica aderida nas partículas de suporte que constituem o enchimento. É um sistema com quatro partes distintas: uma corrente gasosa ascendente, uma corrente líquida descendente, uma fase sólida de suporte, e a biomassa. Este representa o estado de maior complexidade de uma coluna com enchimento, sobretudo se a fase biológica incluir várias populações e se os compostos a

tratar também forem múltiplos. Com filmes biológicos, o tipo de empilhamento dos suportes é de extrema importância.

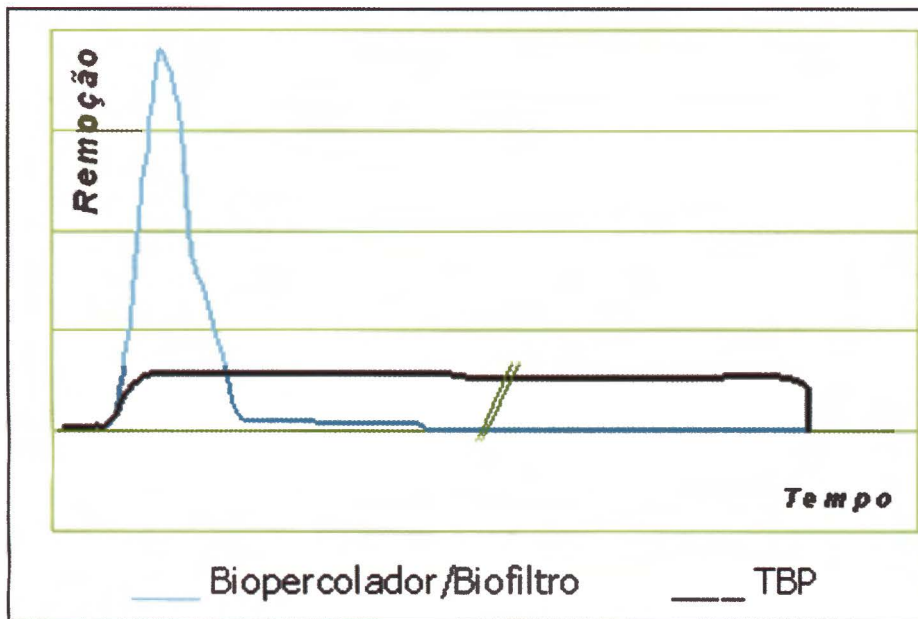
Na coluna (área de contacto de 100  $m^2/m^3$  a 300  $m^2/m^3$ ), dá-se a transferência dos poluentes solúveis e do oxigénio da corrente gasosa para a fase líquida e, simultaneamente, a regeneração por oxidação biológica. Água, com nutrientes inorgânicos, é continuamente fornecida no topo da coluna, garantindo o aporte necessário de nutrientes e humidade. Além disso, promove uma mais rápida difusão dos nutrientes no biofilme.

A fixação das bactérias, pode levar ao bloqueamento da coluna, se houver formação excessiva de biomassa. Aumentar a turbulência, com caudais de líquido acima do ponto de inundação, com elevadas tensões de corte, resolve transitoriamente o problema, mas abala o biofilme e liberta porções deste, que é necessário retirar da coluna. Exige paragem do processo e instalação de potência adicional para o bombeamento. O uso de anéis de maiores dimensões atrasa, mas não resolve o problema. Limitações nutricionais também não são eficientes. Os empacotamentos orientados, apesar de uma pequena perda de conversão, revelaram-se como a melhor solução.

### • Torre biológica de pratos, TBP

Um dos grandes erros na transposição de reactores de processos físico-químicos para biológicos é esquecer que não se pode tirar qualquer conclu-





**Figura 4 - Curvas simbólicas da evolução do desempenho de reatores em que ocorre formação de canais preferenciais e colmatção, comparadas com a curva correspondente dum TBP.**

são quanto ao desempenho do mesmo reactor, depois de se incluir a fase biológica. Um bom reactor físico-químico pode ser, e é muitas vezes, um péssimo reactor biológico. O uso de biopercoladores já tinha provado que as questões dos desprendimentos de biofilme, os canais preferenciais e a colmatção do leito eram ocorrências sempre presentes e de difícil resolução. Estas deficiências não existem na TBP.

Trata-se de um conjunto (módulos) de torres com pratos horizontais paralelos, com abertura de um dos lados (figura 3), ficando a biomassa aderida na face superior de cada prato. O líquido desce, ora em plano ora em cascata, mudando de direcção em cada prato. A corrente gasosa segue na direcção oposta, subindo. Para remover excessos de biomassa do interior do reactor, não é necessário parar a operação, ou abalá-la severamente, como nos biopercoladores. Ao contrário do que se passa com os biofiltros, cujo enchimento (contendo a biomassa) tem de ser rejeitado, após um certo tempo de operação, a biomassa é retirada na forma de uma fase sólida muito rica em água, ou seja, como um biofilme aderido aos pratos e, por isso mesmo, de fácil manipulação. Não é possível haver trajectos preferenciais, sendo a área disponível aproximadamente constante ao longo de toda a operação. A figura 4 interpreta o facto de a área disponível num biopercolador/biofiltro ser bastante grande inicialmente, mas também decair rapidamente, à medida que a biomassa se instala, diminuindo a remoção de forma proporcional. Um módulo suplen-

te substitui qualquer módulo onde a biomassa atinja quantidades que perturbem o bom funcionamento, pelo que o processo se mantém virtualmente para sempre.

A TBP conjuga num só espaço os vários princípios de reatores físico-químicos e biológicos. São um sistema de biodiscos (colonizados apenas numa das faces); a transferência gás-líquido faz-se usando o princípio das câmaras de aspersão, combinando fluxos em contra-corrente (sobre os pratos) com transversais (nas cascatas); são colunas com enchimentos, se se supuser que as partículas do enchimento são os próprios pratos; são uma torre de pratos, dado que os fluxos são semelhantes, apesar de não haver orifícios nos pratos (borbulhadores).

Deixa de haver os desprendimentos descoordenados de biofilme, como acontece nos biodiscos, não há os eternos problemas de colmatção e formação de canais preferenciais das colunas com enchimentos e Biofiltros, e a inexistência de um tanque de lamas activadas e clarificador, sempre necessários nos Biolavadores e nos Biopercoladores, veio simplificar muito o processo. O facto de as lamas serem retiradas em estado quase sólido, apesar de conterem 90 % de água, facilita imenso os processos de tratamento de lamas.

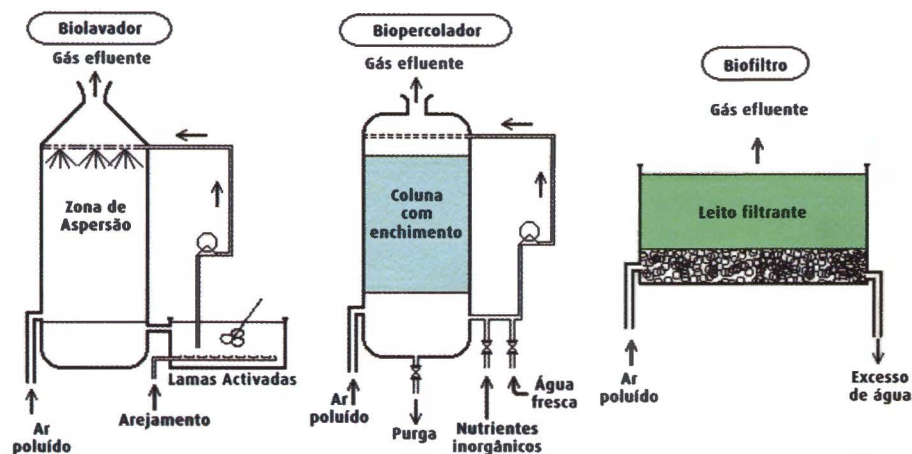
Tratando-se de um reactor confinado, sem hipótese de fuga de vapores indesejáveis para o ambiente local da instalação, isso permite usar vapores perigosos, e a presença dos biofilmes dentro do reactor permite o seu eventual tratamento se houver utilização de microrganismos que seja indesejável ou arriscado deixar sair do reactor para o espaço circundante, como é, nomeadamente, o caso dos OGM.

A tabela 1 resume as características e a figura 5 esquematiza os reatores biológicos.

### 6.3. Os microrganismos

Solos contaminados com os poluentes que, posteriormente, utilizam como substrato, lamas de ETAR ou o recurso a bancos de espécies (e. g., ATCC) são as origens dos microrganismos usados na inoculação dos reatores biológicos. Como a degradação de xenobióticos é facilitada se houver menor diversidade de poluentes, o uso de vários andares (módulos), com grupos microbianos seleccionados e adaptados para cada tipo ou grupo restrito de poluentes, facilita a criação de condições óptimas.

O género *Pseudomonas* (*P. putida*, *P. fluorescens*, *P. cepacia*) é um dos mais



**Figura 5 - Representação esquemática dos reatores biológicos**



		Fase Aquosa			
		Móvel	Estacionária		
FLORA MICROBIANA	Dispersa	Biolavador		Aspersão	TIPO DE COLUNA
	Imobilizada	Biopercolador TBP	Biofiltro	Enchimento Pratos	
		Fornecidos com água	Material do enchimento		
FONTE DE SAIS MINERAIS					

Tabela 1 - Características (4 entradas) distintas dos sistemas biológicos de purificação do ar

utilizados em estudos de degradação de aromáticos e outros HC. Os representantes são conhecidos pela versatilidade de crescimento em variadíssimas fontes de carbono. Algumas estirpes degradam, conjuntamente, fenol e cianeto, com uma eficiência que depende muito da adaptação prévia das bactérias àqueles substratos (Seigneur et al., 1993). Estas características, associadas à produção de polissacarídeos para fixação a suportes, explica a preferência por espécies deste género. Outras espécies descritas pertencem a géneros tão variados como *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Nocardia*, *Corynebacterium* e *Alcaligenes*. As bactérias começam por degradar os compostos mais acessíveis. A presença permanente de vários compostos pode inviabilizar a utilização dos mais resistentes à degradação.

#### 6.4. Processos físico-químicos vs processos biológicos

O uso de um ou outro tipo de sistemas depende sobretudo da análise económica da situação real. Há um campo definido em que a análise económica favorece o uso de reactores biológicos, em vez de físico-químicos. Os biológicos devem ser preferidos na região de concentrações baixas (até 5 g/m<sup>3</sup>) e para caudais desde baixos até bastante elevados (figura 6).

#### Bibliografia

• Gaete, H. I. R. (2001). Desarrollo de un biofiltro de soporte ordenado para tratamiento biológico de gases. Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química.

• Kiely, G. (1997). Environmental Engineering. The McGraw-Hill Companies, Berkshire, England.

• Kostelz, A. M.; Sears, G. (1996). What are the "Real Opportunities" in biological gas cleaning for North America? Air & Waste Management Association 89th

Annual Meeting & Exhibition. Nashville, Tennessee, USA.

• Nevers, Noel de (1995). Air Pollution Control Engineering. McGraw-Hill Int. Ed., Civil Eng. series.

• Rafson, H. J. (ed.) (1998). Odor and VOC control handbook. McGraw-Hill, New York.

• Seigneur, C.; Mottier, V.; Pulgarin, C.; Adler, N.; Péringier, P. (1993). Biodegradation of Xenobiotics in a Fixed Bed Reactor. In Environmental Progress, Volume 12, N.º 4, p.p. 306-311. ●

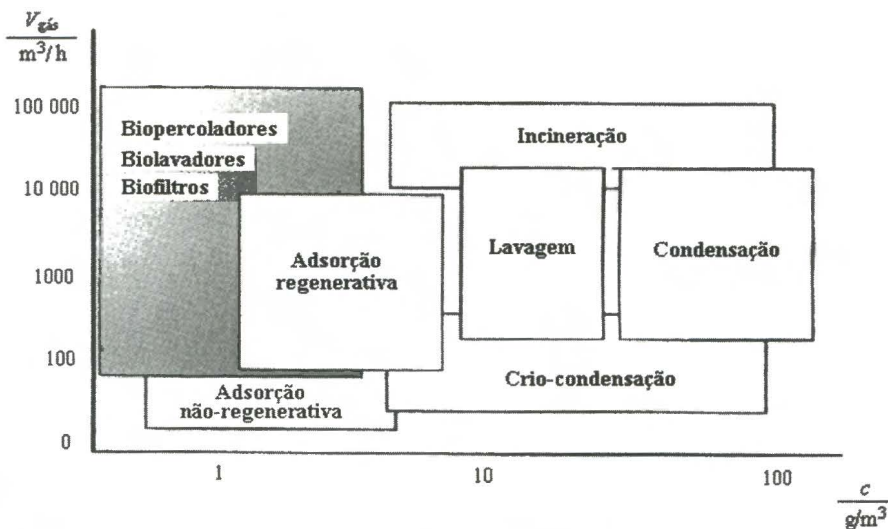


Figura 6 - Zona de aplicação dos distintos sistemas de tratamento de gases contaminados (adaptado de Kostelz e Sears, 1996)

## cupão de assinatura

Nome \_\_\_\_\_

Morada \_\_\_\_\_

Código Postal \_\_\_\_\_ Localidade \_\_\_\_\_

Telefone \_\_\_\_\_ n.º contribuinte \_\_\_\_\_

Pretendo assinar o boletim "Valorização de Resíduos" pelo período de dois anos (4 números) – 5 € / números \_\_\_\_\_ a \_\_\_\_\_ (indicar o n.º a partir do qual pretende dar início à assinatura)

Junto envio cheque n.º \_\_\_\_\_ no montante de \_\_\_\_\_ € , sobre o banco \_\_\_\_\_

Data \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Assinatura \_\_\_\_\_

Preencher devidamente este cupão ou fotocópia e enviá-lo num sobrescrito para:  
Boletim Valorização de Resíduos, CVR – Centro para a Valorização de Resíduos,  
Campus de Azurém da Universidade do Minho – 4800-058 Guimarães