

# Curso de Tratamento de Águas Residuárias

ENG. JOSÉ M. DE AZEVEDO NETTO  
Professor Catedrático da Universidade  
de São Paulo

## CAPÍTULO XV

### DIGESTÃO. TANQUES DE DIGESTÃO

#### 15.01 — Finalidades da digestão

A digestão dos lodos é um processo de decomposição anaeróbia, conduzido sob condições controladas, com os objetivos seguintes:

- 1 — Destruir bactérias patogênicas;
- 2 — Reduzir e estabilizar a matéria orgânica dos lodos frescos (muito putrescível);
- 3 — Reduzir o volume de lodos, através da liquefação, gaseificação, adensamento e remoção das fases líquida e gasosa;
- 4 — Facilitar a secagem dos lodos resultantes;
- 5 — Utilizar os lodos digeridos e estabilizados como fonte de húmus;
- 6 — Aproveitar os gases resultantes.

Na ausência de oxigênio perecem os organismos aeróbios, que não são capazes de utilizar o oxigênio contido na matéria orgânica. Eles são substituídos por bactérias anaeróbias que podem aproveitar o oxigênio combinado.

Estabelecem-se, assim, os processos de decomposição anaeróbia, com os conhecidos ciclos do azoto, carbono e enxofre.

Os produtos finais da decomposição anaeróbia são gases e substâncias nutritivas para as plantas. A utilização destas substâncias pelos vegetais possibilita o aproveitamento posterior pelos animais, fechando-se assim os ciclos.

A produção de gás durante as fases anaeróbias possibilita o controle dos processos e a avaliação da sua velocidade.

#### 15.02 — Estágios da digestão

Na digestão de lodos frescos, sem a mistura com material previamente digerido e sem a adição de matéria orgânica durante o processo, podem ser distinguidos três estágios.

Cada estágio se caracteriza pela produção de determinadas substâncias, pelas transformações da flora e alterações de cheiro e pH.

- I — **Período de produção intensiva de ácidos** (acidificação); Inicia-se imediatamente com a “quebra” dos alimentos e compostos de mais fácil decomposição: Compostos nitrogenosos solúveis, amiláceos, gorduras. Grande produção de  $\text{CO}_2$ . Produtos:  $\text{H}_2\text{S}$ , ácidos orgânicos, bicarbonatos. pH na zona ácida: 5,1 a 6,8 (às vezes até 4,7).
- II — **Período de digestão de ácidos** (Regressão, liquefação): Ataque aos ácidos orgânicos e compostos nitrogenosos. Produção de pequenas

quantidades de gás,  $\text{CO}_2$ , nitrogênio e hidrogênio. Produção de compostos de amônia e bicarbonatos.

Mau cheiro causado por  $\text{H}_2\text{S}$ , indol e mercaptanas. Grande parte dos sólidos passa a sobrenadar (1/2 a 4/5). O pH se eleva até 6,6 ou mesmo 6,8.

III — **Período de digestão intensa ou de fermentação alcalina** (estabilização e gaseificação): Digestão de materiais mais resistentes. Proteínas, aminoácidos, celulose etc. são atacados (além de outros compostos nitrogenosos). Produção de amônia, sais de ácidos orgânicos e grandes volumes de gás, principalmente metano e quantidades menores de  $\text{CO}_2$  e nitrogênio. Cheiro de alcatrão. Pequena ou nenhuma quantidade de sólidos sobrenadantes.

O pH passa para a zona alcalina: 6,9 a 7,4. Os lodos apresentam o efeito tampão, não se alterando o pH, mesmo com a adição de volumes apreciáveis de ácidos ou álcalis (lodos ricos em flora e enzimas).

O B.O.D. é rapidamente reduzido.

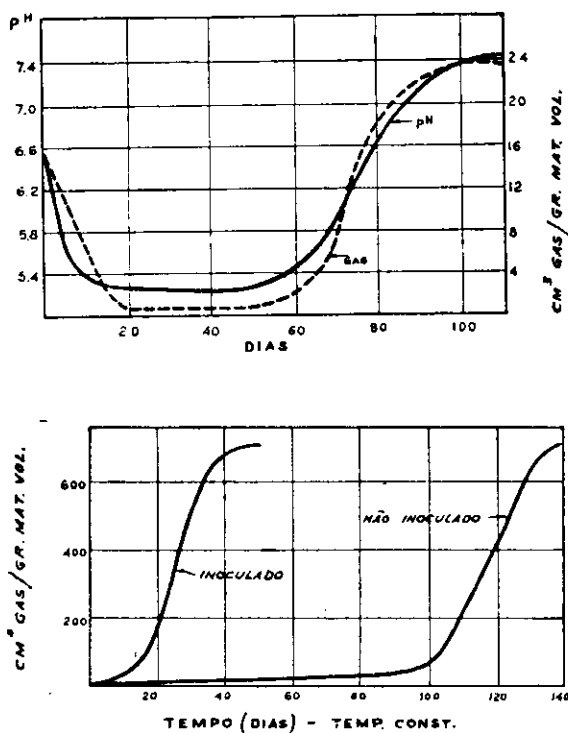


FIG 1 — a) Alteração do pH e variação da produção de gás durante digestão;  
b) Efeito benéfico da semeadura durante a digestão.

Os três estágios de digestão podem ser observados pelas alterações de pH e pelas variações de produção de gás (Fig. 1).

Esse processo, de operação descontínua, é muito demorado. Na prática ele é acelerado, mediante a introdução e o controle de fatores favoráveis.

Técnicamente a digestão é um processo contínuo com a adição permanente de novas quantidades de lodos frescos produzidos.

Nas instalações normais todos os três estágios podem ocorrer simultaneamente nos digestores.

### 15.03 — Condições para a digestão

Os fatores que influenciam diretamente a digestão, podendo modificar a velocidade de decomposição são: A adição diária de quantidades convenientes de lodos frescos ("semeadura ou inoculação"), o pH a temperatura e a agitação.

- 1 — **Inoculação:** Com a adição diária de lodos frescos em proporções adequadas ao lodo digerido, pode ser estabelecido o equilíbrio desejável entre os alimentos (matéria orgânica) e os organismos com suas enzimas, indispensáveis a uma digestão mais rápida. Os lodos, em digestão avançada, contêm substâncias que exercem o efeito de "tampão" sobre os produtos intermediários da decomposição.

A quantidade total de gás produzido não é aumentada pela "inoculação", porém a velocidade de produção é alterada, no sentido de dar ao processo maior uniformidade.

- 2 — **pH favorável** (zona ligeiramente alcalina): pH = 7,0 a 7,4. Em certas condições pode se tornar conveniente a adição de álcali para ajustagem do pH.

Normalmente, nos digestores bem dimensionados e convenientemente operados, uma vez atingida a fase alcalina ela se mantém pela ação "tampão" dos lodos.

- 3 — **Temperatura conveniente:** Os estudos de digestão e gaseificação realizados por Fair e Moore mostraram que existem duas zonas ótimas para o processo (Fig. 2):

30 a 40°C — Digestão mesófila

45 a 57°C — Digestão termófila

Nos digestores não aquecidos a temperatura raramente ultrapassa 22°C. Em São Paulo obtivemos os seguintes dados de leituras feitas no termógrafo do digestor n.º 1 da Estação Experimental de Tratamento de Esgotos do Ipiranga (1943):

Temperatura média .....	19,9°C
Média das temperaturas mínimas .....	18,7°C
Média das temperaturas máximas .....	21,0°C

A variação de temperatura nos tanques Imhoff é pouco mais acentuada devido à influência do líquido em escoamento.

Nos países de inverno rigoroso é necessário o aquecimento, e foi esta necessidade, aliás, uma das razões técnicas que sugeriram o estabelecimento da digestão separada.

A temperatura considerada ótima na prática, geralmente está compreendida entre 30 e 35°C.

Os digestores da Estação de Tratamento de Esgotos de Vila Leopoldina foram projetados e instalados para serem operados a 32°C.

O período de detenção nos tanques, para uma digestão técnica é função da temperatura:

15°C .....	55 dias
20°C .....	45 dias
25°C .....	35 dias
30°C .....	28 dias
35°C .....	25 dias

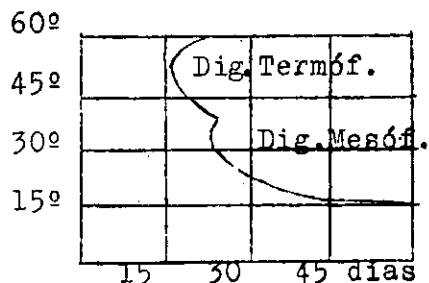


Fig. 2

- 4 — **Agitação:** A mistura do material contido nos digestores (lodos parcialmente digeridos e lodos no estágio final de digestão), com os lodos frescos introduzidos, contribui para acelerar e melhorar o processo de digestão.

A agitação facilita o escapamento dos gases produzidos, da massa em digestão, assegurando continuidade e maior uniformidade na produção de gás.

Um estudo, abrangendo 25 instalações, mostrou que nos digestores equipados com agitadores mecânicos a produção de gás é mais elevada do que nos tanques sem agitação. Essa constatação foi confirmada por Heukelekian.

A mistura dos lodos nos digestores pode ser feita com equipamentos especiais (agitadores mecânicos), com a recirculação de lodos por meio de bombas ou ainda fazendo-se recircular os gases mediante o emprego de compressores.

#### 15.04 — Efeitos da digestão

Os lodos frescos constituem uma suspensão heterogênea de substâncias orgânicas e inorgânicas incluindo gorduras, carboidratos e proteínas em teores variáveis.

A digestão realiza-se com "ataque" de bactérias a essas substâncias, como fonte de energia e de compostos necessários à síntese intra-celular.

Nessa atividade, as enzimas exercem importante ação como agentes catalíticos orgânicos.

Com a digestão são obtidas a liquefação, e gaseificação, a mineralização e a huminificação da matéria orgânica.

A liquefação compreende a produção e liberação de água, assim como, a transformação de grandes partículas de lodo em substâncias solúveis ou finamente dispersas. Este parece ser um processo extracelular, que depende fundamentalmente da ação enzimática.

A gaseificação é um processo intracelular considerado essencial para a digestão. Aliás, a boa operação das instalações consiste justamente no equilíbrio e na harmonia destas duas fases.

A parcela de matéria orgânica que não é convertida em gás apresenta condições de maior estabilidade, sendo excedida pela quantidade de substâncias minerais (mineralização).

O produto final, relativamente estável, sem cheiro ofensivo e de cor escura, assemelha-se ao húmus, isto é, à matéria orgânica encontrada em terrenos onde existem detritos vegetais em decomposição lenta.

#### 15.05 — Digestão em dois estágios

A experiência demonstra ser vantajosa a realização da digestão em dois estágios, isto é, em digestores funcionando em série.

Essa separação em duas fases além de facilitar o controle do processo evita curto circuitos de lodo e contribui para melhorar as condições de retirada do líquido sobrenadante.

O primeiro digestor geralmente é aquecido e dotado de dispositivos para agitação e quebra de espuma e de equipamentos para a coleta de gás.

O segundo digestor é mantido sem aquecimento e sem agitação permitindo por isso a retirada do sobrenadante em boas condições.

O líquido sobrenadante, que compreende a fase líquida do processo, de cheiro ofensivo e elevada demanda bioquímica de oxigênio, usualmente é retornado ao afluente da estação de tratamento.

#### 15.06 — Redução do volume de lodos com a digestão

A relação volumétrica lodo digerido, lodo fresco original, segundo se pode determinar com base em valores médios de operação, é a seguinte:

Lôdo frescos (índice) .....	100%
Lôdos digerido precipitação química .....	34%
Lôdo digerido filtração biológica .....	32%
Lôdos ativados digeridos .....	41%
Lôdos digerido precipitação química .....	34%

### 15.07 — Capacidade dos digestores

Os digestores podem ser dimensionados com base nos volumes previstos, de lodos frescos e de lodos digeridos e no tempo de digestão, aplicando-se a seguinte fórmula:

$$C = \left[ V_f - \frac{2}{3} (V_f - V_d) \right] \cdot t$$

sendo:

C = Capacidade do digestor, litros/cap.

$V_f$  = volume de lodos frescos adicionados por dia, litros/dia.

$V_d$  = volume de lodos digeridos correspondentes a um dia, litros/dia.

t = tempo de digestão, em dias.

digestores aquecidos: 25 a 40 dias

digestores sem aquecimento: 60 a 80 dias

Como essa expressão leva em conta tão somente o espaço necessário para o armazenamento dos lodos, sem nenhuma folga, considera-se na prática um acréscimo de 50% a 100%, para segurança, e para se atender aos espaços destinados ao sobrenadante, espuma, gás etc.

#### Dados práticos (Capacidade em litros/capita):

Processos de tra.	Normas americanas *		Imhoff-Fair** 15° a 32°C	D. O. S. (Min.)
	Aquecidos	Sem aquec.		
Dec. Primária ...	55 a 85	110 a 170	28 a 56	50
Filtr. biológica ..	110 a 140	230 a 280	45 a 90	70
Lôdos ativados ..	110 a 170	230 a 340	65 a 130	100

\* — Normas dos "dez Estados"

\*\* — "Sewage Treatment", 2.ª ed.

### 15.08 — Detalhes técnicos e construtivos

#### a) Cobertura

Os digestores podem ser cobertos ou abertos. Quando cobertos podem ter cúpula fixa de concreto armado (devidamente protegida contra rachaduras, fendilhamentos e trincas), ou cobertura móvel flutuante.

Coletando-se o gás os compartimentos devem ser estanques e sempre deverão apresentar pressão interna ligeiramente maior do que a atmosférica, de modo a evitar a entrada de ar e a possibilidade de formação de misturas explosivas. Sob este ponto de vista são mais satisfatórias as cúpulas flutuantes, cujo péso próprio garante pressões positivas convenientes.

Nos digestores de cúpula fixa cuidados especiais devem ser tomados durante a descarga de lodos para evitar pressões "negativas".

b) **Forma:**

A forma dos digestores tem influência sobre as condições de funcionamento e, portanto, sobre a eficiência da digestão.

Nos Estados Unidos os digestores geralmente são construídos com paredes cilíndricas e fundo cônico com altura limitada.

Na Europa, particularmente na Alemanha vem sendo dada preferência para as formas que se aproximam da figura de um ovo, com alturas relativamente grandes. Exemplos típicos são encontrados nas instalações de Bremen, Nurenberg, Hamburgo, Dusseldorf etc.

Os tanques ovoides apresentam as vantagens de reduzir a superfície de formação de espuma e de concentrar a passagem do gás em menor área, auxiliando a quebra da espuma e favorecendo a captação do gás.

A descarga de lodo se faz em condições mais vantajosas e a mistura do material é facilitada, reduzindo-se as zonas mortas.

Além disso as condições estruturais e de fundações são muito convenientes. A relação ótima Diâmetro/Altura (D/H) é aproximadamente 0,7.

c) **Dimensões:** Prática americana: Comumente a altura é igual ou inferior ao diâmetro: Inclinação do fundo 1:12 a 1:1; freqüentemente 1:4 (4 na horizontal). Altura da parede lateral: 3,50 a 9,00 m (valores comuns).

d) **Entradas, saídas e descargas:** Mais comumente os lodos frescos são recalcados para o digestor.

A canalização de entrada ou de alimentação do digestor deve descarregar a uma altura média ou acima da média, porém 1,00 m abaixo do nível de lodos.

A canalização de entrada não deverá descarregar em ponto muito próximo da saída de lodos.

A canalização de extravazão comumente é localizada a 0,45 m abaixo do nível de lodos.

Os lodos digeridos são descarregados por pressão hidrostática, o diâmetro mínimo da canalização sendo de 8" (nas instalações bem pequenas 6"). A canalização é apoiada no fundo do digestor, partindo da parte central.

Devem ser previstas canalizações ou dispositivos para a retirada de líquidos sobrenadadamente e excesso de "água" em diferentes níveis (espaçamentos da ordem de 1,00 m), assim como tomadas para amostras.

e) **Proteção térmica:** Para manter a temperatura interna executa-se um atêrro em volta do digestor, de maneira que a parte exposta, da parede lateral não exceda a 1/8 da sua altura.

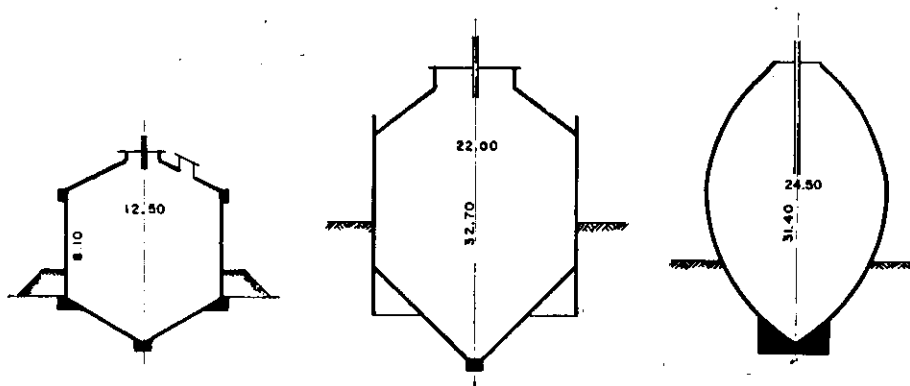


Fig. 3 — Evolução da fôrma dos digestores: Instalações de Baden-Baden, Stuttgart e Nurenberg

15.09 — **Digestão acelerada**

Modernamente os gases de esgotos têm sido utilizados para promover a mistura intensa na massa de lodos em digestão, mediante o processo de recirculação.



Fig. 4 — Corte de um digestor com cúpula flutuante (Ames Crosta Mills).

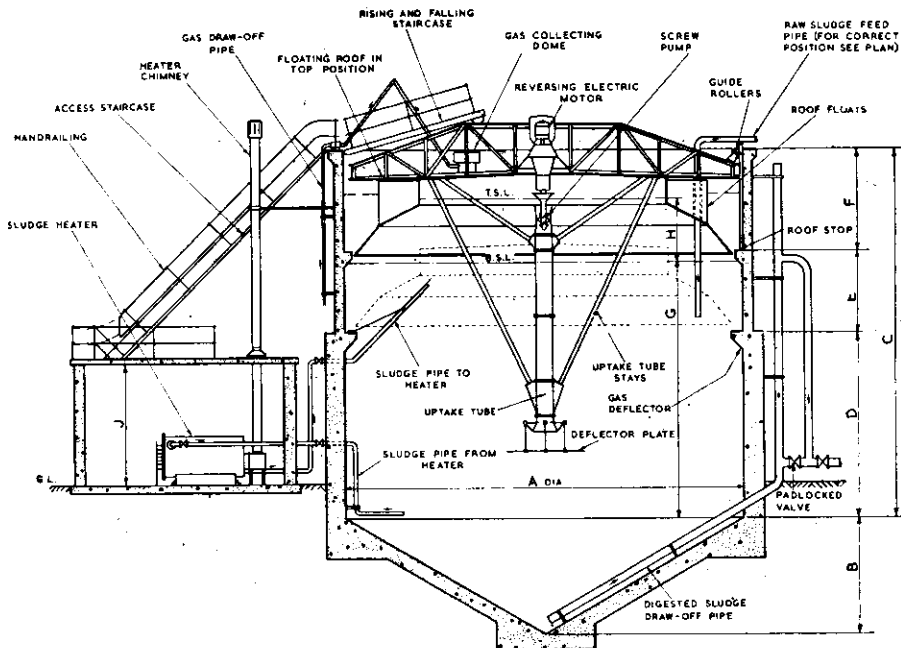


Fig. 5 — Descarga de lodo digerido em leito de secagem.

Para êsse fim o gás é injetado sob pressão na parte inferior dos digestores.

A recente técnica da digestão acelerada ("high rate digestion") baseia-se na mistura contínua e completa de todo o material em digestão.

Com essa mistura são alcançados três objetivos:

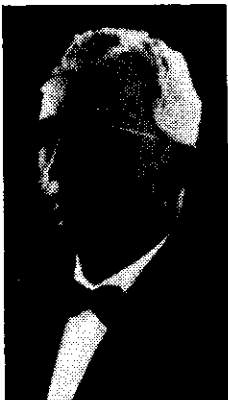
- a) os alimentos ficam distribuídos uniformemente;
- b) os organismos ativos são mantidos em contato permanente com os alimentos disponíveis;
- c) as substâncias residuárias e os produtos inibitórios são diluídos em toda a massa, mantendo-se em concentrações toleráveis.

Com essas condições mais vantajosas, o processo biológico de decomposição torna-se mais eficiente, permitindo reduções substanciais no período de detenção, possibilitando conseqüentemente, consideráveis economias estruturais.

---

## IN MEMORIAM

# Engenheiro Homero de Oliveira



Foi com profundo pesar que os técnicos e administradores receberam a notícia do falecimento do ilustre engenheiro sanitário Homero de Oliveira ocorrido no dia 7 de maio último em Pôrto Alegre.

Nascido em 26 de abril de 1895, em 1918 diplomou-se em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de Pôrto Alegre.

Desde o início da sua carreira técnica dedicou-se ao ramo de Saneamento, em cuja especialidade foi um dos auxiliares mais chegados ao grande mestre Saturnino de Brito.

Mais tarde coube a Homero de Oliveira organizar os serviços de saneamento da Capital Gaúcha, trabalho que desempenhou com maestria, não só elevando-o a um padrão técnico modelar, como criando entre os seus auxiliares uma mística de amor ao trabalho, orgulho de bem servir a comunidade e dedicação à causa pública que até hoje persiste nesse importante departamento da Administração Municipal.

Nos governos de Cylon Rosa e Walter Jobim, desempenhou, Homero de Oliveira, a importante função de Diretor Geral da Secretaria de Obras Públicas, tendo ainda, no governo de Walter Jobim, exercido o cargo de Secretário de Obras Públicas, no qual teve ainda oportunidade de prestar assinalados serviços ao seu Estado.

Além do seu invulgar valor técnico, demonstrou sempre, êsse grande Engenheiro, a sua marcante habilidade de administrador, capaz de atrair em tôrno de si a mais sincera e entusiástica cooperação de todos os que serviam sob seu comando. E a sua maneira correta, bondosa e democrática de agir, conquistou a simpatia de todos os seus auxiliares.

O seu falecimento deixa um vazio na nossa engenharia e no coração dos seus amigos e admiradores, os quais dêle se lembrarão com admiração e respeito e com exemplo de como servir ao interesse público.