Tratamento e disposição de lodo de esgoto

TH029 - Saneamento Ambiental II - Prof. Regina Tiemy Kishi

Conceito

O **lodo** é caracterizado como resíduo semi-sólido e de natureza predominantemente orgânica gerado pelo processo de tratamento de efluentes.

Tabela 1 – Origem dos principais subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos

Subproduto Sólido Gerado	Origem do Resíduo na ETE
Sólidos Grosseiros	Grade
Areia	Desarenador
Escuma	Desarenador, decantador primário, decantador secundário, reator anaeróbio e lagoa de estabilização
Lodo primário	tanque séptico e decantador primário
Lodo biológico aeróbio (não estabilizado)	lodos ativados convencional e reatores aeróbios com biofilme (alta carga)
Lodo biológico aeróbio (estabilizado)	lodos ativados – aeração prolongada e reatores aeróbios com biofilme (baixa carga)
Lodo biológico anaeróbio (estabilizado)	Lagoas de estabilização, Reatores UASB e Filtros anaeróbios
Lodo químico	Decantador primário com precipitação química e Lodos ativados com precipitação de fósforo

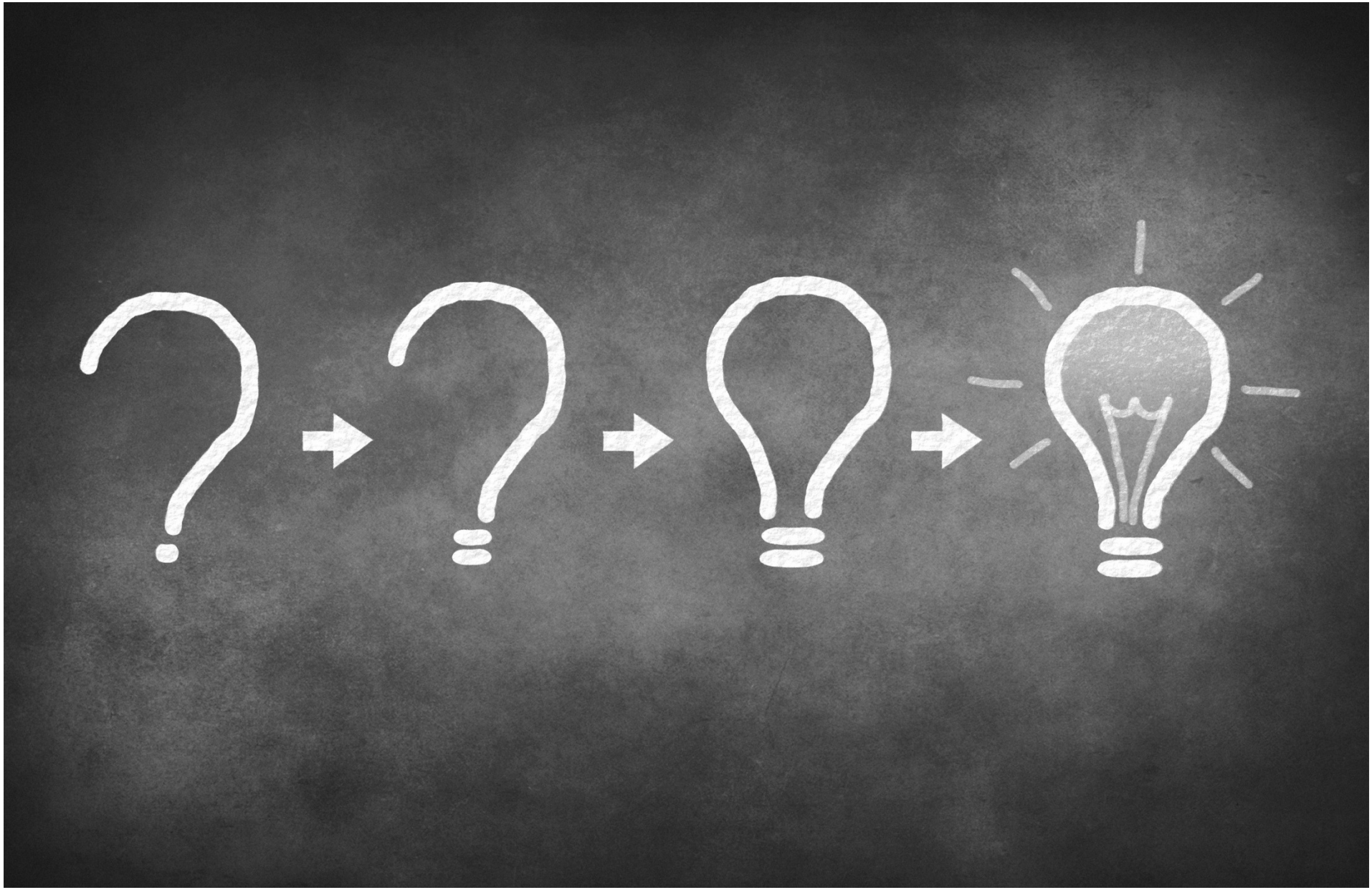
Fonte: Andreoli et al, 2001; Metcalf e Eddy, 2002

Por que tratar o lodo?

O principal objetivo do tratamento do lodo é gerar um produto mais estável e com menor volume para facilitar seu manuseio e, consequentemente, reduzir os custos nos processos subsequentes. Usualmente, o tratamento do lodo, após a sua geração, inclui uma ou mais das seguintes etapas: adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação e disposição final.

Gerenciamento de lodo de esgoto

- Alta complexidade
- Alto custo
- Elevado risco ambiental e sanitário



Vídeo 1 – editado de https://www.youtube.com/watch?v=vTszMirXufY

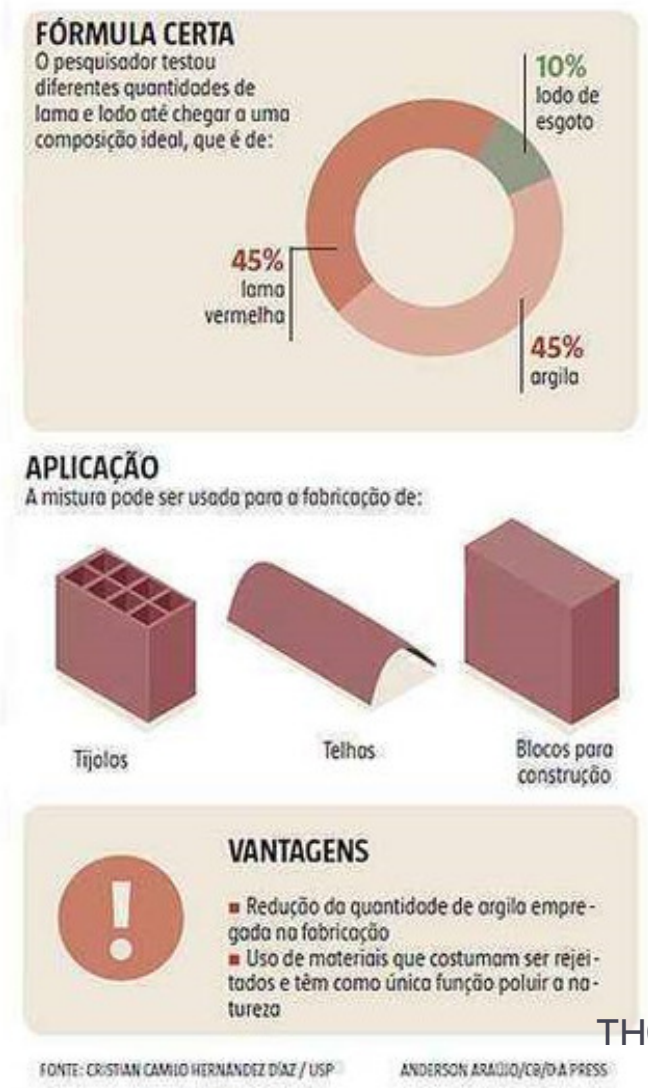
Vídeo 2 – retirado de https://www.youtube.com/watch?v=6DSm7CU9F7E&t=75s

Agricultura

- No Brasil a aplicação de lodo de esgoto na agricultura segue as determinações da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006)
- No Estado do Paraná, essa é complementada pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009). Tais resoluções estabelecem critérios para a determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto, entre eles o de pH
- O lodo de esgoto gerado na Região Metropolitana de Curitiba apresenta teores de substâncias inorgânicas abaixo dos limites estabelecidos pela legislação (TAMANINI et al., 2008), dessa forma, as medidas de controle prioritárias para uso agrícola desse material visam a higienização para eliminação dos agentes patogênicos. Para este fim, a Companhia de Saneamento do Paraná adota o processo de estabilização alcalina prolongada (EAP) por meio da adição de cal visando a elevação do pH da mistura a 12 e com posterior período de cura de 30 dias (SANEPAR, 2007 e PARANÁ, 2009).

- A Sanepar opera 234 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) no Paraná, atendendo mais de 7 milhões de pessoas com coleta e tratamento de esgoto. Por ano, a quantidade de lodo de esgoto produzida, em matéria seca, é de cerca de 20.000 toneladas, sendo que aproximadamente 50% são destinados para o programa agrícola.(SANEPAR, 2016)

Construção Civil



- Cerâmica
  - Parte da mistura
- Concreto
  - Material inerte

Tratamento e disposição de lodos

Produção de lodo de uma ETE

Lagoas de estabilização	Grandes áreas → acumulação pequena de lodo
Lagoas aeradas → **Lagoas de sedimentação**	Acumulação por 1 a 2 anos → necessidade de remoção e destino
Tratamento por disposição no solo (método da rampa)	Lodo vai se acumulando e sendo digerido no local → não necessidade de remoção
Processos aeróbios: lodos ativados, filtros biológicos	Grande geração de lodo → necessidade de remoção, tratamento e disposição final
Processos anaeróbios	Grande parte dos sólidos são transformados em gases → menor geração de lodo que processos aeróbios

Tabela 2 – Quantidade de lodo produzido nos sistemas de tratamento de esgoto

Tipo de sistemas	Volume de Lodo Produzido (L/hab.d)
Lagoas facultativas	0,05 – 0,15
Reator UASB	0,2 – 0,6
Lodos ativados convencional	3,1 – 8,2
Aeração prolongada	3,3 – 5,6
Lagoa anaeróbia	0,1 – 0,3
Filtro biológico de alta carga	1,4 – 5,2
Lagoa aerada facultativa	0,08 – 0,22

Fonte: Metcalf e Eddy (2002)

Estimativa: 120 g sólidos secos/hab/d [entrando na rede coletora de esgoto]

Europa: 82 g sólidos secos/d/hab [após tratamento do efluente]

(em projetos com processo aeróbio de lodos ativados)

SABESB: ~36 g sólidos secos/d/hab > 540 t/dia

(dados do sistema de 5 grandes ETEs na região de SP)

Estima-se apenas 30% do esgoto brasileiro tratado

Valores secos!!

Teor de umidade nas tortas desidratadas: 60-85%

Relação entre peso e volume → ↑ volume → ↑ problema

Características do lodo

a) Constituintes:

Compostos orgânicos

Compostos inorgânicos

Quantidades e características bastante variáveis:
Variações de concentrações de sólidos nos lodos podem ser significativas, podendo ocorrer picos por 2-5 dias consecutivos e ordem de grandeza de 3 a 5 vezes a concentração média. Importante considerar no projeto!!

b) Densidade relativa do lodo:

Depende

Volume de água presente
Densidade relativa dos sólidos totais (ST) presentes

Proporção

→ STF - Fixos
→ STV - Voláteis

T=550 °C

$$\frac{1}{\rho_{lodo}} = \frac{T_{ST}}{\rho_{ST}} + \frac{h}{\rho_{AG}}$$

$$\frac{C_{ST}}{\rho_{ST}\gamma_{AG}} = \frac{C_{STF}}{\rho_{STF}\gamma_{AG}} + \frac{C_{STV}}{\rho_{STV}\gamma_{AG}}$$

Onde:

ρ_{lodo} – densidade relativa do lodo

T_{ST} – Teor de ST no lodo (base decimal)

h – Umidade do lodo (base decimal)

C – Concentração de sólidos no lodo (tf/m^3)

γ_{AG} – peso específico da água (tf/m^3)

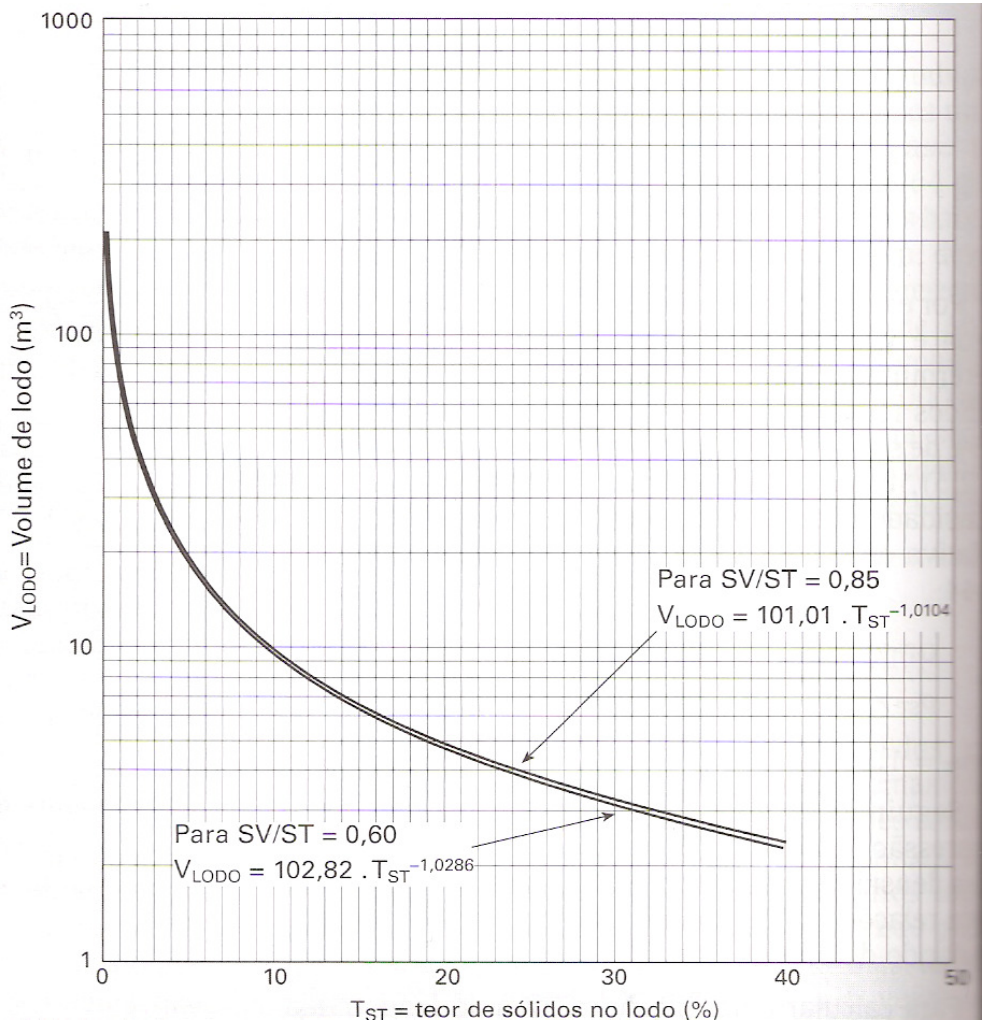
c) Relação entre densidade relativa e volume:

$$V = \frac{P_{ST}}{\rho_{lodo}\,\gamma_{AG}\,T_{ST}}$$

P_{ST} = Peso de ST (tf)

$\frac{STV}{ST}$ influencia pouco no volume.

T_{ST} influencia muito no volume.



d) Principais características dos lodos primários e secundários

Para tratamento do lodo e disposição final importante conhecer as características dos materiais a serem processados.

Dependem:

- origem dos sólidos

- quantidade gerada

- tipos de processos sujeitos anteriormente

Lodos primários

Fundo dos decantadores primários

Coloração cinza

Extremamente viscoso → Perdas de carga em tubulações até 4x maior que a água limpa

Odor ofensivo → Deve ser digerido antes do destino final

Teor de ST: 1 a 7% → Depende do tipo do decantador e forma de remoção

Sedimenta com facilidade → Espessamento em unidades gravimétricas (mesmo tipo da decantação primária)

Grande concentração de sólidos → Dimensionamento:
Taxas de aplicação hidráulica: 24-30 $m^3/m^2/d$
Taxas de aplicação de sólidos: 88-136 kg $SST/m^2/d$

% de sólidos no lodo	Coeficiente de Hazen-Willians para tubos transportando lodo	
	Lodo fresco	Lodo digerido
Água limpa	100	100
1	83	100
2	71	91
3	60	83
4	53	78
5	47	73
6	42	69
7	37	65
8	33	60
9	29	55
10	25	48

Lodos secundários

Fundo dos decantadores secundários e descartados de lodos ativados

Coloração marrom ➡

Mais escuro → aproxima-se das condições sépticas
Mais claro → lodo fresco e bem aerado
→ odor inofensivo, mas
→ tendência de rapidam/ se tornarem séptico

➡ Deve ser digerido antes do destino final

Teor de ST: 0,5 a 1,5% ➡ Depende do tipo do decantador e forma de remoção

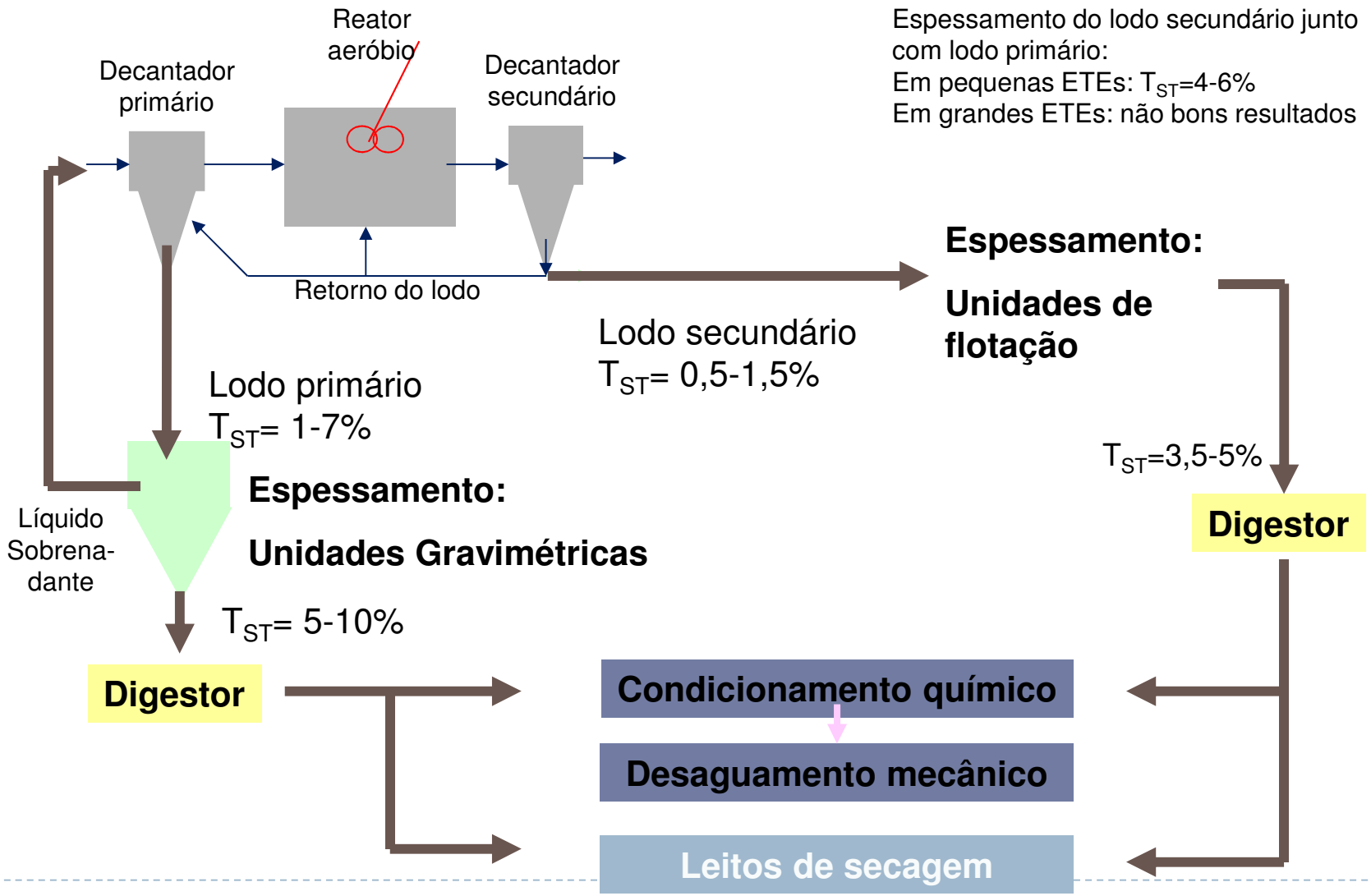
Aparência floculenta

Não sedimenta com facilidade

Tratamento do lodo

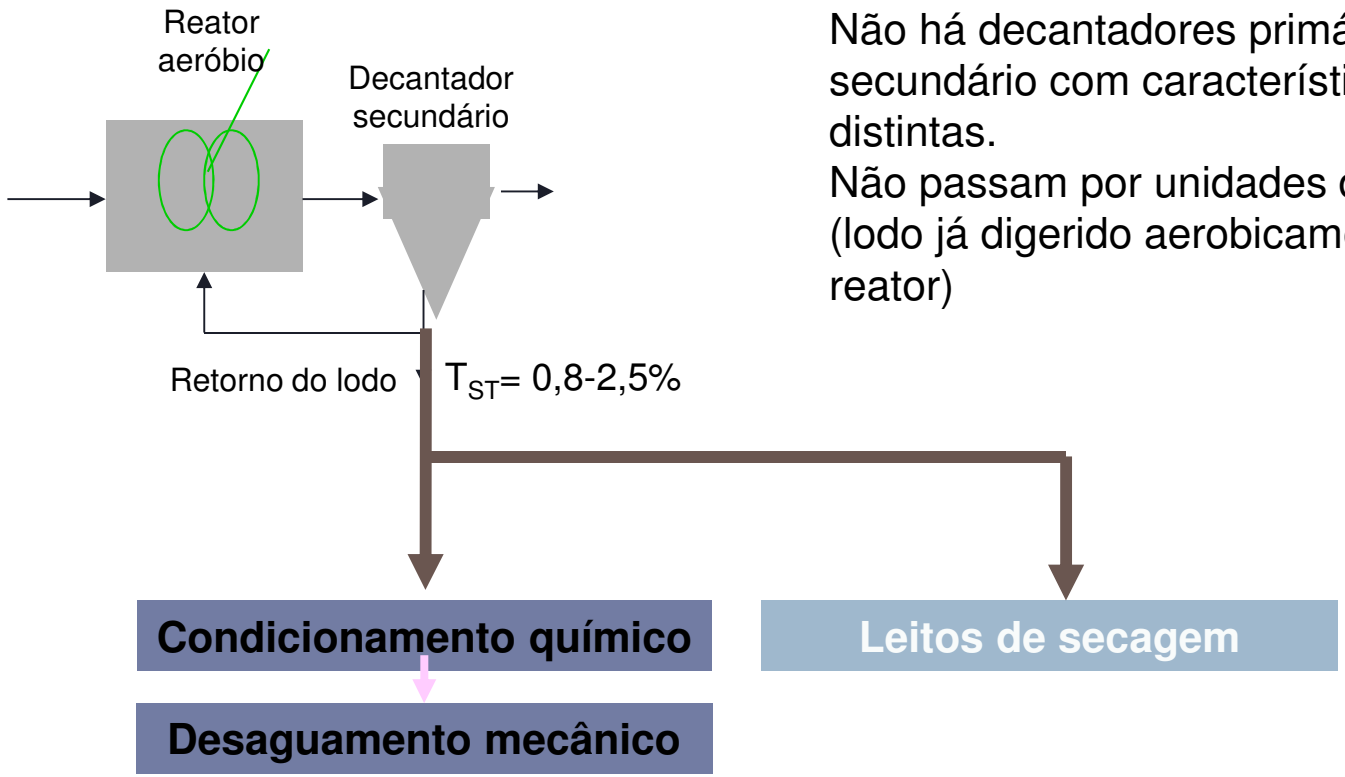
- Adensamento ou espessamento: redução de umidade (redução de volume)
- Estabilização: redução de matéria orgânica (redução de sólidos voláteis)
- Condicionamento: preparação para a desidratação (principalmente mecânica)
- Desidratação: redução adicional de umidade (redução de volume);
- Disposição final: destinação final dos subprodutos.

Sistemas de lodos ativados convencional



Espessamento do lodo secundário junto com lodo primário:
Em pequenas ETEs: T_{ST}=4-6%
Em grandes ETEs: não bons resultados

Sistemas de lodos ativados aeração prolongada



Não há decantadores primários→ lodo secundário com características distintas.
Não passam por unidades de digestão (lodo já digerido aerobicamente no reator)

Espessamento

Objetivo: Diminuir volume → reduzir a capacidade volumétrica dos digestores e tamanho de bombas, redução de consumo de produtos químicos no desaguamento e menor consumo de energia no aquecimento de digestores

Unidades:

Lodo primário

Gravimétricas

Lodo secundário

Flotação com ar dissolvido

Injeção de bolhas finas de gás, lançados sob pressão, do fundo da unidade.

As bolhas aderem às partículas sólidas, diminuindo a densidade, promovendo o arraste ou flutuação até a superfície.

Retirada do sólido na superfície

Centrífuga, adensador de esteira, tambor rotativo, etc

Flotação

Digestão do lodo

Tanto lodo primário quanto secundário (lodos ativados convencional) necessitam de tratamento adicional para mineralização da MO antes da destinação final.

Comum usar digestão anaeróbia por economia de energia.

Θ_c (dias) em função da temperatura

Temperatura de operação (°C)	θ_c mínimo	θ_c recomendado para projeto
18	11	28
24	8	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Desaguamento do lodo

Objetivo: Diminuir volume e umidade → diminuir custos de transporte

Processo realizado após digestão do lodo.

Lodo desaguado = torta de lodo

Classificado mundialmente como biossólido

Processos Usuais:

Leitos de secagem

Lagoas de lodo

Processos naturais

Equipamentos mecânicos

Precede condicionamento químico

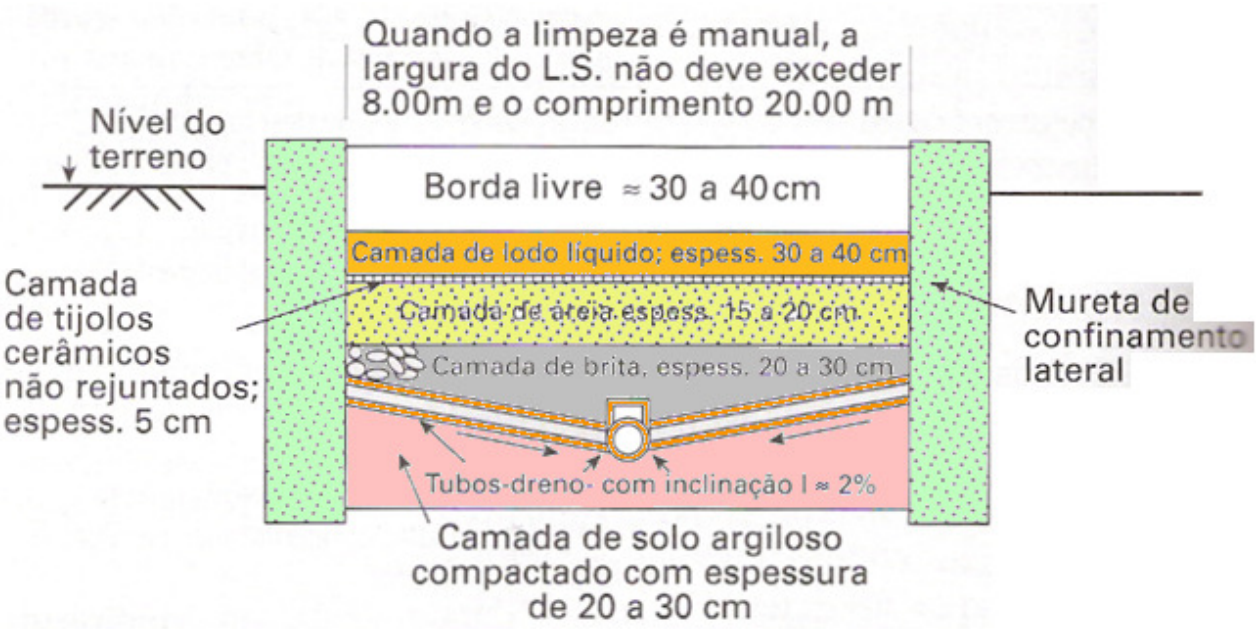
Leitos de secagem

Leitos de secagem

Processos envolvidos

Evaporação natural

Percolação natural



Estimativa de área:

Leitos de secagem não cobertos	Leitos de secagem cobertos
0,14 a 0,28 m^2 /hab	0,10 a 0,20 m^2 /hab
100 a 300 kg ST/m^2/ano (em bases secas)	150 a 450 kg ST/m^2/ano (em bases secas)

Condicionamento químico

Objetivo: Melhorar separação sólido-líquido →

aumentar rendimento do desaguamento mecânico

Uso de:

- Polímeros
- Sulfatos de ferro e de alumínio
- Cal
- Cloreto férrico

Mais usado no Brasil

Desaguamento mecânico

Saída: T_{ST}= 15-35%
Tempo de ciclo menor que do leito de secagem

Filtros-prensa de placas

Filtros-prensa de esteiras

Centrífugas

Filtros a vácuo

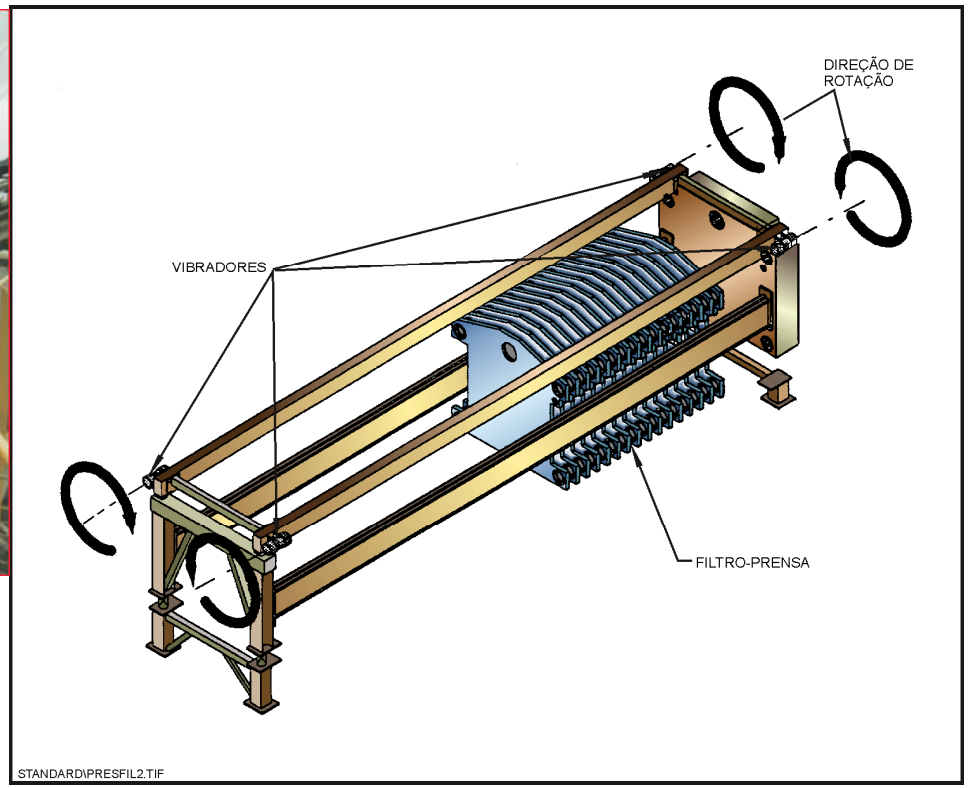
Tabela 3 – Teor de sólidos no resíduo do tratamento de esgoto de acordo com o tipo de estabilização e equipamento utilizado para o deságue

Tipo de estabilização	Desaguamento	Teor de sólidos no resíduo (%)
Digestão Anaeróbia	Filtro prensa de placas	30 a 40
	Filtro prensa de esteiras	16 a 25
	Centrífugas	25 a 30
	Leitos de secagem	20 a 30
Digestão Aeróbia	Filtro prensa de placas	25 a 35
	Filtro prensa de esteiras	13 a 18
	Centrífugas	20 a 25
	Leitos de secagem	25 a 30

Fonte: Além sobrinho (2001)

Filtro-prensa de placas

Umidade residual	
Na centrífuga	80% / 82%
No filtro prensa	60% / 65%



http://dc351.4shared.com/doc/7rKEWJM7/preview.html

Filtro-prensa de esteiras

Filtro a vácuo

Filtro
 cerâmica,
rotativo a vácuo

http://portuguese.alibaba.com/product-gs/tc-rotary-ceramic-vacuum-filter-for-sewage-sludge-waste-acid-treatment-in-environmental-protection-579551017.html

Outros

Tratamento térmico

Processo de condicionamento do lodo fresco, que consiste em aquecimento sob temperaturas altas (140-205°C) durante curtos períodos de tempo (~30 min) sob pressões de 1,0 a 2,0 MPa.

Incineração:

Desaguamento térmico da torta de lodo (T>600°C).

Destino final do lodo

Forma que o lodo se apresenta:
Importante para cálculo do volume e custo de transporte

Líquida	Desaguada (Torta)	Cinzas
	Lodo desaguado mecanicamente ou em leitos de secagem	Material resultante da incineração da torta
Teor de sólidos: 2-10%	Teor de sólidos: 15-40%	Teor de sólidos: 90-95%
Volume específico: 50-9,7 m^3/t sólidos secos (depende do teor de sólidos)	Volume específico: 6,4-2,4 m^3/t sólidos secos (depende do teor de sólidos)	

Referências

- NUVOLARI, ARIOVALDO. 2003. Esgoto Sanitário; coleta, transporte, tratamento e reuso
- ANDREOLI, C.V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. 2001. Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final.
- METCALF; EDDY, INC. 2002. Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse
- CASSINI, S.T. 2003. Digestão de resíduos orgânicos e aproveitamento do biogás
- ALEM SOBRINHO, P. 2001. Tratamento de esgoto e produção de lodo.