

E-book Gratuito

Tecnologias Básicas para Tratamento de Efluentes Industriais



2024





APRESENTAÇÃO

Caro leitor(a)

Ficamos felizes por você ter chego até aqui, isso demonstra o seu interesse em conhecer um pouquinho sobre o **tratamento de efluentes industriais, em especial no Estado do Paraná.**

Nas próximas páginas, traremos um conteúdo chave e de maneira simplificada para você entender a dinâmica de tratamento de efluentes industriais.

A ideia é transmitir esse conteúdo de maneira fácil e intuitiva para que você consiga entender os desafios quando se trata de encontrar a solução adequada para o tratamento de seus efluentes.

Venha com a gente!

EQUIPE DMB

Fernando Fernandes Marcos Rodrigues

Mauricio Bortoloti Paula Yuri Taniwaki



CONHEÇA-NOS

A DMB Tratamento de Efluentes e Resíduos é uma empresa que opera desde 2020, localizada em Londrina (PR) e que tem como objetivo oferecer **serviços de qualidade voltados ao tratamento de resíduos sólidos e efluentes orgânicos não perigosos**.

Nosso valores

Excelência, Ética Ambiental, Inovação, Relacionamento, Flexibilidade, Resiliência e Compromisso.

Nosso Propósito

É garantir o tratamento de efluentes e resíduos de maneira sustentável colaborando com a cultura ESG, economia circular e assim promovendo um meio ambiente mais equilibrado e saudável.

Visão de Futuro

Ser a empresa referência em gestão global de efluentes e resíduos no norte do Paraná, estruturada e consolidada com uso de tecnologias avançadas até 2026.

Em 2024 conquistamos o **Selo Sesi ESG em Foco**, motivo de muito orgulho para nossa equipe.

Acompanhe-nos nas redes sociais para estar por dentro dos nossos outros conteúdos e projetos!

SUMÁRIO



DADOS BÁSICOS	1
PRÉ-TRATAMENTO E TRATAMENTO PRELIMINAR	2
TIPOS DE TRATAMENTO	3
PROCESSOS BIOLÓGICOS DE TRATAMENTO	3
SISTEMAS ANAERÓBIOS	3
SISTEMAS AERÓBIOS	4
PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS	5
REMOÇÃO DE METAIS PESADOS	6
REMOÇÃO DE NUTRIENTES	6
REMOÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS TÓXICOS OU MICROPOLUENTES	7
PROCESSOS DE MEMBRANAS FILTRANTES	8
CONCLUSÕES	9

DADOS BÁSICOS

Este e-book foi desenvolvido para fornecer uma **visão técnica** sobre o tratamento otimizado de **efluentes líquidos industriais**. Desde a geração dos efluentes até o tratamento final e a gestão do lodo. Exploraremos abordagens práticas e inovadoras para maximizar a eficiência e sustentabilidade no tratamento de efluentes industriais.

Dependendo da natureza da indústria, **vários** tipos de **poluentes** podem estar presente em seus efluentes líquidos: matéria orgânica solúvel, sólidos em suspensão, óleos e graxas, compostos orgânicos tóxicos, metais pesados, colorantes, entre outros.

A **caracterização do efluente é o primeiro passo** para se pensar no tratamento: se a indústria produz efluentes com carga orgânica, os parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) são fundamentais. O pH, teor de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo também são fundamentais. O teor de OG (óleos e graxas), série de sólidos (sólidos suspensos, sedimentáveis e totais) são igualmente importantes. Caso a indústria utilize produtos específicos em seus processos, estes também devem ser dosados (sulfitos, detergentes, etc) ou metais pesados ou componentes orgânicos tóxicos.

Além da caracterização do efluente, o **estudo preciso das vazões** geradas ao longo do dia se faz necessário, pois é comum que elas apresentem **grandes variações**. Neste caso é preciso dimensionar um

tanque de equalização, que além de permitir a saída de uma vazão constante para o sistema de tratamento, irá homogeneizar o efluente, tornando suas características mais regulares. Este levantamento pode ser feito medindo-se as vazões ao longo do dia, a cada 30 minutos, lançando-as num gráfico de tempo x vazão. O bom conhecimento do processo de produção fornece também informações se o efluente terá alterações em sua vazão e composição.

Portanto, os dois **requisitos fundamentais** para um projeto de sistema de tratamento de efluentes líquidos são: a definição mais precisa possível das vazões e definição da composição do efluente.



Também é importante um levantamento do processo produtivo, juntamente com um **técnico** que conheça bem o processo, para avaliar a possibilidade de **redução de vazão**, e eventualmente separação de linhas diferentes de efluentes. Isto porque muitas vezes **ocorre a mistura** de um efluente mais poluente com outro, menos poluente (*end of pipe*), o que pode complicar muito o sistema de tratamento, visto que efluentes de menor potencial poluidor podem ser tratados com menor custo.

Nesta fase, faz-se necessária a avaliação de possibilidade de **reuso** do efluente ou parte dele. Às vezes o efluente gerado em parte do processo de produção pode ser usado em outra fase com um tratamento simplificado. Mas cada caso é um caso e deve ser avaliado individualmente.



Estas providências devem fazer parte da **boa gestão** da empresa, principalmente numa época em que o recurso água passa a ser escasso e caro. Portanto, minimizar a geração de efluentes e pensar no seu reuso fazem parte dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU e dos valores da própria empresa, tanto numa visão ESG, como uma política geral de produção sustentável.

A seguir, abordaremos aspectos relacionados aos tipos de tratamento de efluentes industriais.

PRÉ-TRATAMENTO E TRATAMENTO PRELIMINAR

No pré-tratamento, o objetivo é controlar as variações de vazão, equalizar o efluente e neutralizar o pH, caso ele não esteja próximo do valor de neutralidade ($\text{pH}=7,0$). Ou seja, é o de **preparar** o efluente da melhor forma possível para iniciar o processo de tratamento propriamente dito.

Comumente esse processo é realizado em um **tanque de equalização** ou mistura que deve ter um sistema de misturador que pode ser mecânico ou com aeração, para que o líquido seja adequadamente misturado. Caso o efluente contenha sólidos grosseiros, estes podem ser removidos com uso de peneiras, grades ou caixas de areais. Caso o efluente contenha óleos e graxas, estes componentes podem ser separados numa caixa separadora.

TIPOS DE TRATAMENTO

Nesta fase o efluente está pronto para entrar no processo de tratamento, cuja **concepção** depende das fases anteriores. O sistema de tratamento mais adequado deve levar em conta o **tipo** de efluente e o **nível de tratamento** que se pretende chegar.

No mínimo, o efluente tratado deve atender aos parâmetros de lançamento fixados pela **Licença Ambiental de Operação e Outorga de Lançamento de Efluentes** do empreendimento. Porém, o nível de tratamento pode ir além disso, caso a empresa decida fazer o reuso do efluente.

PROCESSOS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO

O tratamento biológico visa a remoção da carga orgânica poluente do líquido, através do **metabolismo microbiano**. Os processos de biodegradação ocorrem na natureza, sendo que do ponto de vista da engenharia, o que se busca é **otimizar** o rendimento da atividade biológica através de dimensionamentos adequados em função da vazão a ser tratada, carga orgânica e volumes adequados nos tempos de detenção hidráulicos previstos (TDH).



SISTEMAS ANAERÓBIOS

Os processos de biodegradação da matéria orgânica ocorrem através de duas vias: a **via anaeróbia e via aeróbia**. Os processos **anaeróbios** ocorrem quando no meio líquido **não há oxigênio** disponível para a respiração microbiana, o que envolve a ação de outros aceptores de elétrons inorgânicos (NO_3^- , SO_4^{2-} ou CO_2).



Um ponto interessante do processo anaeróbio é que um de seus subprodutos é o **biogás**, uma mistura de gases (CH_4 , CO_2 , H_2O , H_2S , NH_3), onde se destaca o **metano** (CH_4), que tem alto poder calorífico e pode ser usado como combustível. Para isto é necessária a purificação do biogás, que dependendo do grau de purificação, pode levar ao biometano, com composição quase total de metano e características iguais ao gás natural, podendo ser usado nos mesmos tipos de aplicação.

Porém, o CH_4 , caso liberado diretamente à atmosfera **tem capacidade 21 vezes maior** que o CO_2 para provocar o Efeito Estufa, ou seja, o metano é muito interessante como fonte de energia, porém se liberado à atmosfera é muito mais danoso.

O processo de biodigestão anaeróbia, sob o ponto de vista bioquímico é complexo, passando por várias fases (acidogênese, acetogênese e metanogênese), o que mostra a necessidade de controle na operação para que o processo seja otimizado.

Historicamente, os processos anaeróbios **foram os primeiros** a serem utilizados para o tratamento de efluentes (fossas mouras), antes mesmo que a humanidade conhecesse a existência de bactérias. Posteriormente estes sistemas primitivos deram origem a reatores mais elaborados (tanques Imhof), de fluxo horizontal.

Na **década de 1960**, estudos com reatores de fluxo ascendente, que mantinham a biomassa em suspensão, apresentaram rendimentos muito melhores e deram origem **a toda uma geração** de reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB - Up Flow Anaerobic Sludge Blanket, RALF - Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado, etc). Estes reatores são muito utilizados para tratamento de esgoto sanitário e efluentes industriais, uma vez que suportam altas cargas orgânicas e

em custos reduzidos de operação, já que não necessitam de energia elétrica para aeração. Esses modelos de reatores utilizam um efluente bastante diluído, como o esgoto sanitário.

Os chamados biodigestores operam com carga orgânica mais concentrada que o exemplo citado acima. Neste tipo de aplicação, geralmente o objetivo é a **produção de biogás**, e são muito aplicados ao tratamento de efluentes e resíduos agroalimentares, da indústria de alimentos, etc.

SISTEMAS AERÓBIOS

Neste caso, **há oxigênio disponível** no meio líquido e são as bactérias aeróbias que realizam o processo de biodigestão. Para que o oxigênio esteja sempre disponível, o líquido passa por algum processo de aeração.

O tratamento biológico de efluentes permite um rápido crescimento



dos microrganismos e atingem eficiências melhores que os processos anaeróbios, além de **gerarem menos odor que os anaeróbios**.

Na perspectiva da engenharia, **existem várias técnicas** de aeração, o que geralmente define o tipo de tratamento aeróbio a ser utilizado. O sistema mais comum é conhecido como **lodo ativado**, no qual o líquido passa por um tanque de aeração, e onde há um grande crescimento da biomassa e conseqüentemente degradação da matéria orgânica. Após o período de aeração, **em média 8 horas**, o líquido passa por um decantador secundário, onde a biomassa, que forma o lodo ativado, uma vez que são bactérias, é separada do meio líquido pelo processo de **sedimentação**. Uma parte deste lodo retorna ao tanque de aeração (lodo de retorno) e uma parte é descartada como lodo em excesso.

O lodo de retorno é controlado, para que a concentração de bactérias no tanque de aeração seja sempre a ideal, permitindo a rápida degradação da poluição orgânica.

O **líquido sobrenadante** do decantador secundário é o efluente tratado e pode ser lançado no **corpo receptor** ou passar por outro processo de tratamento caso necessário. O sistema aqui descrito é conhecido como lodo ativado convencional.

Existem vários tipos de aeradores e vários tipos de concepção de tratamentos aeróbios. Mesmo dentre os lodos ativados, há os sistemas de fluxo contínuo ou batelada, os sistemas de aeração pro -

longada, lagos aeradas, filtros biológicos de alta taxa, etc.



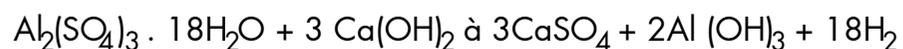
PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS

Neste tipo de tratamento são empregados produtos químicos, chamados de coagulantes primários (sulfato de alumínio, cloreto férrico, PAC...) com o objetivo de provocar a coagulação de pequenas partículas suspensas no líquido, **formando flocos**, que podem ser removidos após sedimentação ou flotação. A estabilidade dos flocos (coloides) se deve à neutralização de forças elétricas repelentes, provocadas pelos coagulantes, o que permite que os flocos sejam separados da fase líquida.

A dosagem correta do coagulante, em função do tipo de efluente é

obtida através de um ensaio conhecido como “Jar Test” ou ensaio de jarros. Este equipamento é dotado de recipientes (jarros), com sistema de agitação controlada, onde geralmente 5 amostras do efluente são colocadas em condições padrão e feita a adição de diferentes doses do coagulante, com agitação controlada, em várias faixas de pH, visando obter a condição ótima de coagulação. Como a coagulação depende da anulação de cargas elétricas, **a falta ou excesso de coagulante pode inviabilizar o processo.**

A reação química entre o coagulante e o líquido se faz através da alcalinidade deste último, ou seja, se o efluente apresentar baixa alcalinidade é preciso adicionar um agente alcalinizante para que a reação ocorra. Por exemplo, se o coagulante for o sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ (molécula hidratada), ocorre a reação:



Em alguns casos, também são empregados auxiliares de floculação (aniônicos ou catiônicos), com a função de aglutinar os flocos e facilitar a sedimentação ou flotação.

O tratamento físico-químico é **versátil** e pode ser usado antes ou depois do tratamento biológico, dependendo dos objetivos.

Do ponto de vista da engenharia, o tratamento físico-químico necessita de duas fases: **mistura rápida** (mistura do coagulante no efluente a ser tratado) e **mistura lenta** ou floculação (formação de flocos).

Na sequência é necessário que o líquido passe por um decantador ou flotador para que a fase sólida seja **separada** da fase líquida. A fase sólida é o lodo físico-químico, que deve ser removido, desaguado e descartado corretamente.

REMOÇÃO DE METAIS PESADOS

Quando o efluente tem metais pesados em sua composição (mercúrio, chumbo, cromo, zinco, níquel, cádmio, etc) estes geralmente são removidos por precipitação química, na forma de hidróxidos, utilizando-se cal ou outro agente alcalinizante.

Os metais pesados precipitam desta forma entre pH 7,0 e 11,0 e sendo que o pH ótimo de precipitação depende do metal. A partir do tipo de efluente, é preciso remover outros componentes previamente à precipitação dos metais.

As reações químicas envolvidas podem ser mais ou menos complexas e dependem dos poluentes contidos no efluente, às vezes necessitando de redução química, como no caso do cromo.

Mais uma vez, deve-se enfatizar a importância da boa **caracterização da composição do efluente**, antes de se pensar no tipo de tratamento a ser adotado.

REMOÇÃO DE NUTRIENTES

Os nutrientes (macro e micro) são compostos que podem estar presen-

tes nos efluentes orgânicos ou não. Principalmente o **nitrogênio (N)** e o **fósforo (P)** são os nutrientes mais relevantes, pois se estiverem presentes no efluente acima de determinados níveis, quando o efluente é lançado no corpo receptor, servem de alimento para algas, resultando no fenômeno de **eutrofização**, que se traduz como um crescimento excessivo de algas no corpo receptor, que é uma forma de carga orgânica e, portanto, poluição.



O nitrogênio pode ser removido no tratamento biológico aeróbio, estendendo-se a aeração além da degradação da carga orgânica, de forma que o nitrogênio orgânico e amoniacal **sejam oxidados** na forma de nitritos e depois nitrato. Este aumento de aeração pode ser 100% a mais que a aeração necessária para degradar a matéria orgânica, o que implica em custos adicionais de aeração e dimensionamento dos tanques, uma vez que o efluente ficará retido por um tempo maior de aeração.

Uma vez oxidado, para serem removidos, nitritos e nitratos precisam

passar por uma fase anóxica, ou seja, por um período curto de **ausência de oxigênio** no meio líquido. Para isto deve-se cortar a aeração do sistema por um período variável, que dependerá das características do efluente, podendo variar de 30 minutos a mais de uma hora. Nestas condições os microrganismos irão buscar o oxigênio no nitrogênio que foi oxidado e este sai para a atmosfera como nitrogênio elementar (N₂).

O fósforo também pode ser removido por processos biológicos, mas de forma mais complexa que a remoção de nitrogênio. Por este motivo, muitas vezes, se a remoção do fósforo é necessária, opta-se pela **remoção química**, no tratamento físico-químico.

REMOÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS TÓXICOS OU MICRO POLUENTES

Alguns compostos orgânicos, mesmo presentes em baixa concentração no meio líquido, podem ser tóxicos. Por esta razão, também são chamados de **micro poluentes**, pois sua ação não se revela como DBO, uma vez que são resistentes ao tratamento biológico ou dependendo da concentração, até inviabilizam o tratamento biológico por destruírem a biota presente no sistema.

Esses poluentes incluem moléculas de pesticidas, medicamentos, derivados de petróleo, e outros compostos orgânicos tóxicos. Alguns deles podem até ser cancerígenos.

Estes compostos podem ser removidos por adsorção química, utilizando-se materiais que possuem propriedades adsorventes, tais como os carvões ativados e zeólitas. Estes materiais tem a capacidade de reter moléculas em solução graças às cargas elétricas em sua superfície que não estão neutralizadas.



A **adsorção química** ocorre quando há formação de uma camada mononuclear do contaminante que se deseja remover na superfície do sólido. Já a **adsorção física** ocorre quando há condensação das moléculas poluentes nos vasos capilares do sólido.

A capacidade de adsorção destes materiais é limitada e deve ser **determinada em laboratório**, usando-se os poluentes que se pretende remover, pois uma vez saturado, o material perde a capacidade de retenção e precisa ser substituído ou regenerado.

Existem vários tipos de carvão ativado granulado, que podem ser usados como filtros. Mas há também os carvões em pó que são misturados ao meio líquido e depois separados por sedimentação ou filtração.

Nos dois casos deve ser feito um estudo de laboratório para se definir qual o tipo de carvão a ser usado, sua granulometria e vida útil. A eficiência do filtro também precisa ser monitorada ao longo do processo de tratamento.

PROCESSOS DE MEMBRANAS FILTRANTES

Os processos de filtração por membrana envolvem uma grande diversidade de materiais com poros de diferentes dimensões, indo de ultra filtração até a osmose reversa. Os poros do material filtrante podem variar de 10² a 10⁴ nm de diâmetro e sua eficiência depende das dimensões das partículas que devem ser removidas (microrganismos, coloides, substâncias orgânicas...).

Já a osmose reversa emprega uma membrana semipermeável com grande **diferença de pressão** entre os compartimentos: é o inverso do processo de osmose que ocorre na natureza quando uma membrana semipermeável **permite a passagem da água** de uma solução menos concentrada para a mais concentrada. Aqui o processo ocorre de forma inversa graças ao grande diferencial de pressão.

Como pode ser observado, o tipo de equipamento e a definição do tipo de membrana **depende das características** do efluente bruto e o nível de tratamento pretendido.

Os processos envolvendo membranas permitem obter efluente tratado de **alta qualidade**, porém é necessário lembrar que as membranas tem que ser regeneradas, ou seja, têm vida útil e deverão ser substituídas.

Embora o preço das membranas tenha caído nos últimos anos, ainda é um **material caro** e por esse motivo, muitas vezes o tratamento com membranas é associado a outro tipo de tratamento, de menor custo. Tal estratégia permite remover parte da carga poluidora, de forma que o efluente ao entrar no tratamento de membranas já tenha uma carga poluente menor e que conseqüentemente aumenta a vida útil das membranas.

Por outro lado, parte do efluente bruto fica retida no sistema na forma de um **efluente mais concentrado**, cujo tratamento é ainda mais difícil.

CONCLUSÕES

Este texto apresenta de forma resumida as principais **tecnologias** empregas nos processos de tratamento de efluentes industriais. Existem outros processos ainda em fase de consolidação como a oxidação avançada, com uso de reagente de Fenton, por exemplo, ou processos oxidativos com uso de ozônio, não abordados aqui.

A ideia era contextualizar você leitor com uma apresentação geral dos processos, e mostrar a necessidade do desenvolvimento de um projeto específico permeado de procedimentos detalhados e técnicos, levando em conta as vazões, as características do efluente bruto e o nível de tratamento pretendido.

Ressalta-se a importância de se considerar as características de geração do efluente no processo industrial, visando reduzir as vazões, analisando-se a necessidade de linhas diferentes de efluentes se for o caso e as possibilidades de reuso do efluente tratado, já que a água é um recurso estratégico, importante demais para ser desperdiçado, sendo por isso mesmo um item essencial nos programas de ESG e produção industrial sustentável.

Só depois desta fase é que o projeto de um sistema de tratamento deve ser desenvolvido, e cuja operação deverá ser realizada por um colaborador capacitado, caso contrário não funcionará de forma otimizada.

Finalmente, é preciso destacar que todos os processos de tratamento geram um resíduo genericamente chamada de "lodo", que tem composição variável, e deve ser desaguado e ter um destino final ambientalmente adequado.

Em alguns casos o gerenciamento e destino final do lodo pode representar até 40% do custo de operação do tratamento.



AGRADECIMENTOS

A DMB Tratamento de Efluentes e Resíduos agradece a sua leitura!

Confira todo o conteúdo produzido pela nossa equipe em nosso site: www.dmb.eco.br e siga a nossa página no Instagram e LinkedIn.

Contatos:

Telefone: 43 9 8815-7353 (Fernando) ou 43 9 9131-1979 (Marcos)

Fixo: 43 3341-3803

Endereço: Rodovia Celso Garcia Cid n. 17.385, km 367 - Toyo Sen



WWW.DMB.ECO.BR

