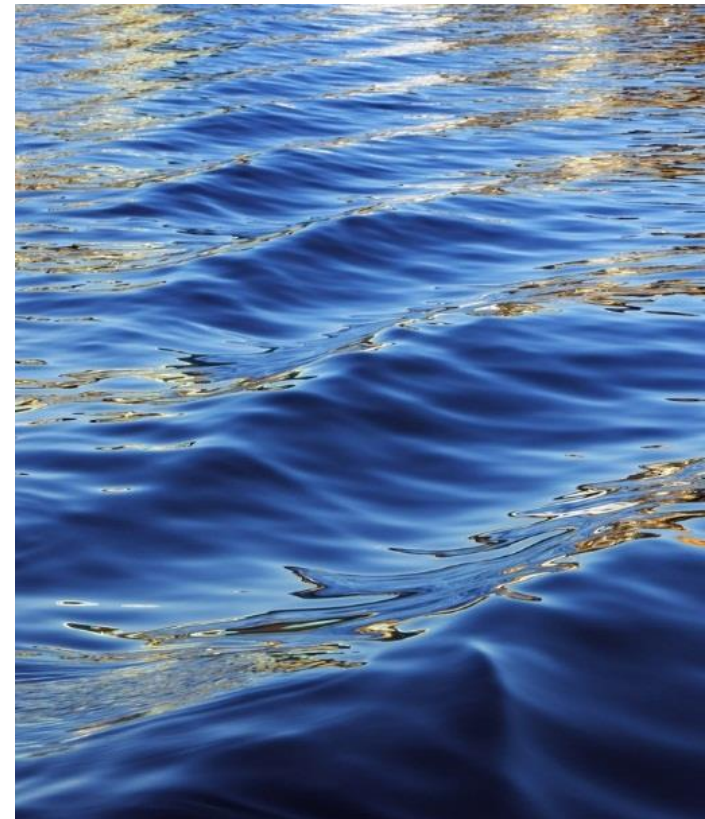


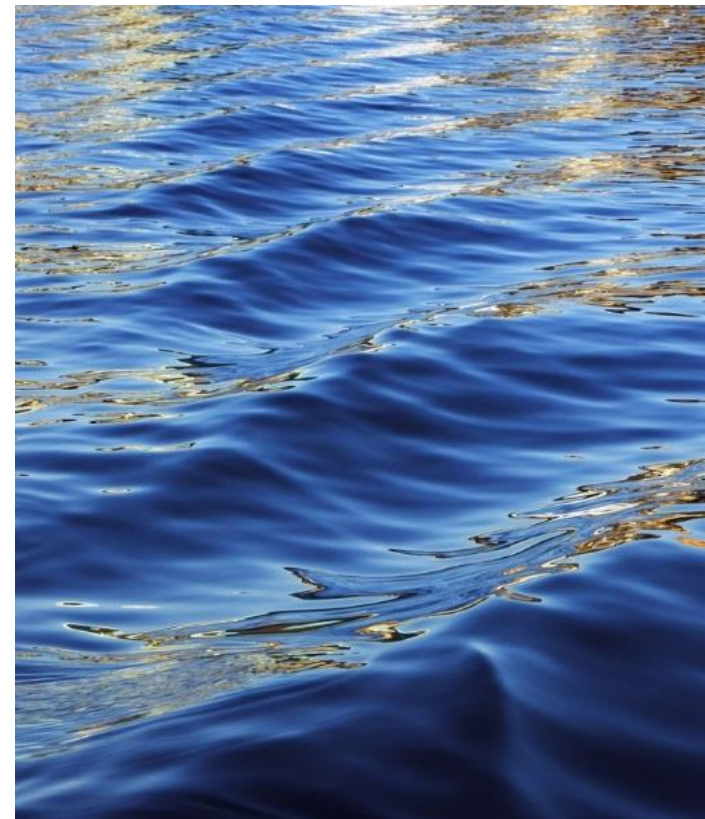
# Processos biológicos





# Remoção de matéria orgânica carbonácea

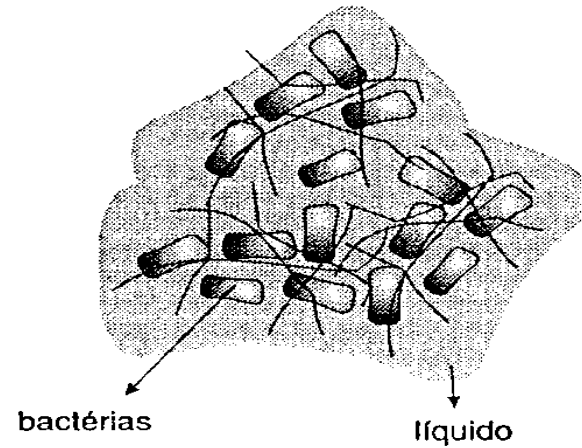
Microbiologia e bioquímica aplicadas



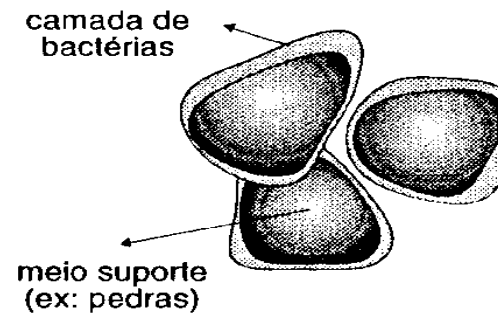
# Modelos de crescimento de microrganismos

## TIPOS DE CRESCIMENTO DA BIOMASSA

### CRESCIMENTO DISPERSO



### CRESCIMENTO ADERIDO



# Os microrganismos

TABELA 14 – Classificação geral dos organismos baseada nas fontes de energia e carbono  
FONTE: METCALF & EDDY, (1991)

Classificação	Fontes de energia	Fontes de carbono	Organismos representativos
Fotoautótrofos	Luz	CO <sub>2</sub>	Plantas superiores, algas, bactérias fotossintéticas
Fotoheterótrofos	Luz	Matéria orgânica	Bactérias fotossintéticas
Quimioautótrofos	Matéria inorgânica	CO <sub>2</sub>	Bactérias
Quimioheterótrofos	Matéria orgânica	Matéria orgânica	Bactérias, fungos, protozoários e animais

TABELA 15 – Principais características dos catabolismos oxidativo e fermentativo  
 FONTE: VON SPERLING (1996)

Característica	Catabolismo oxidativo (respiração)	Catabolismo fermentativo (fermentação)
Doador de elétrons	Matéria orgânica	Matéria orgânica oxidada
Aceptor de elétrons	Externo: composto inorgânico (oxigênio, nitrato ou sulfato)	Interno: matéria orgânica reduzida
Número de produtos finais resultantes da matéria orgânica	Um (CO <sub>2</sub> )	No mínimo dois (CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> )
Forma do carbono no produto final	Carbono inorgânico oxidado (CO <sub>2</sub> )	Carbono inorgânico oxidado (CO <sub>2</sub> ) + carbono orgânico reduzido (CH <sub>4</sub> )
Estado de oxidação do carbono no produto final	4+ (CO <sub>2</sub> )	4+ (CO <sub>2</sub> ) 4- (CH <sub>4</sub> )

TABELA 16 – Aceptores de elétrons típicos das reações de oxidação no tratamento de esgotos (listados em ordem decrescente de liberação de energia)  
 FONTE: VON SPERLING (1996)

Condições	Aceptor de elétron	Forma do aceptor após a reação	Processo
Aeróbias	Oxigênio (O <sub>2</sub> )	H <sub>2</sub> O	Metabolismo aeróbio
Anóxicas	Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Nitrogênio gasoso (N <sub>2</sub> )	Redução de nitratos (desnitrificação)
Anaeróbias	Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Sulfeto (H <sub>2</sub> S)	Redução de sulfatos (dessulfatação)
	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Metano (CH <sub>4</sub> )	Metanogênese

# Balanços estequiométricos

- a) Condições aeróbias:



- b) Condições anóxicas: redução de nitratos (desnitrificação):



- c) Condições anaeróbias: redução dos sulfato (dessulfatação):



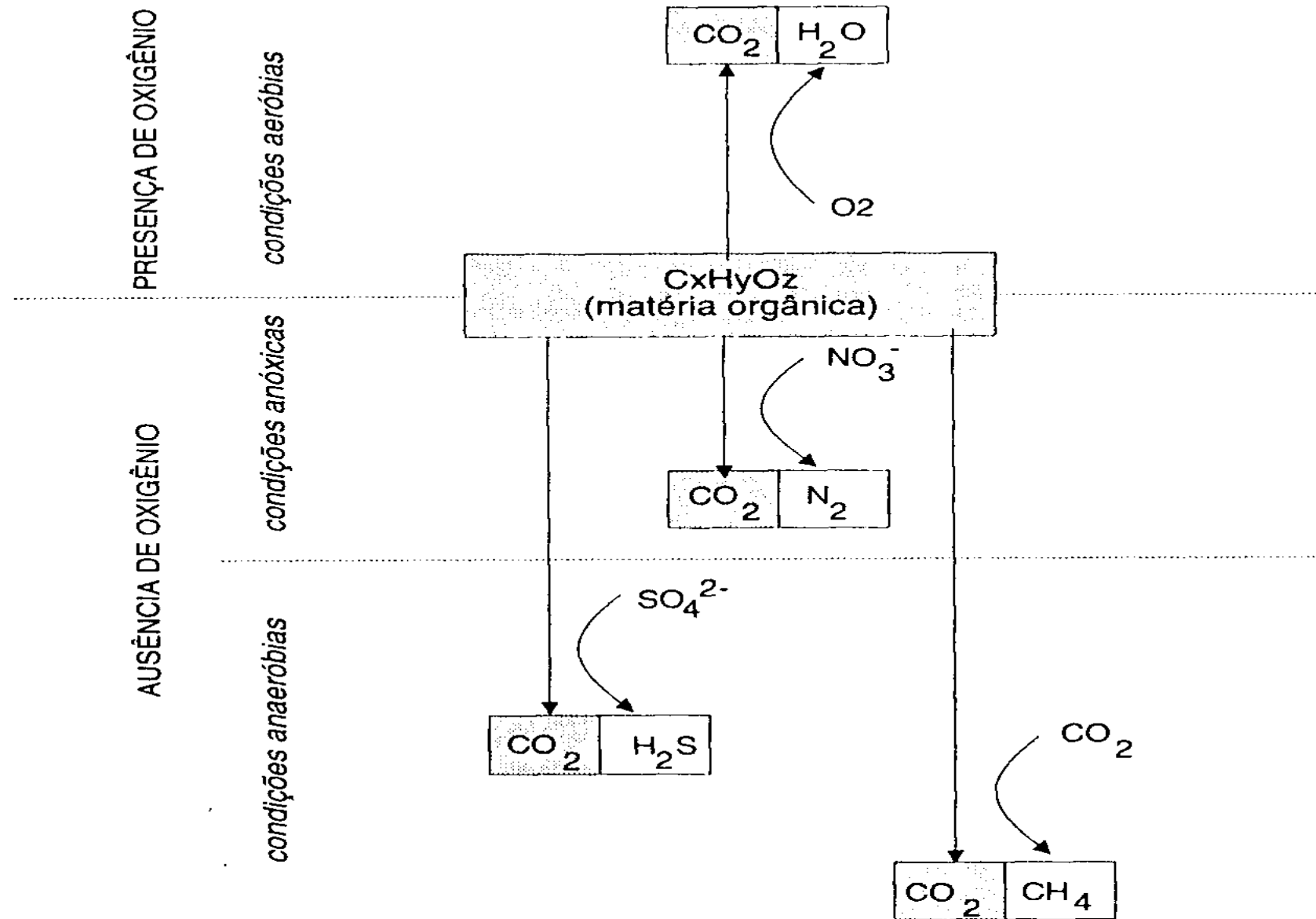
- d) Condições anaeróbias: redução de  $CO_2$  (metanogênese hidrogenotrófica):



- e) Condições anaeróbias: metanogênese acetotrófica:

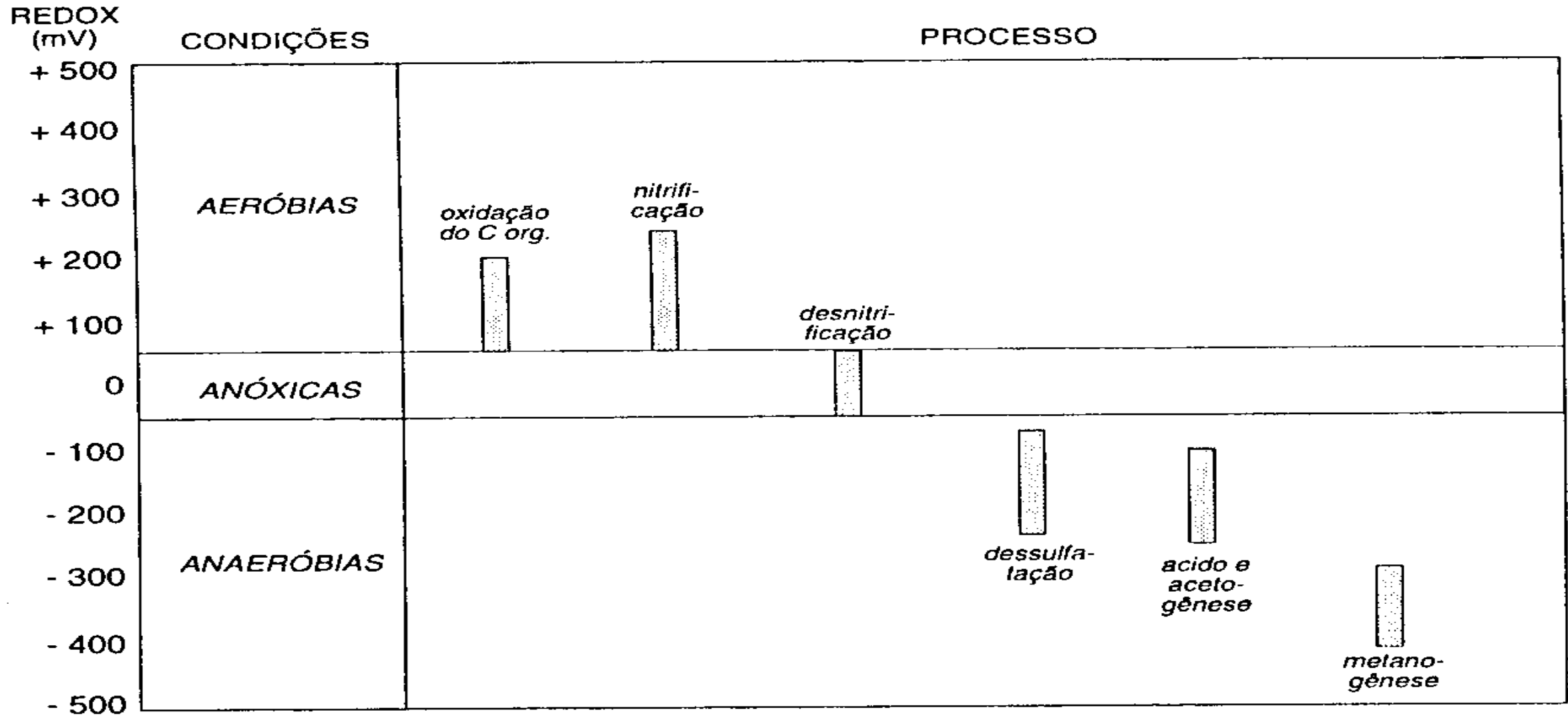


# PRINCIPAIS ROTAS DA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA NA PRESENÇA DE DIFERENTES ACEPTORES DE ELÉTRON





# PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO EM FUNÇÃO DO POTENCIAL REDOX

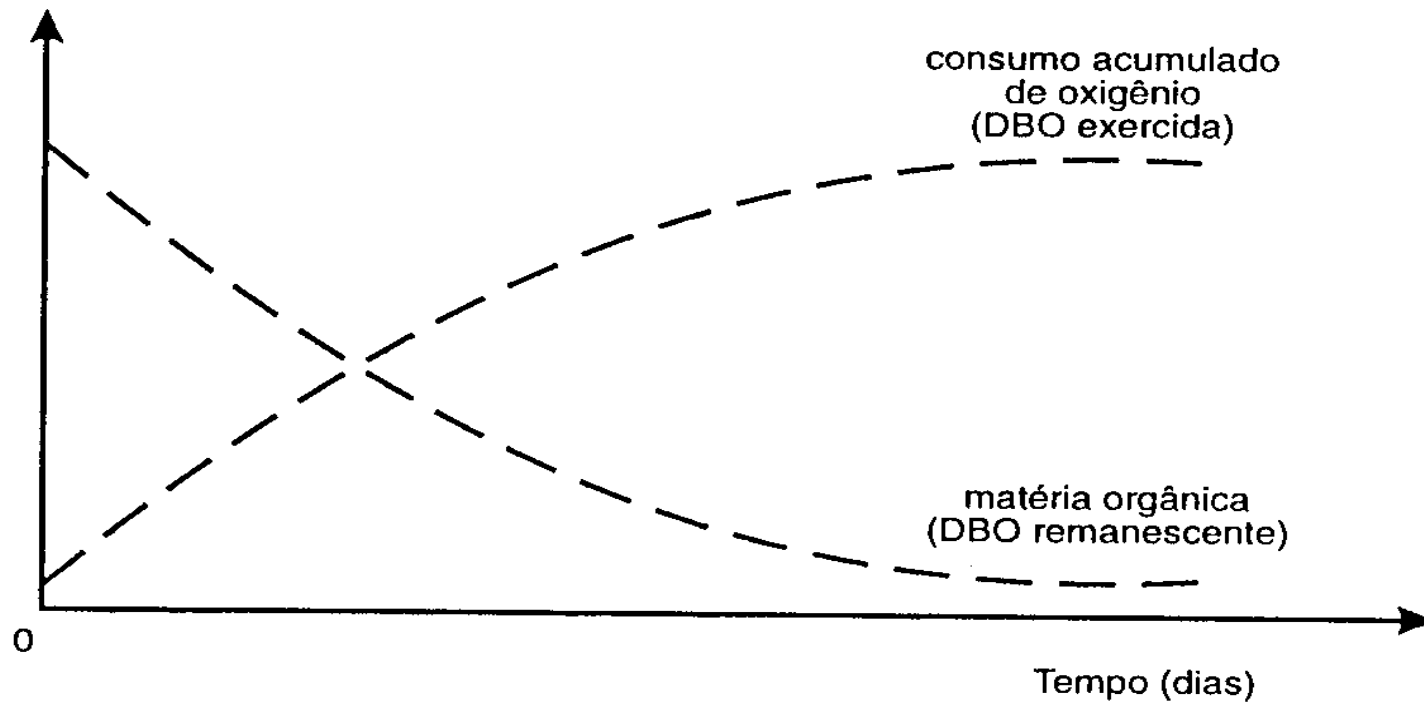


# Cinética Bioquímica

- Processos contínuos
- Processos descontínuos
- Configuração dos sistemas

# Cinética da remoção de DBO

PROGRESSÃO TEMPORAL DA OXIDAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA



- a) **DBO remanescente**: concentração de matéria orgânica remanescente na massa líquida em um dado instante, expresso em termos de oxigênio;
- b) **DBO exercida**: oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica até este instante.

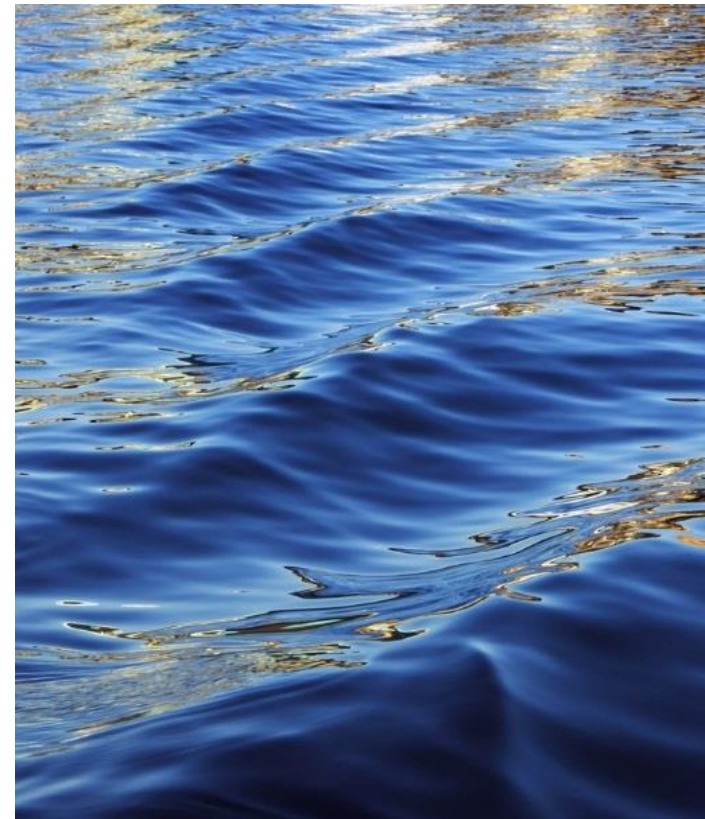
# Cinética bioquímica aplicada

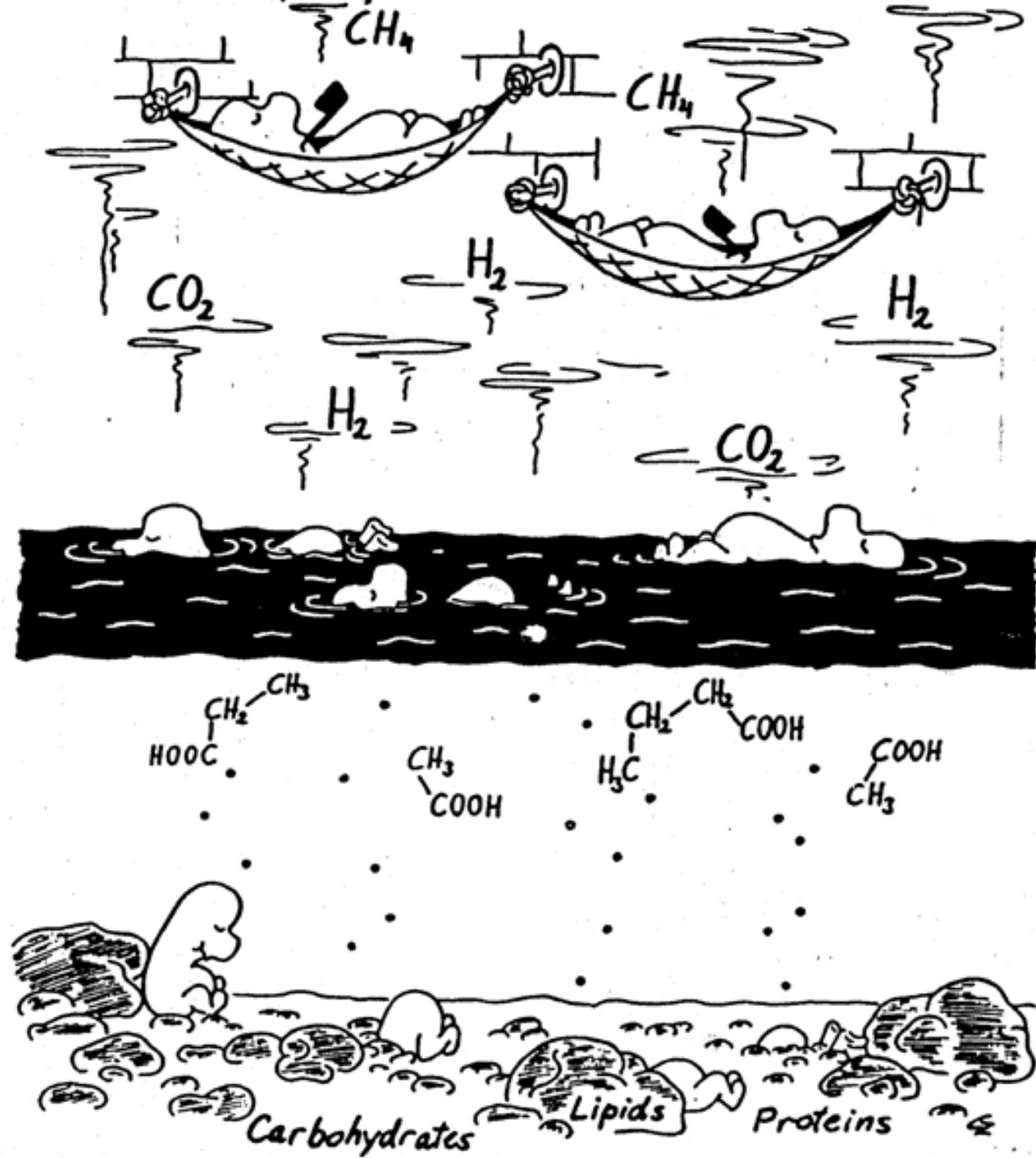
- Modelo de crescimento microbiano
- Modelo de Monod
- Taxa de utilização de substrato
- Coeficientes de conversão
- Endogenia
- Taxa de decaimento celular (L)



# Processos Anaeróbios

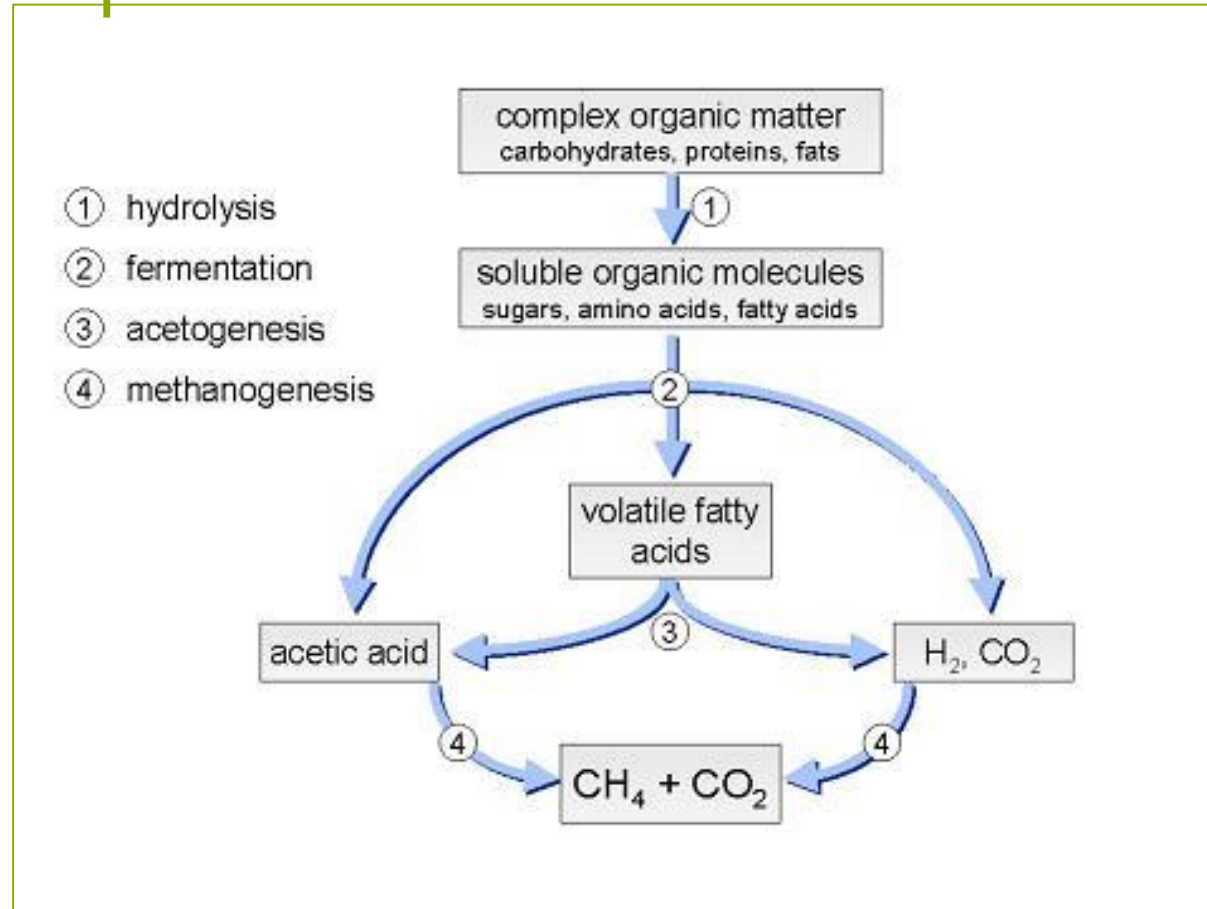
Professora Giovana Tommaso  
ZEA/FZEA/USP





Fonte: LPB/EESC/USP

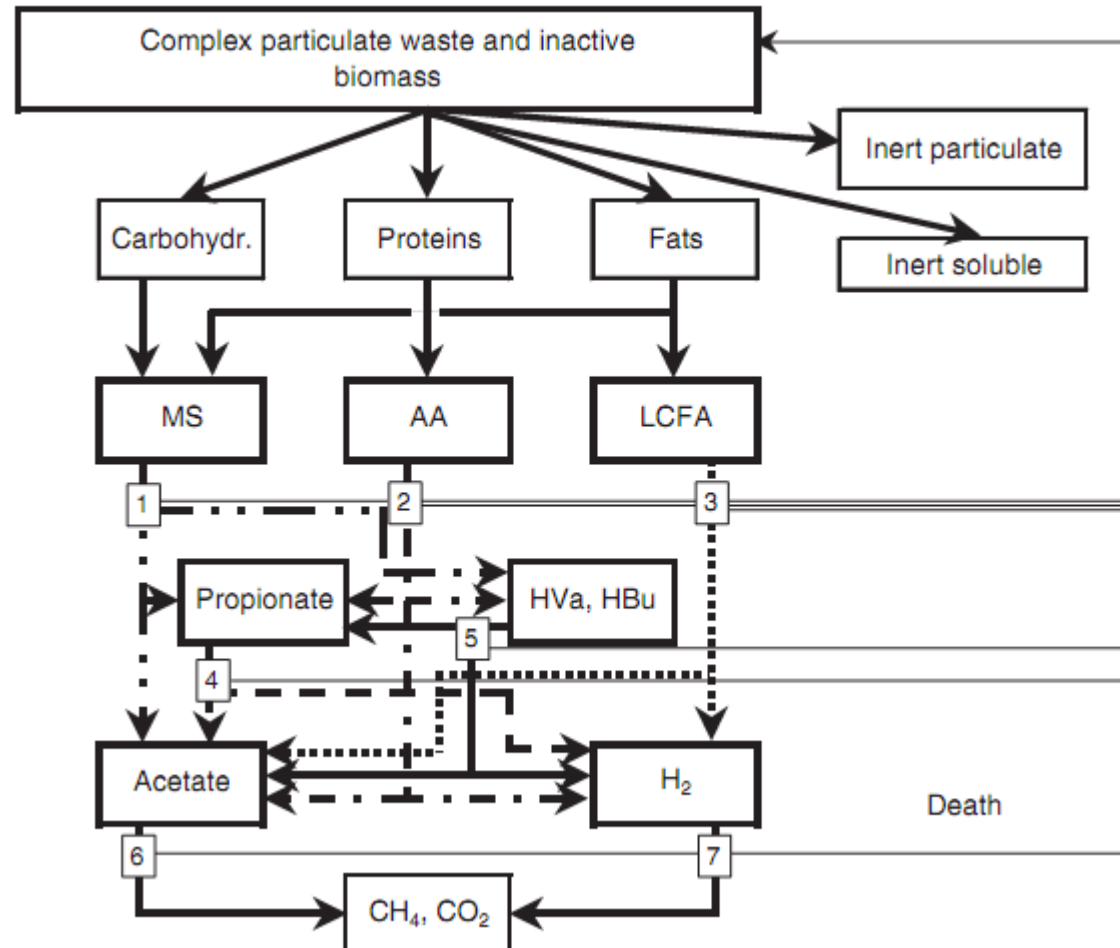
# Schematic process



Source: Long, H (<http://water.me.vccs.edu/courses/ENV149/lesson4.htm>)



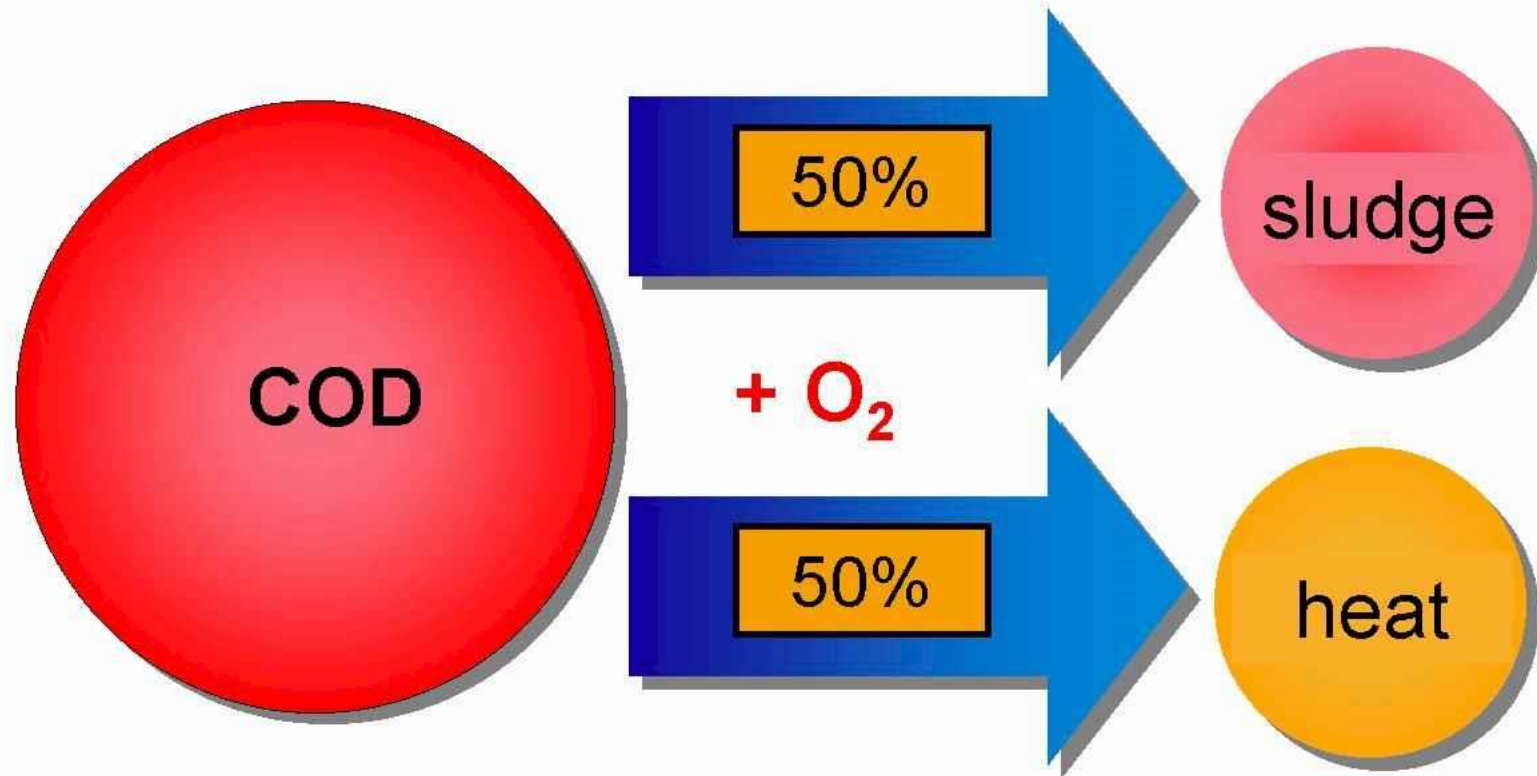
# IWA Model – Batstone *et. al.* 2002



The anaerobic model as implemented including biochemical processes: (1) acidogenesis from sugars, (2) acidogenesis from amino acids, (3) acetogenesis from LCFA, (4) acetogenesis from propionate, (5) acetogenesis from butyrate and valerate, (6) aceticlastic methanogenesis, and (7) hydrogenotrophic methanogenesis

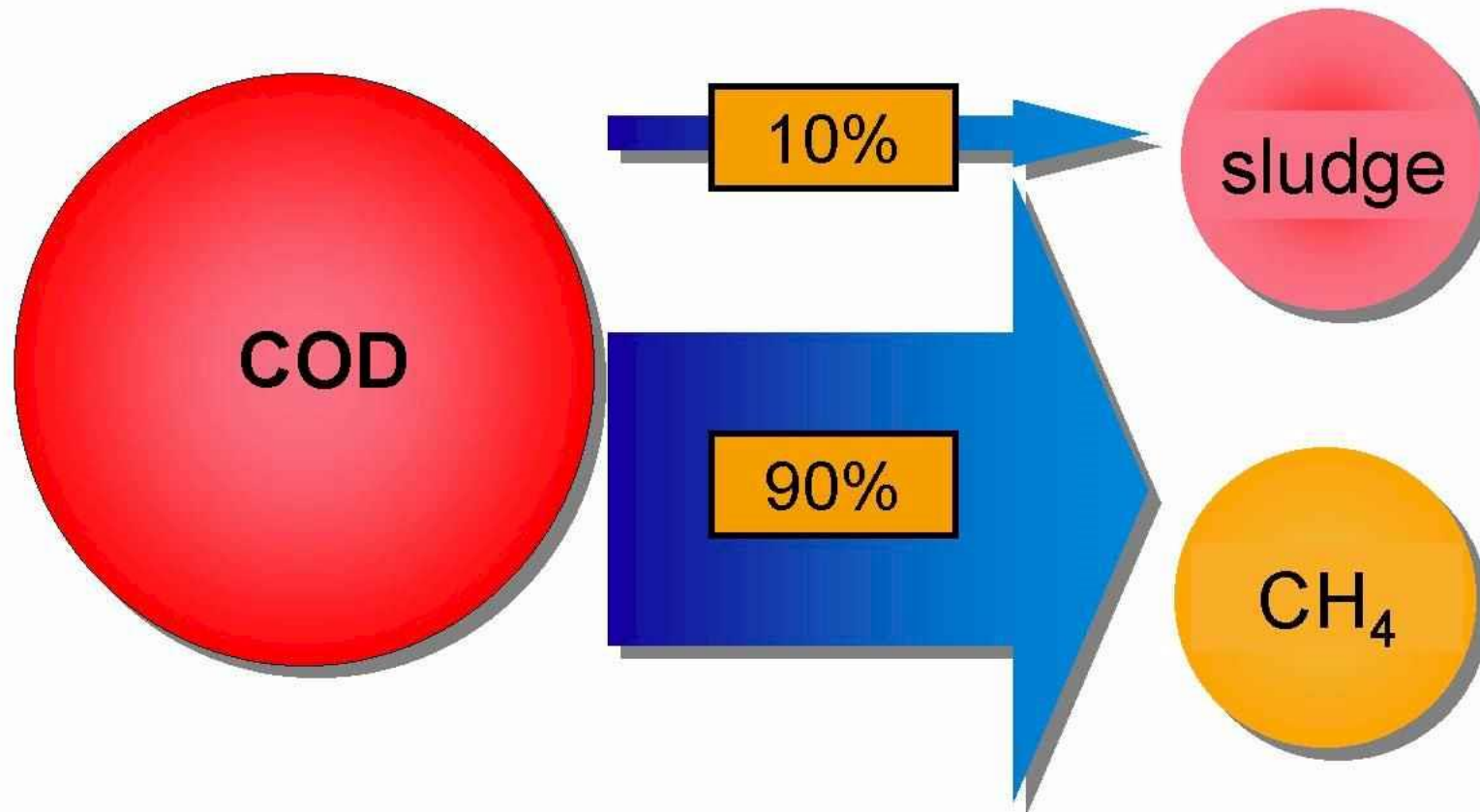
# COD Balance Aerobic Biodegradation

## COD Balance Aerobic

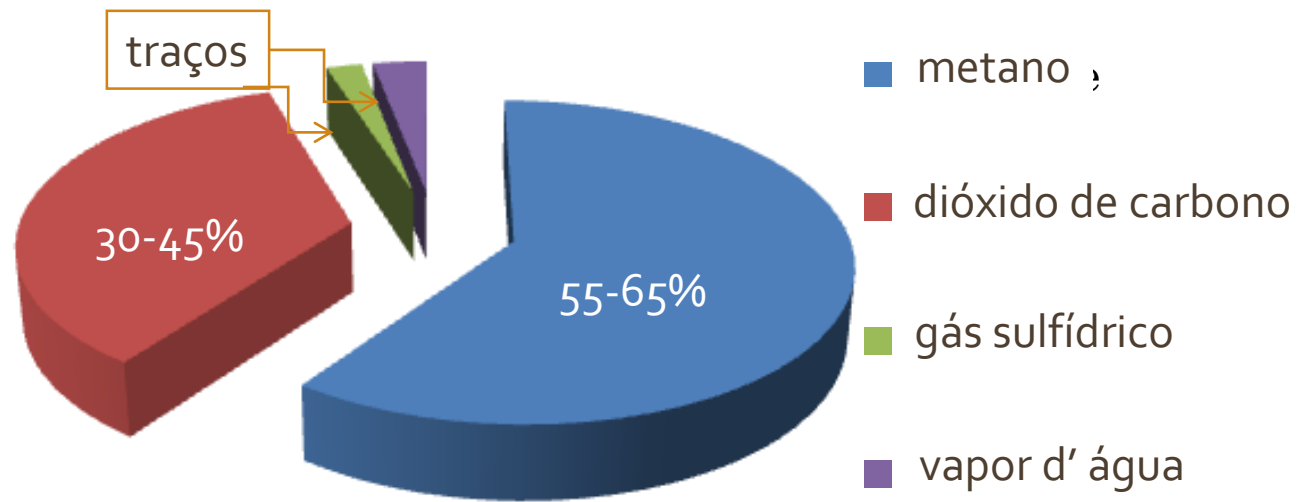


# COD Balance Anaerobic Biodegradation

## COD Balance Anaerobic



# Biogás



Kapdi *et al.*, 2005

Digestão  
Anaeróbia



$\text{CH}_4$



↓  
Poluentes

## DESVANTAGENS DO PROCESSO



Longos períodos de partida;  
Insuficiente potencial de geração de alcalinidade;  
Insuficiente qualidade do efluente;  
Geração de odores;  
Insuficiente remoção de nutrientes.  
Speece, 1996

## DESVANTAGENS DO PROCESSO



Longos períodos de partida;  
Insuficiente potencial de geração de alcalinidade;  
Insuficiente qualidade do efluente;  
Geração de odores;  
Insuficiente remoção de nutrientes.  
Speece, 1996

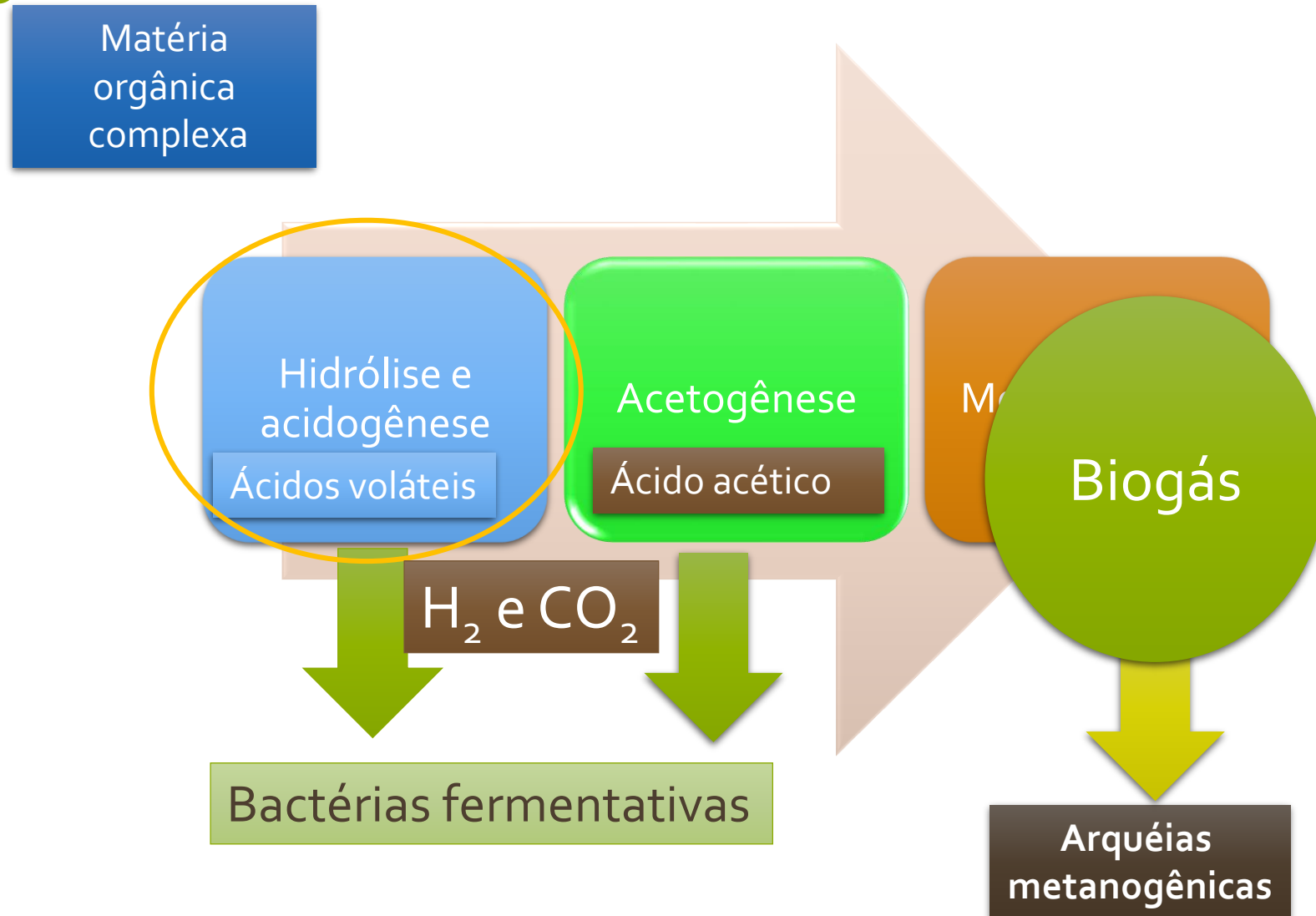
## Crença na fragilidade

Robustez  
Baixos custos operacionais  
Pequenas áreas necessárias  
Ausência de aerossóis  
Possibilidade de tratamento sazonal  
Conservação de energia Speece, 1996



## Vantagens do processo

# Processo anaeróbico de estabilização de matéria orgânica





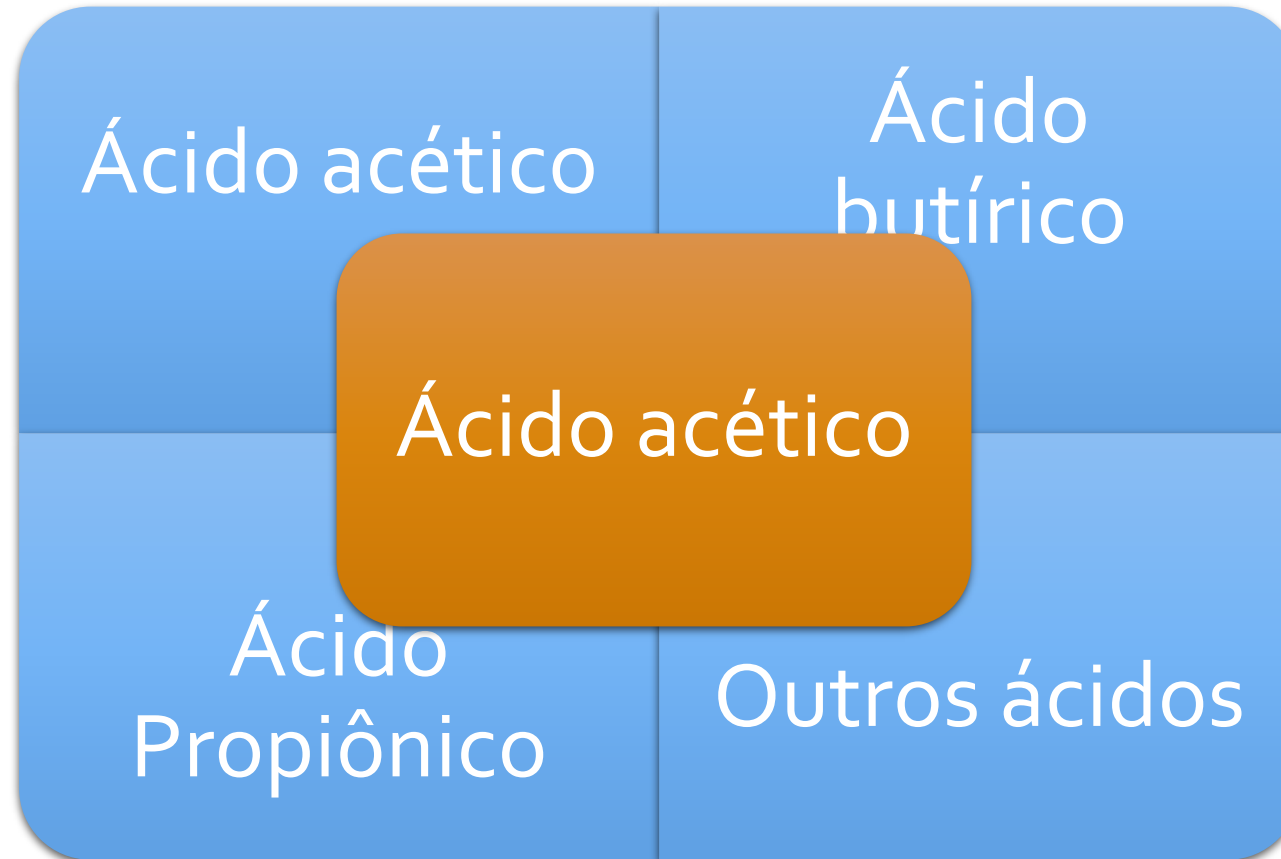
# Hidrólise e acidogênese



# Estequiometria e termodinâmica

Etapa	Reação	$\Delta G_o'$
Acidogênese (1)	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COO^- + 2CO_2 + 2H^+ + 4H_2$ glicose acetato	-206 kJ/reação
	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COO^- + 2H_2O + 2H^+$ glicose propionato	-358 kJ/reação
	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COO^- + 2CO_2 + H^+ + 2H_2$ glicose butirato	-255 kJ/reação

# Acetogênese



# Termodinâmica e estequiometria

Etapa	Reação	$\Delta G_o'$
Acetogênese (II)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ + 3\text{H}_2$ <span style="border: 1px solid green; padding: 2px;">propionato</span> <span style="border: 1px solid yellow; border-radius: 50%; padding: 2px; margin-left: 100px;">acetato</span> <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px; margin-left: 100px;">3H<sub>2</sub></span>	+76,1 kJ/reação
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 3\text{HCOO}^-$ <span style="border: 1px solid green; padding: 2px;">propionato</span> <span style="border: 1px solid yellow; border-radius: 50%; padding: 2px; margin-left: 100px;">acetato</span> <span style="border: 1px solid brown; padding: 2px; margin-left: 100px;">3HCOO<sup>-</sup></span>	+72,2 kJ/reação
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ + 2\text{H}_2$ <span style="border: 1px solid blue; padding: 2px;">butirato</span> <span style="border: 1px solid yellow; border-radius: 50%; padding: 2px; margin-left: 100px;">acetato</span> <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px; margin-left: 100px;">2H<sub>2</sub></span>	+48,1 kJ/reação

Reações acopladas com a metanogênese



# Metanogênese



- $\text{HCOO}^-$
- $\text{CO}$

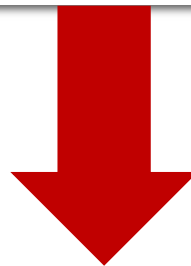
Metil-  
substratos

- Metanol
- Metilamina (Di e Tri)
- Metilmercaptana e dimetilsulfito

Substrato acetotrófico –  
 $\text{CO}_3\text{COO}^-$

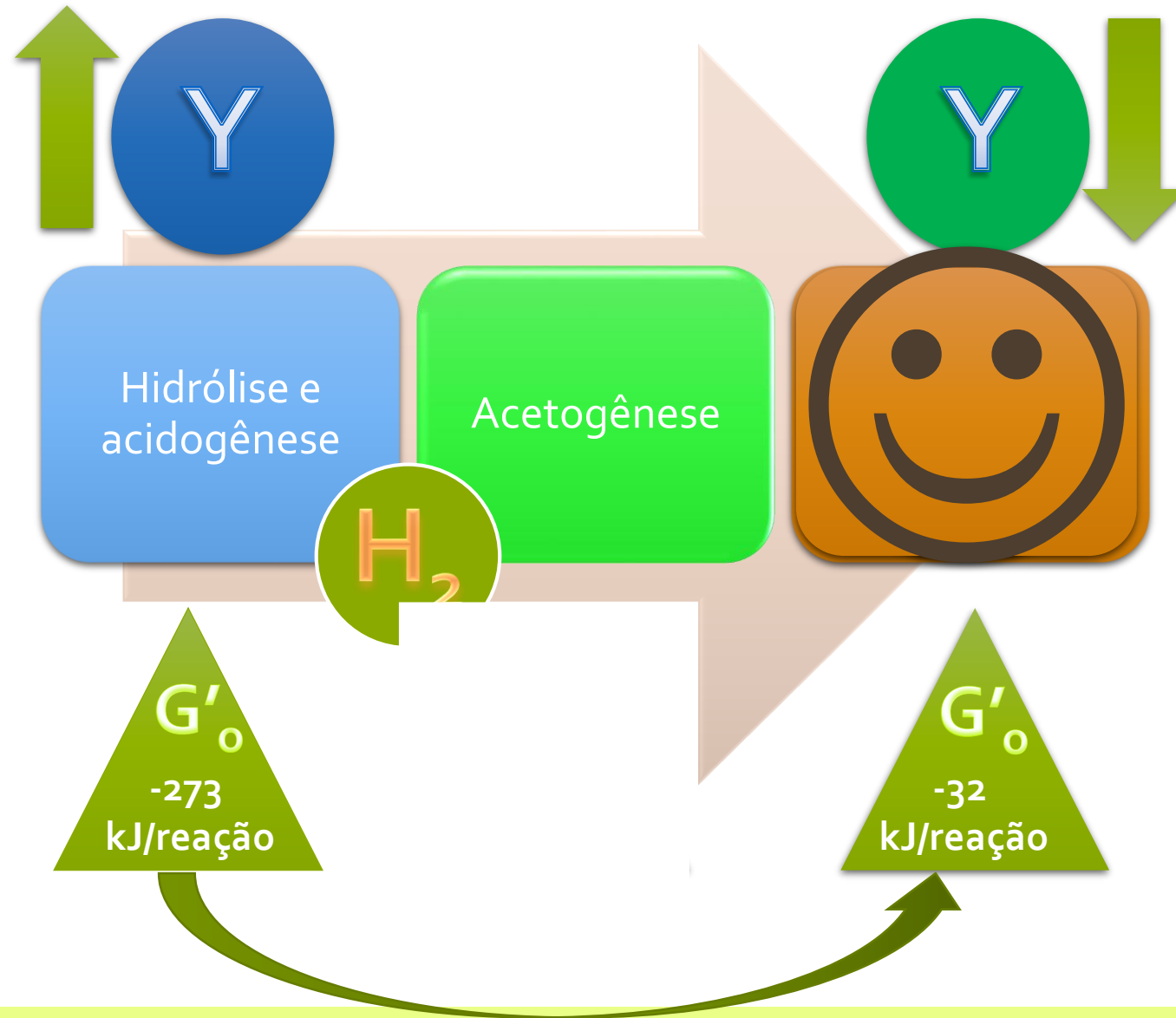
# Termodinâmica da metanogênese hidrogenotrófica

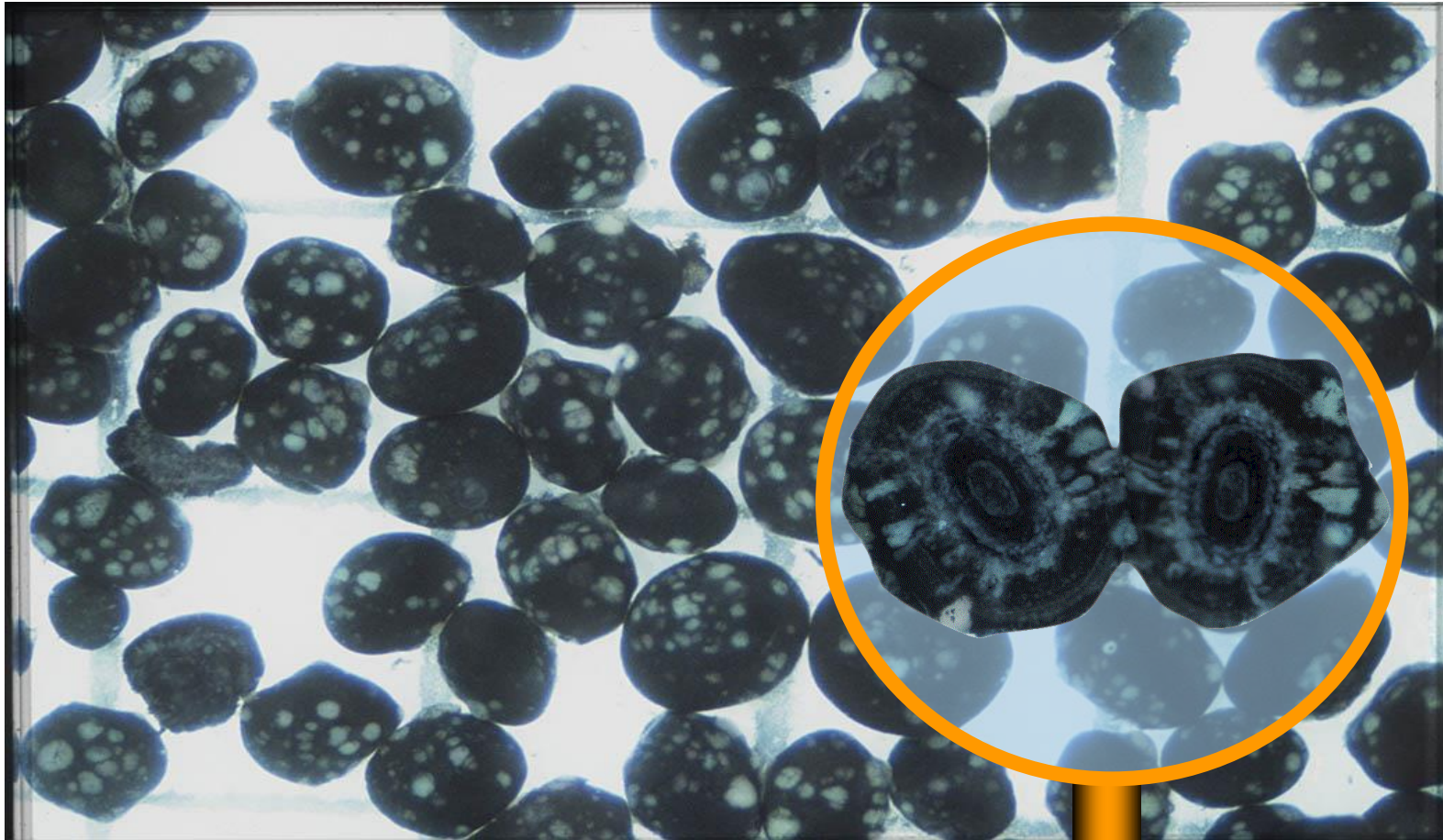
Reação	$\Delta G_o'$
$H_2 + \frac{1}{4} HCO_3^- + \frac{1}{4} H^+ \rightarrow \frac{1}{4} CH_4 + \frac{3}{4} H_2O$ hidrogênio metano	-33,9 kJ/reação
$HCOO^- + \frac{1}{4} H_2O + \frac{1}{4} H^+ \rightarrow \frac{1}{4} CH_4 + \frac{3}{4} HCO_3^-$ formiato metano	-32,6 kJ/reação



30%

# Sumarizando





Fonte: Field e Siera, 2000

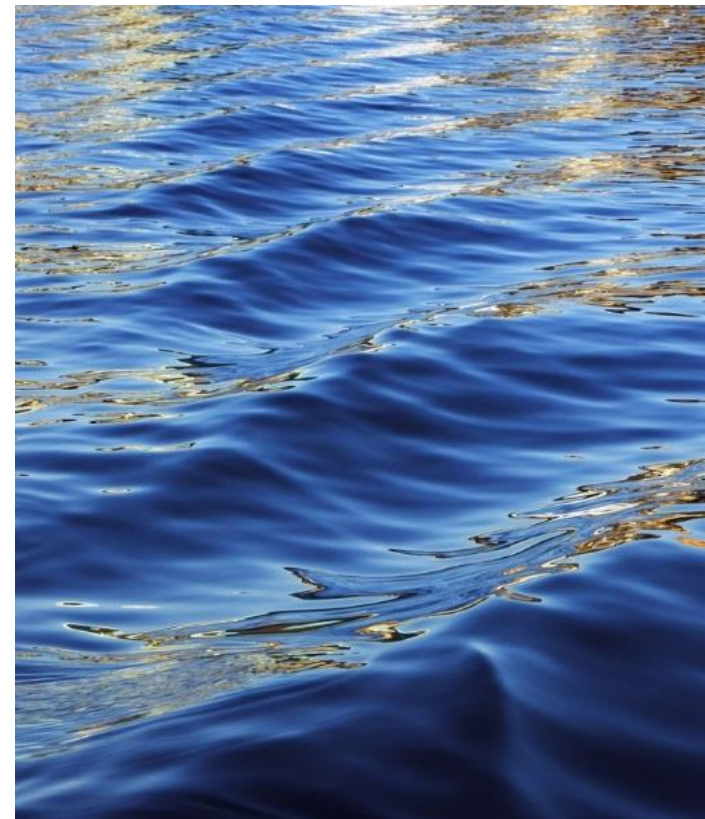






# Reatores anaeróbios

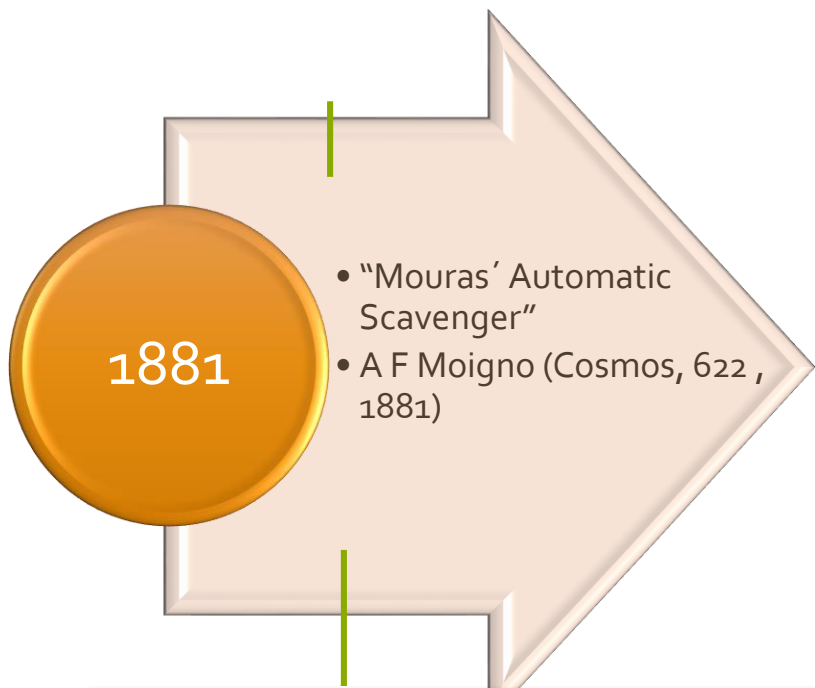
Giovana Tommaso  
Tratamento de resíduos – ZEA 0966



“A invenção foi uma solução completa para o problema que durante séculos tinha sido uma ameaça insolente atirada no rosto de toda a Humanidade”

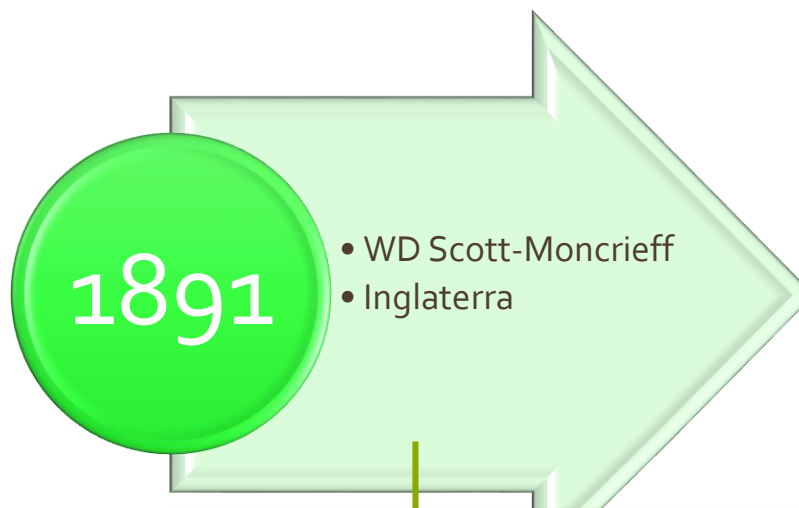
M. Allain Targe (ministro do interior)

Ação hidrolítica e Bacteriolítica em sólidos do esgoto doméstico



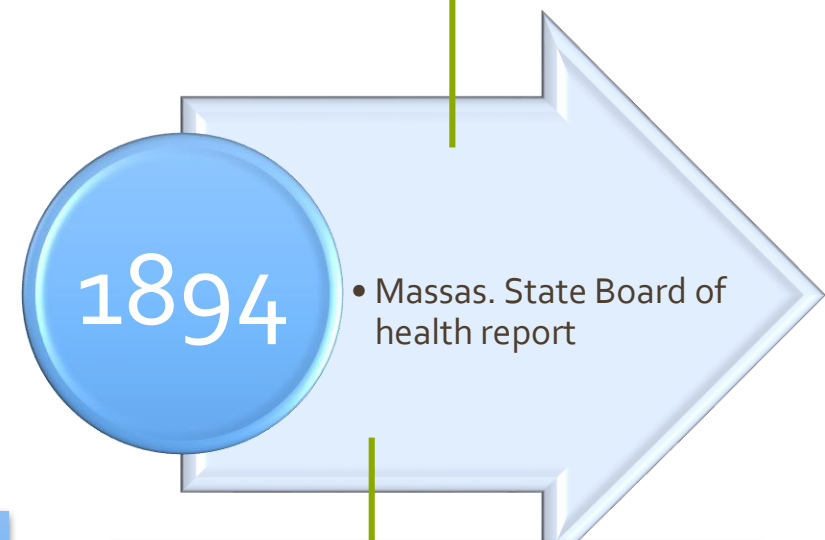
A mais simples a mais bonita e talvez a maior das invenções modernas

O primeiro tanque séptico



“Tanque com um espaço vazio em baixo, e um leito de pedras em cima”

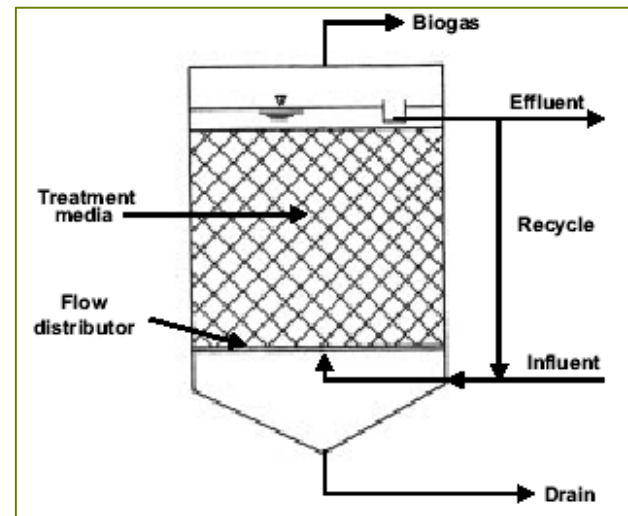
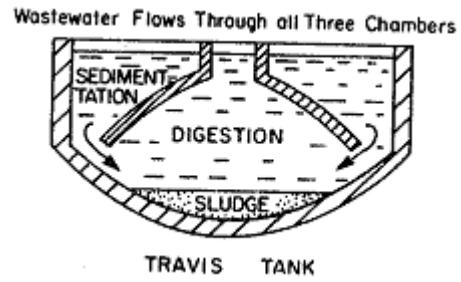
O primeiro filtro anaeróbio  
Efluente sanitário de 10 pessoas



Produção de gases inofensivos

McCarty, 1981

"Mouras' Automatic Scavenger" tratando 264 m<sup>3</sup>/dia



1895

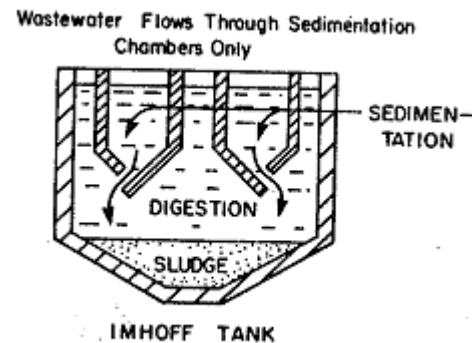
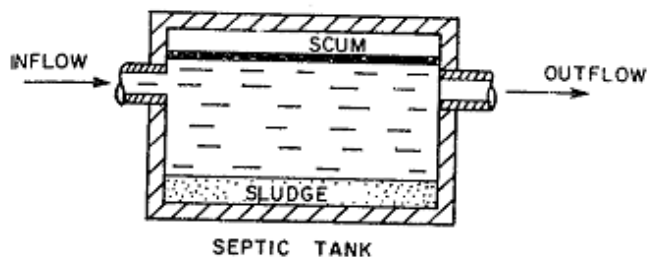
- DC Exceter
- Inglaterra

1905

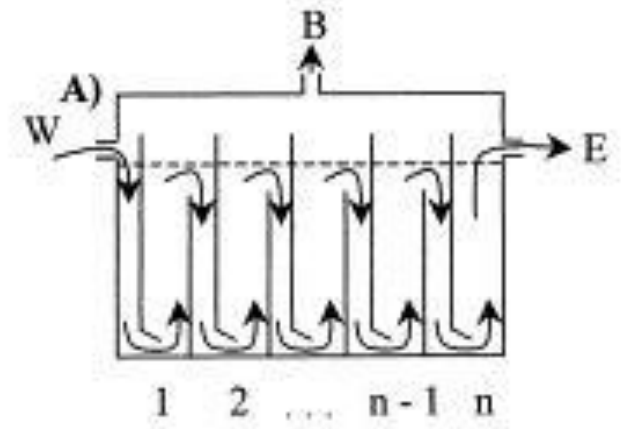
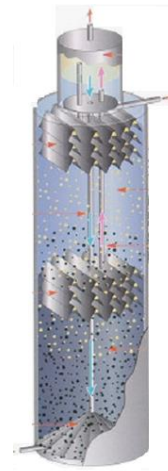
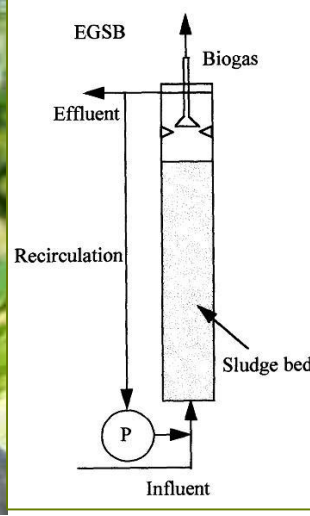
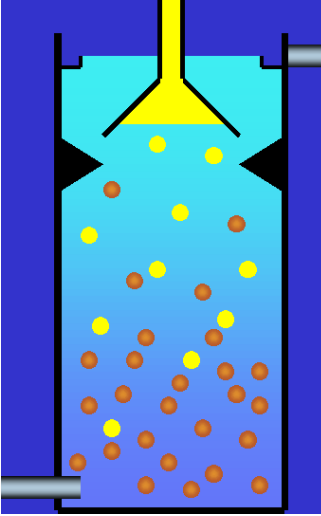
- W O Travis EUA
- Karl Imhoff

'60- '80

Efluentes da indústria de alimentos



Sorvetes (Morroy *et al.*, 1994)  
 Conservas (De Paula e Foresti, 1993)  
 Laticínios, abatedouros, etc (Campos 1992)



1980

- UASB
- G Lettinga
- Holanda

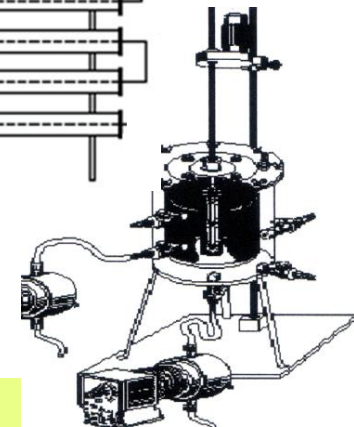
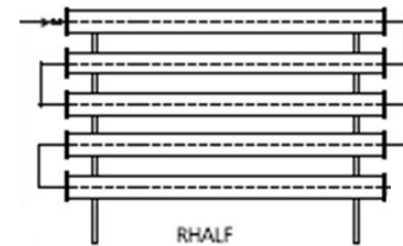
1990

- EGSB / IC

1990

- Stuckey
- Sungue e Dage
- Zaiat e Foresti

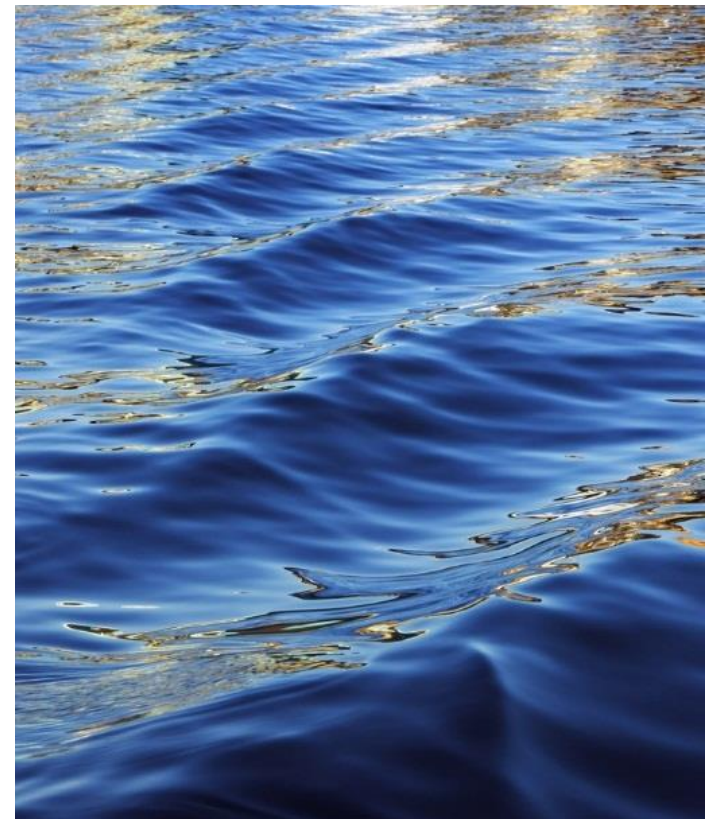
Reatores de membrana



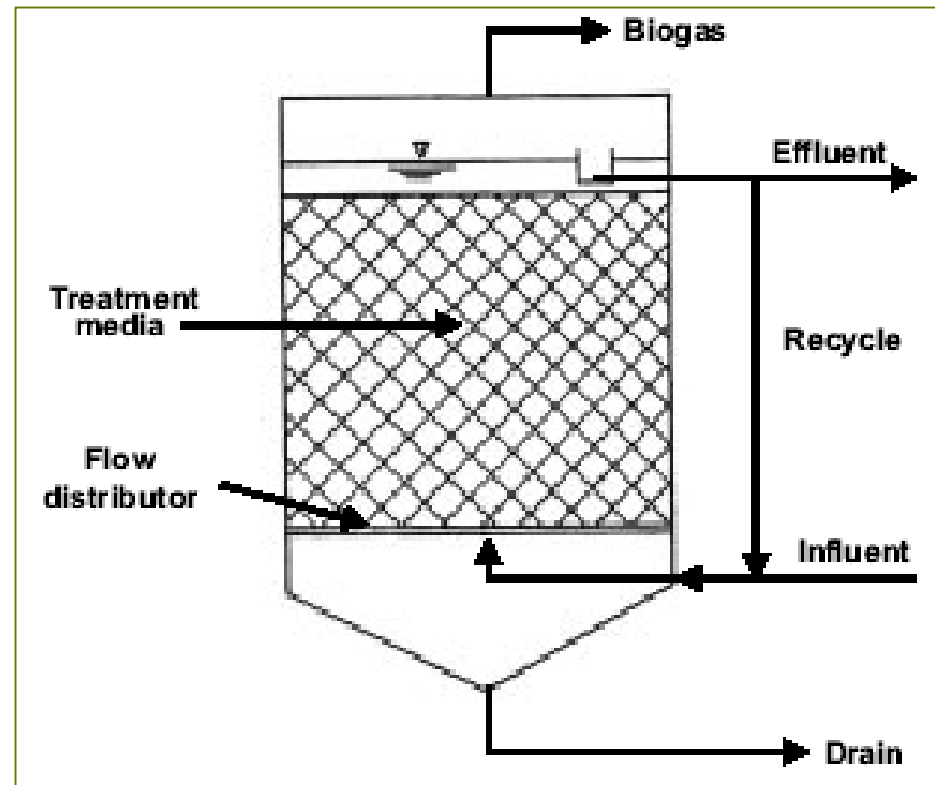


# Configurações

Mistura completa

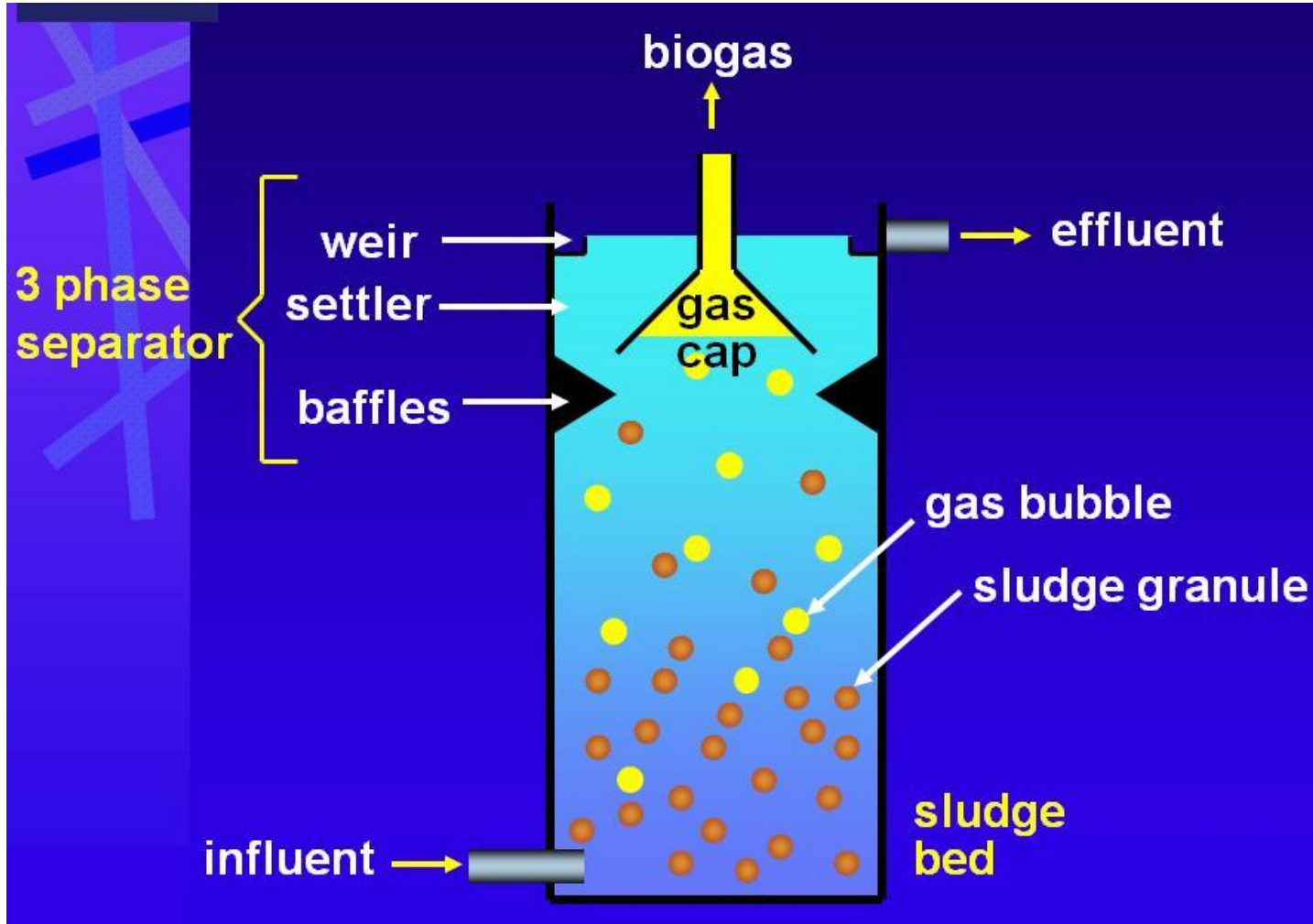


## *Filtros anaeróbios convencionais*



Source: <http://www.epa.gov>

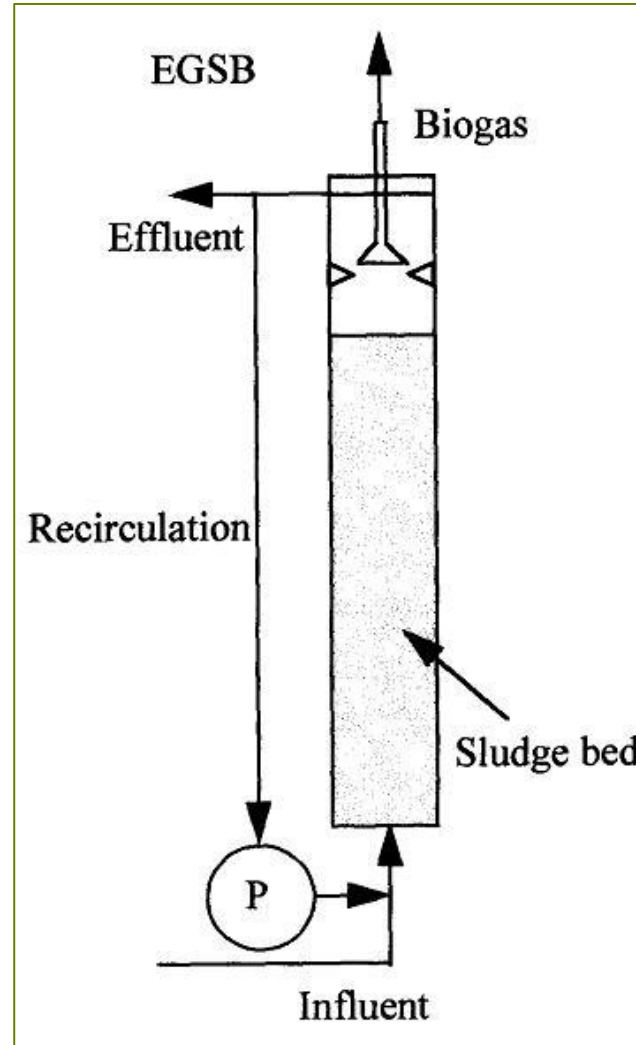
# Reatores do tipo UASB –Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor



Source: [www.uasb.org](http://www.uasb.org)

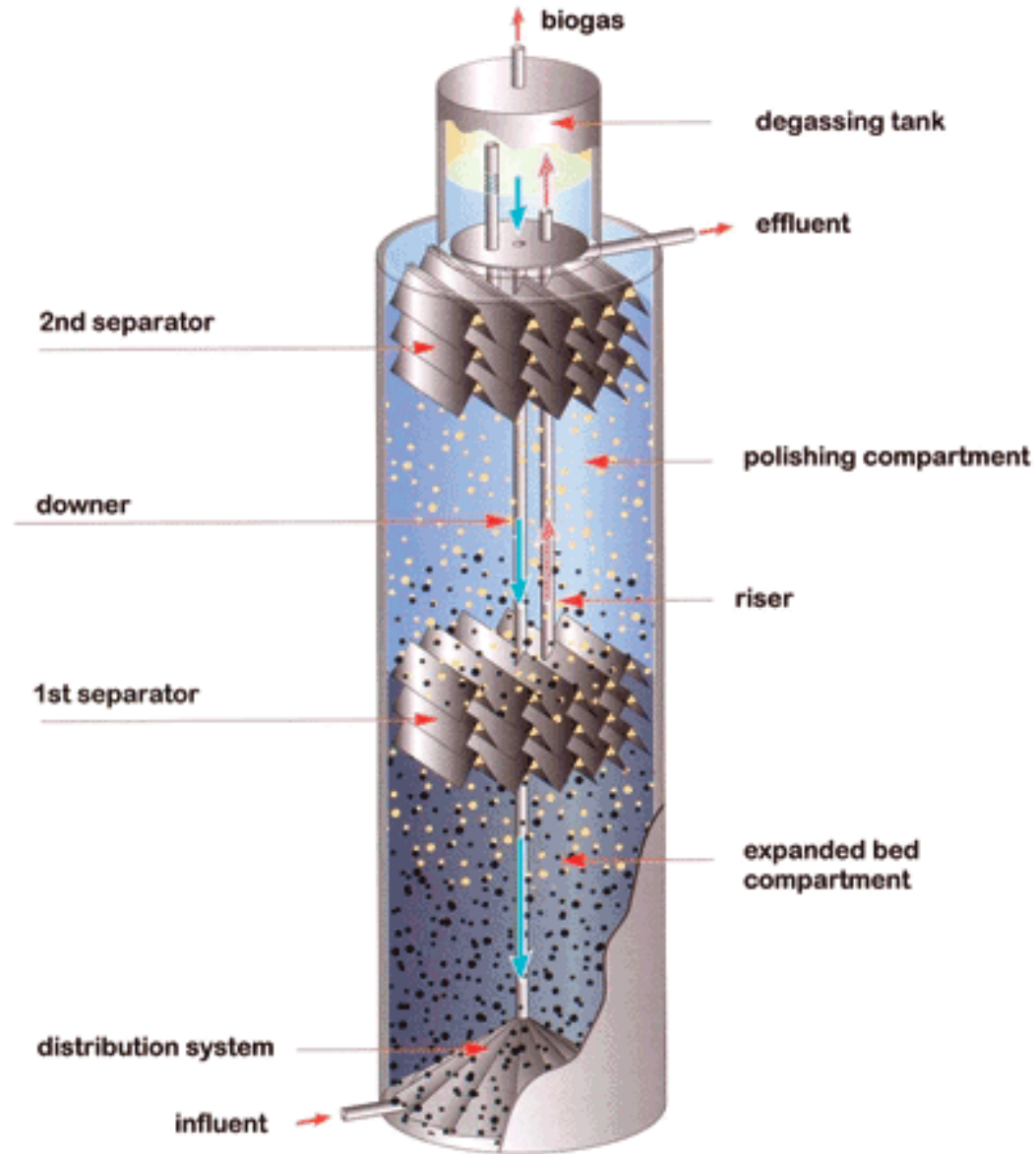


# Expanded granular sludge bed (EGSB) reactor

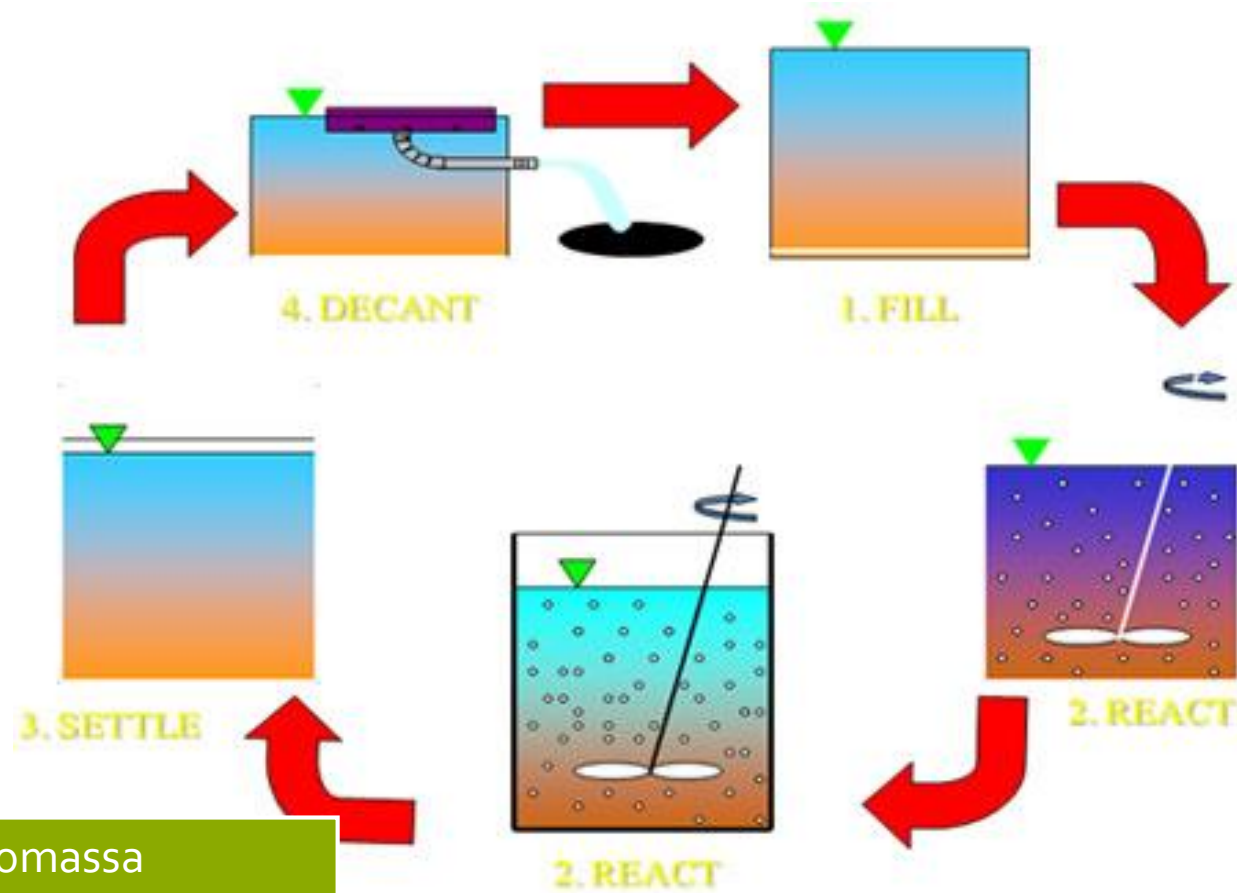


Source: Seghezzo *et al.* (1998)

# Internal circulation (IC) reactor

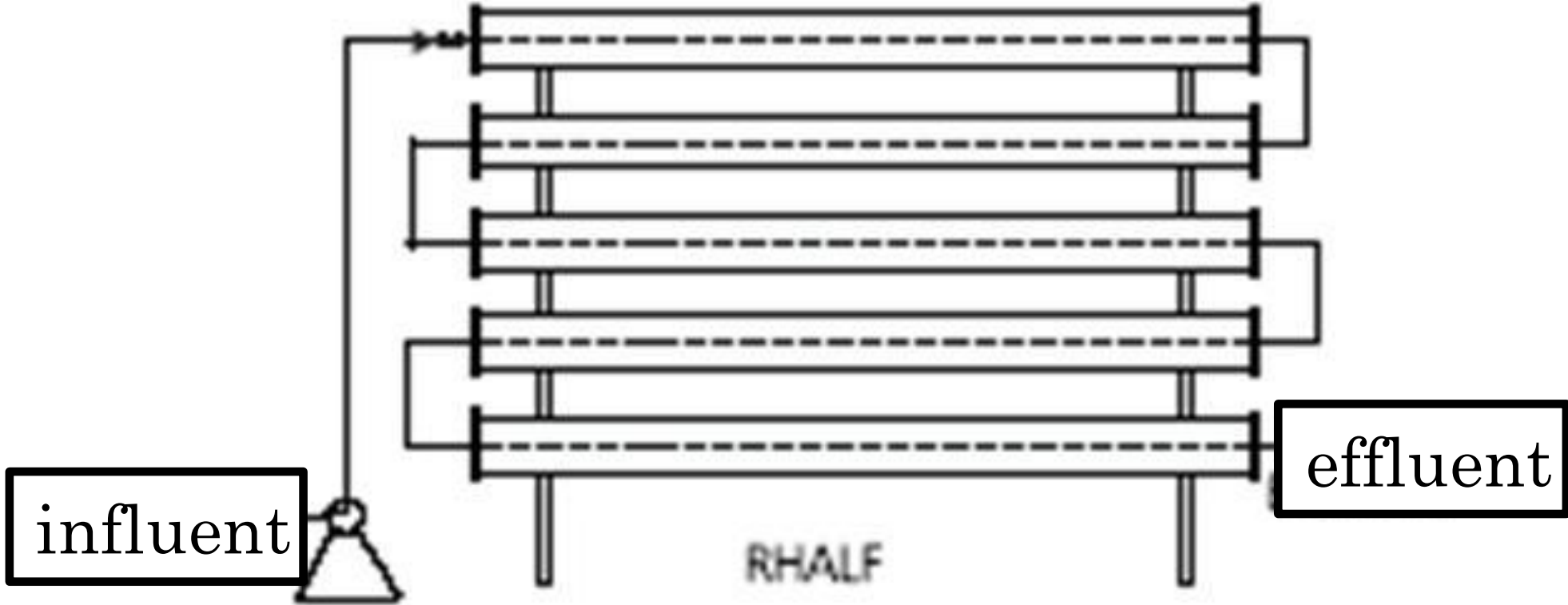


# Anaerobic sequencing batch reactors



O processo pode biomassa suspensa ou fixa – em caso de biomassa fixa a etapa de sedimentação é suprimida

# Reator Horizontal Anaeróbio de Leito Fixo



# Reatores compartimentados

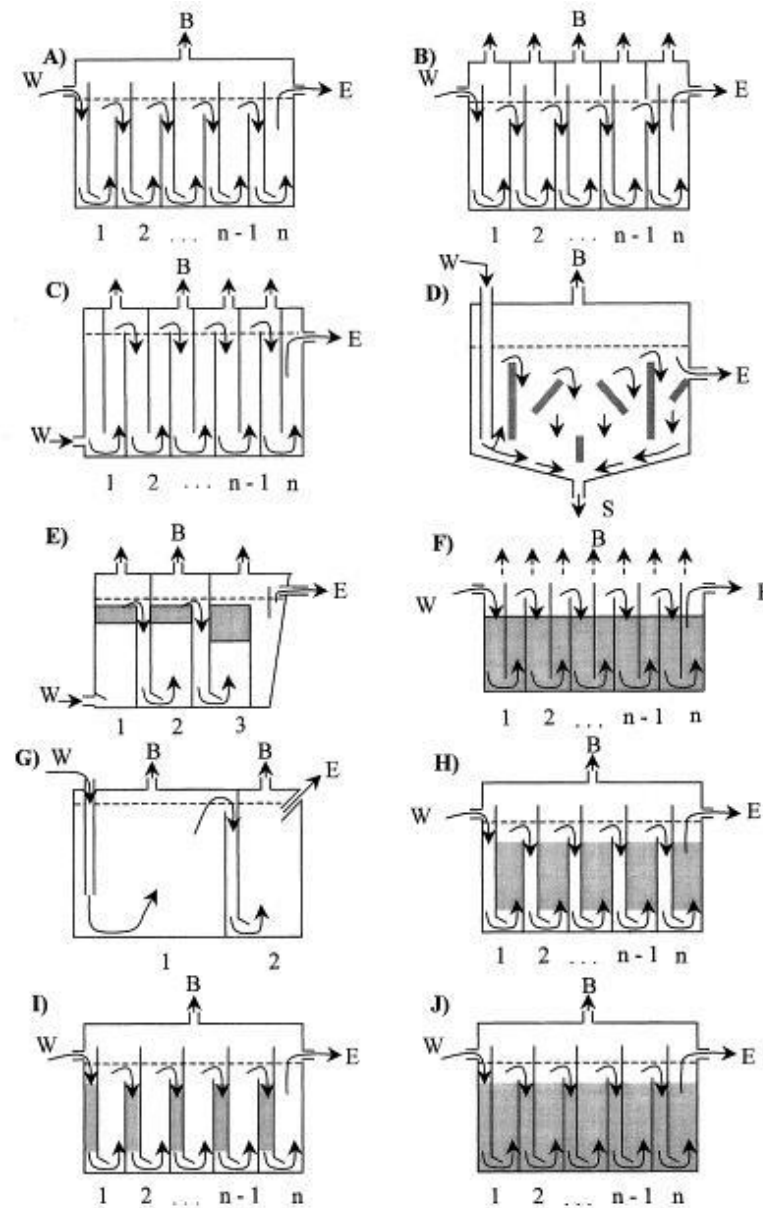
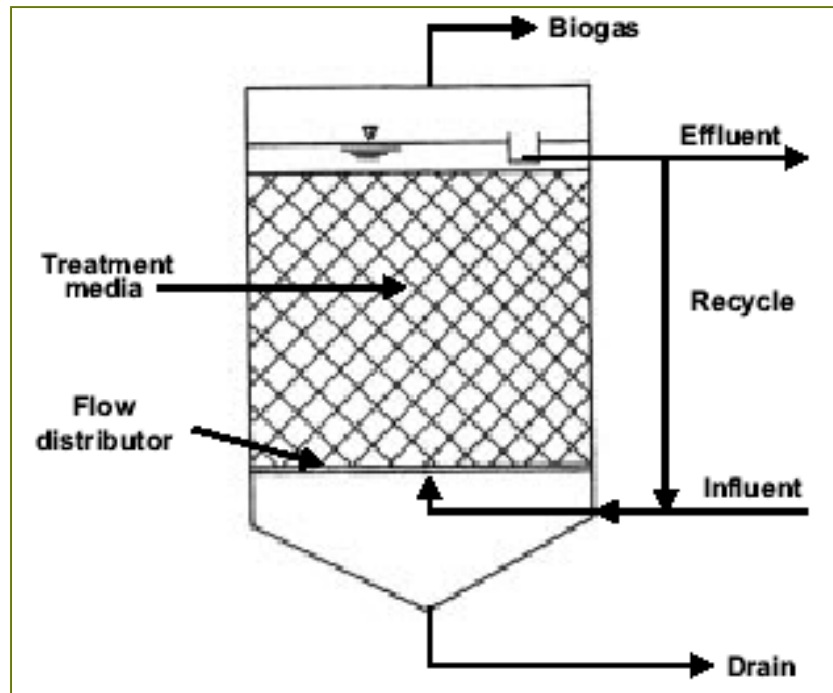


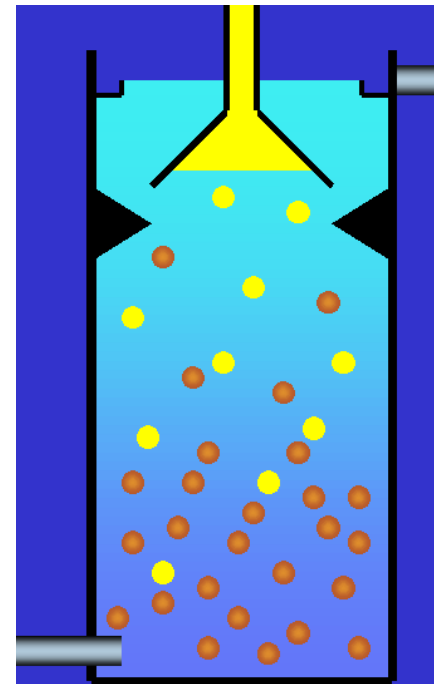
Fig. 1. Variations of the baffled reactor. (A) Single gas headspace, (B) individual gas headspace, (C) vertical, (D) horizontal, (E) hybrid with settling zone, (F) open top, (G) enlarged first compartment, (H–J) various packing arrangements: (H) up-comers, (I) down-comers, (J) entire reactor. Key: W=Wastewater, B=Biogas, E=Effluent, S=Solids, (shaded areas represent random packing).

# Reatores anaeróbios – os mais comuns

- “Filtros” anaeróbios



- Reatores UASB



# Comparação – FA x UASB

## **Filtro anaeróbio**

- Leito fixo
- Atenção cuidadosa aos sólidos
- Remoção de gordura
- Decantação primária

## **Reator UASB**

- Leito granular ou floculento
- Atenção cuidadosa à gordura.

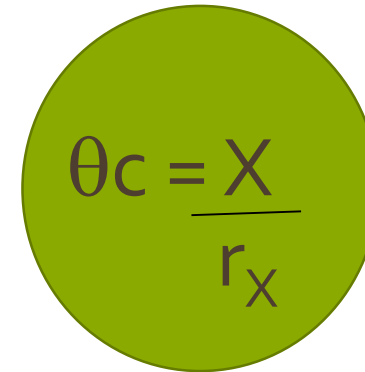
# Filtro anaeróbico – detalhes e critérios de projeto

- Fundo falso – (0,5 m mínimo)
- Suporte – mais comum – Brita nº 4 – ( $\phi$  ~5-8cm).
- Altura (convencional) – 1,3 a 1,4m NBR (0,8 – 2,0 m – Campos, 1996)
  - Material leve – até 13 m.



# Filtro anaeróbico – detalhes e critérios de projeto

- $\theta_c \geq 21$  d
- COV
  - Laticínios – 1,2 a 4,6
  - Refrigerantes – 2,3 – 4,7
  - Carnes – 1,7 a 2,9
  - Conserva de vegetais – 2,8
- Velocidade ascensional – 1 m/h
  - Partida –  $V_{up} \sim 0,4$  m/h

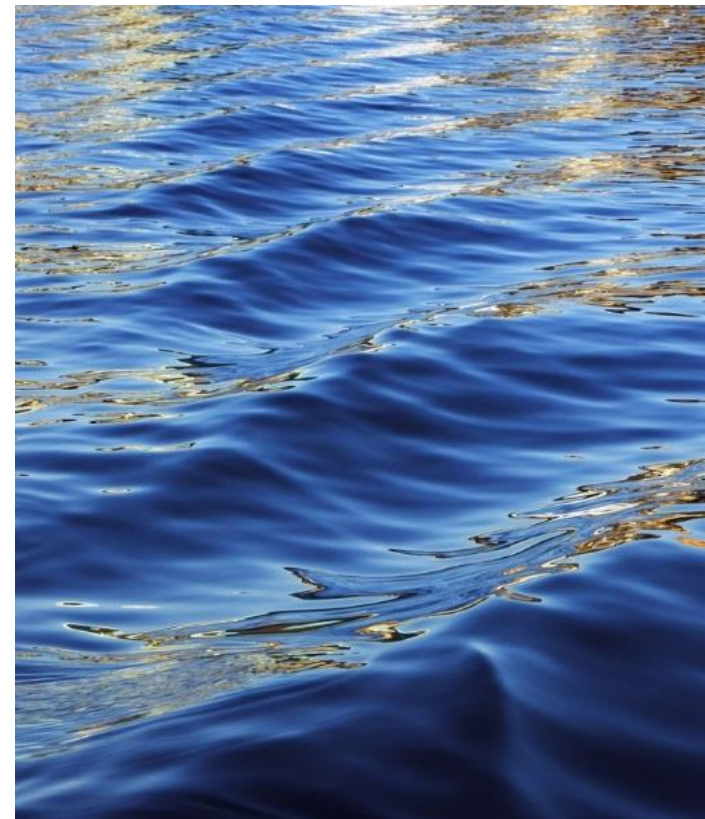

$$\theta_c = \frac{X}{r_x}$$

COV e  $\theta_h$  –  
volume de vazios



# Projeto de reatores UASB/EGSB

Cervantes, 2008



# Princípios

- Lodo com boas características de sedimentação
- Contato necessário entre biomassa e substrato – alimentação e produção de gás.
- Separador G/L/S eficiente

# UASB na Indústria de Alimentos

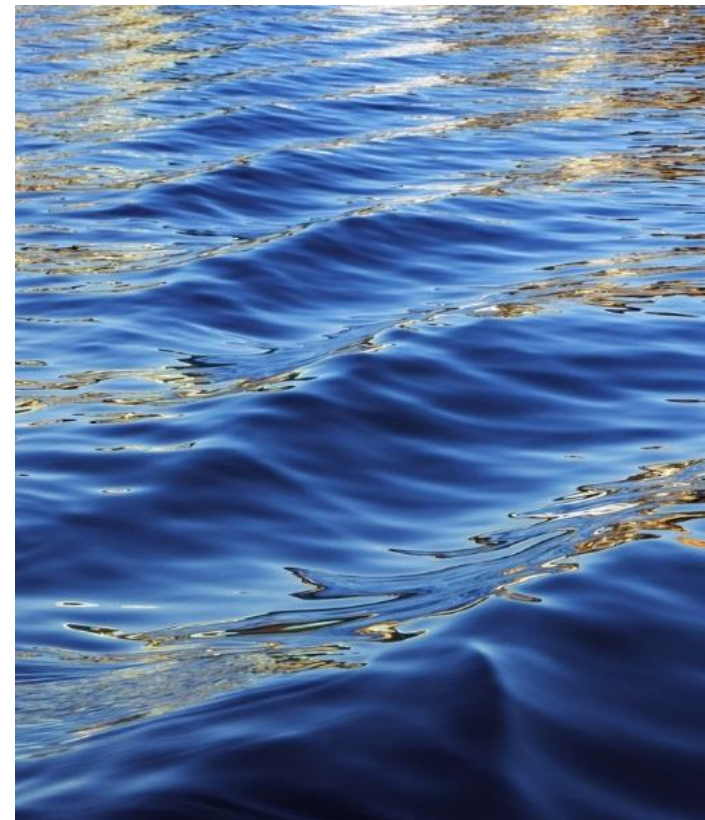
Wastewater type	Low rate	Anaerobic contact	Mixed bed	Fluidized bed	UASB	EGSB	Total
<b>Food Industry</b>							
Malt & Brewery	2	-	6	4	185	88	285
Alcohol distillery	25	31	40	-	76	9	181
Beverages	0	3	11	2	88	15	119
Sugarcane	-	49	7	1	34	3	92
Potato process	14	4	2	-	46	10	76
Dairy products	12	10	10	2	27	6	67
Starch production	2	9	10	2	32	7	64
Yeast production	7	8	6	-	25	8	54
Candies	4	-	3	-	15	2	24
Citric acid production	2	3	1	1	3	5	15
Coffee production	-	-	7	-	4	1	12
Wines production	-	-	6	1	3	1	11
Seafood	1	4	-	-	2	1	8
Miscellaneous	10	22	40	5	112	25	213



# Critérios de projeto



Tempo de  
retenção celular –  
( $\theta_c$ )



## SRT as prime design criterion:

SRT is directly linked to the amount of viable, active biomass in the system:

$$\text{SRT} = X / (dX/dt)$$

with X = concentration of viable biomass (e.g. methanogens).

SRT is determined by:

- incoming suspended solids
- solids digestion in the reactor
- filtering capacity sludge bed (upflow velocities + sludge characteristics)
- growth of new sludge
- sludge retention in the settler (upflow velocities)
- withdrawal of excess sludge

$\text{SRT}_{\text{min.}} \geq 3 * T_d$  (doubling time) of critical biomass (e.g. methanogens)



## Critério de projeto

$V_{up}$

COV



## Velocidade ascensional

- DQO solúvel -  $V_{up}$  máx 3 m/h
- **DQO parcialmente solúvel -  $V_{up}$  máx 1 e 1.5 m/h**
- EGSB  $V_{up}$  - 6 e 10 m/h
- EGSB area < UASB area

## COV - Kg/m<sup>3</sup>·d

Temperatura (°C)	WW- acidificada ácidos voláteis	Não acidificada	WW com 30 % SS-COD
15	2-4	1.5-3	1.5-2
20	4-6	2-4	2-3
25	6-12	4-8	3-9
30	10-18	8-12	6-9
35	15-24	12-18	9-14
40	20-32	15-24	14-18

# Quantidade de pontos de distribuição

## Tipo de lodo

## Área requerida por ponto de distribuição (m<sup>2</sup>)

Floculento denso(>40 g TSS/L)

0.5-1 → OLR <1 g COD/L-d

1-2 → OLR 1-2 g COD/L-d

2-3 → OLR >2 g COD/L-d

floculento(20-40 g TSS/l)

1-2 → OLR <1-2 g COD/L-d

2-5 → OLR >3 g COD/L-d

Granular

0.5-1 → OLR ≤ 2 g COD/L-d

0.5-2 → OLR 2-4 g COD/L-d

>2 → OLR >4 g COD/L-d

# Separador G/L/S

- Inclinação : 45-60°
- Área de vazios no GLS : 15-20% da área do reator
- Altura do separador GSL : 1.5-2 m para reatores de 5-7 m
- Área de troca – selo hídrico

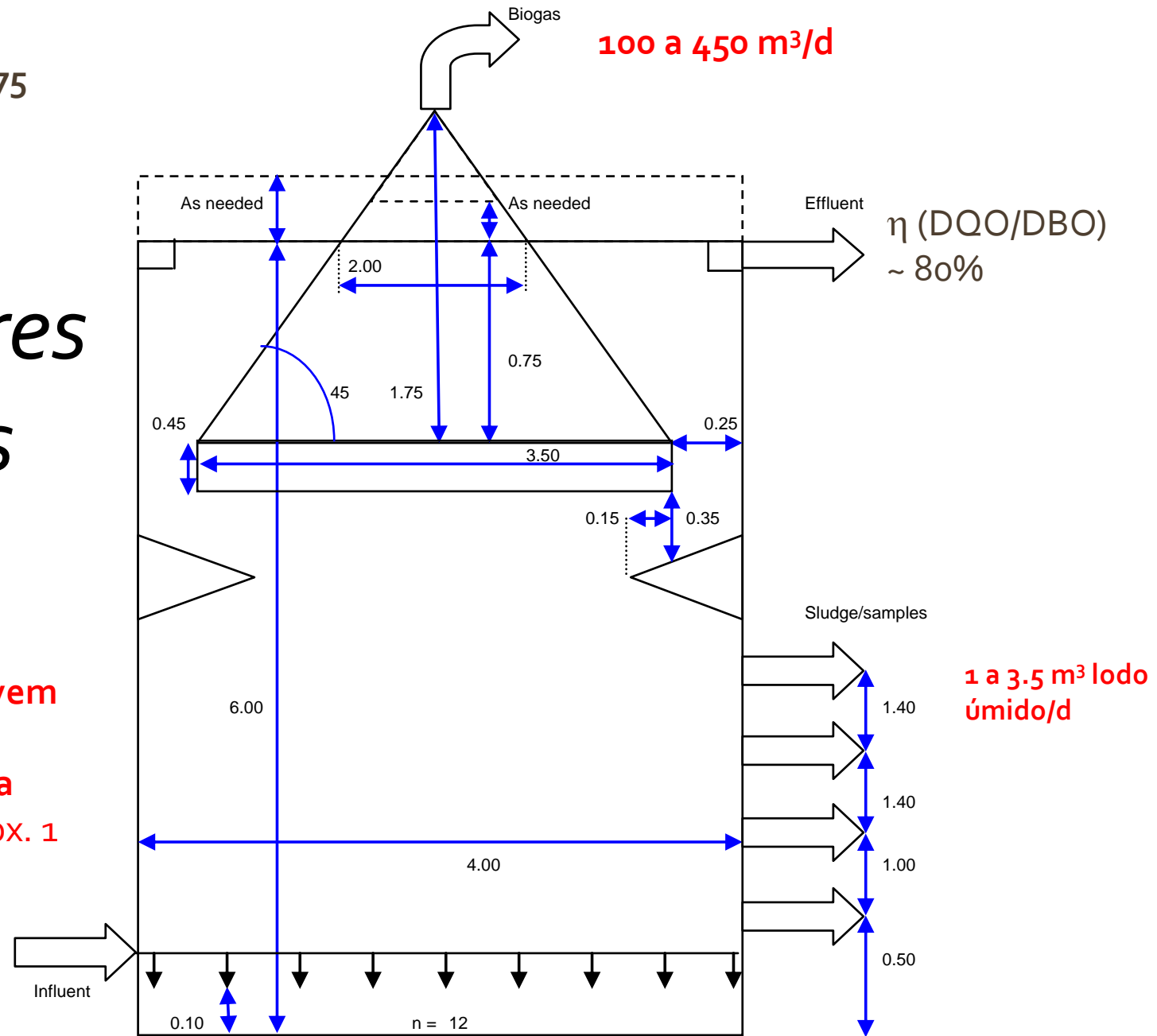
## *Reatores baixos*



Forma cilíndrica- 75  
m<sup>3</sup>

# Reatores altos

12 entradas que devem  
ser instaladas  
uniformemente pela  
base do reator (aprox. 1  
per m<sup>2</sup>).



1 a 3.5 m<sup>3</sup> lodo  
úmido/d

# Anaerobic Lagoon



Food/Beverage Processing - Washington

# Contact Process



Food-Processing, Virginia



# UASB



The Netherlands

# UASB - Internal Circulation



Brewery (Switzerland), 20 m height

# UASB - Internal Circulation



Kraft Paper Mill Foul Condensates, Alabama

# EGSB



Gist Brocades (yeast, pharmaceuticals) The Netherlands

# Modular Design UASB Reactors



# Photo Gallery



Municipal Sludge Digesters

# Municipal Sludge Digesters



Switzerland

# Centralized Biogas Plant



Lintrup Biogas plant (Denmark)

animal manures





Obrigada

