

Curso de Tratamento de Águas Residuárias

RESÍDUOS LÍQUIDOS DAS INDÚSTRIAS — continuação

MAX LOTHAR HESS

Eng. Consultor - São Paulo

CAPÍTULO 20

Operações e processos unitários de tratamento

20.1. Generalidades

As operações e processos unitários de tratamento de despejos industriais apresentam alguns poucos pontos em comum com os aplicados aos resíduos líquidos domésticos. Como êstes pontos foram desenvolvidos em capítulos anteriores dêste curso, nesta parte serão estudados apenas os processos não empregados habitualmente no tratamento de esgotos domésticos.

Na realidade, com exceção do gradeamento, da sedimentação e de alguns tratamentos biológicos, raramente se empregam no tratamento de resíduos líquidos industriais processos empregados para resíduos líquidos domésticos.

20.2. Tratamentos preliminares

Freqüentemente uma indústria se localiza às margens de um rio de grande vazão, podendo os resíduos ser a êle encaminhados sem que produzam fenômenos nocivos de degradação, mesmo por ocasião das secas. Neste caso pode ser suficiente um tratamento preliminar, destinado a auxiliar a autodepuração do curso de água, ou a melhorar o seu aspecto estético.

Entre os tratamentos preliminares mais empregados situam-se a homogeneização, a regularização de vazão e a retenção de sólidos grosseiros.

20.2.1. — Homogeneização.

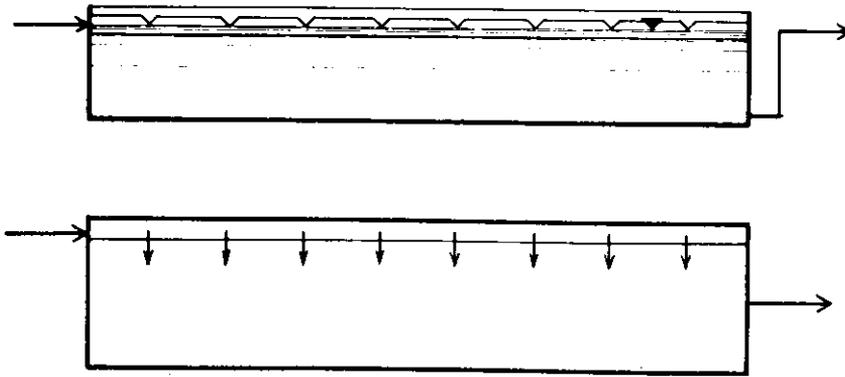
Quase tôdas as indústrias têm resíduos líquidos de composição variável. Estão neste caso em primeiro lugar os estabelecimentos que empregam processos descontínuos de fabricação, como o são os curtumes, as fábricas de sabão, as cervejarias, os laticínios, etc.

As descargas descontínuas causam prejuízos à fauna e à flora aquática, pois podem produzir condições alternadamente eutróficas e atróficas, impossibilitando a adaptação da atividade biológica às condições de lançamento, e com isto retardando a autodepuração.

A homogeneização se efetua através de um tanque de volume suficiente para armazenar os resíduos durante várias horas ou dias, fazendo com que as diferentes descargas se superponham umas às outras, atenuando a variabilidade da composição.

A forma mais simples de um tanque de homogeneização é a de um paralelepípedo longo, sendo o afluente distribuído por meio de uma canaleta longitudinal que o atravessa de lado a lado (fig. 20.1). Outra forma é a de um cilindro de baixa altura, entrando o afluente tangencialmente junto à soleira.

de maneira a imprimir ao líquido um movimento lento de rotação. A saída se dá pelo nível superior (fig. 20.2).

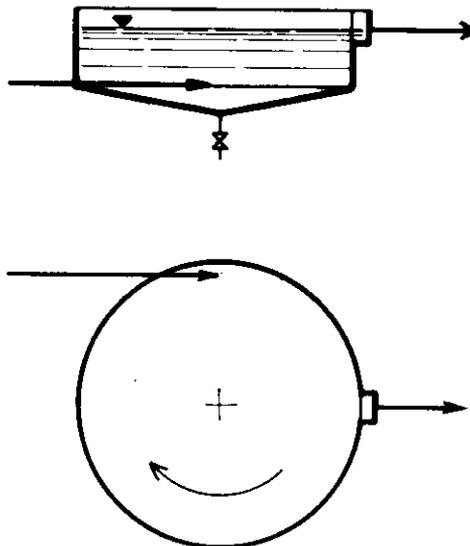


20.1 — Tanque de homogeneização

Quando o resíduo contém sólidos sedimentáveis, o tanque de homogeneização deve ser provido de equipamento que evite a deposição, como agitadores ou borbulhamento de ar. A sedimentação com remoção do lodo traz problemas com a disposição do mesmo.

20.2.2. — Regularização da vazão.

É empregada freqüentemente com as mesmas finalidades da homogeneização e neste caso os tanques são adaptados para ambos os efeitos: vazão e composição constantes.

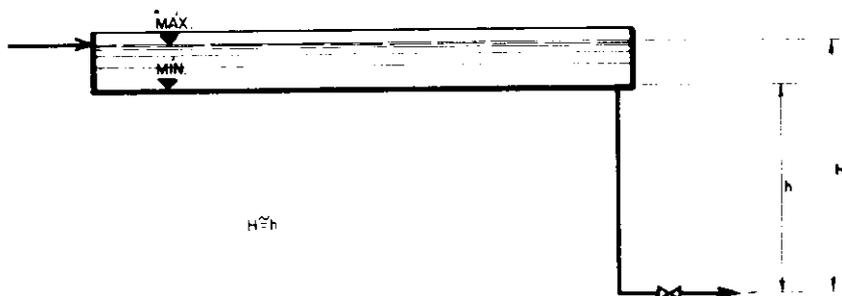


20.2 — Tanque de homogeneização

Os dispositivos de regularização de vazão mais simples são constituídos de tanques de grande superfície e pequena profundidade, com um tubo de descarga munido de válvula regulável, e prolongado verticalmente para baixo de maneira a se ter uma pequena variação de nível, e portanto pequena variação de carga sobre a válvula. Assim sendo, variações bruscas de vazão podem ser quase que totalmente amortecidas (fig. 20.3).

A constância da vazão pode ser também conseguida por uma caixa de nível constante intercalada entre o tanque e a válvula de descarga. Em algumas instalações obtém-se o mesmo efeito pela transferência do afluente acumulado em um tanque ao curso receptor por meio de uma bomba. Outros dispositivos

são fendas verticais associadas a vertedores retangulares, válvulas de operação manual, etc. Não é possível utilizar para este fim os reguladores de vazão co-



20.3 — Tanque para regularização da vazão

mumente empregados em estações de tratamento de água, pois se obstruíam rapidamente na maioria dos casos.

Os tanques de regularização de vazão podem ser empregados para diminuir o volume necessário aos decantadores, pois estes não terão que ser dimensionados pela vazão máxima, e sim pela média. Neste mesmo sentido poderão ser empregados para aumentar a capacidade de uma estação de tratamento existente, acumulando os picos diurnos para encaminhá-los às instalações durante as horas noturnas de menor vazão.

Para os sólidos sedimentáveis são válidas as mesmas observações já feitas para os tanques de homogeneização.

20.2.3. Retenção de sólidos grosseiros em peneiras.

Algumas indústrias empregam peneiras para reter sólidos grosseiros que poderiam causar mau aspecto à água. Algumas vezes pode-se recuperar o material retido, como as fibras de celulose nos recuperadores Bird (peneiras rotativas) das fábricas de papel.

É um processo empregado poucas vezes, por exigir mecanização ou então mão-de-obra muito dispendiosa devido às limpezas freqüentes. Encontram-se peneiras com certa freqüência na indústria de beneficiamento da mandioca, de fibras e em curtumes.

Quando os sólidos são muito grandes (mais de 10 mm de dimensão média), é preferível empregar grades de barras, semelhantes às usadas no tratamento de despejos domésticos, por serem de limpeza mais fácil.

20.3. Tratamentos físicos

São aqueles que aproveitam certas propriedades físicas dos materiais contidos nas águas residuárias, como o peso específico, a temperatura, o magnetismo e outras. A sedimentação está neste caso, assim como a retenção de líquidos insolúveis na água e o resfriamento.

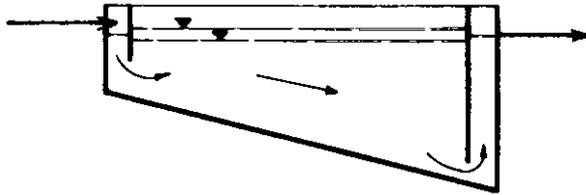
20.3.1. Retenção de óleos, graxas e solventes.

Os líquidos, as pastas e demais corpos não missíveis com a água, mas que têm peso específico menor, e portanto tendem a flutuar na sua superfície, podem ser retidos por dispositivos muito simples, denominados tanques retentores.

Os tanques retentores devem permitir uma permanência tranqüila do resíduo líquido durante o tempo suficiente para que uma partícula a ser removida possa percorrer a distância entre o fundo e a superfície.

Com óleos vegetais, animais ou "minerais", cuja densidade está em volta de 0,8 g/ml, basta a detenção de 3 minutos nas unidades menores (até 10 l/s), de 4 minutos nas médias (até 20 l/s) e de 5 minutos nas maiores (acima de 20 l/s). Este aumento de tempo com o aumento da vazão tem origem no percurso vertical mais longo que as partículas têm que efetuar em decorrência da maior profundidade do tanque (normas alemãs DIN 4040, item 3.1).

O fundo deve ser fortemente inclinado em direção à saída, para evitar o acúmulo de sólidos sedimentáveis. Uma cortina na entrada evita a turbulência e outra na saída, chegando quase a soleira, serve para que os sólidos sedimentáveis sejam arrastados com o efluente para fora do tanque a fim de evitar a necessidade de limpeza (fig. 20.4). As normas alemãs DIN 4040, 4041 e 4042 fornecem subsídios para o dimensionamento de excelentes tanques retentores.



20.4 — Tanque retentor de óleos, graxas e solventes

Os tanques retentores podem ser empregados para a recuperação de solventes arrastados para as canalizações de esgotamento das indústrias. Solventes insolúveis na água muito empregados são benzol, hexana, éter de petróleo, benzina, terebentina, sulfureto de carbono, tetracloreto de carbono, tricloretileno e outros.

A norma alemã DIN 1999 contém dados para o dimensionamento dessas unidades.

Quase todos os solventes são combustíveis, e muitos formam misturas explosivas com o ar, de modo que devem ser tomadas medidas de prevenção de acidentes para a segurança do pessoal de manutenção.

O material retido nos tanques pode ter valor comercial. É por exemplo o caso do sebo recuperado em curtumes e matadouros.

20.3.2. Centrifugação.

As centrífugas estão começando a ser empregadas na concentração de lodos industriais, separando dos sólidos uma grande porcentagem de água, e facilitando a sua disposição final. Um obstáculo à generalização do seu emprego é o preço bastante elevado dessas unidades, bem como o seu consumo de energia. Têm a vantagem de ocupar pouco espaço e de poderem acelerar quase que ilimitadamente o processo de separação de sólidos de peso específico pouco diferente do do líquido. No momento atual ainda não são empregadas para substituir os decantadores, mas pode-se prever que nas indústrias com pouco espaço disponível venham a ser utilizadas para este fim.

20.3.3. Resfriamento.

Existem águas residuárias de temperatura elevada que não permitem a separação satisfatória dos compostos nelas contidos. Neste caso faz-se necessário o resfriamento. É o caso de óleos vegetais removidos com água fervente dos panos de filtros-prensas. Somente com o resfriamento abaixo de 40° C é possível separar completamente o óleo da água. Outros casos semelhantes são os das águas das fábricas de sabão e os das caldeiras de refinação de sebo em curtumes e matadouros.

O resfriamento pode ser efetuado em instalações simples. Quando o volume de águas residuárias não é muito grande, pode-se armazenar o líquido durante várias horas em tanques rasos, de grande superfície. A evaporação baixará a temperatura. Quando a vazão é grande, os tanques de resfriamento iriam ocupar uma área demasiada. Neste caso pode-se provocar um resfriamento rápido fazendo o resíduo escoar em camada delgada sobre uma superfície inclinada. Para melhorar a distribuição, a superfície poderá ser dividida em canaletas. Um dispositivo muito simples e eficiente é constituído por telhas onduladas de cimento-amianto forrando o solo ligeiramente inclinado, com o que se obtém facilmente um conjunto de canais rasos com a extensão desejada.

Tanques de homogeneização ou de regularização da vazão funcionam frequentemente como dispositivos de resfriamento.

20.4 Tratamentos químicos.

São processos frequentemente necessários para preparar o resíduo para um tratamento posterior. Algumas vezes podem constituir um tratamento completo em si.

20.4.1. Neutralização

Despejos com pH muito baixo ou muito elevado são tratados por neutralização, para enquadrá-lo nos limites legais.

Despejos alcalinos podem ser neutralizados pelo gás carbônico contido nos gases queimados das caldeiras ou nos gases da digestão de lodos. Podem ser utilizados também ácidos minerais ou despejos industriais da própria indústria ou de indústrias vizinhas.

Águas residuárias ácidas podem ser neutralizadas passando-as por um leito contendo calcário moído, quando se tratar de acidez mineral não proveniente de ácido sulfúrico. Acidez orgânica é removida em um leito com dolomita moída. Ácido sulfúrico, e de um modo geral os ácidos, podem ser tratados por cal aplicada com dosadores. O calcário e a dolomita têm a vantagem de não exigirem dosadores, pois podem ser empregados em excesso, sem inconvenientes. O mesmo se pode dizer do CO_2 .

Despejos alcalinos contendo sulfuretos, quando tratados por ácidos, mesmo que seja o CO_2 , liberam gás sulfídrico, com o conseqüente problema de cheiros e de poluição atmosférica. Neste caso devem-se precipitar os sulfuretos com sulfato ferroso, sendo que o pH se reduzirá concomitantemente. O sulfureto de ferro formado fica em parte sob a forma coloidal, podendo ser transformado em hidróxido férrico por aeração. Emprega-se este processo no tratamento de despejos de curtumes. O consumo de sulfato ferroso varia entre 50 e 150 mg/l.

20.4.2. Remoção de côr.

A remoção de côr é feita quase sempre com fins predominantemente estéticos. Dois processos principais podem ser empregados para isto: cloração e fixação sobre um suporte sedimentável (flocos). A cloração destrói a maioria dos corantes naturais ou artificiais. Os corantes, principalmente os resistentes à cloração, podem ser fixados sobre flocos de hidróxido férrico nascente formado pela adição de sulfato ferroso ao resíduo submetido à aeração. Na Alemanha usa-se muito este processo no tratamento de águas residuárias de tinturarias. O líquido deverá ter pH superior a 7 para aumentar a velocidade de oxidação. Em pH abaixo de 4 a oxidação dos sais de ferro é praticamente impossível. Em pH=6 ainda é muito lenta.

A côr pode ser removida às vezes pela modificação do pH, precipitando-se corante. A lixívia negra das fábricas de celulose, por exemplo, ao ser acidificada a um pH em volta de 4, precipita um lodo castanho escuro, deixando um sobrenadante transparente e claro, de aspecto e côr semelhante à do vinho branco.

As vezes emprega-se carvão ativado para a remoção de côr.

A ozona (O_3) e o anidrido sulfuroso (SO_2) também funcionam frequentemente como descorantes, mas são de custo mais elevado que o dos demais reagentes citados. Nos casos de descoramento com SO_2 , frequentemente a côr torna a aparecer por oxidação.

20.4.3. Precipitação de colóides.

Os colóides inorgânicos podem ser eliminados pela adição de um eletrólito de carga elétrica oposta à das micelas. Assim, a argila coloidal das indús-

trias de louça pode ser precipitada pela adição de água de gesso. O gesso empregado é o proveniente de moldes inutilizados da própria indústria.

Os colóides orgânicos podem ser precipitados pela variação de pH. As proteínas animais, como as dos curtumes, têm dois pontos iso-elétricos: pH=8 a 8,4 e em pH=6 a 6,5. A água de gesso precipita os sabões coloidais, pela formação de sabão de cálcio insolúvel.

Outro processo de eliminar os colóides orgânicos, quando em suspensão alcalina, é pela adição de sulfato ferroso e aeração para provocar a formação de hidróxido férrico nescente que absorve as micelas. Este processo dá como resultado um efluente perfeitamente hialino.

Em pH abaixo de 7, pode-se empregar sulfato de alumínio como coagulante.

20.4.4. Oxidação de substâncias redutoras.

As substâncias redutoras se combinam com o oxigênio dissolvido nas águas dos rios, podendo provocar condições anaeróbias. Justamente nesta avidez pelo oxigênio e por outros oxidantes é que se baseiam os processos de tratamento.

Normalmente faz-se a aeração do resíduo, borbulhando ar comprimido ou utilizando-se rotores de aeração.

O tempo de aeração depende da afinidade do redutor pelo oxigênio. As vezes deseja-se reduzir ao mínimo esse tempo ou mesmo eliminar o equipamento de aeração. Lança-se mão, então, de um oxidante enérgico, como o cloro. Nas amidonarias de milho em que se emprega o SO₂ como agente estabilizador, há vantagem na cloração antes do tratamento biológico, para que não haja inibição da ação dos microrganismos.

Já nas usinas de açúcar é hábito pulverizar no ar o condensado das colunas barométricas dos cristalizadores, para oxidar o SO₂ e expulsar CO₂, ácido fórmico e outros compostos voláteis.

O sulfureto de sódio empregado na depilação das peles que irão sofrer curtição pode ser oxidado por aeração quando se adiciona sulfato ferroso como catalizador.

Na maioria das vezes, entretanto, bastará a aeração.

20.4.5. Eliminação de substâncias tóxicas.

Não existe um tratamento geral para a eliminação de substâncias tóxicas. Quase tôdas exigem tratamento químico especial, mas algumas podem ser destruídas por atividade microbiológica, como os fenóis e os cianetos.

O cromo hexavalente (cromatos, anidrido crômico) pode ser reduzido a trivalente (sulfato de cromo, p. ex.), cem vezes menos tóxicos, por meio de gás sulfuroso, de bissulfito de sódio ou de metabissulfito de sódio em meio ácido (V. 21.13.)

Os cianetos podem ser totalmente destruídos por meio de cloro em meio alcalino (V. 21.13.).

O cobre precipita em meio alcalino, sob a forma insolúvel de hidróxido ou carbonato de cobre.

Efluentes contendo cobre, zinco, níquel ou cromo não podem ser empregados na irrigação agrícola, mesmo em concentrações muito baixas, porque tornam o solo impróprio para as culturas.

Inseticidas fosforados e herbicidas não têm ainda tratamento satisfatório. A tendência é de fixação contínua destes tóxicos pelos organismos vivos vegetais e animais, isto é, o fósforo se acumula nos tecidos em teores crescentes.

O ácido fluorídrico das fábricas de fertilizantes super-fosfatados é absorvido em salmoura concentrada, originando-se precipitado de fluo-silicato de sódio, que tem valor comercial, servindo de fundente metalúrgico.

O arsênico é ocorrência muito rara, e ainda não tem tratamento eficiente. Existem muitos corantes inofensivos ao homem, mas tóxicos para os organismos aquáticos. A sua remoção poderá ser efetuada como já visto no item 20.4.2.

20.5. Tratamentos fisicoquímicos.

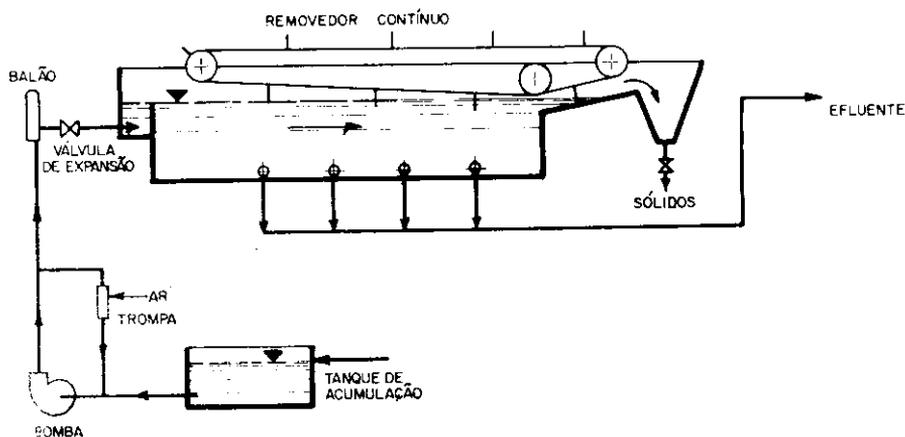
São processos que se desenvolvem lançando-se mão das propriedades fisicoquímicas do meio ou da impureza a ser removida. Os casos mais comuns são os que operam através da fisicoquímica das superfícies, como se verá a seguir.

20.5.1. Flotação.

É o arrastamento de partículas sólidas ou líquidas à superfície, com o auxílio de bolhas microscópicas de ar ou outro gás.

O resíduo líquido é recalcado por uma bomba a um tanque, com altura manométrica de 2 a 4 kg/cm². Na entrada do tanque, coloca-se uma válvula de expansão permitindo que o líquido volte à pressão atmosférica dentro da unidade. Na sucção da bomba, admite-se uma quantidade controlada de ar, que poderá ser introduzida por meio de uma trompa (ejetor) acionada pela própria pressão da linha de recalque. Submetido à pressão do líquido, o ar se dissolve nele. Após atravessar a válvula de expansão, voltando à pressão atmosférica, o ar dissolvido se desprende sob a forma de uma espuma que sobe lentamente à superfície. Aderindo às bolhas de ar, são arrastados para cima sólidos e líquidos de difícil separação, formando uma espuma. Esta é removida por um mecanismo constando de pás horizontais que varrem a superfície de água, removendo os materiais aí acumulados.

O tempo de contacto entre o ar comprimido e a água residuária é de perto de 1 minuto. O tempo de detenção no tanque é de 10 a 15 minutos.



20.5 — Tanque de flotação tipo Sveen-Pedersen

Podem ser separados por flotação materiais de peso específico maior que o da água, como é o caso de fibras de celulose. Um modelo de tanque de flotação muito comum nas fábricas de papel é o Sveen-Pedersen. É uma das unidades mais eficientes para a recuperação de fibras (fig. 20.5.).

Às vezes é necessário juntar ao afluente um coadjuvante de flotação, como a cola animal, ou sabão de breu, ou sulfato de alumínio. Esta adição faz-se então antes da bomba.

O controle de pH é importante na flotação. Fibras de celulose flutam bem em pH entre 5 e 6; óleo mineral emulsificado exige um pH de 4,5. O sabão

flota mal, mas se for acidificado até 4 a 5, liberam-se os ácidos graxos que virão facilmente à superfície.

A flotação é um meio eficiente para remover do efluente os óleos minerais emulsionados.

20.5.2. Adsorção.

A adsorção é um fenômeno de superfície que age seletivamente sobre as substâncias contidas nos resíduos, fixando algumas e não tendo ação sobre outras.

Entre as substâncias adsorventes mais empregadas conta-se o carvão ativado; entretanto o seu preço é quase sempre proibitivo. Há muitos outros materiais fortemente adsorventes, que podem ser empregados no descoramento de resíduos líquidos de tinturarias. Tais materiais são os flocos de hidróxido férrico, as cascas residuárias de extração do tanino, barbatimão, quebracho e acácia negra, a turfa, o carvão de turfa, a cinza, o coque de linhito, minérios de ferro, areia, carvão vegetal, escória de carvão mineral e algumas terras naturais contendo elevados teores de óxidos de ferro.

Todos estes materiais agem a frio, e o tempo de contacto não passa de alguns minutos. Depois são decantados e o lodo é incinerado.

O lodo de tratamentos biológicos tem acentuado poder de adsorção.

Um material adsorvente que se presta muito à remoção de detergentes são os permutadores iônicos granulados. Eles neste caso não agem por trocas iônicas, e sim devido à sua estrutura micro-esponjosa, de grande superfície de contacto. Têm sido relatados casos de remoção de mais de 80% de ABS, que é um detergente "duro" (não biodegradável). Podem ser empregados indiferentemente permutadores aniônicos ou catiônicos.

20.5.3. Remoção de odor e sabor.

Odor e sabor da água tratada para o abastecimento público ou particular, oriundo de despejos industriais, podem ser combatidos na estação de tratamento de água por meio de carvão ativado. Em casos muito graves, entretanto, deve caber à indústria poluidora a correção de tais inconvenientes. A maioria das substâncias que causam gosto ou cheiro pode ser tratada por adsorção, como foi visto no item 20.5.2. O cheiro de gás sulfídrico é completamente removido por cloração. Resíduos aromáticos rebeldes ao tratamento por adsorção, oxidação ou redução devem ser coletados separadamente dos demais e queimados nas caldeiras da indústria. Se for necessário, podem ser concentrados antes de serem injetados nas fornalhas. A oxidação dessas substâncias poderá ser feita por adição de cloro ou de hipocloritos, de ozona ou de permanganato de potássio. A redução, por SO_2 , ou metabissulfito de sódio ou por sulfato ferroso.

Se o cheiro ou o gosto provierem de gases dissolvidos, o tratamento indicado é o do item 20.5.4.

A bentonita tem sido utilizada recentemente para a remoção de odor e sabor.

20.5.4. Expulsão de gases dissolvidos.

Os gases dissolvidos que podem dar origem à corrosão, ao mau gosto e ao mau cheiro, podem ser muitas vezes expulsos por meios simples e econômicos.

Os caso mais comum é o do teor de CO_2 , responsável por muitos danos.

O gás carbônico e outros gases dissolvidos podem ser eliminados por aeração intensa. Esta aeração pode ser feita por pulverização da água residuária na atmosfera, através de bocais sob pressão, ou por meio dos equipamentos destinados à aeração superficial nas estações de tratamento de esgotos (escovas de Kessener, rotores TNO, turbinas de aeração, etc). Por meio destes processos o teor de CO_2 poderá diminuir até 10 mg/l ou menos. Também têm sido empregadas torres de percolação aeradas.

Outros gases que podem ser expulsos desta forma são gás sulfídrico, cloro, amoníaco, além de sólidos e líquidos voláteis.

20.5.5. Contrôlo da corrosividade.

A corrosividade pode ter origem em vários componentes das águas residuárias: CO₂, sais hidrolisáveis, ácidos minerais e orgânicos, alcalinidade, oxigênio dissolvido, etc. Com exceção deste último caso, a agressividade é acompanhada de um pH muito baixo ou muito elevado, e pode-se corrigir este efeito por neutralização (v. item 20.4.1.). O CO₂ pode ser expulso por aeração (V. item 20.5.4).

Em determinadas condições, a água contendo oxigênio dissolvido se torna agressiva. Esse oxigênio é eliminado com sulfito de sódio ou com hidrato de hidrazina. Normalmente só se efetua este tratamento quando se recircula água residuária dentro da indústria.

20.6. Tratamentos bioquímicos e biológicos.

São tratamentos muito econômicos para a remoção de matéria orgânica. Grande parte dos despejos de indústrias de transformação de matéria-prima vegetal e animal pode ser tratada por processos semelhantes aos empregados no tratamento de despejos domésticos, em particular por lodos ativados, valos de oxidação e lagoas de estabilização. Exceção em primeiro lugar as indústrias de beneficiamento de fibras animais e vegetais, como lanifícios, a indústria têxtil, fábricas de celulose e de papel; também não podem ser tratadas eficientemente por esses processos as águas residuárias de curtumes, de tinturarias e de estamparias. A indústria do açúcar e as destilarias de álcool poderiam aplicar os processos convencionais para o tratamento dos seus despejos, mas existem para suas águas residuárias processos mais adequados e já consagrados pelo seu sucesso.

A indústria do sabão e do óleos comestíveis exige algumas alterações profundas na técnica de tratamento.

Os processos habitualmente utilizados para o tratamento de águas residuárias domésticas podem ser empregados, com adaptações de menor importância, aos despejos das seguintes indústrias: amidonarias (de milho, de mandioca e de batatas), cervejarias, maltarias, matadouros, frigoríficos, laticínios e fábricas de conservas de carnes e de polpas de legumes e frutas. As águas de remólho, nos curtumes, se coletadas separadamente, podem ser tratadas biologicamente.

Como regra geral, pode-se afirmar que todas as águas residuárias industriais que contenham quantidades significativas de proteínas, e cujo pH esteja situado entre 7 e 8, podem ser tratadas biologicamente sem dificuldades por processos convencionais de tratamento de esgotos domésticos. Nestes casos a DBO é um parâmetro utilizável para o dimensionamento das unidades biológicas.

20.6.1. Fermentação seletiva.

Existem despejos industriais orgânicos que não podem ser tratados biologicamente com a participação da atividade dos microrganismos encontrados nos esgotos domésticos. Será necessário esterilizar o afluente e inoculá-lo com culturas preparadas. Um caso prático é o dos efluentes da fabricação de celulose pelo processo do sulfito de cálcio, em que as hexoses e pentoses (açúcares da madeira), podem ser fermentadas pela adição de culturas puras de *Saccharomyces ellipsoideus* (para hexoses), de *Monilia candida* e de *Torula utilis* (para xilose e arabinose). A ação destes dois últimos fungos a rigor não é uma fermentação, e sim uma multiplicação celular com produção de elevada quantidade de micélio rico em vitamina B12, empregado com sucesso espetacular no

aumento da produção de leite através da alimentação dos rebanhos de gado vacum.

A galactose, a caseína e a lactose dos despejos de laticínios pode ser fermentada por culturas de *Saccharomyces fragilis*, *Torula cremoris*, *Torula utilis* e *Candida hypolytica*. É necessário juntar nitrogênio ao substrato (usualmente sob a forma de sulfato de amônio, que também controla o pH), além de se proceder à aeração artificial, como no caso de lodos ativados convencionais.

Todos os processos citados dão como resultado produtos de valor comercial que podem cobrir em parte as despesas com o tratamento dos resíduos industriais.

20.6.2. Digestão termófila.

A digestão em temperatura elevada (entre 50 e 60° C) não é empregada para despejos domésticos, mas tem aplicação em alguns resíduos industriais não acessíveis ao metabolismo dos microrganismos mesófilos. As águas residuárias das indústrias de papelão de palha, por exemplo, só podem ser tratadas com sucesso por digestão termófila, à temperatura de 60 — 65° C durante 3 dias. As da produção de fermento para panificação são digeridas a 54°C, durante 10 dias. A redução de DBO é superior a 70% em ambos os casos.

A bôrra da fabricação de cerveja, se coletada separadamente, poderá ser digerida termófilamente a 56°C, durante 9 dias. A redução de DBO é superior a 85%.

Apesar dos tempos relativamente prolongados necessários à digestão termófila, há a compensação da produção de metana contida no gás formado, sempre em quantidade superior à necessária para a manutenção da temperatura, de modo que não há dispêndio com a aquisição de energia externa, ao contrário do tratamento aeróbio por lodos ativados, valos de oxidação e outros processos mesófilos com aeração artificial.

O tratamento biológico termófilo é um processo relativamente novo, apresentando perspectivas de utilização quase que ilimitada para os casos de tratamento mesófilo ineficiente. Embora não haja ainda elementos suficientes para uma afirmativa peremptória, pode-se antever que no futuro os tratamentos mesófilos serão reservados aos resíduos líquidos diluídos (DBO inferior a 10 000 mg/l), ao passo que os termófilos serão reservados aos resíduos concentrados e àqueles de tratamento mesófilo deficiente.

O tratamento biológico termófilo é sempre anaeróbio, devido à baixa solubilidade do oxigênio em temperaturas elevadas.

20.6.3. Digestão em pH elevado.

Quando o pH de um resíduo se eleva acima de 8,5, em geral há um comprometimento da atividade biológica normal, de modo que, nestes casos, costuma-se neutralizar o afluente antes do seu tratamento biológico. Entretanto existe a possibilidade de certos microrganismos se adaptarem aos meios fortemente alcalinos, tendo-se notícia de lodos ativados para o tratamento de despejos alcalinos da indústria farmacêutica, em pH acima de 11.

O processo exige uma adaptação progressiva dos microrganismos, com pH em elevação lenta.

Exemplos de microrganismos cuja atividade é possível em elevado pH, são os seguintes: 1. bactérias: *Nitrobacter* (pH máx. 10,2), *Thiobacillus denitrificans* (10,7), *Rhizobium leguminosarum* (10 a 11); 2. fungos: *Penicillium variable* (11,1), *Fusarium bullatum* (11,2) e *Fusarium oxysporium* (11,1). *

O tratamento em pH elevado é um processo relativamente novo, em fase experimental, com poucos resultados conhecidos.

(*) Dados fornecidos pelo biólogo Samuel Murgel Branco.

20.7. Tratamentos especiais

Existem processos de depuração que fogem completamente à prática usual, aplicados somente a determinadas águas residuárias não suscetíveis dos tratamentos já expostos.

20.7.1. Evaporação.

Algumas indústrias de celulose, à base de sulfito, concentram sua lixívia negra até se tornar sólida, com 45% de água. Obtém-se um pó preto que às vezes é utilizado como agente condicionador da coesividade de solos arenosos.

A evaporação é muito utilizada na indústria da celulose pelo processo do sulfato, em que se concentra a lixívia negra até a consistência de xarope, para queimá-la nas caldeiras da indústria, obtendo-se vapor e recuperando mais de 90% dos reagentes químicos. O vapor resultante é suficiente para cobrir 30% ou mais da demanda do processo industrial.

Na indústria da celulose ao sulfito às vezes se concentra a lixívia até uma consistência xaroposa para utilizá-la como agente de aglutinação de areias de fundição ou para dispô-la nas estradas de rodagem não pavimentadas com a finalidade de combate à poeira. Também se evaporam resíduos de destilarias, despejos radiativos, de beneficiamento de lã, de viscosa, de gasificação do linhito, de galvanização e outros.

20.7.2. Incineração.

Estão sendo desenvolvidos atualmente vários processos de incineração de matéria orgânica, freqüentemente com recuperação de calor. Um caso típico é a lixívia negra concentrada, das fábricas de celulose.

Também tem sido aplicada a incineração aos resíduos fenólicos da coqueificação da hulha, a despejos radiativos e outros.

É um processo dispendioso, que, entretanto, é a melhor solução em alguns casos difíceis.

20.7.3. Disposição de despejos radiativos.

Com a disseminação de reatores nucleares para pesquisas diversas, assim como devido ao desenvolvimento da radioterapia, têm aparecido radionuclídeos em muitas águas residuárias.

O seu tratamento pode ser feito por vários processos, destinados a armazenar os despejos em condições controladas, até que a sua radiatividade decaia a valores inferiores aos padrões legais.

Para diminuir o volume armazenado, empregam-se processos de precipitação química, evaporação, permutação iônica, adsorção, filtração, incineração e outros. O resíduo concentrado é mantido em reservatórios protegidos, ou é incorporado a blocos de concreto que são afundados nas profundezas oceânicas.

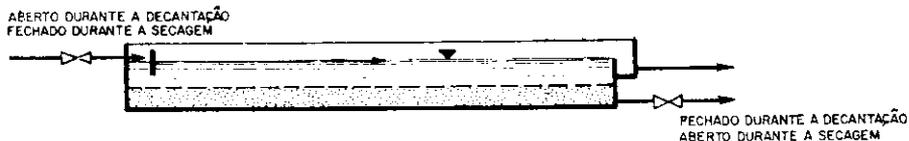
Há reservatórios previstos para a retenção de radionuclídeos durante 2 anos ou mesmo mais, de modo que a redução drástica do volume do despejo é uma das fases mais importantes da disposição deste tipo de resíduos.

20.8. Tratamentos de baixo custo, empregados também na disposição de esgotos domésticos.

Aqui serão examinados apenas os casos marcantes, de real vantagem para o tratamento dos despejos industriais.

20.8.1. Decantadores drenantes.

São unidades construídas à semelhança de leitos de secagem de lodo, com a soleira permeável, dotada de drenagem capaz de ser aberta ou fechada. Com a drenagem fechada, o tanque funciona como decantador; com a mesma aberta, opera como leito de secagem (figura 20.6.).



20.6 — Decantador drenante

Por não ser necessária a transferência do lodo úmido, estas unidades exigem pouca mão-de-obra de operação.

São aplicáveis especialmente a lodos não fermentáveis, como os da fabricação de papel, da mineração, de curtumes e outros.

20.8.2. Valos de oxidação.

Podem ser aplicados a todos os despejos industriais de natureza orgânica, que contenham proteínas. Podem também ser utilizados na oxidação química dos sulfuretos dos curtumes.

Existem valos de oxidação em funcionamento para despejos de fecularias de batata, de fecularias de mandioca, de fábricas de sabão, de laticínios e outros.

O dimensionamento é habitualmente feito em função do tempo de detenção, e também pela carga de DBO/m³ de valo. Tempos de aeração variam entre 24 e 72 horas. O dimensionamento correto, entretanto, deve-se fazer pela taxa de aplicação de DBO aos sólidos voláteis contidos no valo de oxidação (cerca de 50g DBO/dia · kg de sólidos voláteis).

20.8.3. Lagoas de estabilização.

Os mesmos despejos que podem ser tratados em valos de oxidação ou em outras modalidades de lodos ativados, também podem sê-lo em lagoas de estabilização.

As lagoas de estabilização têm sido empregadas no tratamento de águas residuárias de fábricas de celulose e de papel, de laticínios, de frigoríficos, de fábricas de conservas e outras.

O dimensionamento é feito pela taxa de aplicação de DBO por ha de superfície livre. Ao que indicam os poucos dados disponíveis, nas regiões tropicais a taxa de aplicação poderá chegar a ou mesmo ultrapassar 150 kg DBO/ha dia. Sempre será conveniente operar uma estação experimental durante um ano ou mais, para se obterem dados adequados.

Freqüentemente é necessário juntar nutrientes, especialmente N e P.

20.8.4. Digestores abertos.

Quando não interessa a recuperação de gás, os digestores de lodos (ou, "mutatis mutandis", os tanques sépticos), podem ser construídos em taludes de terra, a céu aberto. A espuma que se forma na superfície deve ser conservada, a fim de evitar o contacto com o ar, o que poderia produzir mau cheiro.

Se a digestão se efetuar em pH superior a 7, o processo de tratamento pode ser considerado inodoro.

O dimensionamento é feito como no caso dos tanques sépticos, podendo-se empregar os equivalentes-habitantes.

20.8.5. Secagem de lodos sobre o solo.

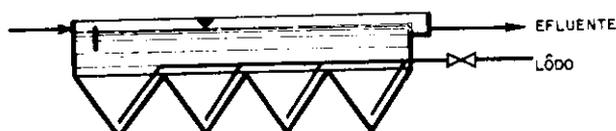
Lodos estáveis ou estabilizados podem ser dispostos em depressões do solo, perdendo água por infiltração e por evaporação. Se a depressão tiver capacidade suficiente, o material já seco não precisará ser removido, podendo receber sobre si novas quantidades de lodo.

Têm sido secados sôbre o terreno lodos estabilizados de valos de oxidação, lodos de curtumes, de oficinas de galvanização, de lavagem de cana de açúcar e outros.

Quando a permeabilidade do solo não é suficiente para a secagem antes da carga seguinte, instalam-se drenos no fundo do mesmo.

20.8.6. Decantadores com descarga hidrostática de lodos.

Muitos despejos industriais contêm teores elevados de sólidos sedimentáveis, provocando dificuldades na sua remoção manual. Em pequenas unidades também não convém instalar removedores mecanizados de lodo devido ao seu custo elevado e manutenção e operação dispendiosas. Neste caso podem ser empregados decantadores com descarga hidrostática de lodos. Os decantadores podem ser retangulares ou circulares em planta, e têm a sua soleira formada de pirâmides invertidas ou de cones invertidos. A inclinação das paredes das pirâmides ou dos cones deve ser suficiente para obrigar os sólidos sedimentados a escorregarem em direção ao vértice. Dêste ponto parte um tubo de descarga, alcançando o exterior com a boca abaixo do nível de água, de modo que haverá sôbre esta uma carga hidrostática. A boca será munida de uma válvula que permitirá a descarga.



20.7 — Decantador com descarga hidrostática do lodo

Têm sido empregadas cargas hidrostáticas variando entre 1 e 2 metros. A inclinação das paredes do fundo deverá ser geralmente da ordem de 50 ou 60° com a horizontal, mas a escolha final depende da mobilidade do lodo.

20.9. Tabela de equivalentes populacionais:

Tipo de indústria	Quantidade diária	População equivalente
Laticínio sem queijaria	por 1000 l leite	30 — 80 hab.
Laticínio com queijaria	por 1000 l leite	100 — 250 "
Matadouro	" 1 bovino	70 — 200 "
Matadouro	" 1 suíno	30 — 80 "
Usina de açúcar e álcool	" t cana	50 — 150 "
Fecularia de mandioca	" t mandioca	150 — 250 "
Cervejaria	" 1000 l cerveja	300 — 2000 "
Destilaria	" 1000 l álcool	500 — 1500 "
Amidonaria	" 1 t milho ou trigo	800 — 1000 "
Curtume	" 1 t peles	1000 — 4000 "
Lanifício	" 1 t lã	2000 — 5000 "
Alvejamento de tecidos	" 1 t produto	250 — 350 "
Tinturaria com corantes sulfurados	" 1 t tecido	2000 — 3500 "
Celulose, processo sulfito	" 1 t celulose	4000 — 6000 "
Pasta mecânica para papel	" 1 t mandioca	50 — 80 "
Fábrica de papel, sem produção de celulose	" 1 t papel	100 — 300 "
Fábrica de viscosa	" 1 t viscosa	500 — 700 "
Lavanderia	" 1 t roupas	700 — 2300 "