



TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS (LOB1225)

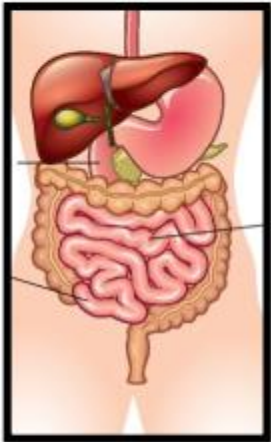
Aula 9

Tratamento secundário de esgotos
Tratamento anaeróbico

Prof. MSc. Paulo Ricardo Amador Mendes

Processos anaeróbios

- Digestão anaeróbia: importância em diferentes âmbitos



Fisiologia
animal



Processos
industriais



Meio ambiente



Tratamento de
resíduos



Aterros
sanitários

Processos anaeróbios

- Tratamento de águas residuárias:

Vantagens

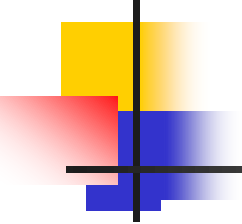
- Economia com aeração
- Baixa produção de lodo
- Produção de CH_4 (energia)
- Simplicidade operacional



Desvantagens

- Mau odor
- Menor eficiência
- Complexidade do processo biológico
- Empirismo





Microbiologia de processos anaeróbios

- Consórcio de microrganismos
- Bactérias e arqueias
- Sequência de reações: grupos de microrganismos consumindo subprodutos de outros grupos

Hidrólise

Quebra de moléculas complexas por bactérias hidrolíticas, com enzimas extracelulares.

Acidogênese

Produção de ácidos orgânicos, álcoois e cetonas por bactérias fermentativas.

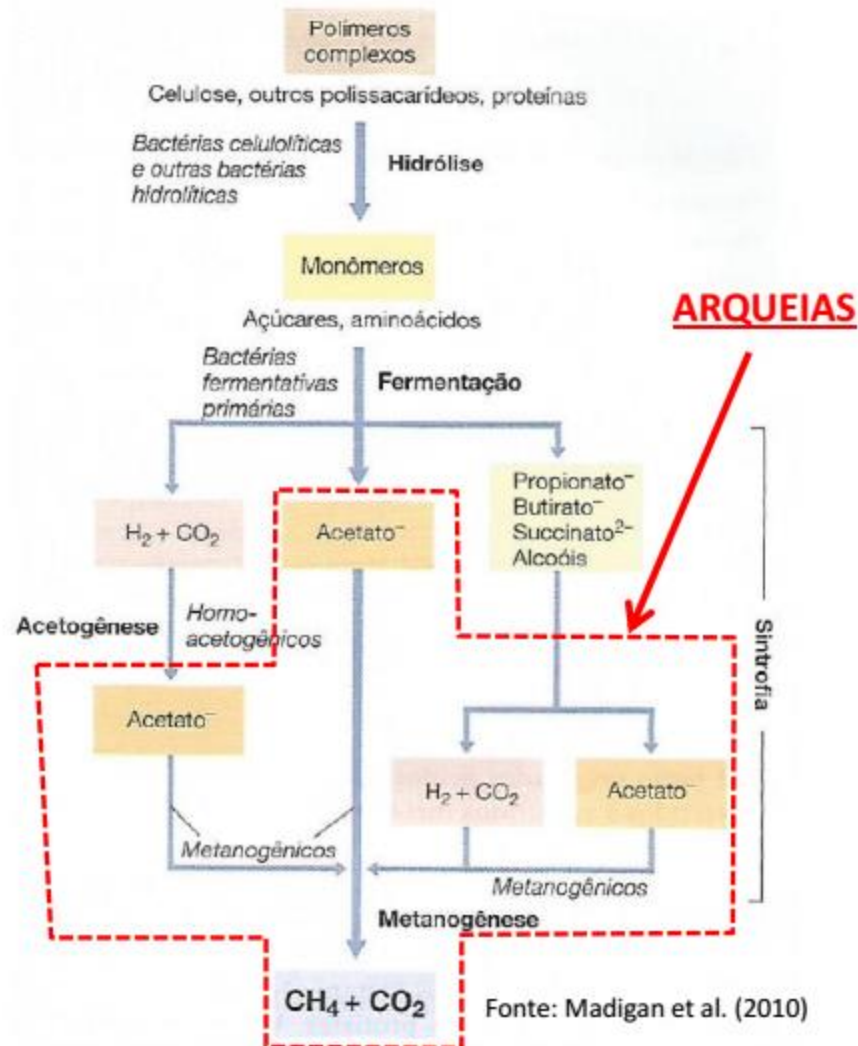
Acetogênese

Produção de acetato através da conversão de ácidos e álcoois, ou de H_2 e CO_2 , pelas bactérias acetogênicas.

Metanogênese

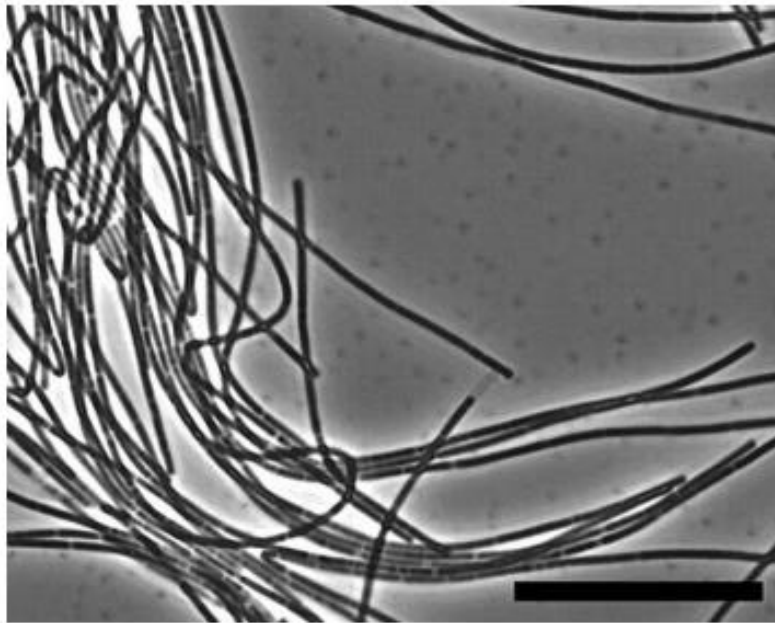
Produção de metano através do uso de acetato pelas arqueias metanogênicas acetoclásticas, ou do uso de H_2 e CO_2 pelas arqueias metanogênicas hidrogenotróficas.

Microbiologia de processos anaeróbios



Microbiologia de processos anaeróbios

- Arqueias metanogênicas acetoclásticas:



Methanosaeta pelagica

Fonte: metanogen.biotech.uni.wroc.pl

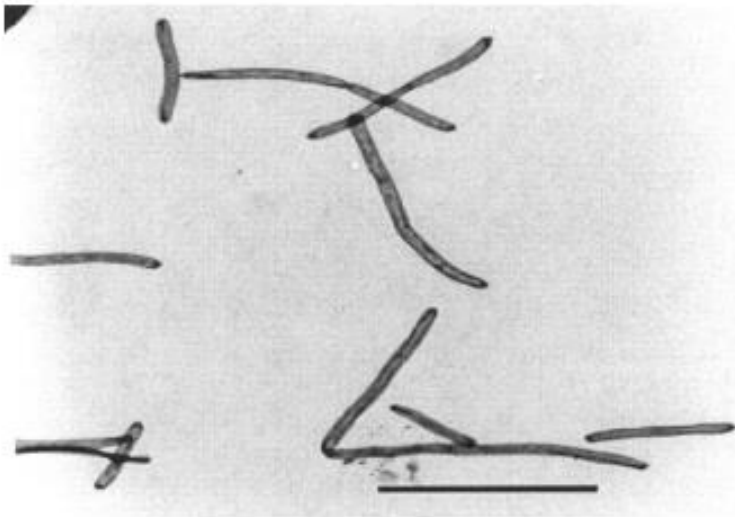


Methanosarcina acetivorans

Fonte: microbewiki.kenyon.edu

Microbiologia de processos anaeróbios

- Arqueias metanogênicas hidrogenotróficas:



Methanobacterium aarhusense

Fonte: microbewiki.kenyon.edu



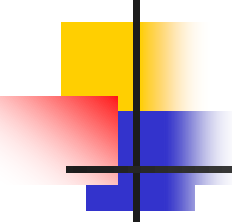
Methanobacterium palustre

Fonte: microbewiki.kenyon.edu



Microbiologia de processos anaeróbios

- Condições ambientais:
 - Ausência de oxigênio
 - Disponibilidade de nutrientes: DQO:N:P = 500:5:1
 - pH neutro (metanogênese sensível a variações de pH)
 - Sistemas anaeróbios têm boa adaptabilidade a substâncias tóxicas, mas estão sujeitos a inibições
 - Grande dependência da temperatura
- Cinética de crescimento microbiano:
 - Produção de 2 ATPs por moléculas de glicose, em comparação com 38 ATPs por molécula de glicose em processos aeróbios
 - Consequência: baixa produção de lodo e vantagens econômicas

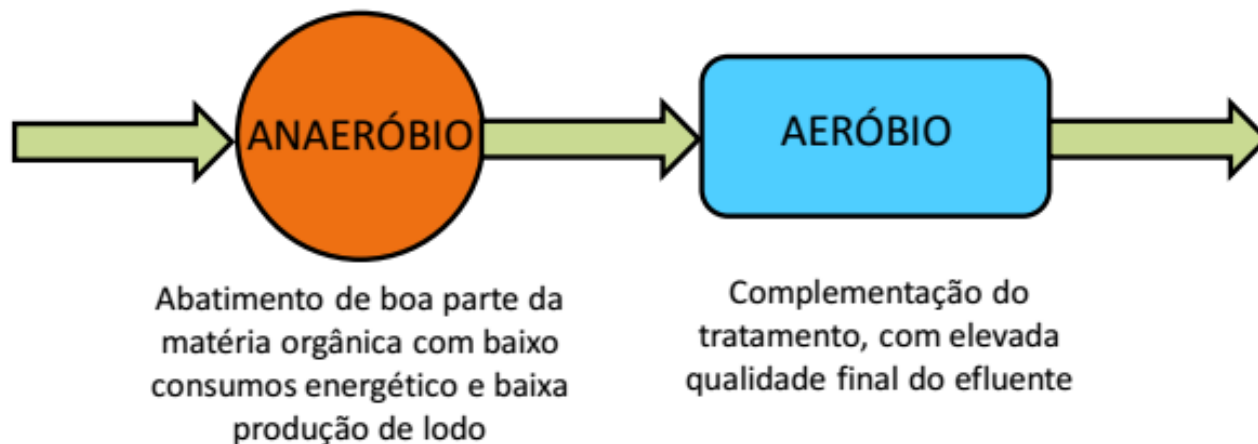


Sistemas anaeróbios de tratamento

- Tanques sépticos;
- Filtros anaeróbios;
- Reatores UASB;
- Digestores de lodo;
- Lagoas anaeróbias;
- Reatores de leito fluidificado/fluidizado;
- Reatores EGSB;
- Reatores anaeróbios de membrana (AnMBR);
- Reatores anaeróbios com biodiscos rotativos;
- Reatores anaeróbios em bateladas sequenciais (ASBR);
- Reatores anaeróbios horizontais de leito fixo (RAHLF);
- Entre outros.

Combinação anaeróbio + aeróbio

- Exploração das vantagens de cada biotecnologia e minimização das respectivas desvantagens



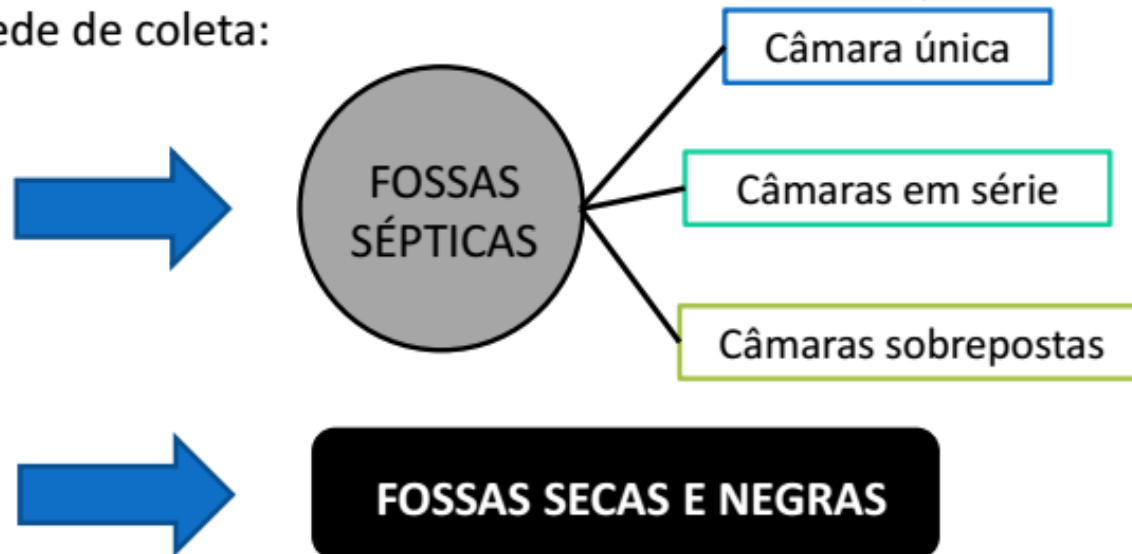
- Exemplos:
 - UASB + Filtro biológico aeróbio
 - UASB + Lodos ativados
 - UASB + Biofiltro aerado submerso



TANQUES SÉPTICOS

Disposição descentralizada de dejetos

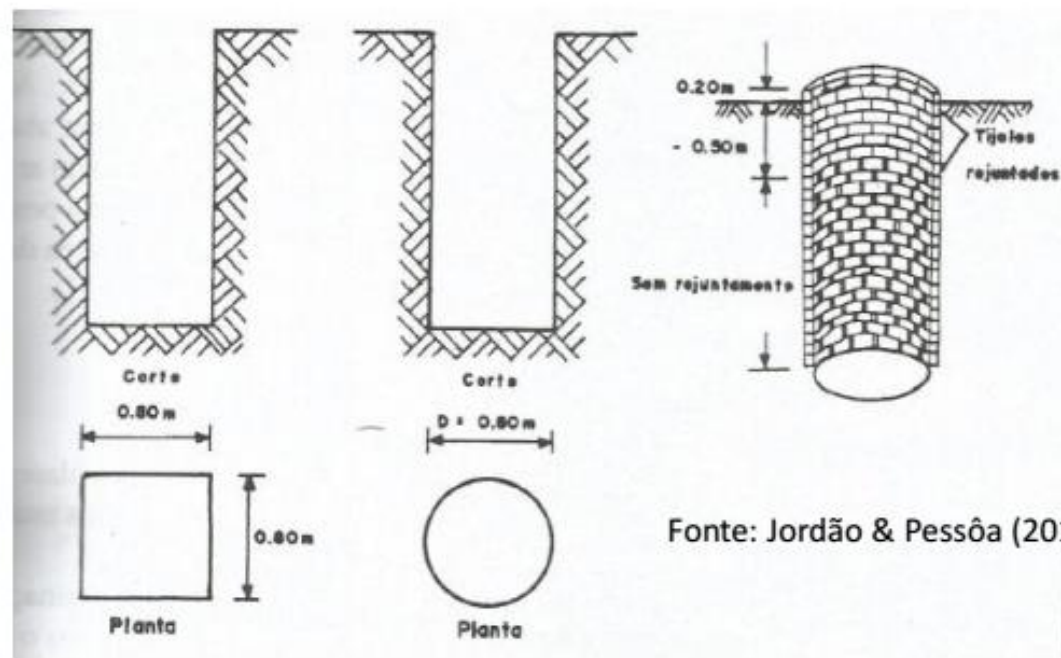
- Localidades afastadas dos centros urbanos ou que não dispõem de rede de coleta:



- Promovem o afastamento dos dejetos da população, com retenção e redução de sólidos e certo grau de tratamento, equivalente a um tratamento primário
- Podem representar risco de contaminação de lençóis freáticos, devendo ser dimensionados com cautela e somente quando não há possibilidade de sistemas mais eficientes de tratamento.

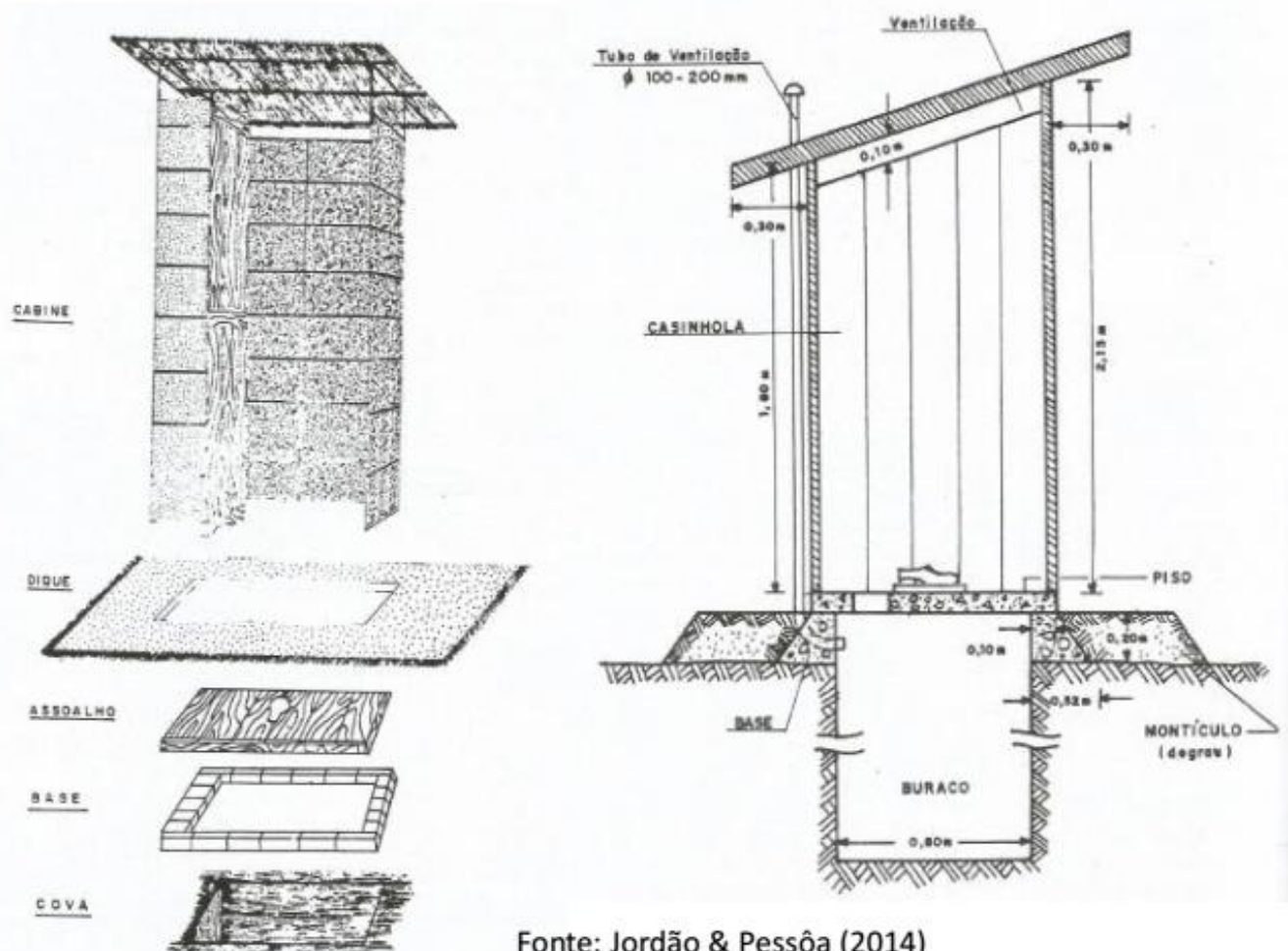
Fossa seca ou privadas higiênicas

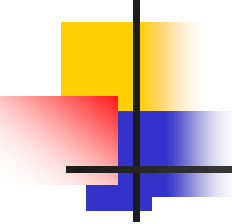
- Forma mais rudimentar de disposição de dejetos humanos
- Armazenamento de excretas (urina e fezes) em compartimento escavado
- Infiltração de líquido no solo, digestão dos sólidos com redução do volume, gases liberados para a atmosfera



Fonte: Jordão & Pessoa (2014)

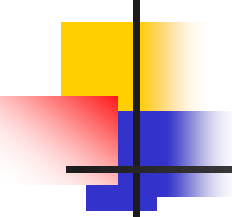
Fossa seca ou privadas higiênicas





Fossa seca ou privadas higiênicas

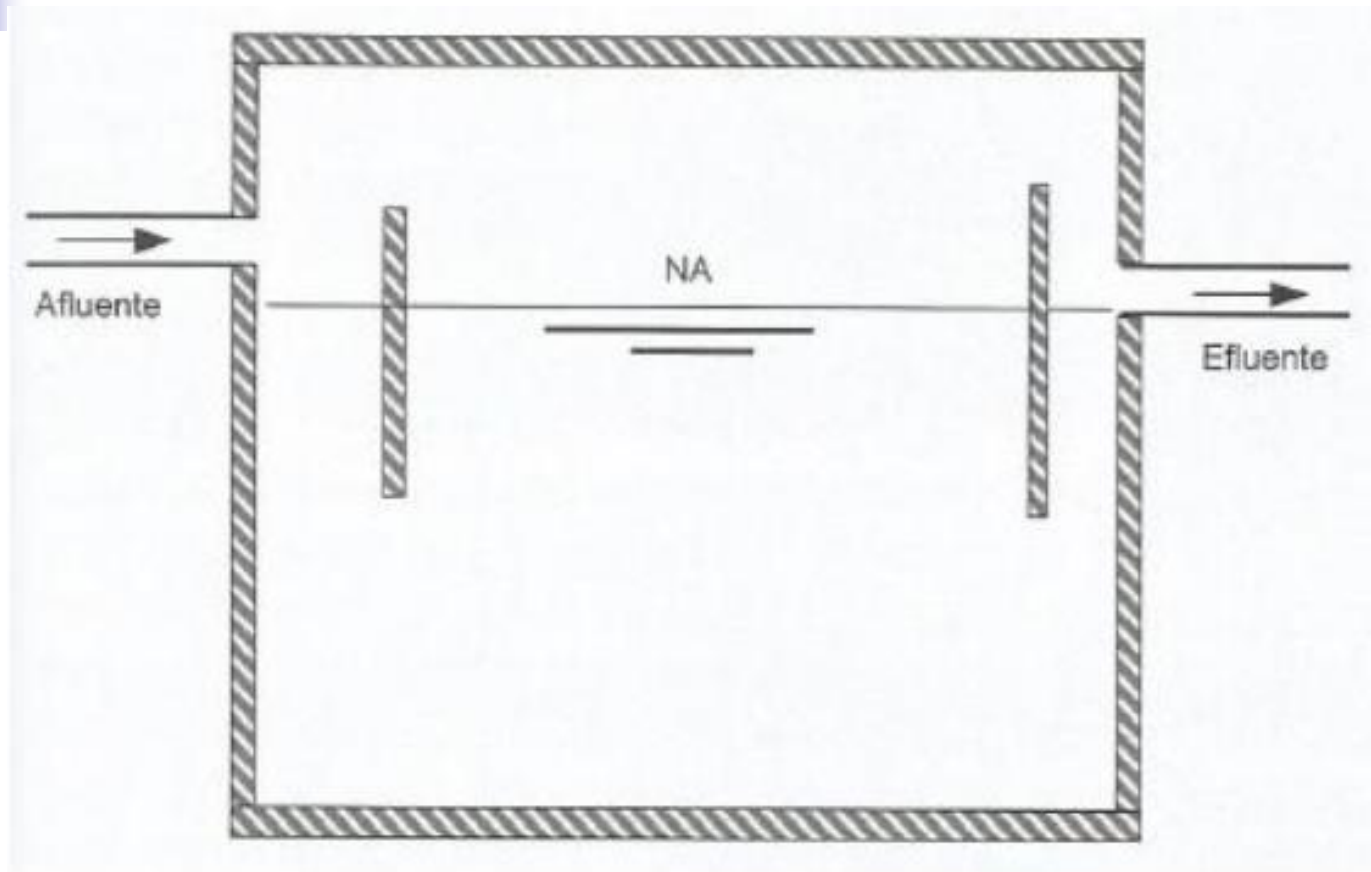
- Dimensionamento baseado na produção per capita de excretas e na redução anual de sólidos armazenados
- Períodos de utilização de 4 a 8 anos
- O material acumulado pode ser removido periodicamente ou a fossa seca pode ser abandonada e recoberta
- Cuidados devem ser tomados com relação ao lençol freático e poços próximos: distância mínima de 1,5 m em relação ao lençol, e de 15 m em relação a poços. O poço deve estar a montante da fossa.
- Quando o lençol freático está em contato com o fundo da escavação, a unidade é chamada de “fossa negra”. O risco de contaminação é maior neste caso



Fossas sépticas

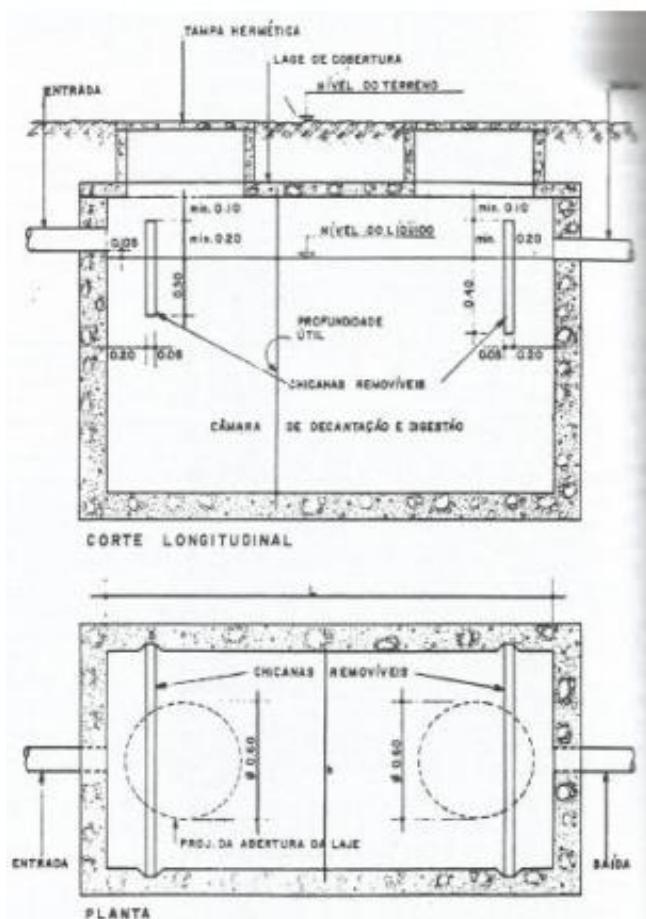
- Câmara construída abaixo da superfície para reter os sólidos dos esgotos domésticos (lodo e espuma)
- Domicílios ou pequenas populações (conjuntos de casas, pequenos edifícios) não atendidos por rede coletora de esgoto
- Dimensionadas para sedimentação e digestão de sólidos, promovendo tratamento equivalente ao primário
- Necessidade de limpeza periódica
- Tipos: câmara única, câmaras em série, câmaras sobrepostas

Fossa séptica de câmara única

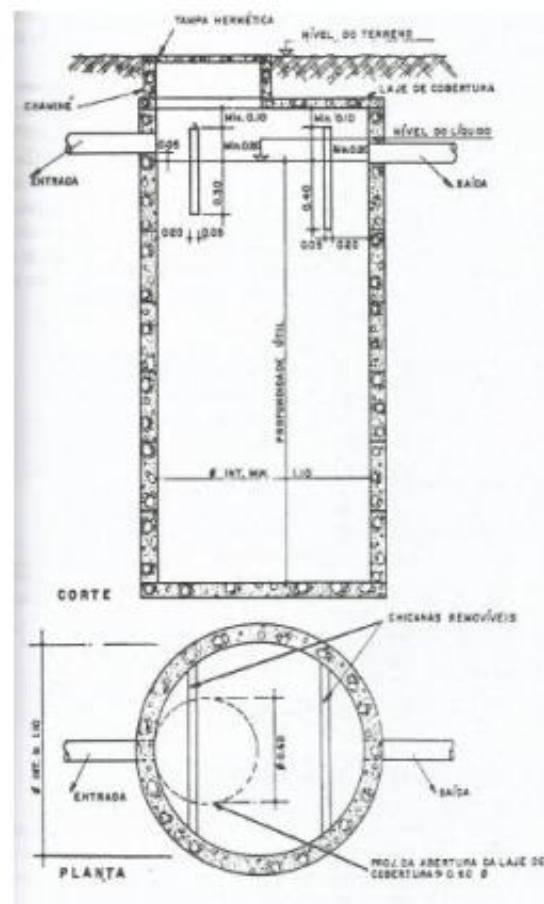


Fossa séptica de câmara única

PRISMÁTICA

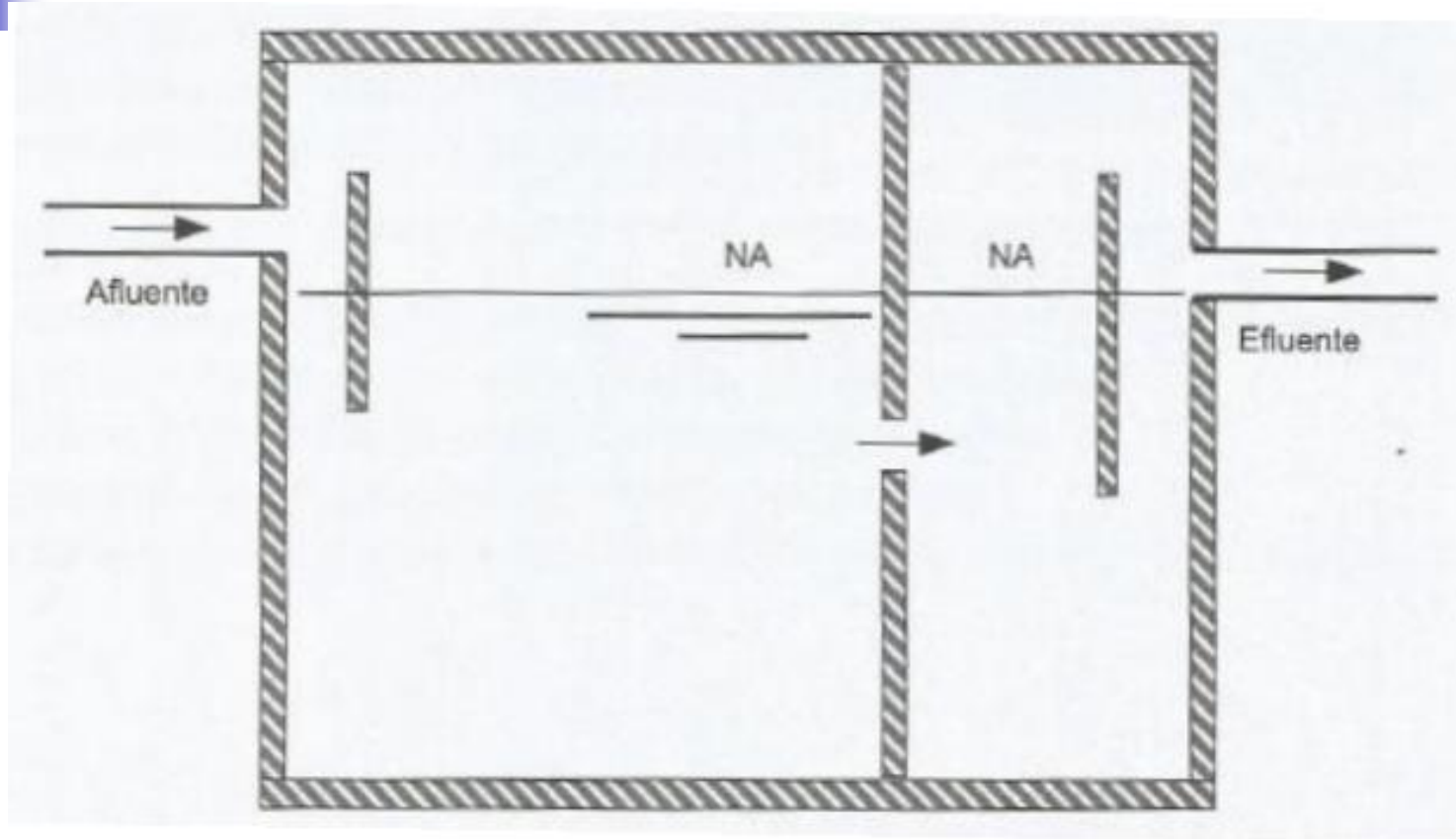


CILÍNDRICA

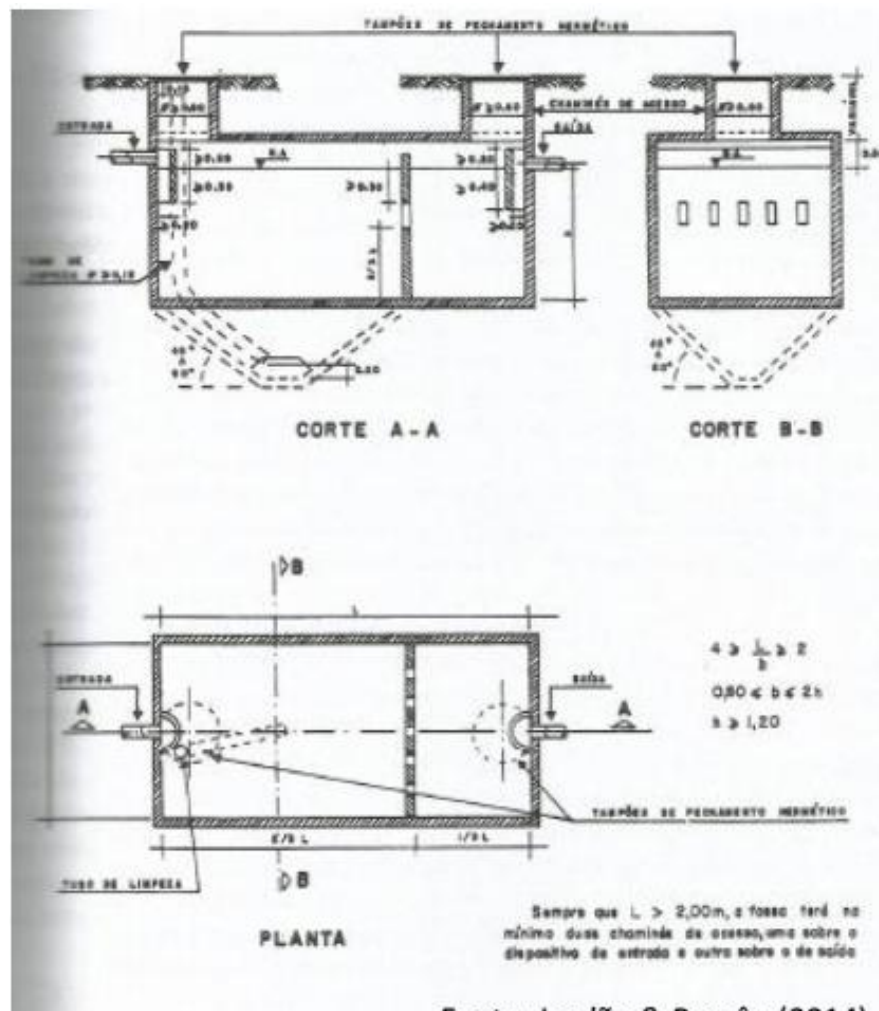


Fonte: Jordão & Pessoa (2014)

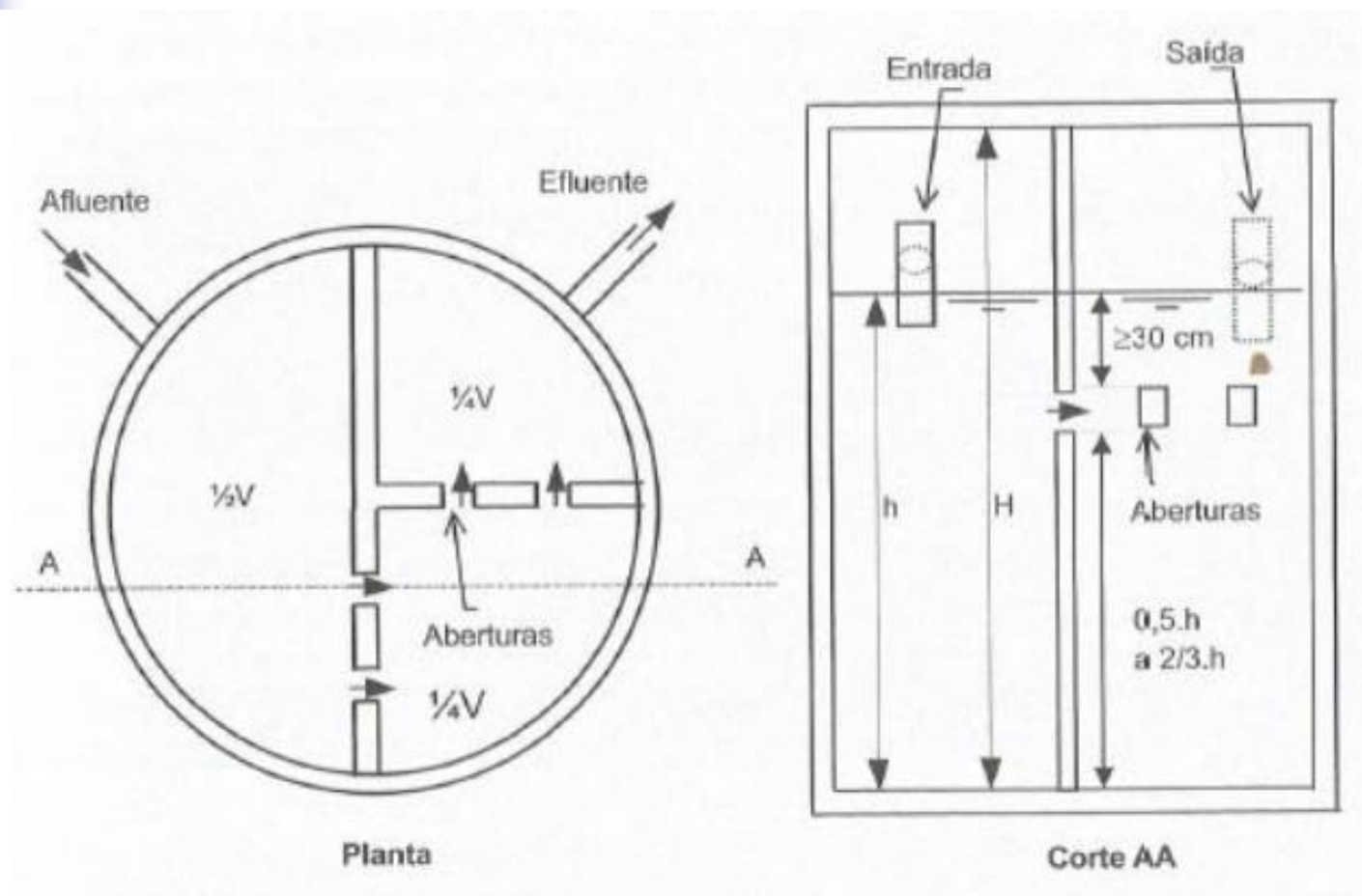
Fossa séptica de câmaras em série



Fossa séptica de câmaras em série

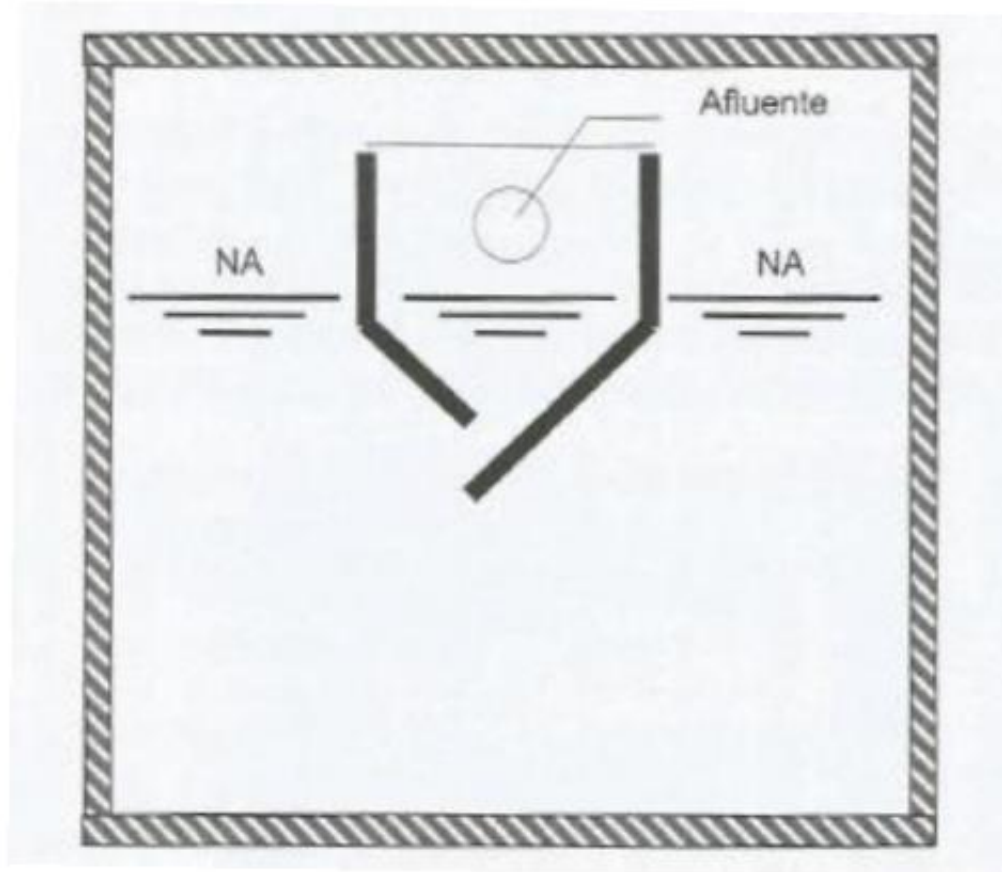


Fossa séptica de câmaras em série

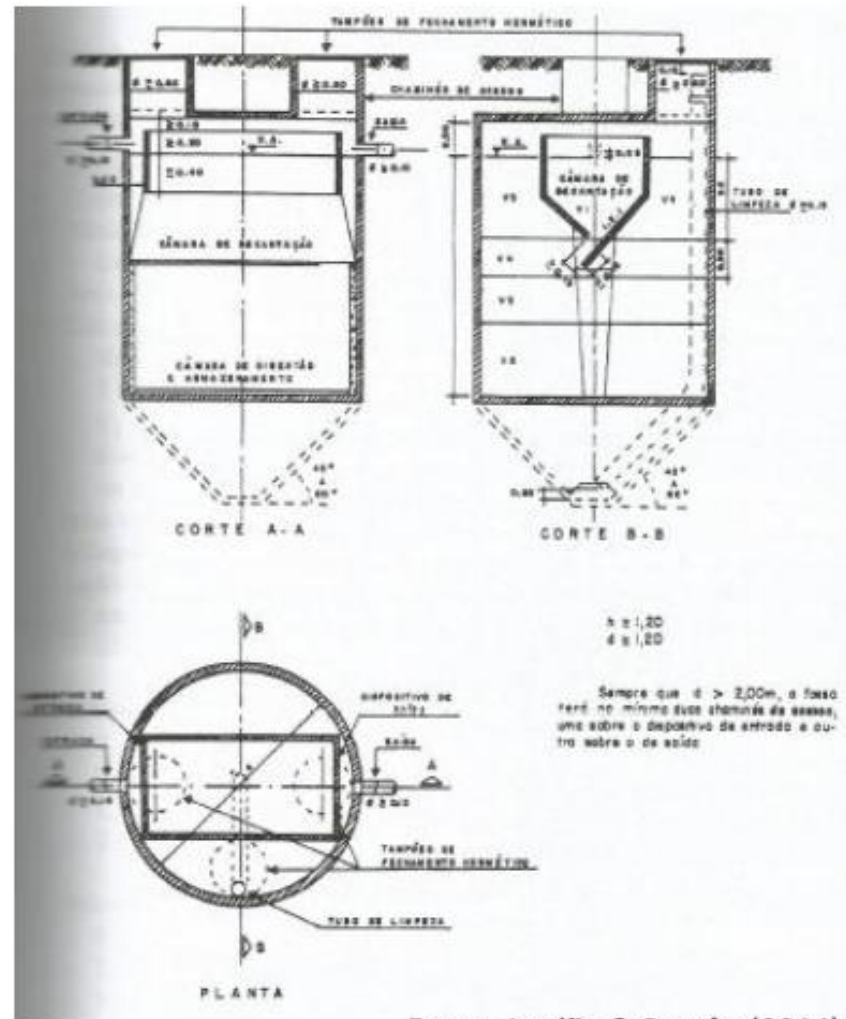


Fossa séptica de câmaras sobrepostas

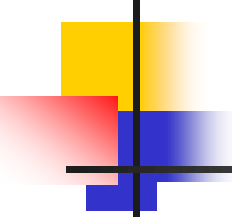
Semelhante aos Tanques Imhoff



Fossa séptica de câmaras sobrepostas



Fonte: Jordão & Pessoa (2014)



Fossa séptica de câmara única

Dimensionamento

- NBR7229:1993
- Volume útil da fossa: (mínimo de 1250 L)

$$V = 1000 + N \times (C \times T + K \times L_f)$$

Onde:

V = volume útil (L)

N = número de contribuintes

C = contribuição per capita de esgoto (L/hab.d)

T = tempo de detenção hidráulica (d)

K = taxa de acumulação de lodo (d), em função da temperatura média do mês mais frio.

L_f = contribuição per capita de lodo fresco (L/hab.d)

Fossa séptica de câmara única

Dimensionamento

Quadro 5.2 Contribuições unitárias de esgotos por tipo de prédio e de ocupantes

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) (L/un.dia)	Contribuição de lodo fresco (L _f) (L/un.dia)
Ocupantes permanentes (*)	-	-	-
• residência padrão alto	pessoa	160	1
• residência padrão médio	pessoa	130	1
• residência padrão baixo	pessoa	100	1
• hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
• alojamento provisório	pessoa	80	1
Ocupantes temporários (*)	-	-	-
• fábrica em geral	pessoa	70	0,30
• escritório	pessoa	50	0,20
• edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
• escolas (externatos/loais de longa permanência)	pessoa	50	0,20
• bares	pessoa	6	0,10
• restaurantes e similares	pessoa	25	0,10
• cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
• sanitários públicos (**)	bacia sanitária	480	4,00

(*) nos prédios com ocupantes permanentes e temporários simultâneos, a vazão total de contribuição resulta da soma das vazões correspondentes a cada tipo de ocupação.

(**) apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, estação ferroviária, logradouro público, estádio esportivo etc.)

Fonte: NBR 7.229 (ABNT, 1993)

Fonte: Chernicharo (2016)

Fossa séptica de câmara única

Dimensionamento

Quadro 5.1 Tempo de detenção hidráulica dos esgotos

Contribuição diária (Q) (L/d)	Tempo de detenção hidráulica (t)	
	(d)	(h)
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Acima de 9000	0,50	12

Fonte: NBR 7.229 (ABNT, 1993)

Quadro 5.3 Taxa de acumulação total de lodo (K)

Intervalo de limpeza do tanque (anos)	Valores de K, em dias, por faixa de temperatura ambiente		
	$T \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$10 < T \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Fonte: NBR 7.229 (ABNT, 1993)

Fossa séptica de câmara única

Dimensionamento

- Cálculo do volume útil – Exemplo:

- Para conjunto de casa totalizando 25 moradores de padrão socioeconômico baixo, em região de clima quente, e com limpeza da fossa a cada 3 anos:

$$\left. \begin{array}{l} N = 25 \\ C = 100 \text{ L/hab.d (Tabela)} \end{array} \right\} Q = N \times C = 25 \times 100 = 2500 \text{ L/d}$$

$$T = 22 \text{ h} = 0,92 \text{ d (Tabela)}$$

$$L_f = 1 \text{ L/hab.d (Tabela)}$$

$$K = 137 \text{ d (Tabela)}$$

$$V = 1000 + N \times (C \times T + K \times L_f)$$

$$V = 1000 + 25 \times (100 \times 0,92 + 137 \times 1)$$

$$V = 6725 \text{ L}$$

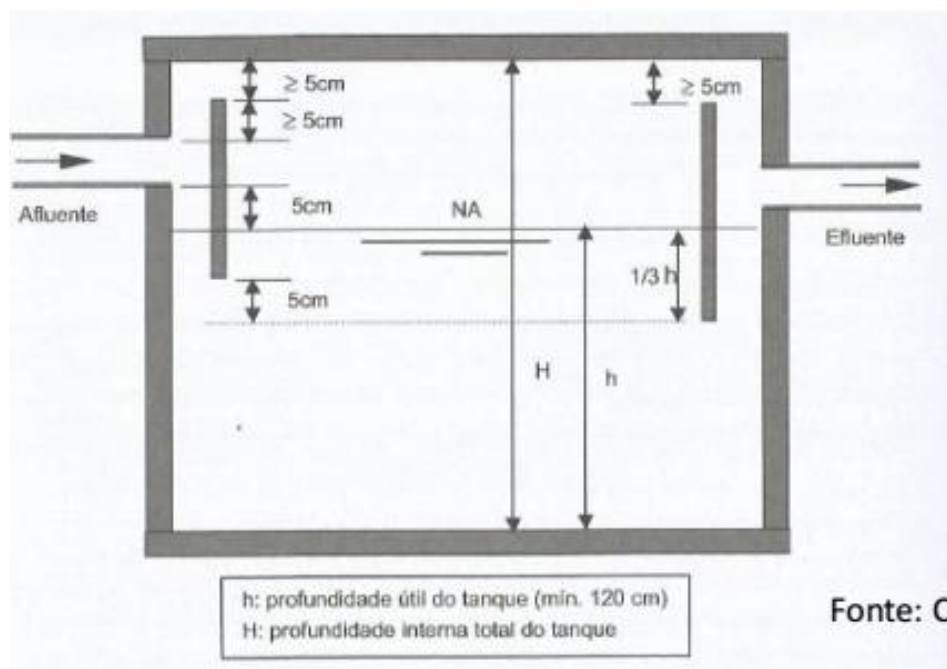
Fossa séptica de câmara única

Dimensionamento

Quadro 5.4 Profundidades úteis de tanques sépticos

Volume útil (m³)	Profundidade útil (m)	
	mínima	máxima
Até 6,0	1,20	2,20
De 6,0 a 10,0	1,50	2,50
Superior a 10,0	1,80	2,80

Fonte: NBR 7.229 (ABNT, 1993)

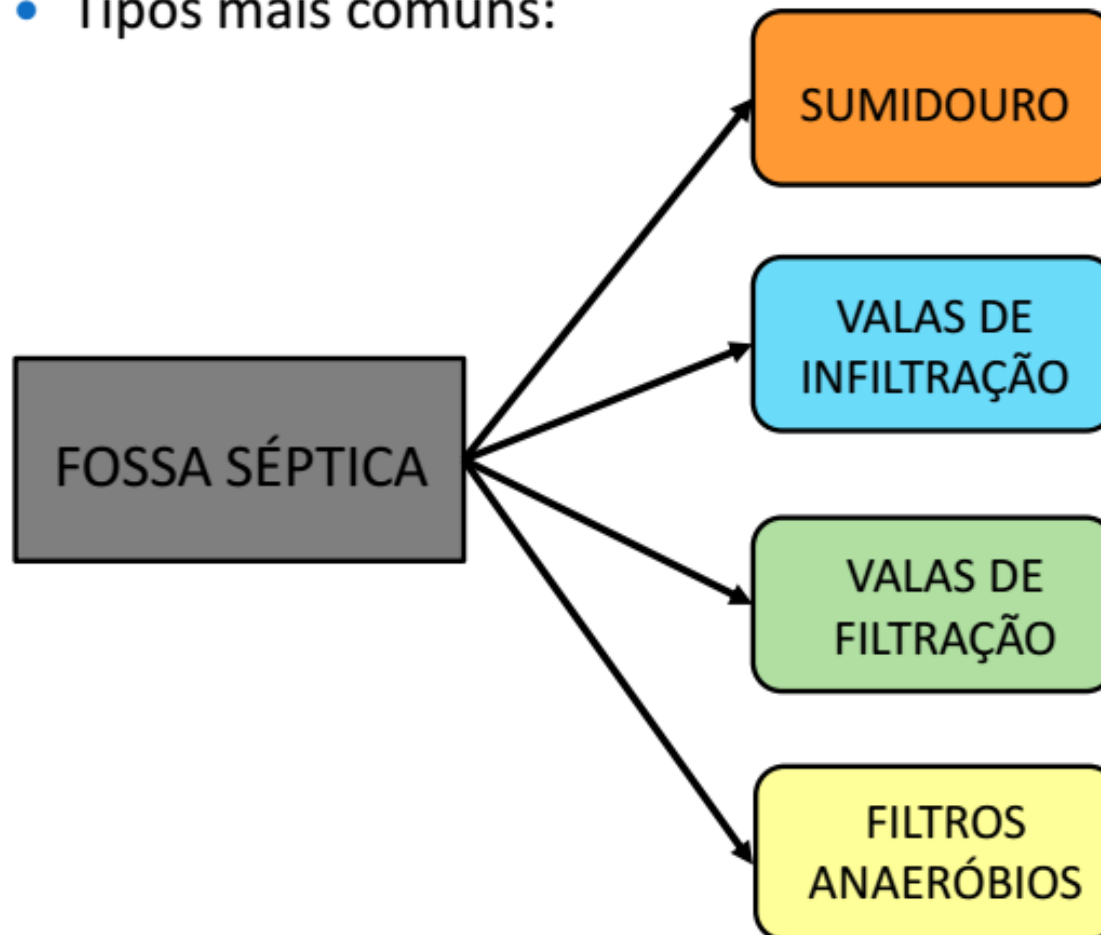


Recomendado:
 $L/B = 2 \text{ a } 4$

Fonte: Chernicharo (2016)

Disposição de efluentes de fossas sépticas

- Tipos mais comuns:



Sumidouros

- Escavações com paredes de pedras, tijolos, madeira etc., permeáveis aos efluentes das fossas sépticas
- Cilíndricos ou prismáticos
- Dimensionamento a partir da área de infiltração:

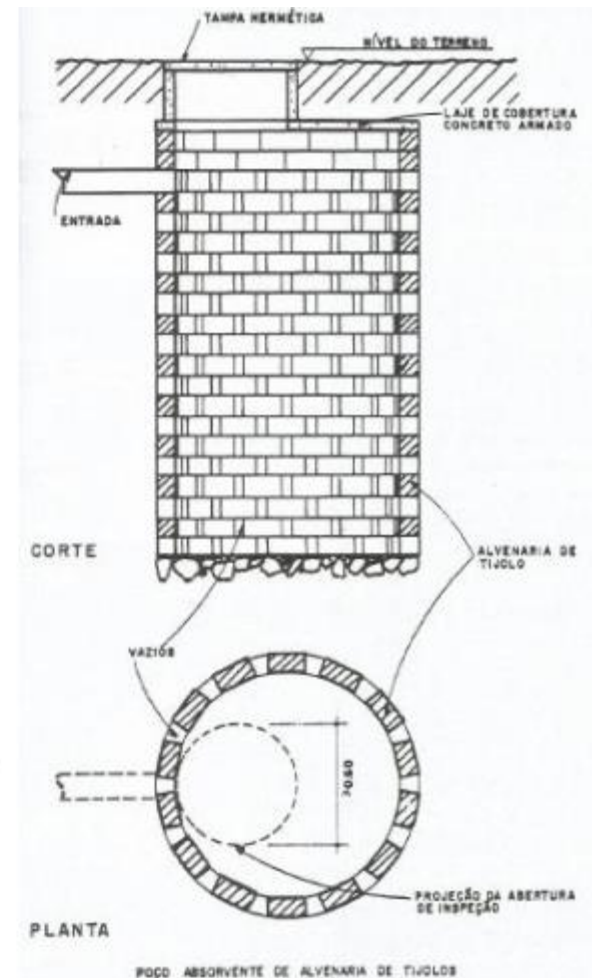
$$A = \frac{Q}{C_i}$$

Onde:

A = área de infiltração (m²) (paredes e fundo, mas do ponto de vista prático, o fundo pode ser desconsiderado devido à rápida colmatção)

C_i = coeficiente de infiltração (L/m².d)

Q = vazão afluente (L/d)



Fonte: Jordão & Pessoa (2014)

Sumidouros

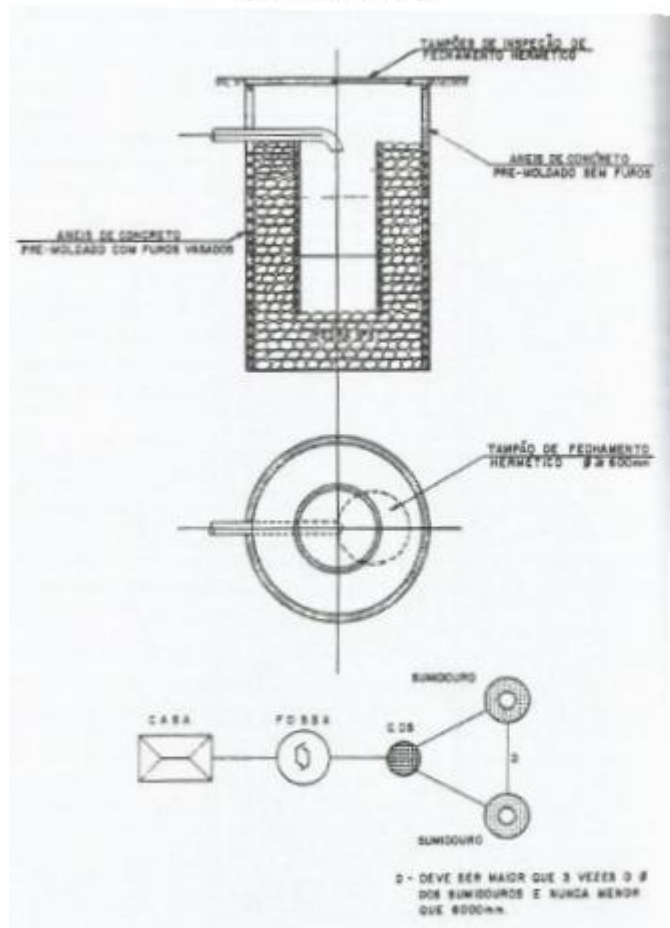
TABELA 17.5 (*)
POSSÍVEIS FAIXAS DE VARIAÇÃO DE COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO

Faixa	Constituição provável dos solos	Coef. infiltração (l/m ² .dia)
1	Rochas, argilas compactas de cor branca, cinza ou preta, variando a rochas alteradas e argilas medianamente compactas de cor avermelhada.	< 20
2	Argilas de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argilas pouco siltosas e/ou arenosas.	20 a 40
3	Argilas arenosas e/ou siltosas, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60
4	Areia ou silte pouco argiloso, ou solo arenoso com húmus e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areias e siltes.	60 a 90
5	Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalhos.	> 90

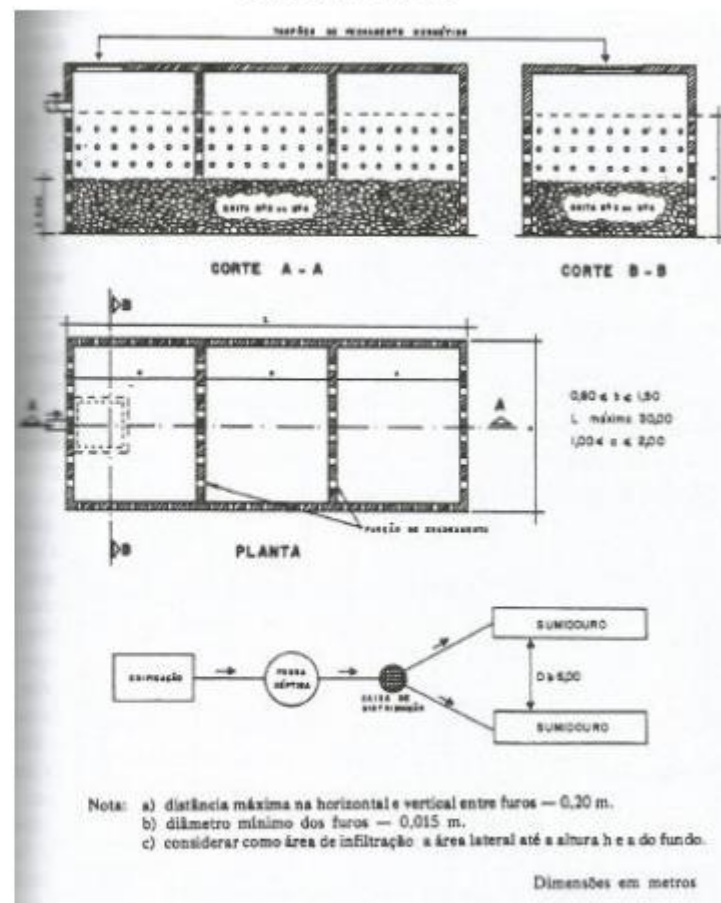
(*) Os dados se referem, numa primeira aproximação, aos coeficientes que variam segundo o tipo dos solos não saturados. Em qualquer dos casos é indispensável a confirmação por meio dos ensaios de infiltração do solo.

Sumidouros

CILÍNDRICO



PRISMÁTICO

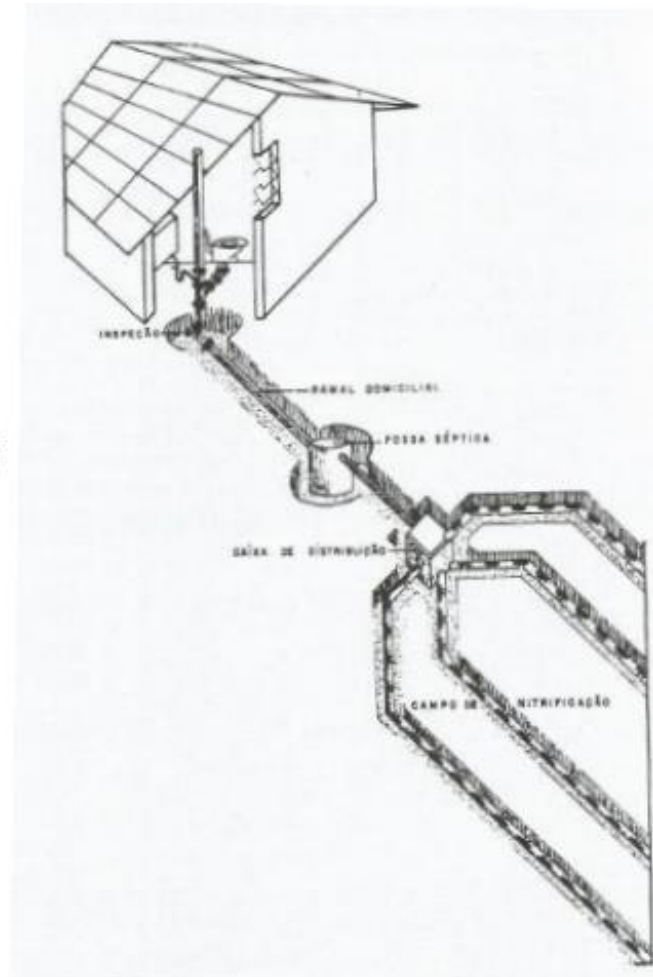


Valas de infiltração

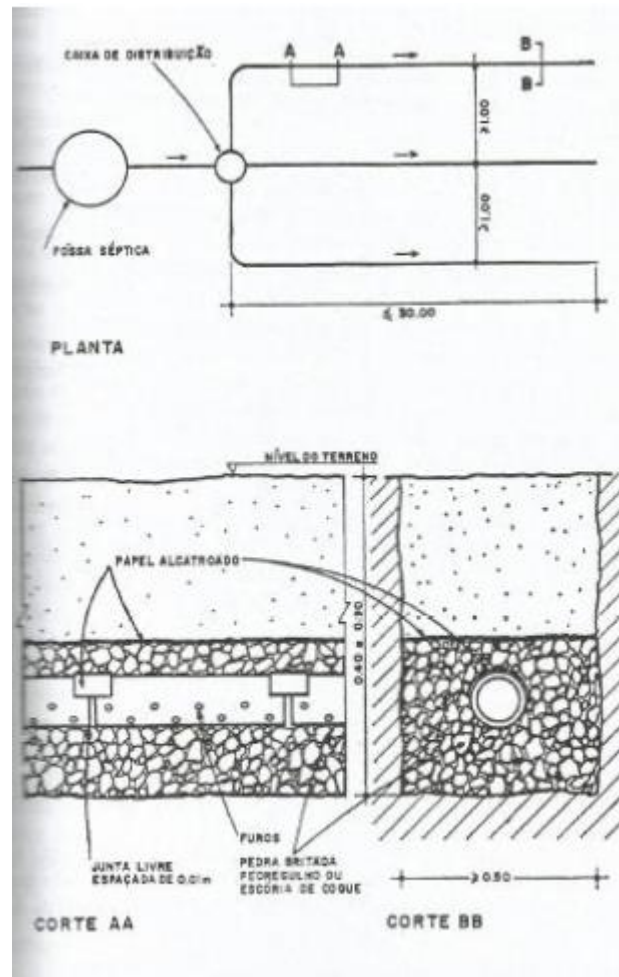
- Melhor distribuição do efluente das fossas pelo terreno
- Possibilidade de mineralização antes do efluente atingir o lençol freático
- Tubulações de juntas abertas, porosas ou furadas
- Sempre em 2 linhas, no mínimo, com comprimento máximo de 30 m e espaçadas de, no mínimo, 1,0 m.
- Dimensionamento similar aos sumidouros, mas neste caso:

$A = L_{\text{vala}} (\text{comprimento}) \times w_{\text{vala}} (\text{largura})$
(infiltração só pela área do fundo)

- Largura usual de valas: 0,50 a 1,0 m
- comprimento de valas/pessoa:
 - 7 a 10 m/pessoa para domicílios
 - 1 a 4 m/pessoa para vazões maiores



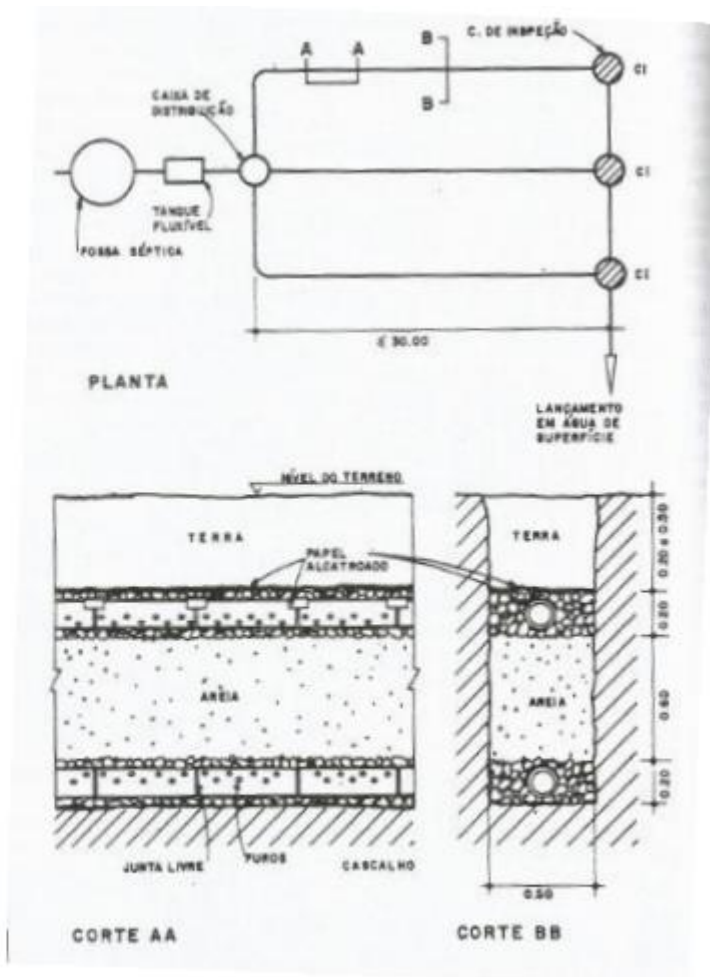
Valas de infiltração



Fonte: Jordão & Pessoa (2014)

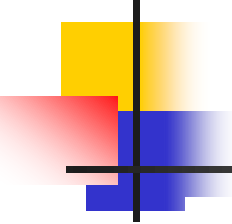
Valas de filtração

- Tubulações superpostas, com camada de areia entre elas
- Utilizada em solos relativamente impermeáveis que impossibilitariam o uso de valas de infiltração
- Efluente é coletado na tubulação inferior, usada como sistema de drenagem





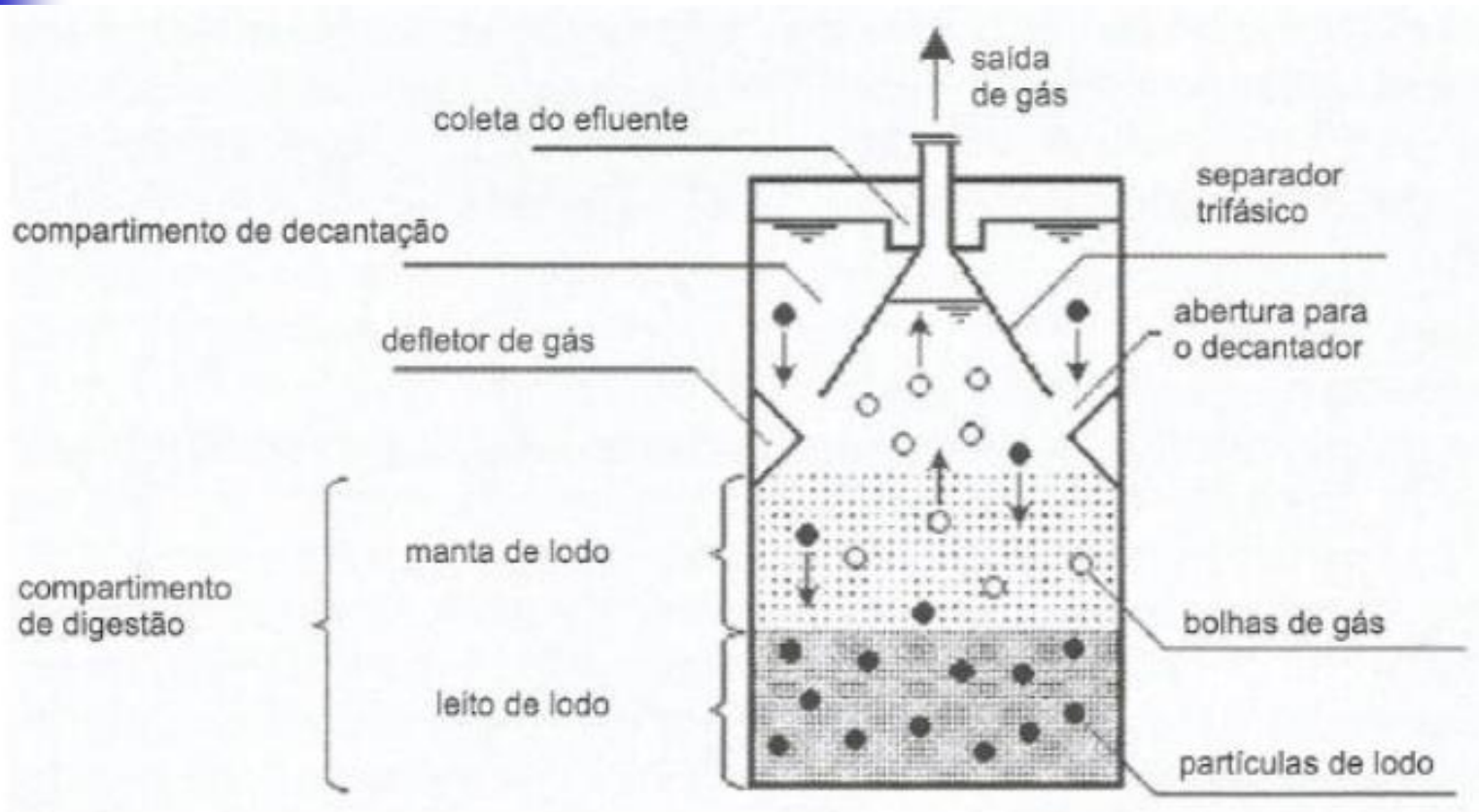
REATORES UASB



Reatores UASB

- **Upflow Anaerobic Sludge Blanket**
 - Reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (RAFA)
- Reatores de alta taxa para tratamento de **águas residuárias**
 - Desenvolvido nos anos 70, na Holanda, pelo Prof. Gatze Lettinga (Universidade de Wageningen), para tratamento principalmente de **efluentes industriais com alta carga orgânica**
 - Expandiram-se em países de clima quente também no tratamento de **esgoto sanitário**
- Baseados na entrada do afluente pela parte inferior, onde é mantido um leito de lodo e uma manta de lodo que se expande, e na existência de um separador sólido-líquido-gás (trifásico)
 - A alta concentração de microrganismos anaeróbios no leito e na manta de lodo garantem remoção de até 75% de DQO com TDHs de algumas horas.
 - O separador trifásico impede a perda excessiva de sólidos, garantindo alto tempo de retenção celular nos reatores

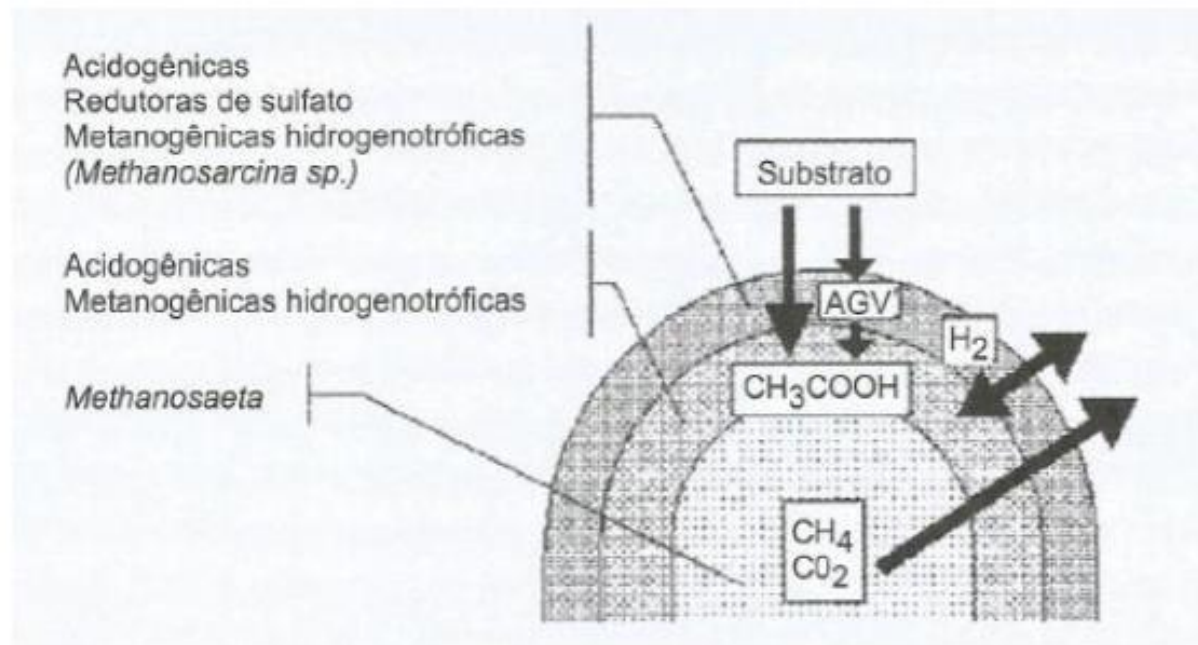
Reatores UASB



Fonte: Chernicharo (2016)

Reatores UASB

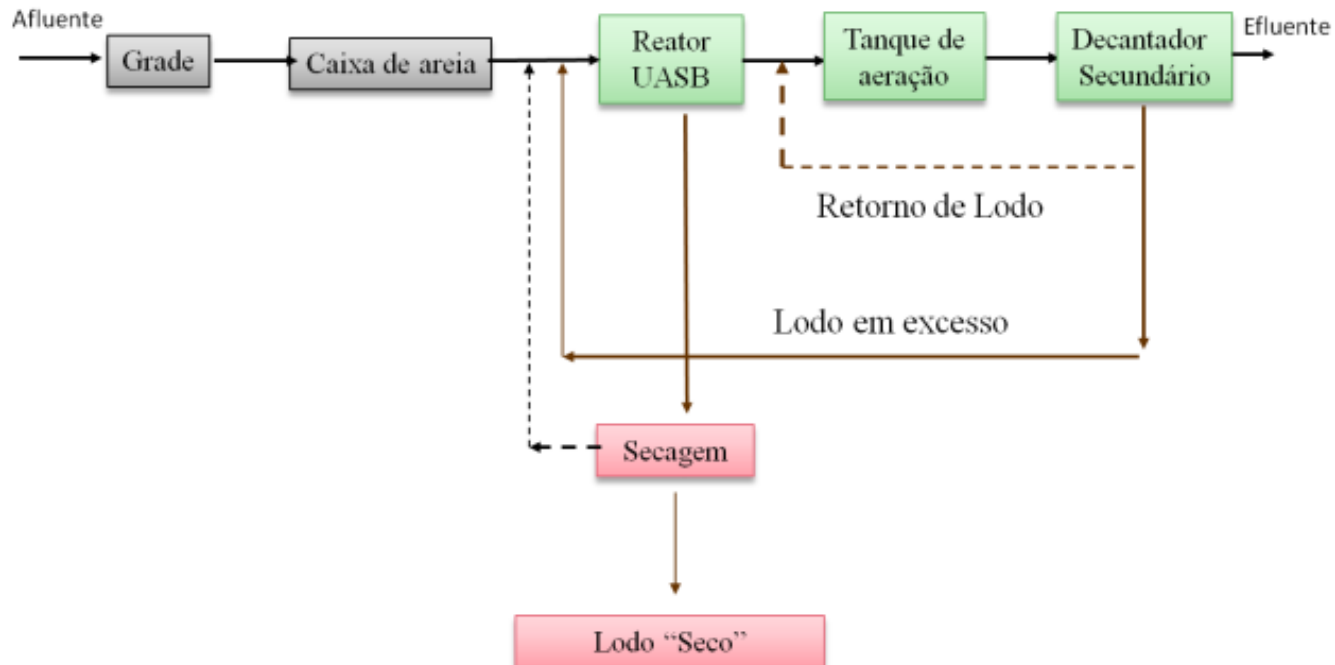
- Lodo floculento ou granular: dependente de condições operacionais e características do substrato
- Lodo granular: vantagens pela boa sedimentabilidade

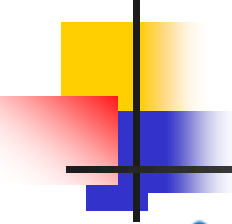


Fonte: Guiot et al. (1992)
Adaptado por: Chernicharo (2016)

Reatores UASB

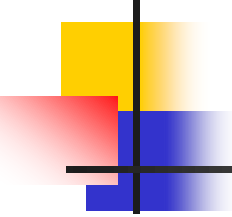
- Integração com unidades aeróbias em ETEs:
 - Substituição do decantador primário
 - Recebe o lodo secundário, promovendo a digestão
 - O lodo é retirado do UASB já adensado e digerido, e enviado diretamente para secagem.





Principais parâmetros do projeto

- **Tratamento preliminar** deve ser realizado com eficiência, incluindo **peneira** (recomendado) para evitar:
 - Obstrução das tubulações de distribuição do afluente
 - Deposição de sólidos grosseiros e areia no leito de lodo
 - Formação excessiva de espuma
- Faixa adequada de **carga hidráulica volumétrica** (esgoto sanitário)
- Faixa adequada de **carga orgânica volumétrica** (esgoto industrial)
- Controle da **velocidade ascensional** para garantir a suspensão da manta de lodo, porém sem que ocorra perda de sólidos
- O **sistema de distribuição do afluente** deve permitir a alimentação homogênea do reator, promovendo mistura adequada com o leito de lodo e impedindo curtos-circuitos
- Eficiência do **separador trifásico** na separação sólido-líquido-gás
- Remoção periódica de **escuma** e de **lodo** acumulados



Principais problemas operacionais

- **Obstrução** de dispositivos de entrada e saída
- **Mau odor**: H_2S e outros gases
- **Corrosão**: H_2S
- Acúmulo de **escuma** na superfície dos **compartimentos de decantação**
- Acúmulo de **escuma** no interior dos **separadores trifásicos**
- Formação de **espuma**: surfactantes

Carga hidráulica volumétrica (CHV)

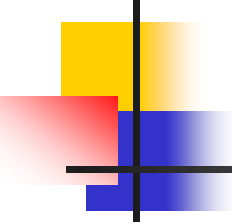
- Vazão aplicada por unidade de volume do reator
- Inverso do TDH:

$$CHV = \frac{Q}{V} = \frac{1}{TDH} \quad (m^3/m^3.d)$$

- É o parâmetro utilizado para determinação do volume de reatores UASB utilizados no **tratamento de esgoto sanitário**
- Fixado em função da temperatura
- Verificado para Q_{med} e Q_{max} : UASB sofre influência de vazões de pico

Quadro 5.14 Tempos de detenção hidráulica para projeto de reatores UASB

Temperatura do esgoto (°C)	Tempo de detenção hidráulica (h)	
	Para $Q_{média}$	Para $Q_{máxima}$
15 a 18	≥ 10,0	≥ 7,0
18 a 22	≥ 8,0	≥ 5,5
22 a 25	≥ 7,0	≥ 4,5
> 25	≥ 6,0	≥ 4,0

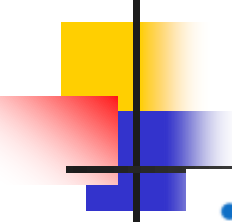


Carga orgânica volumétrica (COV)

- Carga orgânica aplicada por unidade de volume de reator

$$COV = \frac{Q \times S_0}{V} \quad (\text{kgDQO/m}^3.\text{d})$$

- Utilizada no caso de efluentes industriais com altas concentrações
- Em geral inferiores a 15 kgDQO/m³.d
- Esgoto sanitário: para as concentrações usuais, resulta em COV entre 2,5 a 3,5 kgDQO/m³.d



Velocidade superficial ou ascensorial

- Relação entre vazão afluyente e a área da seção transversal do reator

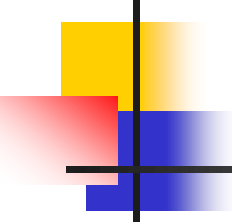
$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{m/h})$$

- Deve estar situada em faixa adequada para suspensão da manta, porém sem permitir carregamento dos sólidos para fora do reator

Vazão afluyente	Velocidade ascendente (m/h)
Vazão média	0,5-0,7
Vazão máxima	0,9-1,1
Picos temporários*	< 1,5

* Picos de vazão com duração entre 2 e 4 horas.

Fonte: Adaptado de Lettinga & Hulshoff Pol (1995).



Altura de reatores UASB

- Relacionada à velocidade ascensional e ao TDH do reator

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q \times H}{V} = \frac{H}{\text{TDH}}$$

- Na prática, para manutenção das faixas recomendadas de velocidade ascensional, resulta em alturas de **4,0 a 5,0 m**, em que:
 - 1,5 a 2,0 m são reservados para o compartimento de decantação
 - 2,5 a 3,5 m são reservados para o compartimento de digestão

Volume e modulação de reatores UASB

- Módulos de 400 a 500 m³ são usuais
- Não são recomendados módulos acima de 2500 m³
- Volume determinado a partir do TDH fixado, para o caso de esgoto sanitário
- **Exemplo:**

Tabela:

$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \Rightarrow$ Adotado TDH = 8 h

$$\text{TDH} = \frac{V}{Q} \Rightarrow 8 = \frac{V}{150} \Rightarrow V = 1200\text{ m}^3$$

Adotando-se **2 módulos** retangulares de 600 m³ e fixando $H = 4,5\text{ m}$ e $L/B = 2$:

$$A = \frac{V}{H} = \frac{600}{4,5} = 133,3\text{ m}^2 \quad \left\{ \begin{array}{l} L \cong 16,4\text{ m} \\ B \cong 8,2\text{ m} \end{array} \right.$$

Velocidades ascensionais:

$$Q_{\text{med}} \Rightarrow v = Q_{\text{med}} / A = 150 / (2 \times 133,3) = 0,56\text{ m/h} \quad \text{OK}$$

$$Q_{\text{max}} \Rightarrow v = Q_{\text{max}} / A = 270 / (2 \times 133,3) = 1,01\text{ m/h} \quad \text{OK}$$

DADOS:

$$Q_{\text{med}} = 150\text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{max}} = 270\text{ m}^3/\text{h}$$

$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (média do mês mais frio)

Sistema de distribuição afluyente

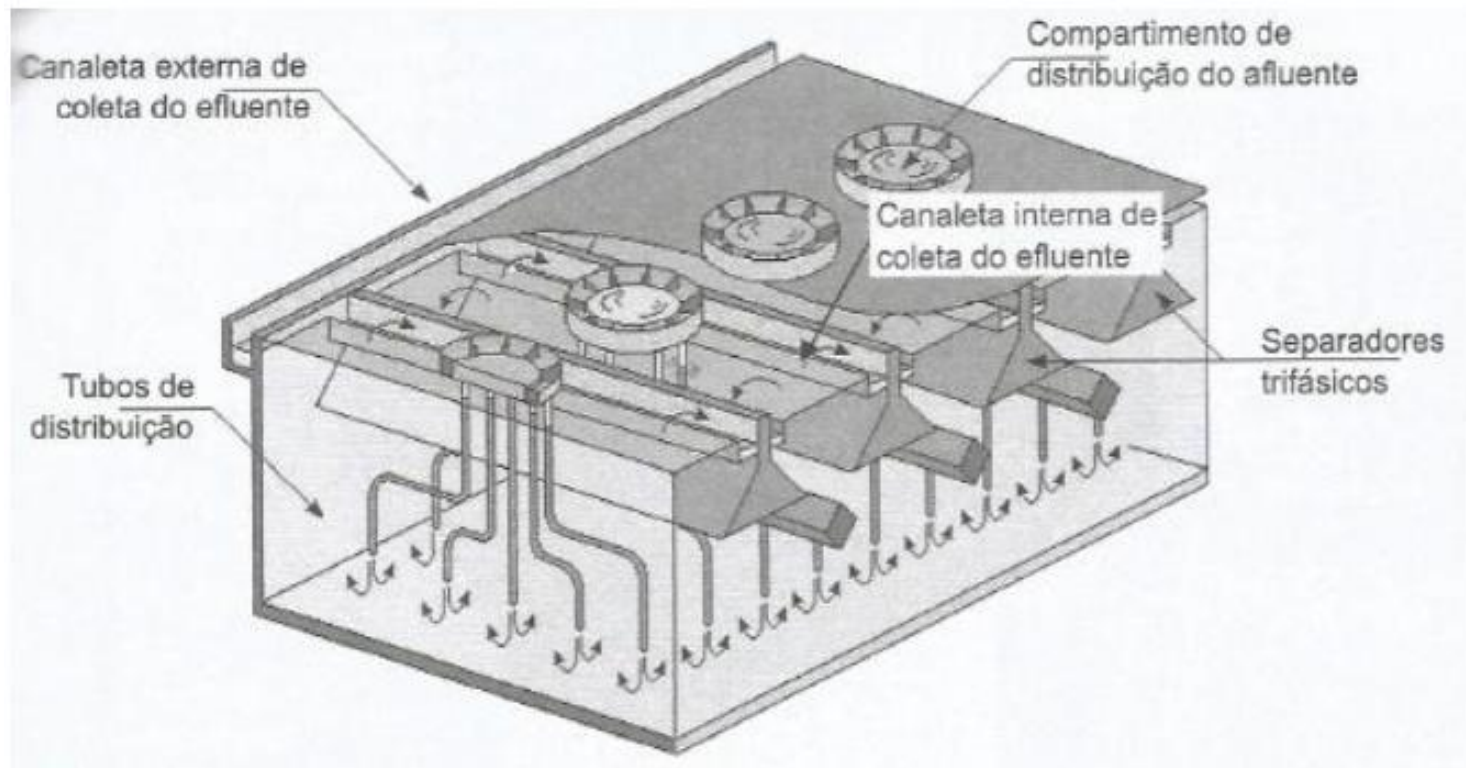
- Distribuição uniforme para mistura adequada e para se evitar curtos circuitos
- Alimentação em compartimentos de distribuição superiores para divisão equitativa do afluyente
- Velocidade descendente nas tubulações **inferior a 0,2 m/s**, evitando arraste de bolhas de ar
- **D = 75 a 100 mm**, com redução nos bocais de saída para **40 a 50 mm**, evitando deposição de areia e melhor mistura o leito de lodo
- Número de distribuidores respeitando áreas de influência:
 - Usualmente 2 a 3 m² por tubo

Tipo de lodo	Carga orgânica aplicada (kgDQO/m ³ .d)	Área de influência de cada distribuidor (m ²)
Denso e floculento (Concentração > 40 kgSST/m ³)	< 1,0	0,5 a 1,0
	1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
	> 2,0	2,0 a 3,0
Medianamente denso e floculento (Concentração 20 a 40 kgSST/m ³)	< 1,0 a 2,0	1,0 a 2,0
	> 3,0	2,0 a 5,0
Granular	< 2,0	0,5 a 1,0
	2,0 a 4,0	0,5 a 2,0
	> 4,0	> 2,0

Fonte: Chernicharo (2016)

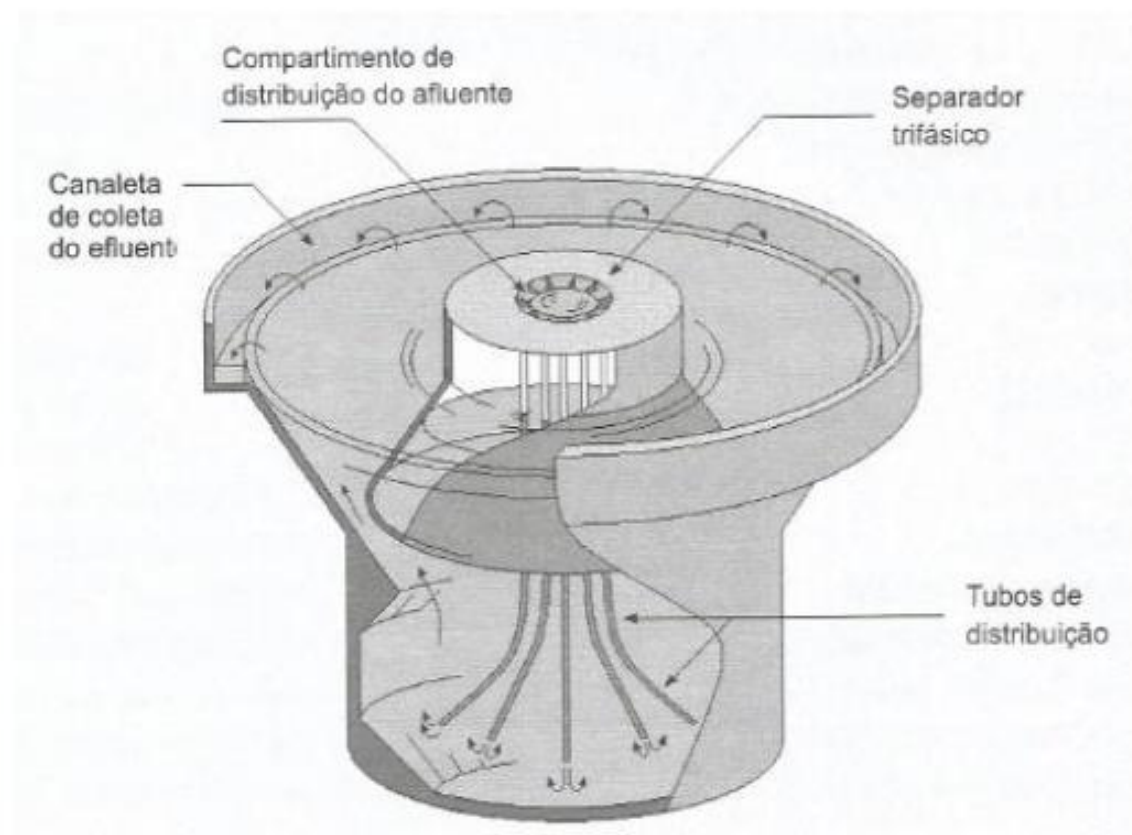
Sistema de distribuição afluente

- Reatores retangulares



Sistema de distribuição afluente

- Reatores circulares



Sistema de distribuição afluente

- Caixa de distribuição do afluente

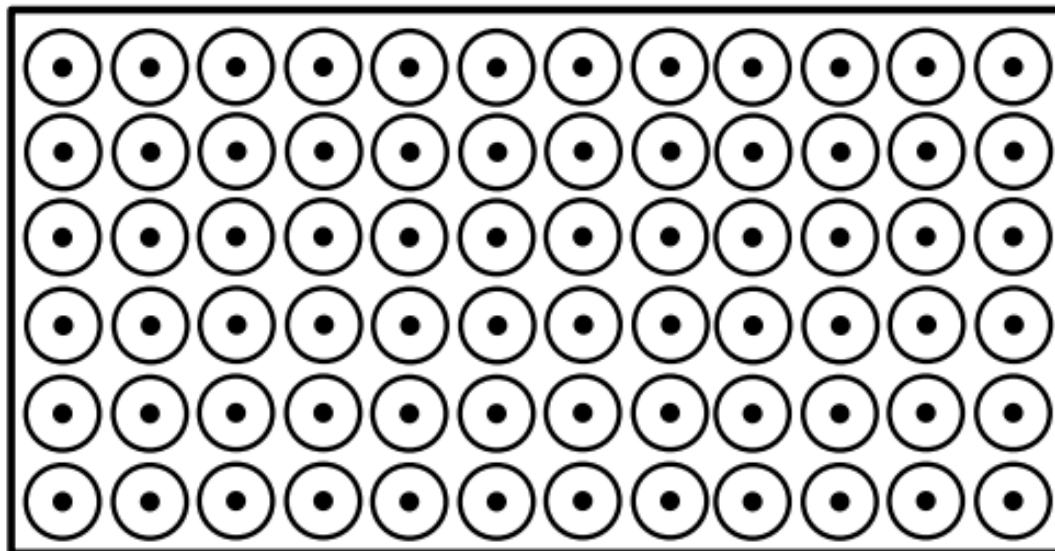


Sistema de distribuição afluyente

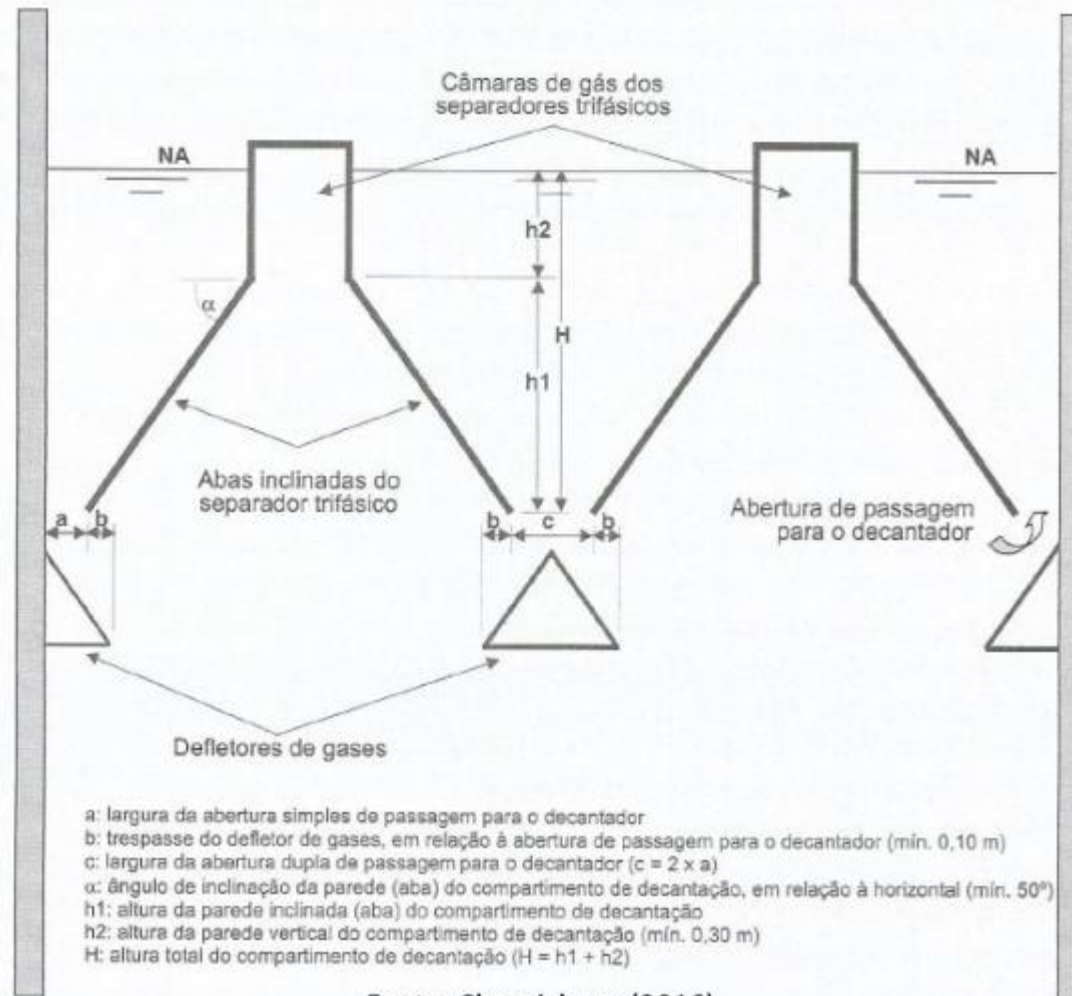
- **No exemplo anterior:** número de distribuidores

$$N = \frac{A}{A_d} \quad \begin{array}{l} \text{Em que } A_d \text{ é a área de} \\ \text{influência de cada} \\ \text{distribuidor (m}^2\text{)} \end{array} \Rightarrow \text{Adotando } A_d = 2,0 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{133,3}{2} \cong 67 \text{ distribuidores} \Rightarrow \text{Adotado } N = 72$$



Separadores trifásicos



Fonte: Chernicharo (2016)

Separadores trifásicos



Separadores trifásicos

- Verificação da velocidade de passagem nas aberturas para os compartimentos de decantação

Quadro 5.19 Velocidades através das aberturas de passagem para o decantador

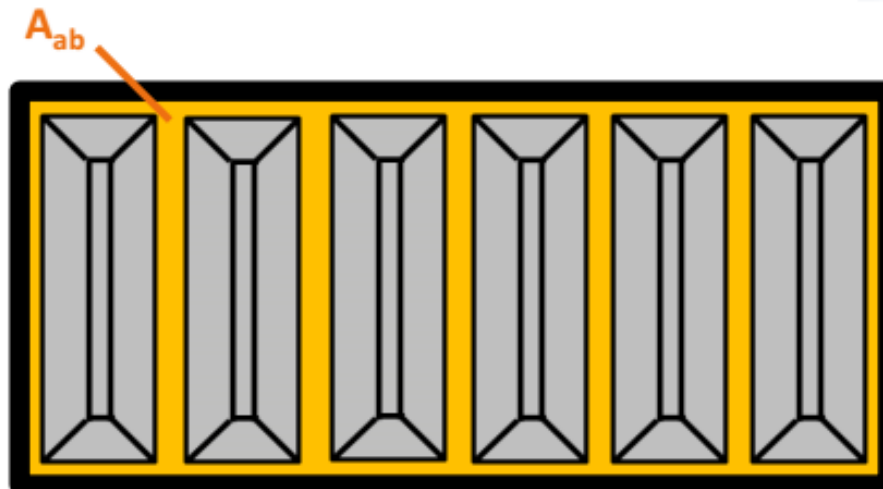
Vazão afluyente	Velocidade (m³/h)
Vazão média	≤ 2,5
Vazão máxima	≤ 4,0
Picos temporários*	< 5,5

(*) picos de vazão com duração máxima de 2 horas

Fonte: Chernicharo (2016)

$$v_{ab} = \frac{Q}{A_{ab}}$$

(m/h)



Separadores trifásicos

- Verificação da taxa de aplicação superficial no compartimento de decantação

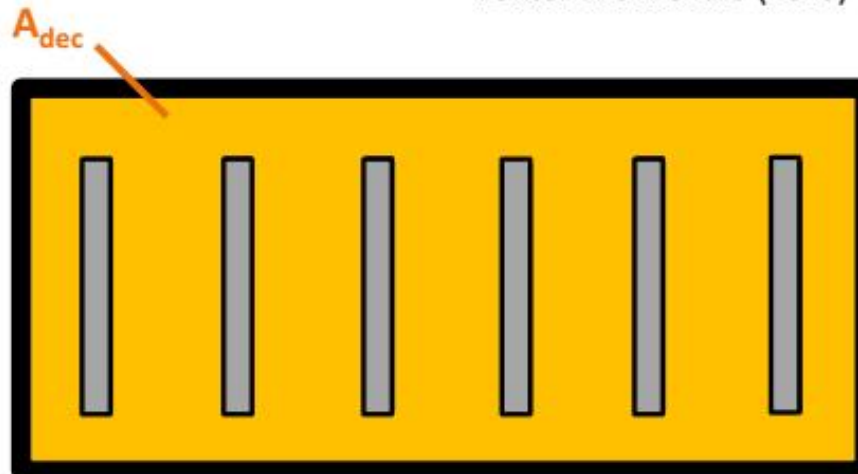
Quadro 5.18 Taxas de aplicação superficial e tempos de detenção hidráulica no compartimento de decantação

Vazão afluyente	Taxa de aplicação superficial (m/h)	Tempo de detenção hidráulica (h)
Vazão média	$\leq 0,8$	$\geq 1,5$
Vazão máxima	$\leq 1,2$	$\geq 1,0$
Picos temporários*	$< 1,5$	$> 0,6$

(*) picos de vazão com duração máxima de 2 horas

Fonte: Chernicharo (2016)

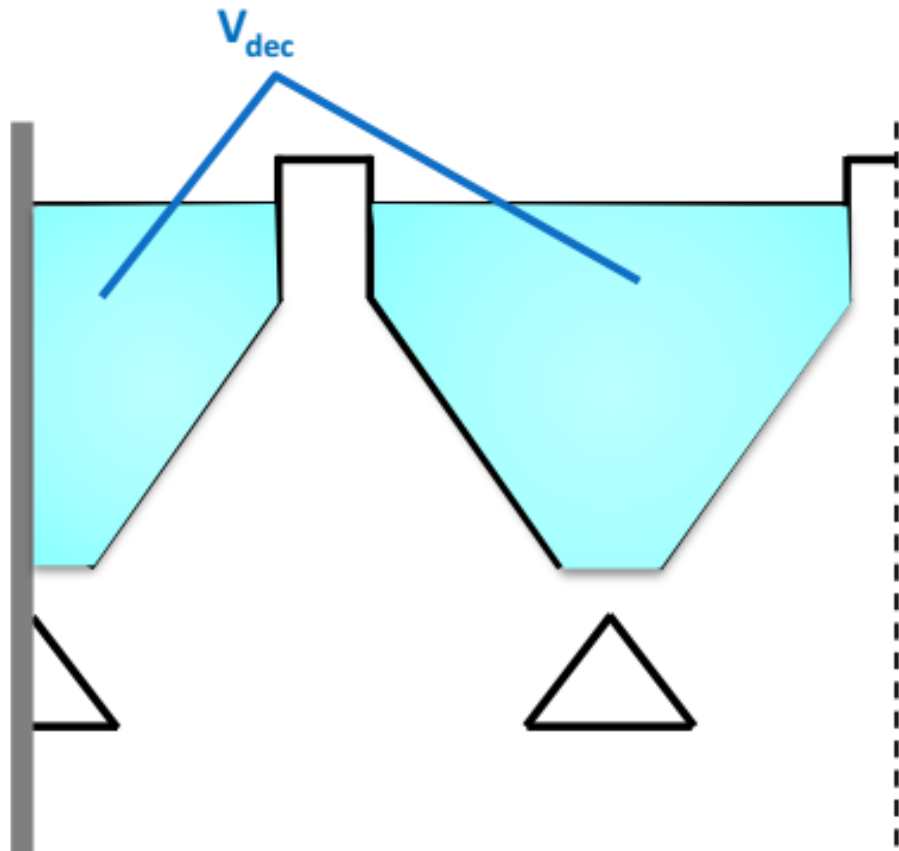
$$q_{\text{dec}} = \frac{Q}{A_{\text{dec}}} \quad (\text{m/h})$$

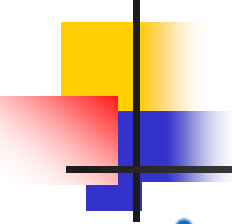


Separadores trifásicos

- Verificação do TDH no compartimento de decantação

$$\text{TDH}_{\text{dec}} = \frac{V_{\text{dec}}}{Q} \quad (\text{h})$$





Produção de CH₄ e biogás

- DQO convertida em CH₄:

$$\text{DQO}_{\text{CH}_4} = Q_{\text{med}} \times (S_0 - S) - Y_{\text{obs}} \times Q \times S_0$$

Em que:

DQO_{CH_4} : carga de DQO convertida em metano (kgDQO_{CH4}/d)

Q_{med} : vazão média afluyente (m³/d)

S_0 : concentração de DQO afluyente (kgDQO/m³)

S : concentração de DQO efluente (kgDQO/m³)

Y_{obs} : coeficiente de produção de sólidos, em termos de DQO (0,11 a 0,23 kgDQO_{lodo}/kgDQO_{apl})

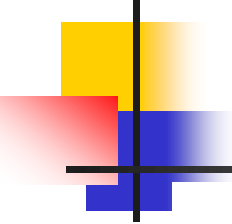
- Conversão de massa em produção volumétrica:

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{\text{DQO}_{\text{CH}_4}}{f(T)} \quad \text{(teórica, pois em torno de 40 a 50\% do CH}_4 \text{ é perdido ou sai dissolvido no efluente na prática)}$$

Em que:

Q_{CH_4} : produção volumétrica de metano (m³/d)

$f(T)$: fator de correção para a temperatura operacional do reator (kgDQO/m³)



Produção de CH₄ e biogás

$$f(T) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)}$$

Em que:

P: pressão atmosférica (atm)

K_{DQO}: DQO correspondente a 1 mol de CH₄ (64 gDQO/mol)

R: constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K)

T: temperatura operacional do reator (°C)

- Produção de biogás:

$$Q_{\text{biogás}} = \frac{Q_{\text{CH}_4}}{C_{\text{CH}_4}}$$

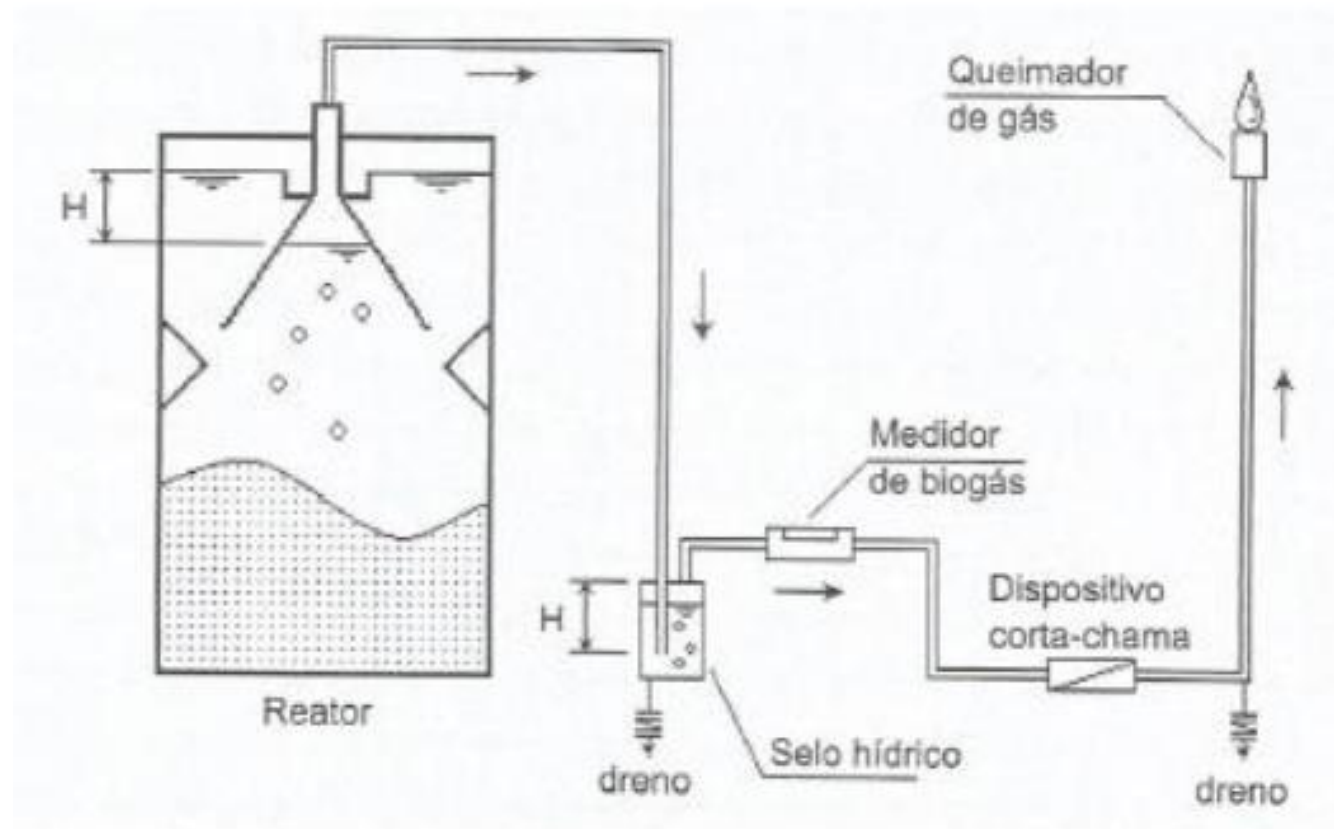
(em geral o biogás é composto de
70 a 80% de CH₄)

Em que:

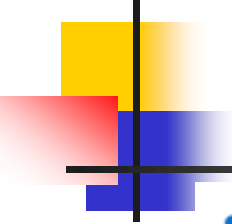
Q_{biogás}: produção volumétrica de biogás (m³/d)

C_{CH₄}: concentração de metano no biogás (%)

Produção de CH_4 e biogás



Fonte: Chernicharo (2016)



Produção de lodo

- Estimativa da produção de lodo em reatores UASB:

$$P_{\text{lodo}} = Y \times CO_{\text{DQO}}$$

Em que:

P_{lodo} : produção de sólidos no sistema (kgSST/d)

Y : coeficiente de produção de sólidos (0,10 a 0,20 kgSST/kgDQO_{apl})

CO_{DQO} : carga de DQO aplicada (kgDQO/d)

$$Q_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{\gamma \times TS} \quad (\text{m}^3/\text{d})$$

$\gamma = 1020 \text{ a } 1040 \text{ kg/m}^3$

$TS = 3 \text{ a } 5\%$

- Lodo já sai digerido e adensado
- Descarte periódico de lodo é necessário
- Amostradores e registros para descarte de lodo ao longo do corpo do reator

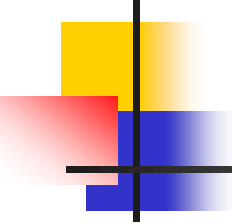
Coleta do efluente final

- Calhas ou tubos perfurados
- Dispositivo de retenção de espuma não é recomendado, a não ser quando a unidade for seguida de filtração biológica
- Cuidados devem ser tomados para que não ocorra acúmulo de espuma na superfície dos decantadores ou no interior do separador trifásico: limpezas periódicas



Fonte: Campos et al. (1999)





Bibliografia

- JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**, 4ª ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005.
- PIVELI, R.P.; SOUZA, T.S.O. **Tratamento anaeróbio**. Aula 4 – Disciplina Tratamento de Esgotamento Sanitário (PHA 3413). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2017.