

Digestão aeróbia de lodo de esgoto doméstico*

Bel. Quím. SONIA MARIA V. TEIXEIRA (MSc) (**)
Eng.º PEDRO ALEM SOBRINHO (MSc) (***)

INTRODUÇÃO

A digestão aeróbia é um processo biológico de estabilização de material orgânico por aeração. É empregada na digestão de lodo primário, secundário e mistura dos dois. Tem sido bastante utilizada para estabilização de lodos de estações compactas de lodos ativados, tratando esgotos domésticos. Outras aplicações da digestão aeróbia de que se tem conhecimento, são de mistura de lodo primário e secundário de estações que utilizam filtro biológico. (1)

Para estações de lodos ativados de pequeno porte, a digestão aeróbia é competitiva com a digestão anaeróbia, pois ela apresenta menos problemas operacionais, exige menos controle e é de fácil manipulação, não necessitando mão de obra especializada para controlar o sistema. Seu emprego em estações de tratamento de esgoto de pequenas comunidades, tem boa aplicação pois estas, geralmente, não comportam um sistema de produção de gás, que exige cuidados especiais.

* Trabalho desenvolvido na Superintendência de Pesquisa da CETESB dentro do convênio DAEE-CETESB.

(**) da GTB — SPES — CETESB

(***) Gerente da GTB — SPES — CETESB.
Professor do Departamento de Hidráulica da Escola Politécnica da U.S.P.

As principais vantagens da digestão aeróbia são:

- Maior facilidade de operação, não exigindo tantos cuidados quanto a digestão anaeróbia.
- Demanda Bioquímica de Oxigênio mais baixa no líquido sobrenadante.
- Redução de sólidos voláteis (SV) praticamente igual as obtidas na digestão anaeróbia.
- Não há necessidade de aquecimento.
- Custos iniciais de investimento inferiores aos da digestão anaeróbia.
- Formação de um produto final inodoro e biologicamente estável e que pode ser facilmente eliminado.
- Boas características de secagem.

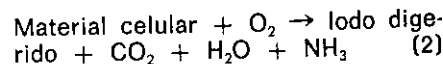
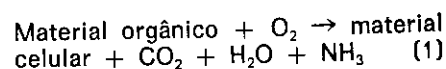
Os dois últimos aspectos abordados têm mostrado resultados variáveis, não tendo sido, por vezes, demonstrado na prática tão boas características. Deve-se também levar em conta, que não existe a formação de subproduto economicamente aproveitável a não ser o lodo que pode ser recuperado como fertilizante. Como principal desvantagem do processo tem-se o elevado consumo de energia para a manutenção de condições aeróbias no digestor. (1, 2 e 3).

ASPECTOS BIOQUÍMICOS DO PROCESSO

Nos processos de fermentação aeróbia, a estabilização da matéria

orgânica ocorre em duas fases. Fornecendo-se ar ou oxigênio ao sistema, primeiramente os compostos orgânicos complexos são oxidados, havendo liberação de energia e formação de CO_2 , NH_3 e vapor d'água pela reação de respiração e material celular pela reação de síntese. Nesta etapa ocorre um rápido crescimento das bactérias aeróbicas e verifica-se o aumento da taxa de consumo de oxigênio. É preciso então que haja alimento e oxigênio suficientes para que continue a reprodução das células. Quando existe bastante material celular e pouco alimento ocorre a oxidação do material celular com liberação de gás carbônico, amônia e vapor d'água restando uma fração inerte do material. Esta é a respiração endógena que é a atividade de auto-oxidação que ocorre com as células. Ela envolve a liberação de energia e a redução da população de organismos viáveis do sistema. (4,5)

Estas duas fases descritas, podem ser representadas pelas seguintes reações:



MICROORGANISMOS DO PROCESSO

Na digestão aeróbia, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) solúvel do tanque de aeração, situa-se

aproximadamente entre 100 e 1000 mg/l. Isto significa um ambiente, em termos sapróbicos, de isosapróbico a metasapróbico.

Em termos de população microbiana predomina as bactérias, microrganismos decompositores, que utilizam a matéria orgânica como alimento. Também se acham presentes flagelados apocromáticos e, na faixa de DBO de 400 para menos, alguns ciliados. Estes organismos são protozoários que se alimentam de microrganismos decompositores (bactérias) (6).

Nas contagens de protozoários realizadas durante ensaios de digestão aeróbia, desenvolvidos na Superintendência de Pesquisa da CETESB, verificou-se que realmente algumas vezes não se observaram protozoários de nenhuma espécie, e outras vezes apenas flagelados e ciliados, raramente aparecendo organismos de outro tipo.

Desta forma, os protozoários não podem ser utilizados como indicadores biológicos de processo, pois a concentração e variedade dos mesmos, é baixa, ao contrário do que acontece, por exemplo, no processo de lodos ativados.

Em ensaios de digestão aeróbia realizados na CETESB com lodo primário de esgoto doméstico, com tempo de detenção de 16 dias e carga de 2,5 g SV/l.dia observou-se concentração média de bactérias totais de $4 \cdot 10^9$ e $13 \cdot 10^9$ bactérias/ml de lodo. Estes dados mostram que a concentração de bactérias no lodo em digestão aeróbia, é de 10 a 100 vezes maior que a concentração de bactérias observadas em sistemas de lodos ativados.

TIPOS DE DIGESTÃO AERÓBIA

FLUXO

A digestão aeróbia pode ser operada como processo descontínuo, semi-contínuo ou contínuo. Nos estudos de laboratório para obtenção de parâmetros de digestão aeróbia costuma-se operar em sistema descontínuo ou semi-contínuo.

O sistema descontínuo é acompanhado medindo-se a degradação dos sólidos voláteis em função do tempo, obtendo-se assim os dados cinéticos do processo. No sistema semi-contínuo ou contínuo os parâmetros de digestão são obtidos durante o regime estacionário. Nas estações de tratamento costuma-se operar em regime contínuo ou semi-contínuo. Quando convém, por simplicidade de operação, trabalhar em sistema semi-contínuo, este processo pode substituir o contínuo pois a digestão aeróbia opera com tempos de detenção altos, da ordem de 15 a 20 dias. Isto acontece quando se tem menores volumes de lodo a ser tratado.

Nas grandes estações de tratamento emprega-se o sistema contínuo de alimentação.

AGITAÇÃO

Os processos de digestão aeróbia podem ser operados com agitação mecânica, por introdução de ar comprimido ou por combinação dos dois sistemas. A aeração sempre fornece agitação ao sistema mas em alguns casos, para se atingir o nível de oxigênio dissolvido (OD) desejado (1 a 2 mg/l) a aeração não é suficiente para manter uma mistura homogênea no digestor. Isto depende da quantidade de sólidos existentes no lodo.

Então para cada caso estas condições de homogeneidade e OD devem ser observadas. Para os casos gerais de digestão aeróbia onde a concentração de SV está entre 1 e 4%, consegue-se boa homogeneidade do conteúdo do tanque de aeração somente pela utilização de ar comprimido ou somente com agitação mecânica.

OXIDAÇÃO

A digestão aeróbia necessita de oxigênio para oxidação do material celular. Para isto pode-se utilizar oxigênio puro ou ar. A escolha vai depender de um balanço econômico a ser efetuado para cada caso.

DIGESTÃO EM SÉRIE

O processo de digestão pode ser realizado em apenas um reator ou

em reatores em série. A prática de um reator tem sido mais utilizada.

REDUÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS

O principal objetivo da digestão é reduzir e estabilizar os sólidos voláteis existentes no lodo.

A velocidade de decaimento dos sólidos voláteis biodegradáveis segue cinética de primeira ordem (7). Ela é dependente da temperatura, concentração de sólidos, tipo de lodo, pH e condições de mistura no reator.

Operando-se um reator descontínuo determina-se a constante cinética da reação medindo-se a variação dos sólidos voláteis biodegradáveis em função do tempo.

$$\frac{d(X_{V,B})}{dt} = -K_d(X_{V,B}) \quad (3)$$

onde:

$X_{V,B}$ = concentração de sólidos voláteis biodegradáveis

K_d = constante cinética de digestão

t = tempo de digestão

K_d é determinado através de um sistema descontínuo pela equação (3).

Para sistemas de fluxo contínuo e mistura completa como o representado na figura 1, fazendo-se um balanço material, tem-se:

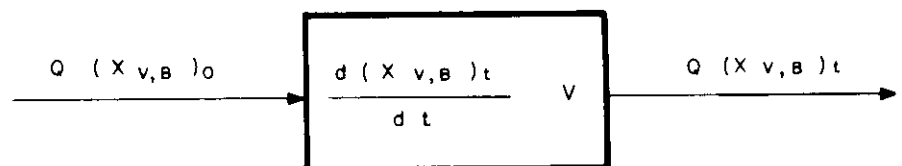


FIGURA 1 — Balanço material para um digestor aeróbio de mistura completa.

$$\text{Sólidos biodegradáveis que entram} - \text{Sólidos biodegradáveis que saem} = \text{Sólidos biodegradáveis destruídos}$$

$$Q(X_{V,B})_0 - Q(X_{V,B})_t = \frac{d(X_{V,B})_t}{dt} V$$

onde:

Q = vazão (volume/tempo)

$(X_{V,B})_0$ = concentração de sólidos voláteis biodegradáveis inicial (massa/volume)

$(X_{V,B})_t$ = concentração de sólidos voláteis biodegradáveis que permanecem no tanque após um tempo de aeração t , (massa/volume)

V = volume do reator

da equação (3) tem-se:

$$(X_{V,B})_0 - (X_{V,B})_t = K_d (X_{V,B})_t$$

$$t = \frac{(X_{V,B})_0 - (X_{V,B})_t}{K_d (X_{V,B})_t}$$

ou

$$\frac{(X_{V,B})_t}{(X_{V,B})_0} = \frac{1}{1 + K_d t} \quad (4)$$

A equação (4) é válida para sistemas de mistura completa e fluxo contínuo (7).

A obtenção de K_d para lodos primários ou mistura destes com lodo secundário pela operação de modelos descontínuos necessita ser tratada com cuidados especiais, pois nestes casos haverá um período de aclimação dos microrganismos do processo e também haverá durante uma fase inicial uma fase de reações exógenas bastante intensa, devido a elevada concentração inicial de substrato, que não ocorrerá em um sistema contínuo de mistura homogênea. Portanto para esses lodos, a determinação de K_d por sistemas semi-contínuos ou contínuos são mais adequados para a sua utilização em digestores contínuos de mistura homogênea.

O processo contínuo tem sido mais freqüentemente utilizado para determinação dos parâmetros de digestão. Variando-se os fatores que têm influência na digestão tais como tempo de detenção, carga orgânica aplicada, aeração, temperatura e pH procura-se chegar aos melhores resultados de redução de sólidos voláteis e estabilidade do lodo que são os objetivos principais do processo. Estes estudos são sempre baseados em conhecimentos já adquiridos sobre digestão aeróbia e resultados sobre estas determinações são de extrema importância. A tabela 1, publicada pela Environmental Protection Agency (3) fornece esses resultados.

EFEITO DA TEMPERATURA

A velocidade da reação e a redução de sólidos voláteis variam com a temperatura. A variação do coeficiente de decaimento endógeno com a temperatura segue a lei de Arrhenius para temperaturas até 40°C (4).

$$K_d = K_{d\infty} \cdot \theta^{(T-20)}$$

A figura 2 mostra valores de K_d obtidos em diferentes sistemas de tratamento em função da temperatura.

TABELA 1

Parâmetros de Projeto de Digestão Aeróbia

PARÂMETRO	VALOR	OBSERVAÇÕES
Tempo de detenção dos sólidos, dias	10-15a	Dependendo da temperatura, tipo de lodo, etc
Tempo de detenção dos sólidos, dias	15-20b	
Volume "per capita", l/habitante	85-113	
Carga de SSV, Kg./m ² dia	0,38-2,24	Dependendo da temperatura, tipo de lodo, etc.
Necessidade de ar		
Sistema Difusor, l/m ³ min.	20-35a	Suficiente para manter os sólidos em suspensão e manter o OD entre 1-2 mg/l
Sistema Difusor, l, m ³ min.	> 60b	
Sistema Mecânico, W/m ²	26-33	Este nível é regido pela necessidade de mistura. A maioria dos aeradores mecânicos na digestão aeróbia necessitam de agitadores no fundo do tanque para concentrações de sólidos maiores do que 8.000 mg/l, especialmente quando são usados tanques de profundidade > 3,6 m.
OD mínimo, mg/l	1,0-2,0	
Temperatura, °C	> 15	Se as temperaturas do lodo são menores do que 15 C, deve-se empregar tempos de detenção maiores de tal forma que a digestão ocorra a constantes cinéticas de reação menores.
Redução de SSV, porcentagem	35-50	
Projeto do tanque		Os tanques de digestão aeróbia são abertos e geralmente não necessitam de equipamento especial de transferência de calor ou isolamento. Para sistemas de tratamento pequenos (380 m ³ /dia), o projeto do tanque deve ser suficientemente flexível de tal forma que o tanque de digestão possa também funcionar como uma unidade de adensamento. Se o adensamento for efetuado no tanque de aeração, deve-se usar difusores com proteção para evitar entupimentos.
Necessidade de Potência, KW/10000 habitantes ou equivalente	6,0-7,5	

a Excesso de lodo ativado somente
b Lodo primário e excesso de lodo ativado, ou lodo primário somente.

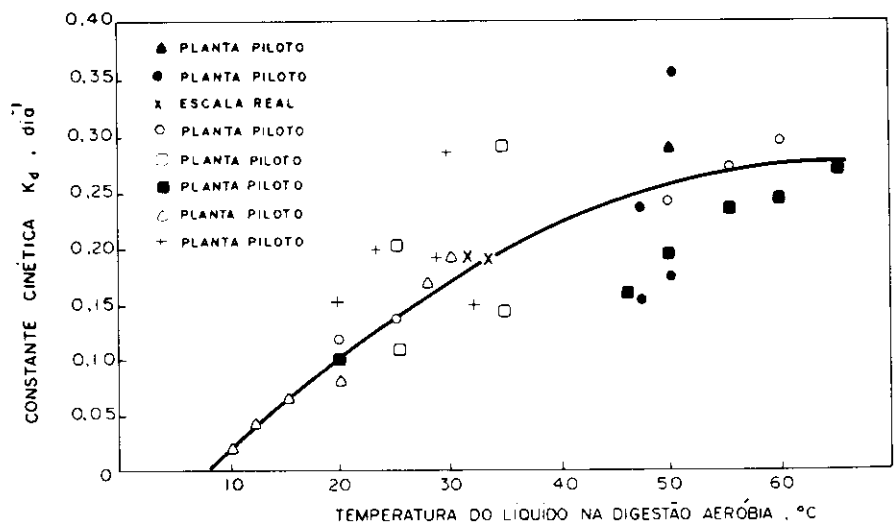


Figura 2: Constantes cinéticas K_d em função da temperatura do líquido no digestor (da referência 8)

A velocidade de digestão pode ser aumentada, operando-se a temperaturas mais altas até atingir valores ótimos da faixa mesofílica, próxima aos 35°C. A temperaturas termofílicas (acima de 42°C) a população microbiana muda. Nesta faixa, a velocidade de digestão é maior entre 55°C e 60°C. No entanto, entre 40°C e 50°C ainda não foi possível um conhecimento da variação do K_d . Nesta faixa não existem dados suficientes para se avaliar este comportamento.

Costuma-se classificar as faixas de temperatura da seguinte forma: (8)

faixa criofílica — temperatura do líquido abaixo de 10°C

faixa mesofílica — temperatura do líquido entre 10°C e 42°C

faixa termofílica — temperatura do líquido acima de 42°C

Quando se processa a digestão aeróbia em regiões de clima quente não é necessário o aquecimento pois além das reações serem exotérmicas, as variações de K_d com a temperatura não justificam o emprego de um sistema com este fim.

Em regiões onde a temperatura permanece normalmente em valores mais baixos que 5°C é necessário proceder-se ao aquecimento do sistema.

O controle da temperatura não é necessário, pois os microrganismos do processo não são muito sensíveis às variações de temperatura que ocorrem no meio ambiente.

A energia liberada pelas reações exotérmicas da digestão aeróbia pode ser melhor aproveitada quando se utiliza para aeração do sistema, oxigênio puro. Neste caso a vazão do gás é reduzida e a temperatura do líquido é aumentada, enquanto que ao utilizar-se ar o calor liberado é arrastado pelo vapor d'água, dissipando-se assim a energia liberada pelo processo.

Operando a temperaturas mais altas a eficiência de remoção de sólidos aumenta e elimina-se microrganismos patogênicos que possam estar contaminando o lodo (4 e 9).

EFEITO DO TIPO E DA CONCENTRAÇÃO DO LODO

A concentração inicial de sólidos no lodo pode ter influência na constante de velocidade da reação como foi verificado por Reynolds. A figura 3 mostra esses resultados (8).

O tipo de lodo também tem influência no valor de K_d . Por esse motivo para cada tipo de lodo a ser tratado deve-se obter os parâmetros de digestão para que o sistema a ser instalado opere adequadamente.

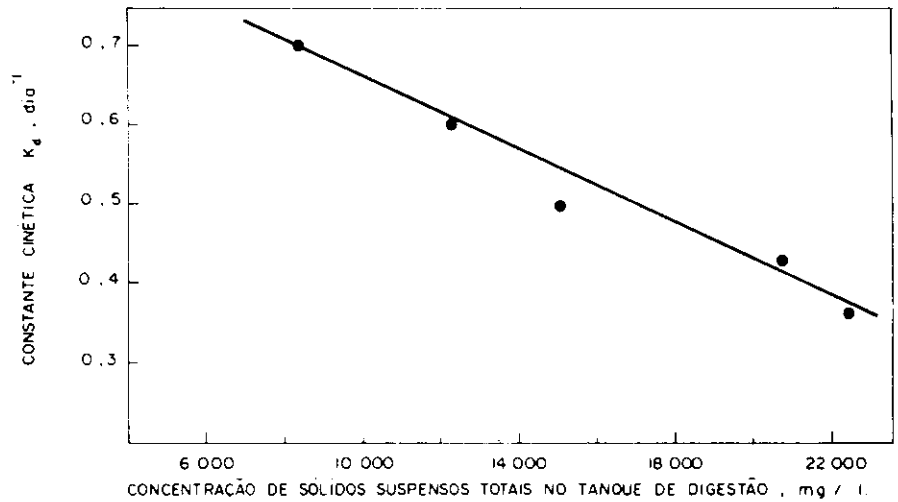


Figura 3: Efeito da concentração de sólidos do digestor aeróbio na constante cinética K_d para excesso de lodo ativado a 20°C (da referência 8)

EFEITO DO TEMPO DE DETENÇÃO

A redução de sólidos voláteis do lodo na digestão aeróbia depende do tempo de digestão. Em sistemas contínuos ou semi-contínuos o tempo de detenção é fixado de acordo com a redução de sólidos voláteis desejada. A partir de um determinado tempo de detenção ótimo a redução de sólidos voláteis observada não sofre mais aumentos significativos. Deve-se então procurar trabalhar sempre

no valor mínimo possível de tempo de detenção, evitando-se assim gastos desnecessários, pois além da energia consumida pelo sistema, o volume do reator depende do tempo de detenção.

Nos ensaios realizados na SPES-CETESB experimentou-se diversos tempos de detenção para cada tipo de lodo, obtendo-se diferentes reduções de sólidos voláteis conforme apresentado na Tabela 2.

TABELA 2

Reduções de sólidos voláteis obtidos na Digestão Aeróbia de lodo de esgoto doméstico a temperatura ambiente

LODO DE ALIMENTAÇÃO	TEMPO DE DETENÇÃO (dias)	TEMPERATURA (°C)	CARGA (g SV/l.dia)	REDUÇÃO DE SV (%)	SV DO LODO DIGERIDO (%)
LODO SECUNDÁRIO à 1% de SV	9	25	1,10	24	0,73
	12	21	0,86	26	0,76
	15	22	0,67	29	0,71
	18	21	0,57	40	0,61
MISTURA DO LODO PRIM. E SECUND. à 2,5% de SV	15	26	1,68	34	1,68
	18	26	1,40	42	1,47
	20	25	1,26	37	1,60
LODO PRIMÁRIO à 4% de SV	13	26	3,0	30	2,74
	16*	25	2,5	52	1,90
	18	26	2,2	39	2,39

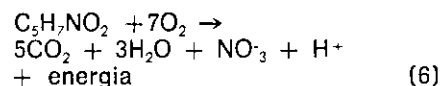
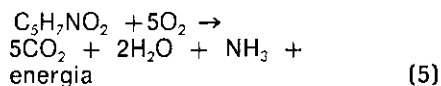
* ensaio realizado com agitação mecânica

OBS: lodo secundário = excesso de lodo ativado

Pelos resultados obtidos para lodos tipicamente domésticos um tempo de detenção de ordem de 18 dias parece ser bem adequado à digestão aeróbia dos lodos ativados, dos lodos primários ou da mistura desses dois lodos.

NECESSIDADE DE OXIGÊNIO

O processo de oxidação do material celular durante a digestão aeróbia pode ser representado pelas seguintes equações:



O que indica que para oxidação de 1 Kg de material celular destruído são necessários 1,42 Kg de O_2 , sem haver nitrificação (equação 5). Para ocorrer completa nitrificação de nitrogênio do material celular para cada Kg de material celular destruído são necessários 1,98 Kg de O_2 (equação 6).

O nível de OD do meio em digestão é fundamental para que ocorra oxidação do material celular, sendo recomendado manter um mínimo de 2 mg/l de OD no líquido em digestão (4).

Para efeito de projeto recomenda-se 2 Kg de O_2 por Kg de sólidos voláteis destruídos na faixa mesofílica e na faixa termofílica, onde não ocorre nitrificação, recomenda-se 1,4 Kg de O_2 por Kg de sólidos voláteis destruídos.

A taxa específica de consumo de oxigênio fornece os dados para dimensionamento do sistema de aeração e é obtida medindo-se o consumo de oxigênio em função do tempo. Com excesso de lodo ativado em digestão esse consumo é mais facilmente medido do que com o lodo primário ou mistura dos dois, pois estes apresentam mais alta concentração de SV. Resultados de taxa de consumo de O_2 obtidos no laboratório da SPES-CETESB, com excesso de lodo ativado digerido aerobicamente, são mostrados na tabela 3.

A Union Carbide Corporation estudou a utilização de oxigênio puro ao invés de ar na digestão aeróbia (4). Este sistema pode ter vantagens econômicas pois com o oxigênio puro a temperatura do sistema se mantém mais elevada. Utilizando-se reatores isolados termicamente o processo pode passar a operar na faixa termofílica, aumentando a velocidade de digestão do lodo além de eliminar os organismos patogênicos existentes no sistema. O aumento da velocidade de digestão faz com que seja diminuído o tempo de detenção

celular com a conseqüente diminuição do volume do reator. A temperatura mais elevadas a nitrificação é inibida. Assim, a utilização de oxigênio puro poderia vir a se tornar mais econômica dependendo da localização, do tipo de tratamento, temperatura, tipo de lodo e meios de disposição final.

TABELA 3

Taxa de consumo de oxigênio de excesso de lodo ativado em digestão aeróbia
(Dados obtidos nos Laboratórios da SPES-CETESB)

Taxa de consumo de O_2 (mg O_2 /litro.hora)	Tempo de detenção (dias)
37	12
32	15
26	18

Pelos resultados apresentados na tabela 4 vê-se que a digestão aeróbia de excesso de lodo ativado atinge valores de pH menores do que os observados para os lodos primários e mistura desses 2 tipos de lodos. Este fato pode estar relacionado

com a ocorrência de nitrificação no caso do excesso de lodo ativado que é mais propício à dispersão de O_2 no meio e transporte deste para o interior dos flocos, devido à mais baixa concentração de sólidos. Nos dois ensaios da tabela 4 de digestão aeróbia de excesso de lodo ativado com tempo de detenção de 9 dias que funcionaram a pH diferentes, a queda na redução de sólidos voláteis devido a diminuição do pH não foi significativa.

EFEITO DO pH

Os processos biológicos são geralmente acompanhados de variações de pH (9). Essas variações são regidas por dois fatores: a produção de substâncias ácidas durante o processo biológico e o poder tampão do meio.

Várias reações químicas e bioquímicas produzem substâncias que causam essas variações de pH influenciadas também pelos parâmetros do processo, tais como tempo de detenção, aeração e temperatura.

As equações (1), (2), (5) e (6) da digestão aeróbia mostram a contribuição do gás carbônico produzido e da oxidação da amônia a nitrato na queda do pH. Há que se considerar

TABELA 4

Valores médios de pH atingidos durante a Digestão Aeróbia

LODO DE ALIMENTAÇÃO	TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)	pH	REDUÇÃO DE SV (%)
lodo secundário a 1% de SV e pH = 6,4	18		40
	15	5,0	29
	12	4,2	26
	9	4,1	24
	9	5,3	24
	9	4,6	22
mistura de lodo primário e secundário a 2,5% de SV e pH = 5,1	20	7,2	37
	18	7,1	42
	15	7,2	34
lodo primário a 4% de SV e pH = 5,1	18	7,1	39
	16	7,0	52
	13	7,3	30

OBS.: Lodo secundário = excesso de lodo ativado.

também o efeito causado pelos íons bicarbonato.

O efeito tampão depende da alcalinidade dos lodos e resiste contra variações de pH.

Uma das causas da queda de pH em processos com tempo de detenção alto é o aumento da concentração de íons nitrato (equação 6) e a correspondente diminuição da capacidade tampão. O gás carbônico é expelido e o bicarbonato em equilíbrio é reduzido diminuindo o efeito tampão do sistema (10).

Os microrganismos responsáveis pela digestão aeróbia não são tão sensíveis às mudanças de pH, se comparados aos microrganismos da digestão anaeróbia, e as variações que ocorrem durante um processo de digestão aeróbia em condições normais de operação, não prejudicam o sistema, não sendo indicada a correção do pH pela adição de reagentes químicos.

Em estudos efetuados por Norman (11), controlando-se o pH a 7 com NaOH observou-se uma queda na redução dos sólidos voláteis, talvez devida ao efeito tóxico dos íons Na.

A Tabela 4 apresenta os valores de pH atingidos para as várias condições de tempo de detenção e tipo de lodo, de ensaios de digestão aeróbia desenvolvidos nos laboratórios da SPES-CETESB, sem qualquer controle do pH.

EFEITO DO SISTEMA DE AGITAÇÃO E AERAÇÃO

Para a digestão aeróbia de excesso de lodos ativados não previamente adensados, e onde se trabalha com concentração de sólidos na faixa de 1 a 1,5%, a quantidade de ar necessária para atender às necessidades de oxigênio do processo é em geral suficiente para manter o conteúdo do digestor como uma mistura homogênea. Para aeração com ar difuso, uma introdução de 20 a 35 l ar/m³. min é em geral suficiente para a manutenção do OD entre 1 e 2 mg/l bem como o conteúdo do digestor homogeneizado.

Para o caso de lodos primários ou mistura destes com excesso de lodos ativados, uma introdução de ar difuso superior a 60 l/m³. min é recomendada para manter homogêneo o conteúdo do digestor.

Para sistemas mecânicos de aeração, a densidade de potência requerida é sempre uma função das necessidades para uma boa homogeneização do lodo, e isso é uma função da geometria do tanque, do equipamento de aeração e da concentração do lodo no digestor. Para concentrações de sólidos elevados (> 8000 mg/l) e profundidade do digestor superior a 3,5 m, é recomendado o uso de aeradores com misturadores de

fundo para se obter boa homogeneização do lodo.

Um dos fatores importantes para que ocorra a oxidação do material celular e portanto, a redução de sólidos voláteis, é que haja a dispersão das bolhas de ar no meio líquido e o transporte do oxigênio do meio para as células. O lodo primário ou a mistura deste com excesso de lodos ativados, por possuir maior concentração de sólidos, dificulta essa transferência de oxigênio e nesse caso a complementação da agitação por equipamentos mecânicos é favorável.

Os estudos de digestão aeróbia com lodo primário desenvolvidos na SPES-CETESB apresentaram redução de SV maior quando operados com agitação mecânica em complementação à introdução de ar comprimido para aeração. Esta redução chegou a atingir 52% (tempo de detenção = 16 dias) com agitação mecânica complementar enquanto que para a digestão do lodo primário sem agitação a redução de sólidos voláteis chegou a 39% (tempo de detenção = 18 dias). O excesso de lodo ativado não apresentou diferença na redução de sólidos voláteis, quando digerido com e sem agitação mecânica complementar.

QUALIDADE DO SOBRENADANTE

Normalmente o lodo enviado à digestão aeróbia não é pré-adensado e após essa digestão costuma-se proceder à concentração do lodo num clarificador-adensador ou no próprio digestor, paralisando-se a aeração por um período de 12 a 18 horas.

O sobrenadante obtido normalmente retorna ao tratamento e o lodo concentrado é submetido a secagem.

Sobrenadantes obtidos da decantação de lodo em várias estações de tratamento operando na faixa mesofílica foram analisados e esses resultados são apresentados na Tabela 5.

Nos ensaios realizados nos laboratórios da SPES-CETESB com lodo de esgoto doméstico determinou-se a Demanda Química de Oxigênio e a Demanda Bioquímica de Oxigênio solúvel do sobrenadante, cujos resultados são apresentados na Tabela 6. No caso do tratamento deste lodo o sobrenadante deve retornar ao tratamento, pois pelos resultados apresentados vê-se que a qualidade do sobrenadante deixa muito a desejar para lançamento em corpos de água receptores.

SECAGEM E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DIGERIDO AEROBICAMENTE

O lodo obtido do adensamento da mistura digerida aerobicamente deve ser submetido a secagem. Esta operação pode ser feita por centrifugação ou filtração a vácuo ou em filtro prensa, ou simplesmente deixando-se o lodo secar em leitos de secagem. Para auxiliar a separação normalmente adiciona-se coagulantes tais como sulfato de alumínio, íons Fe, cal e polieletrólitos. Para pequenas estações de tratamento, a solução mais simples e econômica é a construção de leitos de secagem e posterior remoção do lodo para os aterros. Quando a quantidade de lodo a ser desidratada requer muita área, utilizam-

TABELA 5
Características de sobrenadante de Digestão Aeróbia Mesofílica (da referência 8)

	Cohen e Fullerton ^a	Ahlberg e Boyko ^b	Brock e Darland ^c
Turbidez	120	—	—
N-NO ₃	40		30
N-Kjeldahl	115	2,9 1350	
DQO	700	24 25500	
P-PO ₄	70	2,1 930	35
P-PO ₄ Solúvel		0,4 120	
DBO	50	5 6350	2-5
DBO filtrado		3 280	
Sólidos Suspensos Alcalinidade	300	9 41800	6,8
SO ₄			70
Sílica			26
pH	6,8	5,7 8,0	6,8

a Média de 7 meses de resultados.

b Faixa tomada de 7 instalações.

c Valores médios.

TABELA 6
DQO e DBO solúvel do sobrenadante
obtido na Digestão Aeróbia
(Laboratório da SPES-CETESB)

LODO DE ALIMENTAÇÃO	TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)
lodo secundário à 1% de SV	9	317	
	12	480	
	15	368	
	18	362	
mistura de lodo primário e secundário à 2,5% de SV	15	507	171
	18	300	112
	20	307	79
lodo primário à 4% de SV	13	2690	
	16	1430	
	18	608	

OBS.: Lodo secundário = excesso de lodo ativado.

TABELA 7
Parâmetros da filtração a vácuo do lodo dirigido
aerobicamente, com adição de coagulantes

LODO DE ALIMENTAÇÃO	TEMPO DE DETENÇÃO (DIAS)	RESISTÊNCIA ESPECÍFICA À FILTRAÇÃO (seg ² /g)	% DE COAGULANTES
lodo secundário à 1% de SV	12	$4,8 \times 10^8$	15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ ·7H ₂ O
	15	$3,2 \times 10^8$	
	18	$4,1 \times 10^8$	
mistura de lodo primário e secundário à 2,5% de SV	15	$3,8 \times 10^8$	15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ ·7H ₂ O
	18	$3,0 \times 10^8$	
	20	$2,8 \times 10^8$	
lodo primário à 4% de SV	13	$3,9 \times 10^9$	15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ ·7H ₂ O
	18	$8,1 \times 10^8$	20% de Ca(OH) ₂ e 15% de FeSO ₄ ·7H ₂ O

OBS.: Lodo secundário = excesso de lodo ativado.

se processos mecânicos de desidratação do lodo, tais como centrifugas, filtro a vácuo, filtro prensa ou ainda o "filtro prensa de correia".

Os parâmetros operacionais de secagem devem ser determinados em laboratório ou em escala piloto, conforme o processo escolhido para secagem do lodo. Esta escolha depende do tipo do lodo e de sua disposição final que pode ser por:

- disposição em aterro
- compostagem
- incineração
- disposição no mar

A filtração a vácuo, assim como o filtro prensa, são largamente utilizados na secagem do lodo. Estes processos podem ser adaptados para qualquer um dos métodos de disposição do lodo, seja qual for o lodo digerido a ser desidratado (primário, secundário ou mistura).

Em escala de laboratório, foram efetuados na CETESB testes de filtração a vácuo, com o lodo de esgoto doméstico digerido e adição de reagentes químicos.

Medindo-se o volume filtrado em função do tempo determinou-se a resistência específica, segundo a equação desenvolvida por Carman e Coackley (12)

$$a = \frac{2 \Delta P A^2}{\mu \omega}$$

onde:

a = resistência específica do lodo, seg²/g

ΔP = perda de pressão no lodo, g/cm²

A = área de filtração, cm²

a = coeficiente angular de $\frac{t}{V} = f$
(V), seg/ml²

μ = viscosidade absoluta, poises

ω = peso de sólidos secos por unidade de volume filtrado, g/cm³

Os testes foram efetuados a diversas concentrações de Ca(OH)₂ e FeSO₄·7H₂O, determinando-se as quantidades em que se obtém a mínima resistência específica à filtração. A Tabela 7 apresenta esses resultados.

Nos ensaios efetuados com lodo primário a quantidade de coagulantes indicada não é a melhor possível. Este lodo necessita uma quantidade maior de coagulantes por apresentar piores características de decantação.

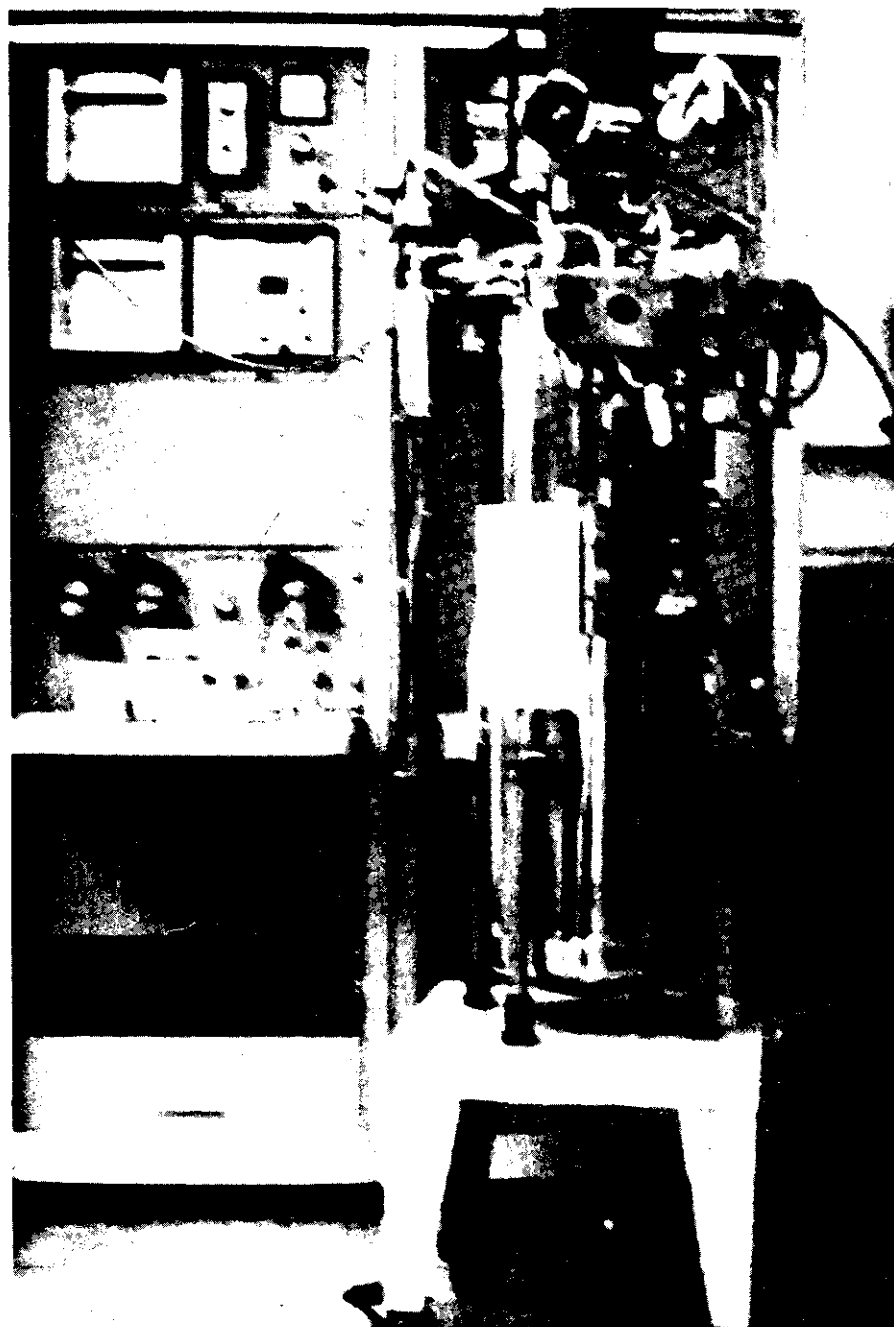
Quando a quantidade ideal necessária é muito grande tornando oneroso o processo, deve-se procurar utilizar quantidades menores que apresentem resistências específicas próximas às ideais.

APÊNDICE

ENSAIOS DE DIGESTÃO AERÓBIA REALIZADOS NA SPES/CETESB.

Relato da operação, resultados obtidos e conclusões dos ensaios rea-

lizados nos laboratórios da Superintendência de Pesquisa da CETESB para determinação de parâmetros de digestão aeróbia para lodos de esgotos domésticos.



Fotografia A.1 — Reatores utilizados nos ensaios de Digestão Aeróbia realizados na SPES-CETESB.

Equipamentos utilizados

Para realização dos ensaios semi-contínuos em laboratório foram utilizados reatores de aço inoxidável ou vidro de 20 l de capacidade útil dos fermentadores Biolafitte como mostra a fotografia 1. Esses reatores são providos de sistema de difusão de ar para aeração do sistema.

Alimentação

Os reatores eram alimentados diariamente, durante 5 horas. A alimentação não era adicionada de uma só vez para evitar que o líquido em digestão permanecesse muito tempo em condições anaeróbias, pois quando se adiciona uma sobrecarga todo o oxigênio do meio é consumido.

O lodo primário era proveniente da ERO-Pinheiros da SABESP e o excesso de lodo ativado da ERO-Portal do Morumbi, ambas alimentadas com esgoto tipicamente doméstico. As características do lodo utilizado na alimentação estão indicadas nos quadros A.1 a A.12.

Controle do Processo

Diariamente eram feitas as medidas de temperatura e oxigênio dissolvido.

Análises de sólidos totais, sólidos voláteis, DQO, DBO, pH e consumo de oxigênio eram feitas 3 vezes por semana.

Obtenção dos parâmetros

Cada ensaio era operado durante, no mínimo, três tempos de detenção e os dados para determinação dos parâmetros determinados durante o segundo e terceiro tempos de detenção.

Resultados obtidos

No laboratório da SPES-CETESB foram realizados 12 ensaios semi-contínuos. Quatro alimentados com lodo primário a 4% de SV, cinco com excesso de lodo ativado a 1% de SV e três com mistura dos dois a 2,5% de SV. Para cada tipo de alimentação variou-se o tempo de detenção.

As condições fixadas e os parâmetros obtidos estão indicados nos quadros A.1 a A.12. As figuras A.1 a A.3, A.5, A.7 a A.9, A.11, A.13, A.15, A.17 e A.19 mostram as reduções de sólidos voláteis na alimentação e no lodo em digestão. As figuras A.4, A.6, A.10, A.12, A.14, A.16, A.18 e A.20 indicam os resultados obtidos nos ensaios de filtrabilidade do lodo digerido e a figura A.21 mostra as reduções de SV obtidas nos ensaios realizados.

QUADRO A.1

Digestão aeróbia de lodo primário — Ensaio 1

CONDIÇÕES DE ENSAIO		
Tempo de detenção (dias)		16
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)		2,5
Temperatura (°C)		25
Aeração (litro ar/litro lodo.min)		0,5
Agitação Mecânica — Frequência (min ⁻¹)		200
PARÂMETRO	ALIMEN- TAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	5,4	3,1
SV (%)	4,0	1,9
SV/ST (%)	75	62
pH	5,0	7,0
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		500
Concentração de bactérias totais		4×10^9
Redução de SV		52%

QUADRO A.2

Digestão aeróbia de lodo primário — Ensaio 2

CONDIÇÕES DO ENSAIO		
Tempo de detenção (dias)		16
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)		2,5
Temperatura (°C)		31
Aeração (litro ar/litro lodo.min)		0,3
Agitação Mecânica — Frequência (min ⁻¹)		400
PARÂMETRO	ALIMEN- TAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	5,1	3,5
SV (%)	4,0	2,3
SV/ST (%)	78	67
pH	5,1	7,3
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		1070
Concentração de bactérias totais		13×10^9
Redução de SV		43%

QUADRO A.3

Digestão aeróbia de lodo primário — Ensaio 3

CONDIÇÕES DE ENSAIO		
Tempo de detenção (dias)		13
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)		3,0
Temperatura (°C)		26
Aeração (litro ar/litro lodo.min)		1,0
Agitação Mecânica		não tem
PARÂMETRO	ALIMEN- TAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	5,66	4,04
SV (%)	3,92	2,74
SV/ST (%)	69,5	67,6
pH	5,1	7,3
DQO Solúvel do sobrenadante (mg/l)		2680
OD (mg/l)		0,9
Resistência específica à filtração com adição de 20% de Ca(OH) ₂ e 15% de FeSO ₄ .7H ₂ O (seg./g)		$3,9 \times 10^9$
Redução de SV		30%

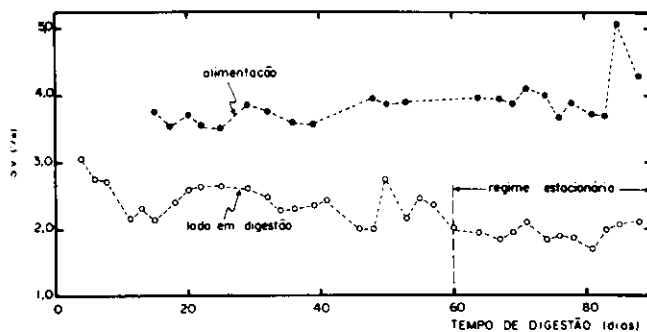


Figura A.1 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 1.

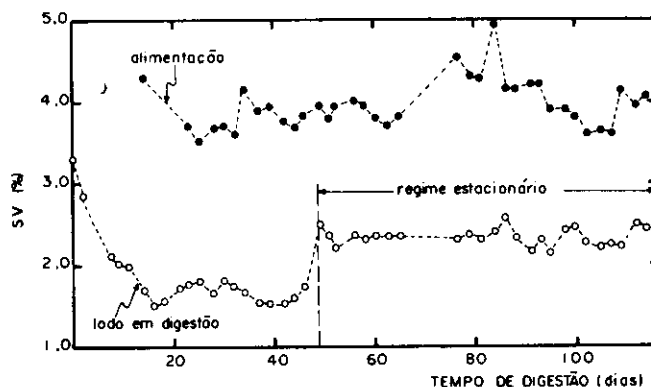


Figura A.2 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 2.

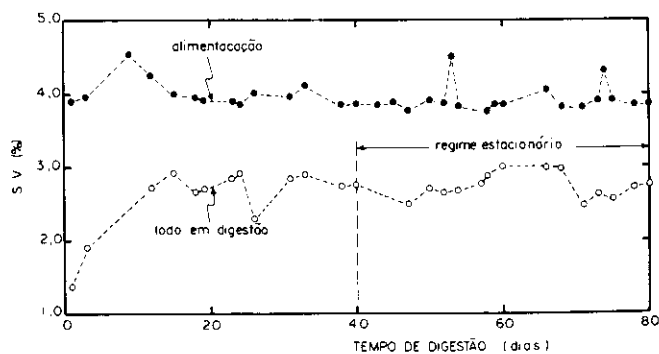


Figura A.3 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão do tempo para o Ensaio 3.

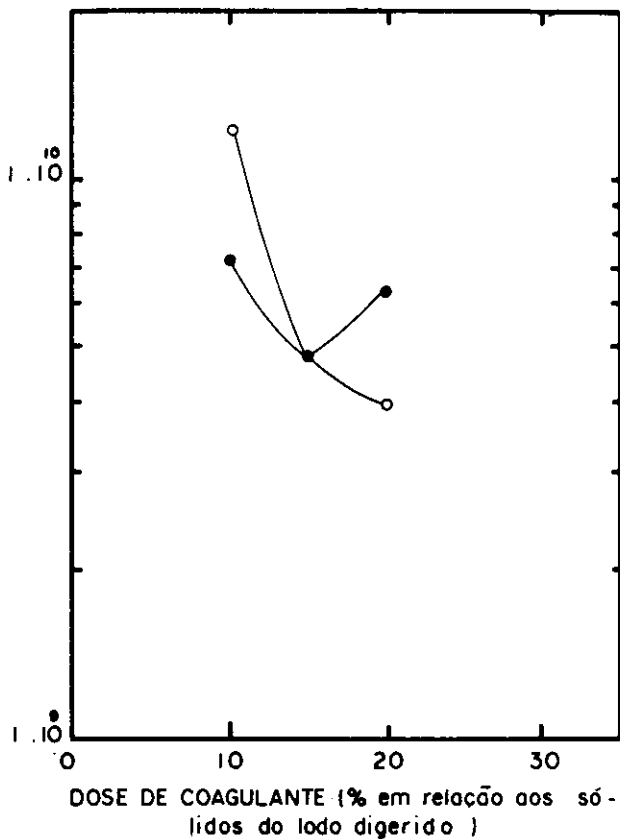


Figura A.4 — Determinação da resistência específica à filtração a vácuo do lodo primário digerido aerobicamente, com tempo de detenção de 13 dias (Ensaio 3) a diversas concentrações de coagulantes. ●—● Resultados obtidos a 15% de Ca (OH)₂ constante. ○—○ resultados obtidos a 15% de FeSO₄.7H₂O constante.

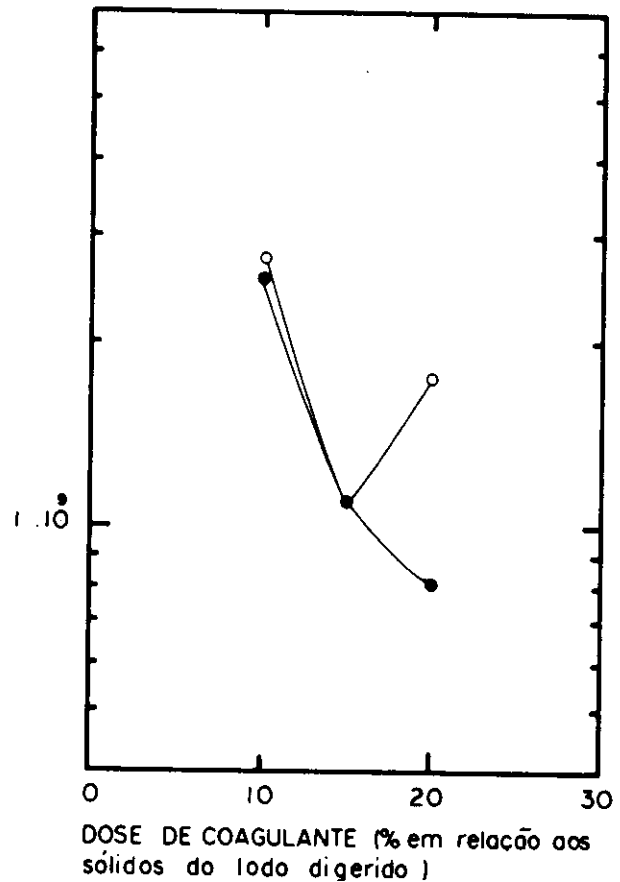


Figura A.6 — Determinação da resistência específica à filtração a vácuo do lodo primário digerido aerobicamente, com tempo de detenção de 18 dias (ensaio 4), a diversas concentrações de coagulante. ●—● Resultados obtidos a 15% de Ca (OH)₂ constante. ○—○ Resultados obtidos a 15% de FeSO₄.7H₂O constante.

QUADRO A.4
Digestão aeróbia de lodo primário — Ensaio 4

CONDIÇÕES DE ENSAIO		
Tempo de detenção (dias)		18
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)		2,2
Temperatura (°C)		26
Aeração (litro ar/litro lodo.min)		1,0
Agitação mecânica		não tem
PARÂMETRO	ALIMENTAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	5,66	3,67
SV (%)	3,92	2,39
SV/ST (%)	69,5	65,2
pH	5,1	7,1
DGO solúvel do sobrenadante (mg/l)		608
OD (mg/l)		1,9
Resistência específica a filtração com adição de 15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O (seg ² /g)		8,1 x 10 ⁸
Redução de SV		39%

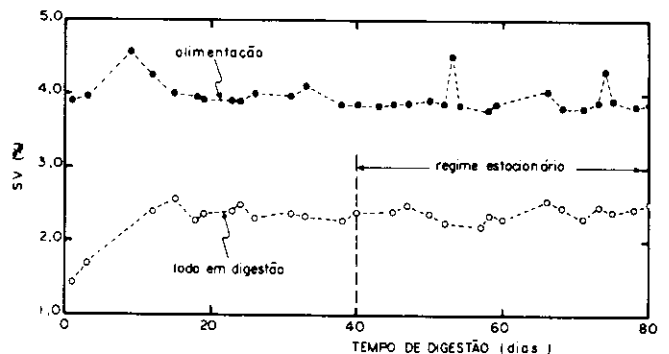


Figura A.5 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 4.

QUADRO A.5

Digestão aeróbia de excesso de lodo ativado — Ensaio 5

CONDIÇÕES DE ENSAIO		
Tempo de detenção (dias)		9
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)		1,1
Temperatura (°C)		25
Aeração (litro ar/litro lodo.min)		0,25
Agitação mecânica - Freqüência (min ⁻¹)		200

PARÂMETRO	ALIMENTAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	1,23	1,02
SV (%)	0,96	0,75
SV/ST (%)	77,2	73,6
pH	6,4	4,6
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		325
OD (mg/l)		3,0

Redução de SV	22%
---------------	-----

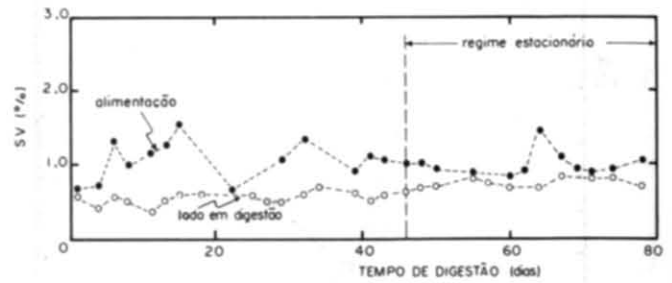


Figura A.7 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 5.

QUADRO A.6

Digestão aeróbia de excesso de lodo ativado — Ensaio 6

CONDIÇÕES DE ENSAIO		
Tempo de detenção (dias)		9
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)		1,1
Temperatura (°C)		25
Aeração (litro ar/litro lodo.min)		0,25
Agitação mecânica		não tem

PARÂMETRO	ALIMENTAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	1,23	0,98
SV (%)	0,96	0,73
SV/ST (%)	77,2	74,0
pH	6,4	5,3
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		309
OD (mg/l)		1,7

Redução de SV	24%
---------------	-----

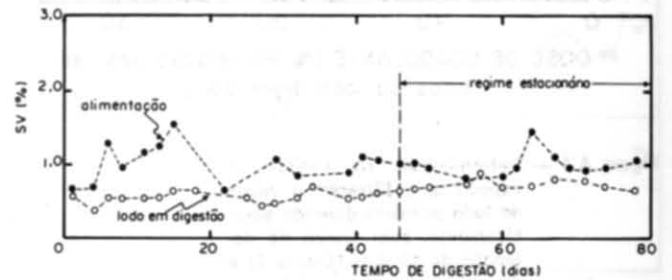


Figura A.8 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 6.

QUADRO A.7

Digestão aeróbia de excesso de lodo ativado — Ensaio 7

CONDIÇÕES DE ENSAIO		
Tempo de detenção (dias)		12
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)		0,86
Temperatura (°C)		21
Aeração (litro ar/litro lodo.min)		0,25
Agitação mecânica		não tem

PARÂMETRO	ALIMENTAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	1,27	0,95
SV (%)	1,03	0,76
SV/ST (%)	81,5	80,1
pH	6,4	4,1
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		480
OD (mg/l)		3,0
Taxa de consumo de O ₂ (mgO ₂ /l.h)		37
Resistência específica à filtração com adição de 15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O (seg ² /g)		4,8 x 10 ⁴

Redução de SV	26%
---------------	-----

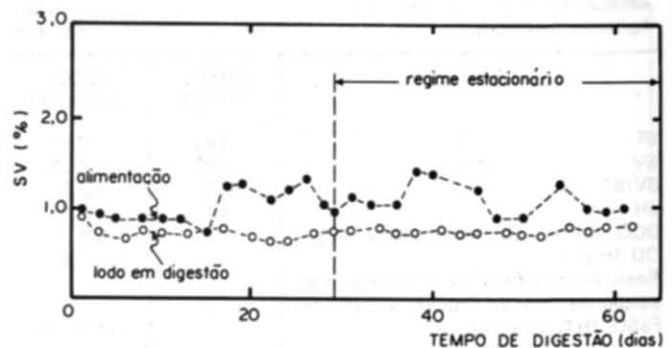


Figura A.9 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 7.

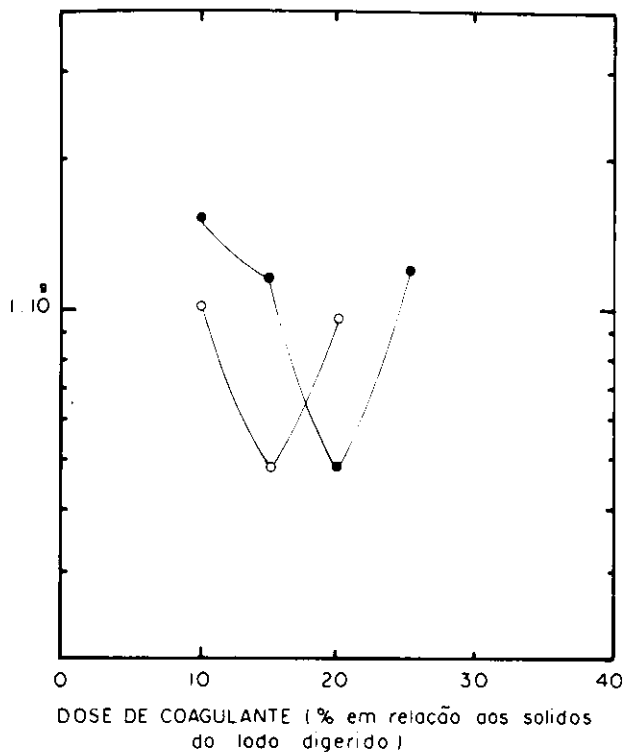


Figura A.10 — Determinação da concentração ideal de coagulante e da resistência específica à filtração a vácuo do excesso de lodo ativado digerido aerobicamente, com tempo de detenção de 12 dias (Ensaio 7).
 ●—● Resultados obtidos a 15% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ constante.
 ○—○ Resultados obtidos a 20% de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ constante.

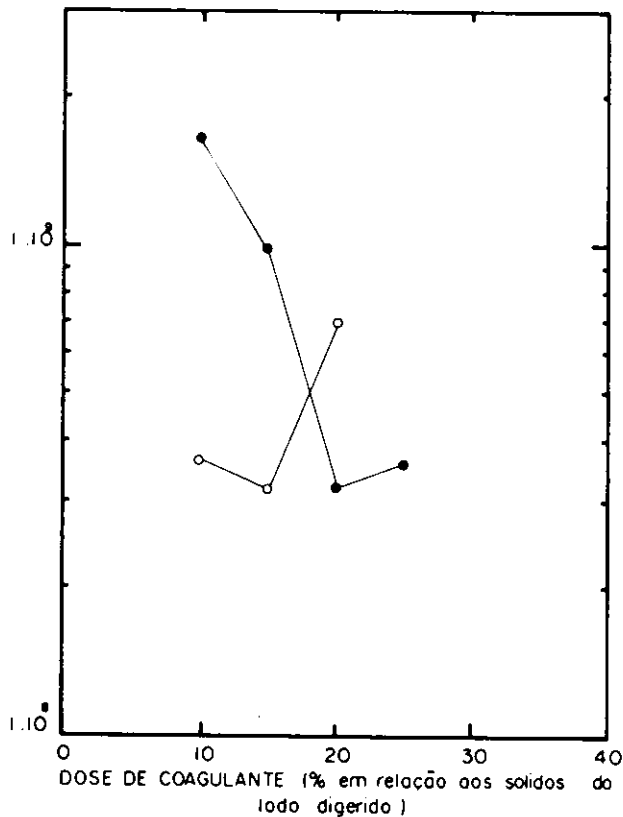


Figura A.12 — Determinação da concentração ideal de coagulante e da resistência específica à filtração a vácuo do excesso de lodo ativado digerido aerobicamente, com tempo de detenção de 15 dias (Ensaio 8).
 ●—● Resultados obtidos a 15% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ constante.
 ○—○ Resultados obtidos a 20% de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ constante.

QUADRO A.8

Digestão aeróbia de excesso de lodo ativado — Ensaio 8

CONDIÇÕES DE ENSAIO

Tempo de detenção (dias)	15
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)	0,67
Temperatura (°C)	22
Aeração (litro ar/litro lodo.min)	0,25
Agitação mecânica	não tem

PARÂMETRO	ALIMENTAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	1,23	0,92
SV (%)	1,00	0,71
SV/ST (%)	81,1	77,4
pH	6,4	4,2
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		368
OD (mg/l)		2,3
Taxa de consumo de oxigênio ($\text{mgO}_2/\text{l.h}$)		32
Resistência específica à filtração com adição de 15% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e 20% de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (seg^2/g)		$3,2 \times 10^4$

Redução de SV

29%

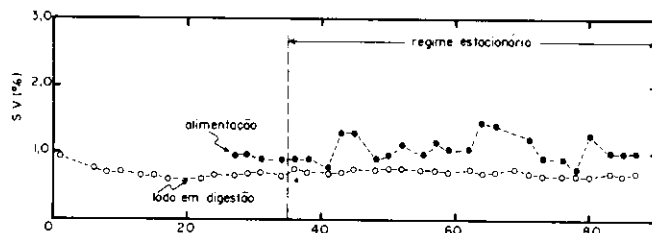


Figura A.11 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 8.

QUADRO A.9

Digestão aeróbia de excesso de lodo ativado — Ensaio 9

CONDIÇÕES DE ENSAIO		
Tempo de detenção (dias)	.....	18
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)	.....	0,57
Temperatura (°C)	.....	21
Aeração (litro ar/litro lodo.min)	.....	0,25
Agitação mecânica	.....	não tem

PARÂMETRO	ALIMEN- TAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	1,24	0,79
SV (%)	1,02	0,61
SV/ST (%)	81,7	77,2
pH	6,5	5,0
DOO solúvel do sobrenadante (mg/l)		362
OD (mg/l)		2,1
Taxa de consumo de O ₂ (mgO ₂ /l.h)		26
Resistência específica à filtração com adição de 15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O (seg ² /g)		4,1 x 10 ⁸
Redução de SV	.....	40%

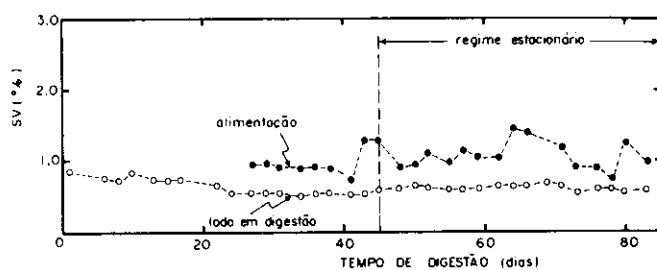


Figura A.13 — Variação da concentração de SV da Alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 9.

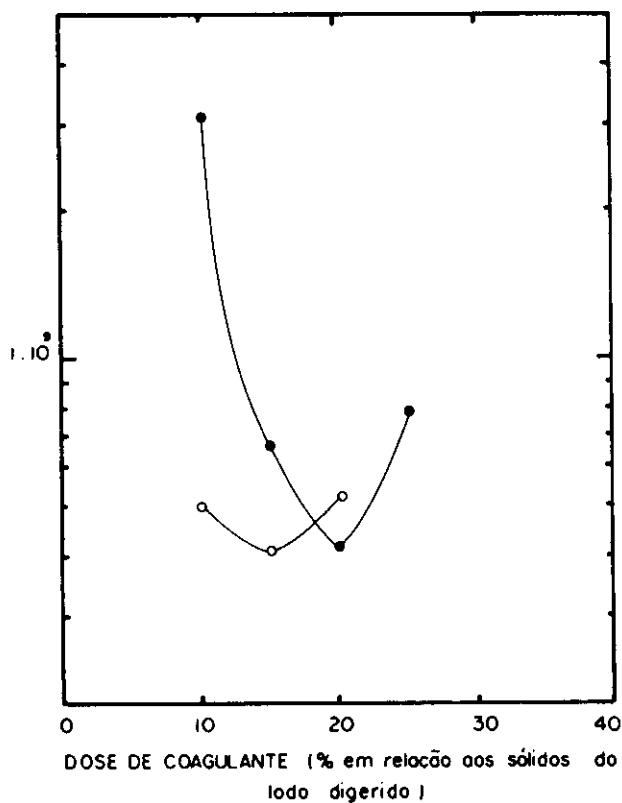


Figura A.14 — Determinação da concentração ideal de coagulante e da resistência específica à filtração a vácuo do excesso de lodo ativado digerido aerobicamente, com tempo de detenção de 18 dias (Ensaio 9).
●—● Resultados obtidos a 15% de Ca(OH)₂ constante.
○—○ Resultados obtidos a 20% de FeSO₄.7H₂O constante.

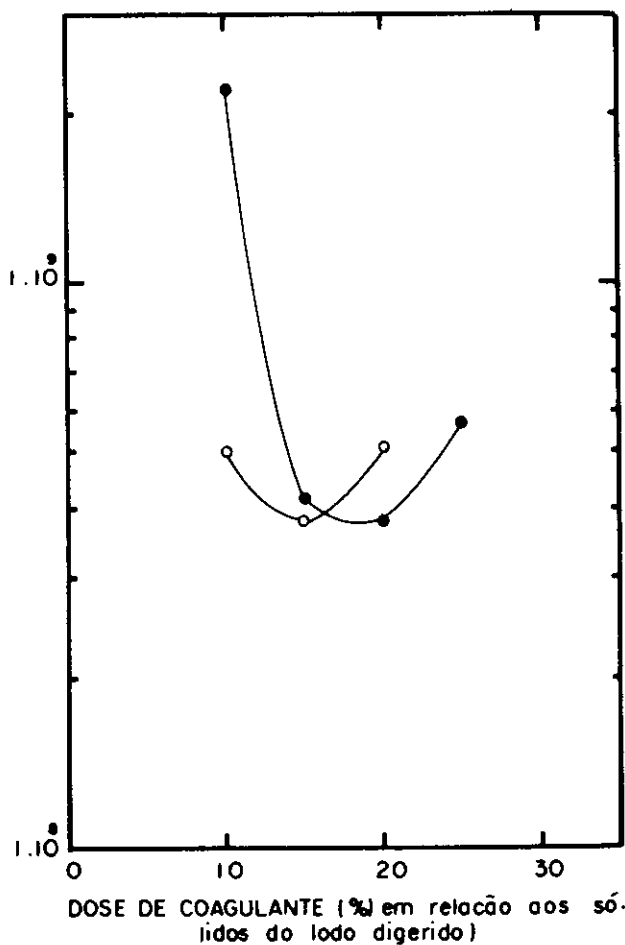


Figura A.16 — Determinação da concentração ideal de coagulante e da resistência específica à filtração a vácuo da mistura de lodo primário e secundário digerida aerobicamente, com tempo de detenção de 15 dias (Ensaio 10).
●—● Resultados obtidos a 15% de Ca(OH)₂ constante.
○—○ Resultados obtidos a 20% de FeSO₄.7H₂O constante.

QUADRO A.10
 Digestão aeróbia de mistura de lodo primário e
 excesso de lodo ativado — Ensaio 10

CONDIÇÕES DE ENSAIO

Tempo de detenção (dias)	15
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)	1,68
Temperatura (°C)	26
Aeração (litro ar/litro lodo.min)	0,9
Agitação mecânica	não tem

PARÂMETRO	ALIMEN- TAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	3,33	2,44
SV (%)	2,53	1,68
SV/ST (%)	75,8	69,5
pH	5,1	7,2
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		507
DBO solúvel do sobrenadante (mg/l)		171
OD (mg/l)		1,9
Resistência específica à filtração com adição de 15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O (seg ² /g)		3,82 x 10 ⁸
Redução de SV		34%

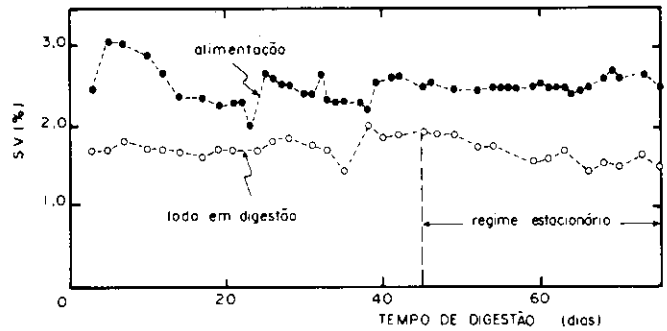


Figura A.15 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 9.

QUADRO A.11
 Digestão aeróbia de mistura de lodo primário e
 excesso de lodo ativado — Ensaio 11

CONDIÇÕES DE ENSAIO

Tempo de detenção (dias)	18
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)	1,4
Temperatura (°C)	26
Aeração (litro ar/litro lodo.min)	0,75
Agitação mecânica	não tem

PARÂMETRO	ALIMEN- TAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	3,33	2,20
SV (%)	2,53	1,47
SV/ST (%)	75,8	66,4
pH	5,1	7,1
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		300
DBO solúvel do sobrenadante (mg/l)		112
OD (mg/l)		2,7
Resistência específica à filtração com adição de 15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O (seg ² /g)		2,98 x 10 ⁸
Redução de SV		42%

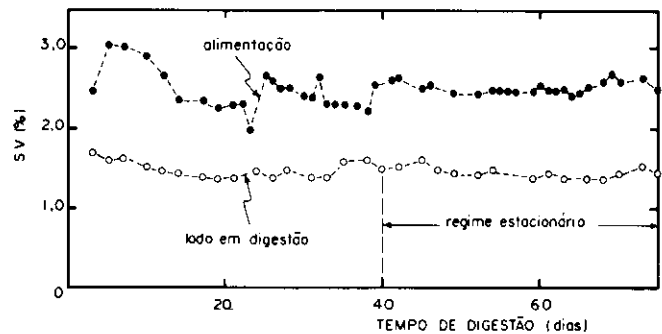


Figura A.17 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 11.

QUADRO A.12
 Digestão aeróbia de mistura de lodo primário e
 excesso de lodo ativado — Ensaio 12

CONDIÇÕES DE ENSAIO

Tempo de detenção (dias)	20
Carga de alimentação (gSV/litro.dia)	1,26
Temperatura (°C)	25
Aeração (litro ar/litro lodo.min)	1,3
Agitação mecânica	não tem

PARÂMETRO	ALIMEN- TAÇÃO	LODO DIGERIDO
ST (%)	3,33	2,37
SV (%)	2,53	1,60
SV/ST (%)	75,8	67,5
pH	5,1	7,2
DQO solúvel do sobrenadante (mg/l)		307
DBO solúvel do sobrenadante (mg/l)		79
OD (mg/l)		1,2
Resistência específica à filtração com adição de 15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O (seg ² /g)		2,76 x 10 ⁸
Redução de SV		37%

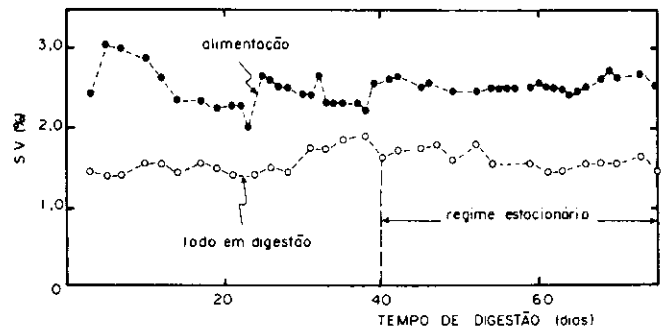


Figura A.19 — Variação da concentração de SV da alimentação e do lodo em digestão em função do tempo para o Ensaio 12.

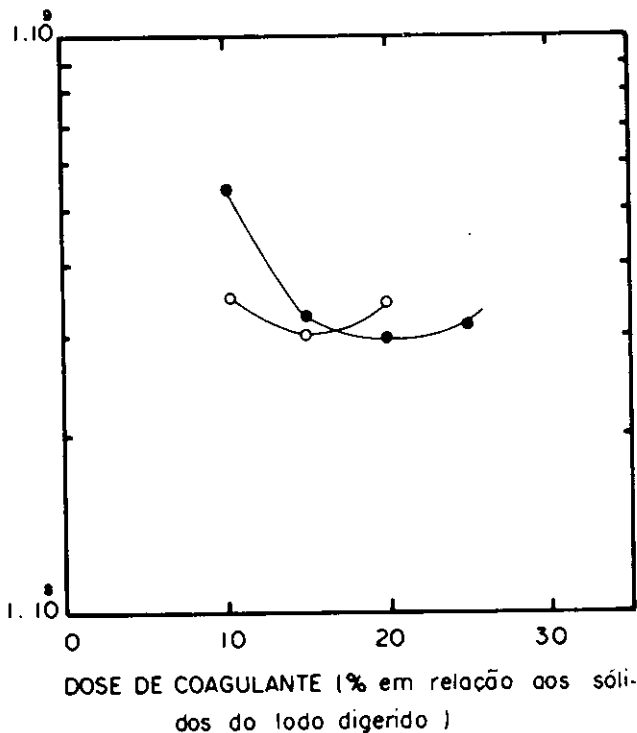


Figura A.18— Determinação da concentração ideal de coagulante e da resistência específica à filtração a vácuo da mistura de lodo primário e secundário digerida aerobicamente, com tempo de detenção de 18 dias (Ensaio 11). ●—● Resultados obtidos a 15% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ constante. ○—○ Resultados obtidos a 20% de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ constante.

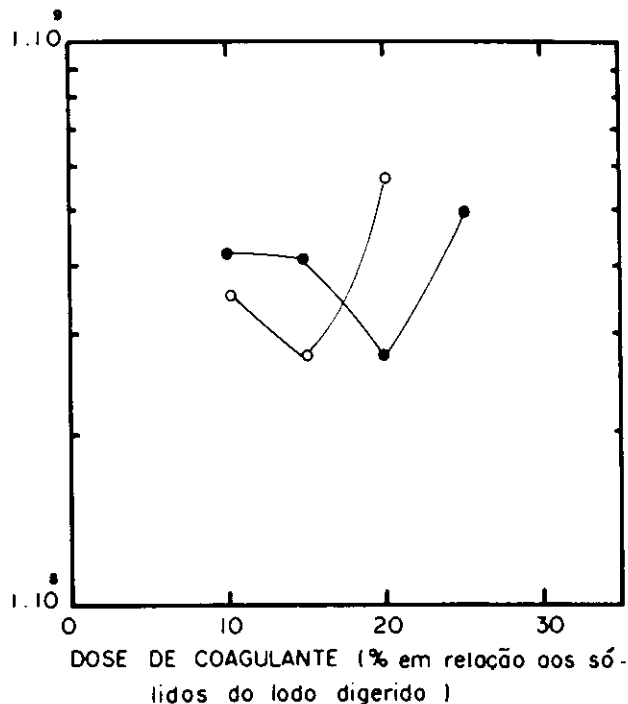


Figura A.20 — Determinação da concentração ideal de coagulante e da resistência específica à filtração a vácuo da mistura de lodo primário e secundário, digerido aerobicamente, com tempo de detenção de 20 dias (Ensaio 12). ●—● Resultados obtidos a 15% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ constante. ○—○ Resultados obtidos a 20% de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ constante.

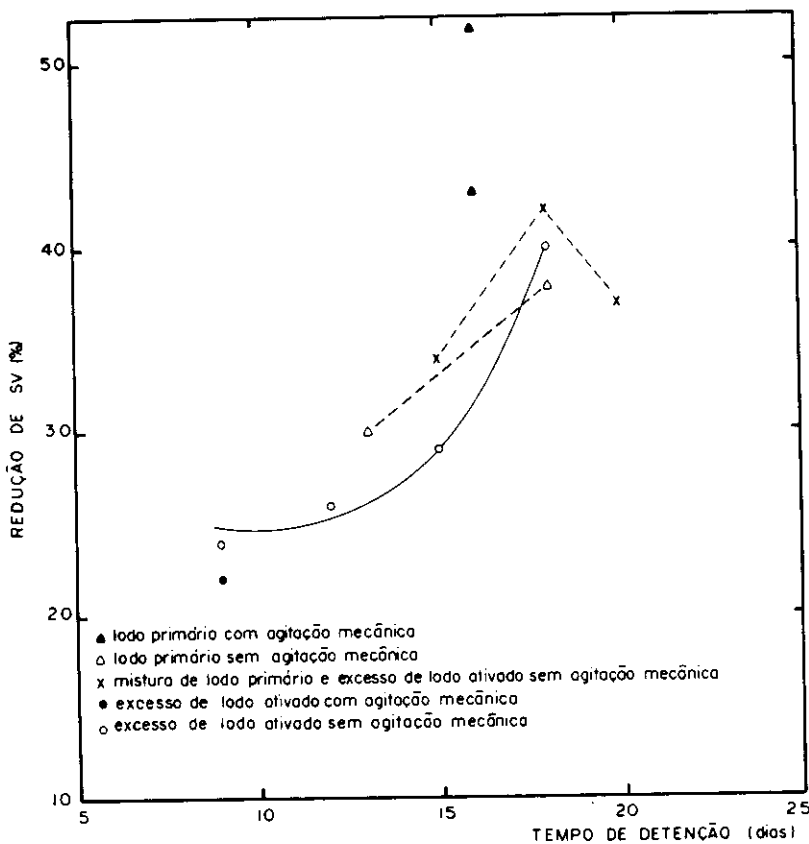


Figura A.21 — Redução de sólidos voláteis em função do tempo de detenção.

Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos com a digestão aeróbia foram discutidos na 1.^a parte deste trabalho.

A digestão aeróbia mostrou ser um processo eficiente no tratamento de lodo primários e excesso de lodo ativado.

Este processo poderá ser empregado sempre que uma avaliação do local e das necessidades da região indicarem sua viabilidade.

Na digestão aeróbia há necessidade de energia para aeração do sistema e não há formação de subprodutos rentáveis sendo aproveitado apenas o lodo digerido como fertilizante mas é um processo de fácil execução e controle. A digestão anaeróbia exige maiores cuidados operacionais mas não necessita energia para aeração e fornece um subproduto importante que é o gás metano, o qual só é economicamente aproveitável em grandes quantidades.

Para ambas as digestões, as reduções de SV são praticamente iguais e os tempos de detenção utilizados nos dois processos são da mesma ordem (13). A escolha de um processo ou outro vai depender das par-

TABELA A.1

Parâmetros de digestão aeróbia de lodo primário

Tempo de detenção a 25°C	16 dias
Aeração	0,5 litro ar/litro lodo.min
Agitação mecânica	200 min ⁻¹
Carga de alimentação	2,5 gSV/l.dia
Redução de SV	52%
DQO solúvel do sobrenadante	500 mg/l
SV do lodo digerido	1,9%

TABELA A.2

Parâmetros de digestão aeróbia de lodo primário

Tempo de detenção a 26°C	18 dias
Aeração	1,0 litro ar/litro lodo.min
Agitação mecânica	não tem
Carga de alimentação	2,2 gSV/l.dia
Redução de SV	39%
DQO solúvel do sobrenadante	608 mg/l
SV do lodo digerido	2,4%
Oxigênio dissolvido	1,9 mg/l
Resistência específica à filtração com adição de 15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O	8,1 x 10 ⁸ seg ² /g

TABELA A.3

Parâmetros de digestão aeróbia de excesso de lodo ativado

Tempo de detenção a 21°C	18 dias
Aeração	0,25 litro ar/litro lodo.min
Agitação mecânica	não tem
Carga de alimentação	0,57 gSV/l.dia
Redução de SV	40%
DQO solúvel do sobrenadante	362 mg/l
SV do lodo digerido	0,61%
Oxigênio dissolvido	2,1 mg/l
Quantidade ideal de coagulante para a separação sólido/líquido	15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O
Resistência específica à filtração com adição da quantidade ideal de Ca(OH) ₂ e FeSO ₄ .7H ₂ O	4,1 x 10 ⁸ seg ² /g

TABELA A.4

Parâmetros de digestão aeróbia de mistura de lodo primário e excesso de lodo ativado

Tempo de detenção a 26°C	18 dias
Aeração	0,75 litro ar/litro lodo.min
Agitação mecânica	não tem
Carga de alimentação	1,4 gSV/l.dia
Redução de SV	42%
DQO solúvel do sobrenadante	300 mg/l
SV do lodo digerido	1,5%
Oxigênio dissolvido	2,7 mg/l
Quantidade ideal de coagulante para a separação sólido/líquido	15% de Ca(OH) ₂ e 20% de FeSO ₄ .7H ₂ O
Resistência específica à filtração com adição de quantidade ideal de Ca(OH) ₂ e FeSO ₄ .7H ₂ O	3,0 x 10 ⁸ seg ² /g

ticularidades de cada caso, levando em conta aspectos econômicos e as possibilidades de se construir e operar um sistema mais complexo de tratamento do lodo de esgoto.

A digestão anaeróbia tem sido utilizada em grandes estações enquanto que a aeróbia é mais empregada em sistemas de tratamento de pequenas comunidades ou estações compactas de tratamento de esgoto.

Na digestão de lodo primário em que se utiliza aeração com ar comprimido, recomenda-se a agitação mecânica pois esse lodo possui maior quantidade de sólidos, sendo mais difícil a dispersão do O₂ no meio.

Conclusões

Os ensaios que apresentaram melhores resultados para digestão aeróbia de lodo primário, excesso de lodo ativado e mistura dos dois, são apresentados nas tabelas A-1, A-2, A-3 e A-4.

A digestão aeróbia de lodo primário a 4% de SV pode ser feita com ou sem agitação mecânica. A escolha vai depender de um balanço econômico e da eficiência de remoção de SV que se deseja obter.

A digestão de lodo secundário e mistura de lodo primário e secundário não necessita agitação mecânica.

Não é necessário o aquecimento do processo e nem o controle da temperatura.

Não é necessário o controle do pH.

O sobrenadante obtido deve retornar ao tratamento.

BIBLIOGRAFIA

1. A Joint Committee of the Water Pollution Control Federation and the American Society of Civil Engineers. **Wastewater Treatment Plant Design**. Aerobic Sludge Digestion, Washington, Water Pollution Control — Federation, 1977.
2. METCALF and EDDY, Inc., Boston, Mass., **Process Manual for Upgrading Existing Wastewater Treatment Plants**. Aerobic Digestion — EPA/625/1-0047, 1974.
3. BLACK, CROW and EIDNESS, Inc., Gainesville, Fla. **Process Design for Sludge Treatment and Disposal**. Aerobic Digestion — EPA/625/1-74/006, 1974.
4. MATSCH, L.C. and DRNEVICH, R.C. Autothermal Aerobic Digestion. **J. Water Pollution Control Fed.**, 49 (2): 296-310, 1977.
5. RITTER, E. Design and Operating Experiences Using Diffused Aeration for Slud-

ge Digestion. **J. Water Pollution Control Fed.** 42 (10), 1782-91, 1970.

6. SLADECEK, V. Saprobic Successions. **Verh. Internat. Verein. Limnol.** Stuttgart, 18, 896-902, 1972.
7. Associated Water & Air Resources Engineers, Inc. **Aware, Inc. Process Design Techniques for Industrial Waste Treatment**. Aerobic Digestion. Edited by Carl E. Adams, Jr. and Wesley Eckenfelder, Jr.
8. **Sludge Treatment and Disposal**. Aerobic Digestion and Design of Municipal Wastewater Sludges. EPA-725/4-78-012, 1978.
9. SMITH Jr., J.E., YOUNG, K.W. and Dean, R.B. Biological Oxidation and Desinfection of Sludge. **Water Research**, 9, 17-24, 1975.
10. LIJKLEMA, L. Factors Affecting pH Change in Alkaline Waste Water Treatment — I. **Water Research**, 3 (12), 913-30, 1969.
11. DREIER, D.E. Aerobic Digestion of Solids. **Proceedings of the Eighteenth Industrial Waste Conference, Purdue University — Lafayette, Indiana**, 123-40, 1963.
12. ALMEIDA, S.A. e MUJERIENGO, R. Processos e Equipamentos Disponíveis no Brasil para Secagem Mecânica de Lodo de Esgoto — 9.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Belo Horizonte, 1977.
13. TEIXEIRA, S.M.V. e SCHMIDELL Neto, W. Estudo Preliminar Comparativo entre Digestão Aeróbia e Anaeróbia de Lodo Primário de Esgoto da ETE-Pinheiros — 10.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Manaus, 1979.