



LEI Nº 2.800 DE 18 DE JUNHO DE 1956

SEMINÁRIO TÉCNICO: “SANEAMENTO AMBIENTAL COM ÊNFASE NO TRATAMENTO DE EFLUENTES”

José Jailton Marques, D.Sc. (DEAM/CCET/UFS)

Aracaju, 22 de agosto de 2025

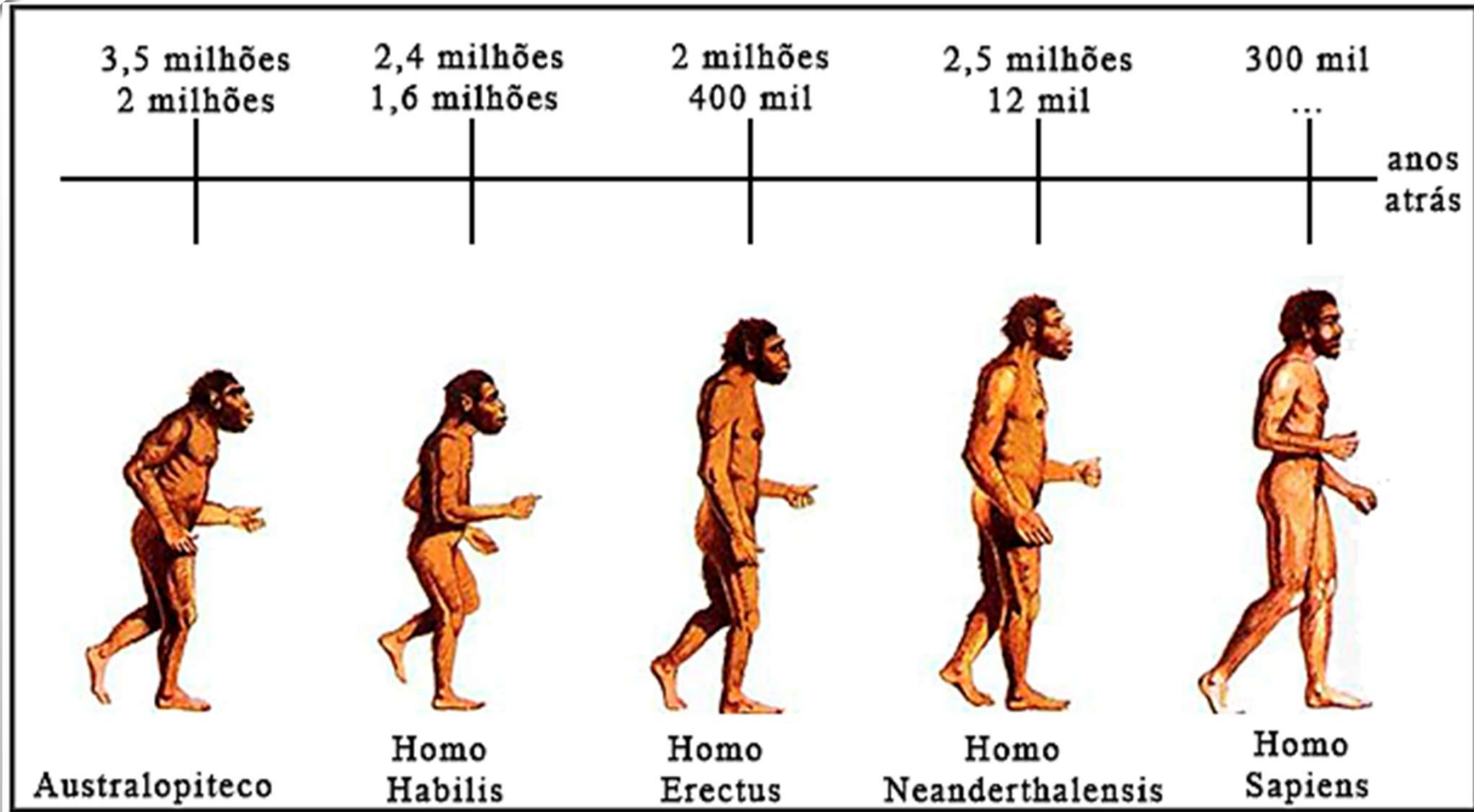
Em parceria com:



The background of the slide is a light gray gradient. It is decorated with several realistic water droplets of various sizes. In the top-left corner, there are three droplets of different sizes. In the top-right corner, there are two droplets. In the bottom-right corner, there is a cluster of several droplets, including a large one and several smaller ones. In the bottom-center area, there are two more droplets.

O PONTO DE RUPTURA

(“*Breakthrough*”)



<https://www.significados.com.br/evolucao-humana/>

Efeitos imediatos da “sapiência”...



<https://i0.wp.com/www.deviantart.com.br/wp-content/uploads/2020/03/dispersao-humano.jpg>

- ◆ Há 350 mil anos, surgia, no Chifre da África, o *homo sapiens*;
- ◆ Há 300 mil anos, ele já havia se espalhado por todo o continente africano;
- ◆ Há 100 mil anos, já estava habitando o leste do Mediterrâneo;
- ◆ Há 80 mil anos já chegava à China;
- ◆ Velocidade de expansão ↔ capacidade de adaptação da espécie em diferentes biomas.

<https://www.deviantes.com.br/noticias/os-humanos-ficaram-imunes-a-evolucao/>

- ♦ **Fogo → iluminação e calor → segurança → formação de aglomerados humanos;**
- ♦ **Fogo → cerâmica → metalurgia → ferramentas → armas;**
- ♦ **Ferramentas e tração animal → Revolução na agricultura → excedente de alimentos → crescimento populacional;**
- ♦ **Energia hidráulica e eólica (2500 anos atrás): maior produção agrícola, maior capacidade de processamento de grãos etc.;**

- ◆ **Ruptura da era econômica baseada na energia da biomassa a favor do homem;**
- ◆ **Descoberta da energia fóssil → Revolução Industrial (17?? a 18??);**
- ◆ **Grandes estoques de energia fóssil passaram a alimentar as máquinas a vapor;**
- ◆ **Hoje, somo vorazes consumidores de recursos!**

NOS PRIMÓRDIOS DA HUMANIDADE...

- ◆ População muito pequena;
- ◆ Nomadismo, caça, pesca e extrativismo vegetal;
- ◆ Não havia acumulação;
- ◆ Baixíssima pegada ecológica;
- ◆ Capacidade de “fossa” infinitamente superior às taxas de emissões...

SUSTENTABILIDADE!

Escala de tempo geológica relativa (segundo Carl Sagan)

Dados:

Idade da Terra: $I := 4.543 \cdot 10^9 \cdot \text{yr}$

Idade do *Homo sapiens*: $I_{hs} := 350 \cdot 10^3 \cdot \text{yr}$

Idade relativa $I_{rel} := 1 \cdot \text{yr}$

Origem animais $I_a := 600 \cdot 10^6 \cdot \text{yr}$

Idade do *Homo sapiens* na escala relativa:

$$I_{arel} := \left(\frac{I_{rel}}{I} \right) \cdot I_a$$

$$I_{arel} = (4.168 \cdot 10^6) \text{ s}$$

$$I_{arel} = 48.2 \text{ day}$$

$$I_{hsrel} := \left(\frac{I_{rel}}{I} \right) \cdot I_{hs}$$

$$I_{hsrel} = (2.431 \cdot 10^3) \text{ s}$$

$$I_{hsrel} = 0.7 \text{ hr}$$

Isto equivale a dizer que, se a Terra tivesse um ano, os primeiros animais teriam surgido há cerca de 48 dias e o homem teria surgido às 23h18 do dia 31 de dezembro de 0000.

DIAS ATUAIS...

- ◆ População acima de 8 bilhões;
- ◆ Quase 50 megacidades (aglomerações como mais de 10 Mhab). Há 60 anos eram apenas 2 (duas);
- ◆ Mais da metade da população mundial vive em cidades;
- ◆ Uma miríade de produtos químicos sintéticos (agrotóxicos, fármacos, polímeros etc.);
- ◆ Nossa pegada ecológica já requer 1,8 planeta Terra;
- ◆ Capacidade de “fossa” desde há muito tempo ultrapassada...
- ◆ **INSUSTENTABILIDADE!**

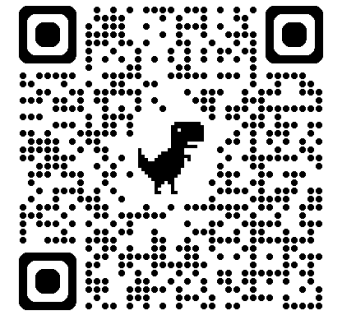
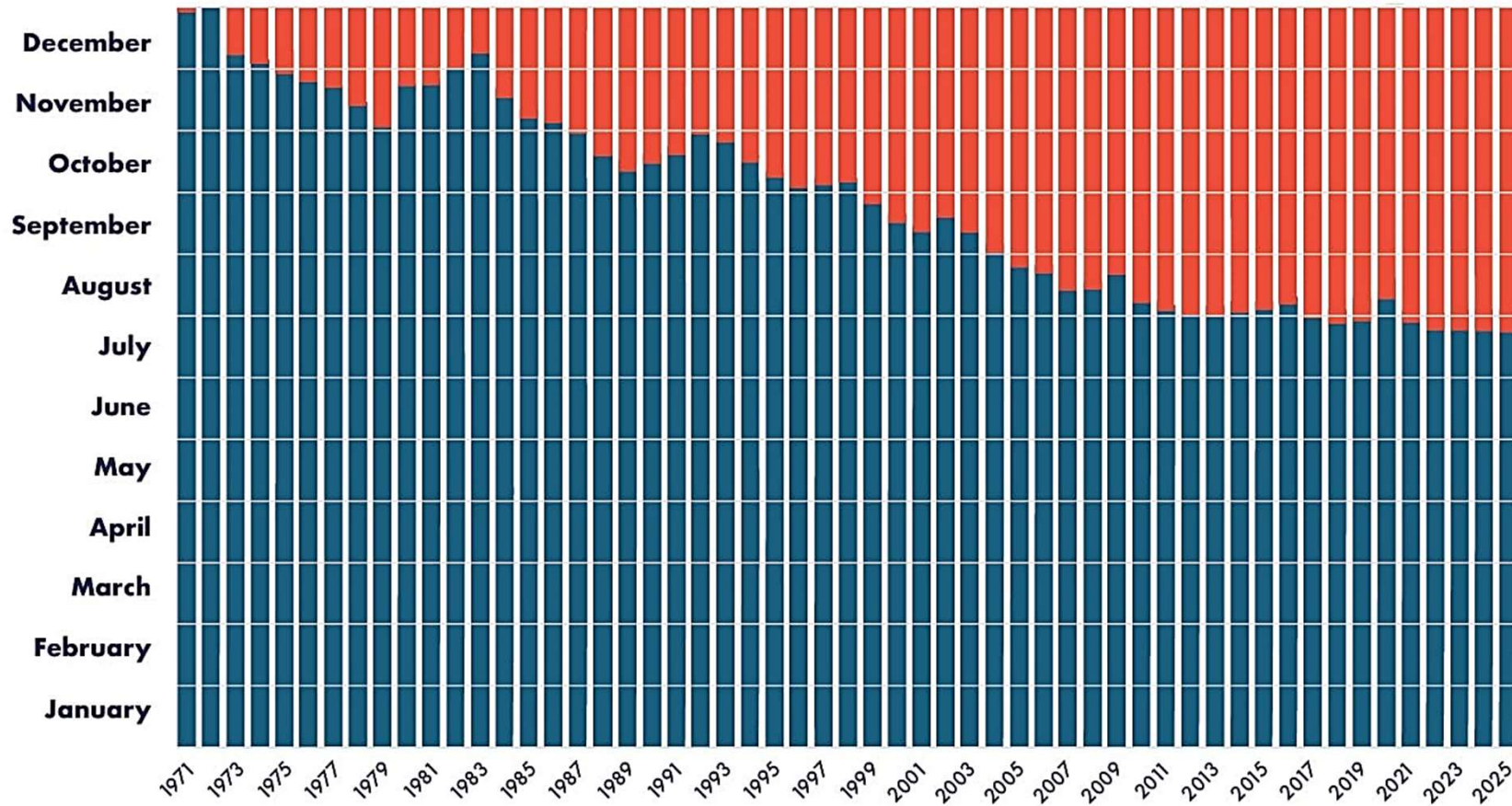
1 Earth



Earth Overshoot Day

1971 - 2025

1.8 Earths



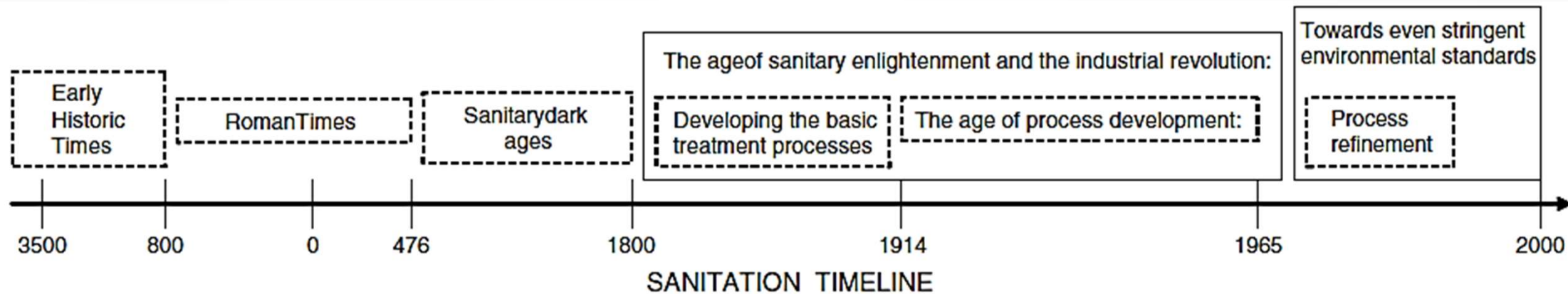
Based on National Footprint and Biocapacity Accounts 2025 Edition



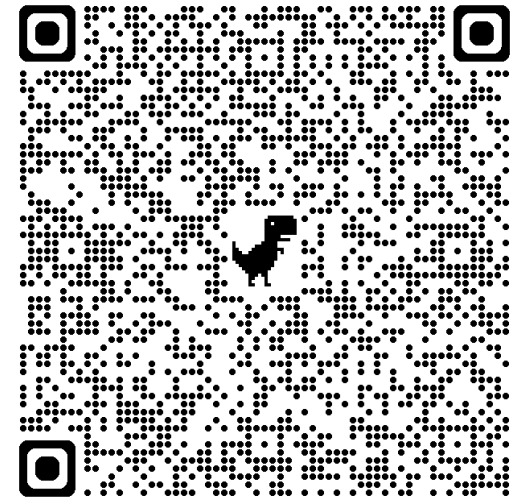
SANEAMENTO AMBIENTAL



LINHA DO TEMPO DO SANEAMENTO



○ foco maior era nos esgotos sanitários!







(*)Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine disrupting compounds (EDCs).

SANEAMENTO BÁSICO VERSUS SANEAMENTO AMBIENTAL

- ◆ **Saneamento básico** - ações e serviços que visam garantir condições mínimas de higiene e saúde públicas.
- ◆ **Saneamento ambiental** - inclui a proteção do meio ambiente e a prevenção de doenças relacionadas ao meio ambiente, além do saneamento básico.

Lei 11.445/2007 (PNSB)

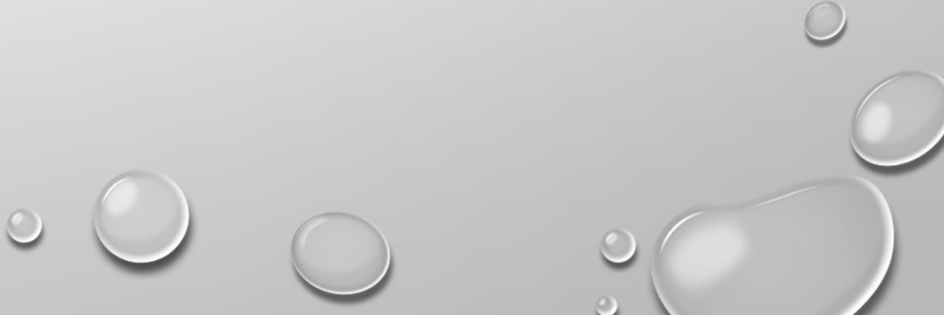
Saneamento básico - é o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações necessárias para abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos e drenagem/manejo de águas pluviais urbanas.

Saneamento Ambiental

- ◆ Engloba medidas integradas para proteção de corpos hídricos, solo, ar e ecossistemas urbanos e rurais.
- ◆ Inclui gestão de efluentes industriais, controle de vetores, gestão de lodos, soluções baseadas na natureza (*wetlands*, lagoas etc.) e ações voltadas para mitigação de impactos ambientais.
- ◆ **Busca garantir não apenas saúde pública, mas também qualidade ambiental e sustentabilidade dos recursos naturais.**



Lei nº 14.026/2020

- ◆ Novo marco legal do saneamento básico;
 - ◆ Transfere a responsabilidade da Funasa para a ANA;
 - ◆ Visa a universalização dos serviços de água e esgoto até 2033;
 - ◆ **Preconiza investimentos privados na área!!**
- 

Cenário Atual – Contrastes Globais



Canal do Arruda, Recife.

Foto: Diego Nigro/JC Imagem

<https://www.pragmatismopolitico.com.br/2013/11/infancia-perdida-na-lama-e-lixo.html>

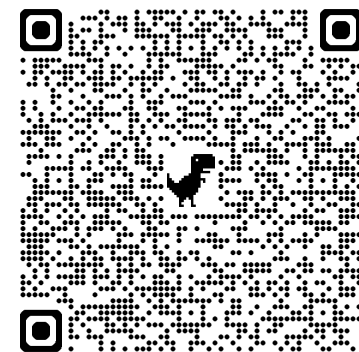


Cingapura - a cidade asiática símbolo da limpeza e da qualidade ambiental.

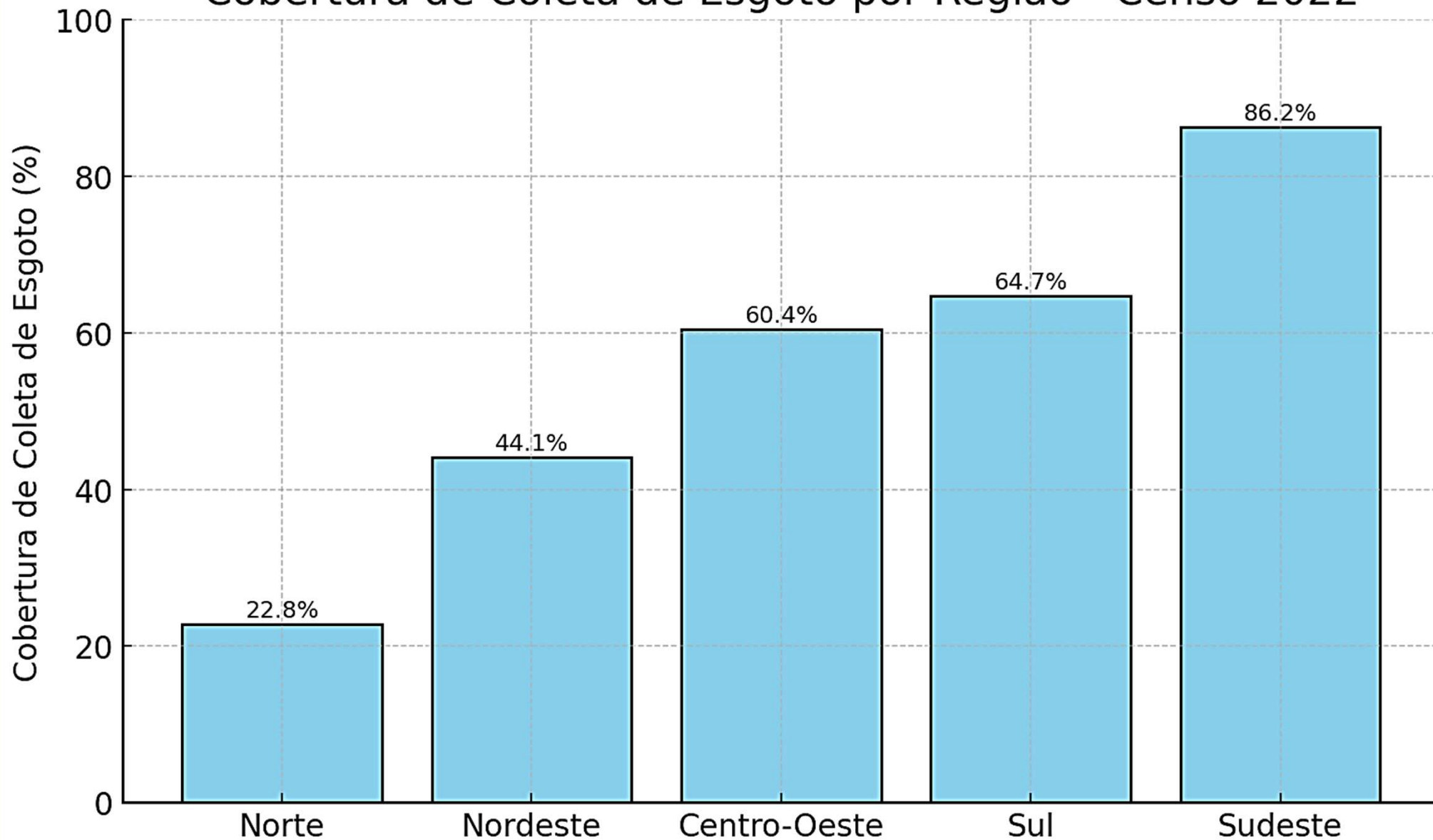
<https://www.bbc.com/portuguese/vert-tra-56995398>

Cenário Atual - Brasil

- ◆ Esgoto: 62,5% de cobertura (IBGE, 2022); grandes desigualdades regionais.
- ◆ Investimento necessário: ~R\$ 882,4 bi até 2033 (PLANSAB, 2025; ~R\$ 223,82/hab.ano).
- ◆ Investimento médio atual: R\$ 126,00/hab.ano.



Cobertura de Coleta de Esgoto por Região - Censo 2022

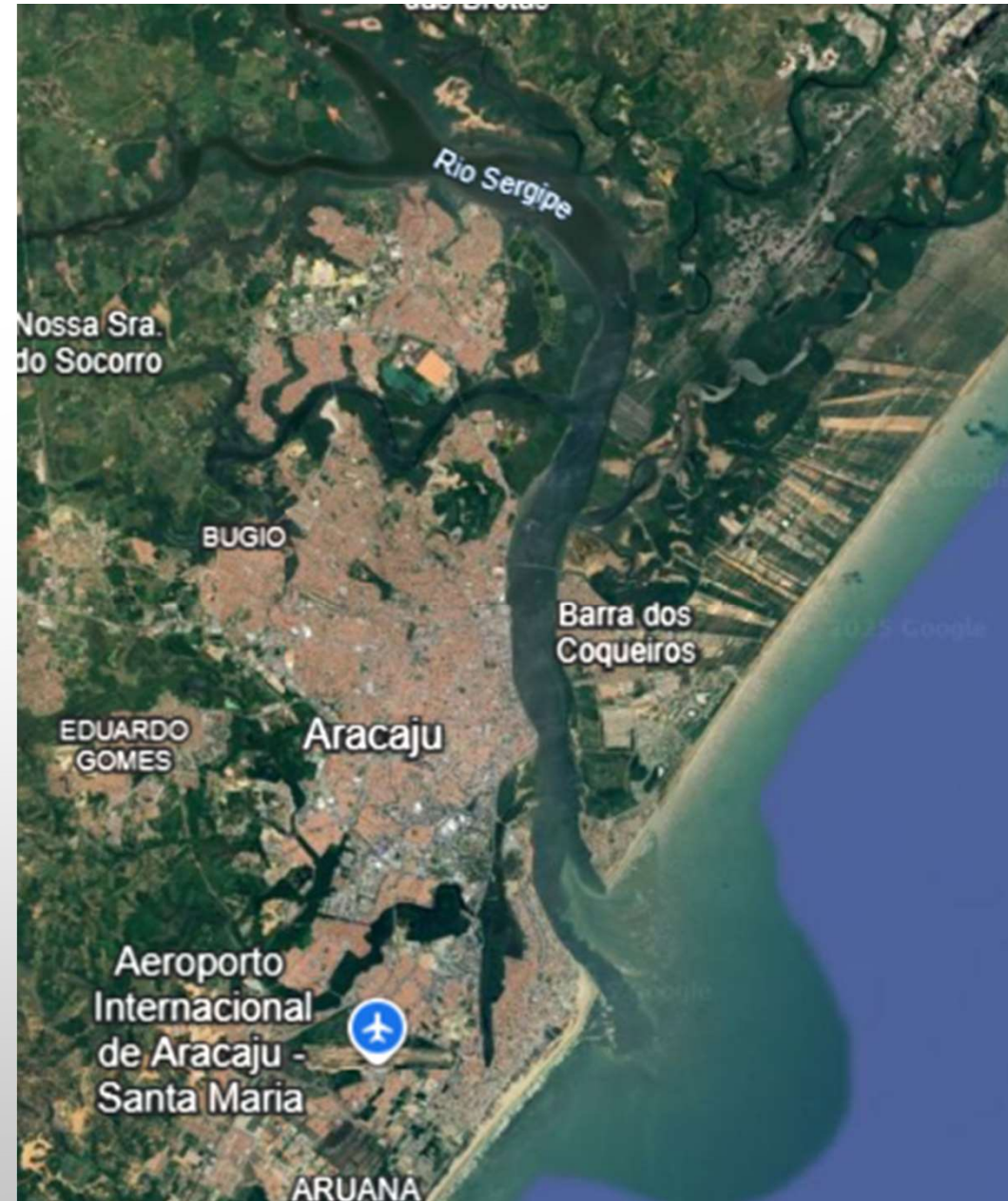


• Cenário Atual - Aracaju

Há muito pra se falar...

Vide Google Earth Pro:

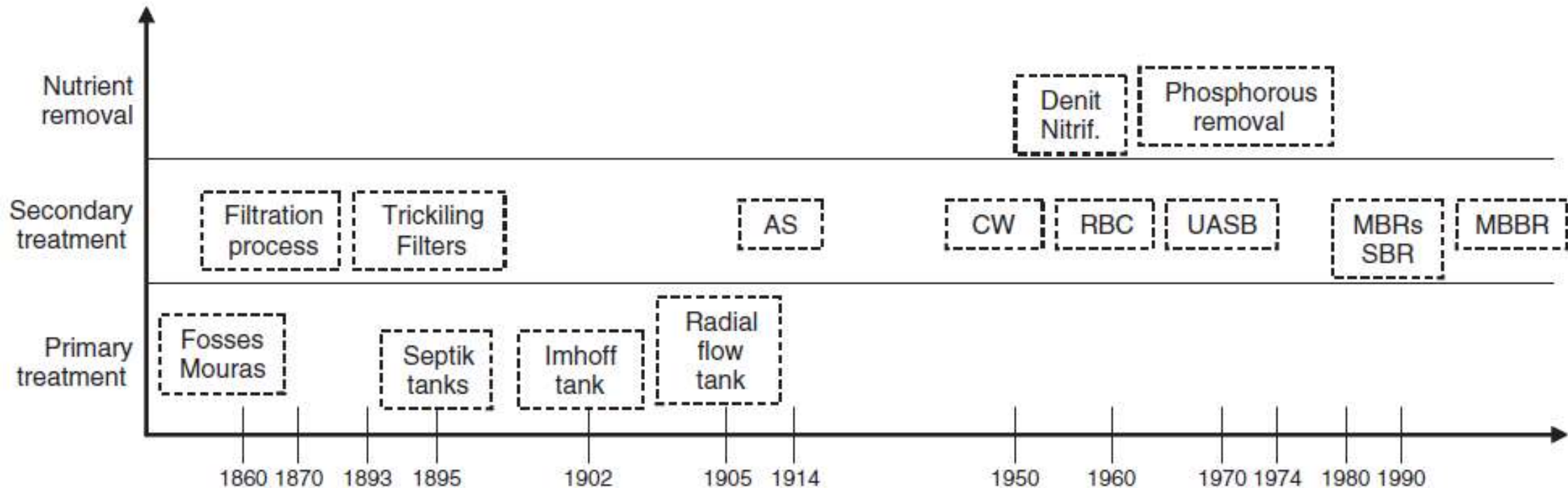
- Estuários;
- Carcinicultura;
- Canais “pluviais” etc.





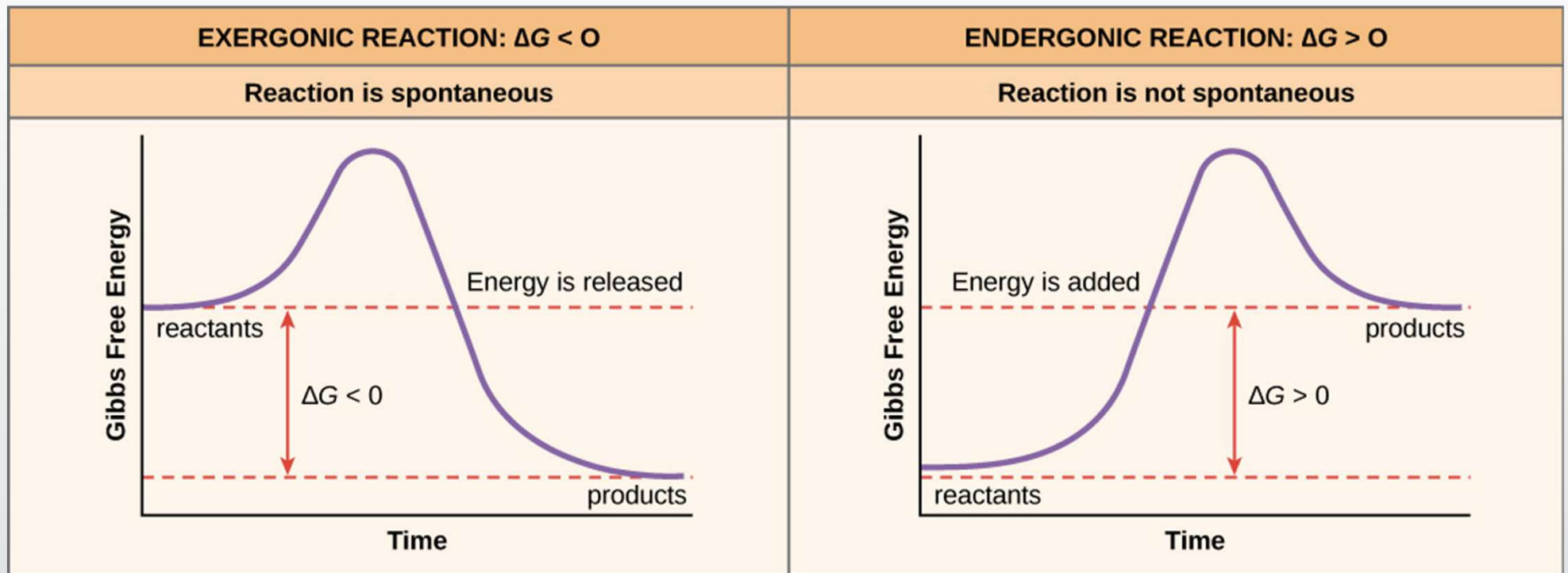
TRATAMIENTO DE EFLUENTES

1. Linha do tempo do saneamento (“sanitation”)



Evolution of wastewater treatment. AS - Activated sludge; CW - constructed wetlands; RBC - Rotating biological reactors; UASB - Upward-flow anaerobic sludge blanket; MBRs - Membrane biological reactors, SBR - Sequencing Batch Reactors; MBBR - Moving Bed Biofilm Reactors.

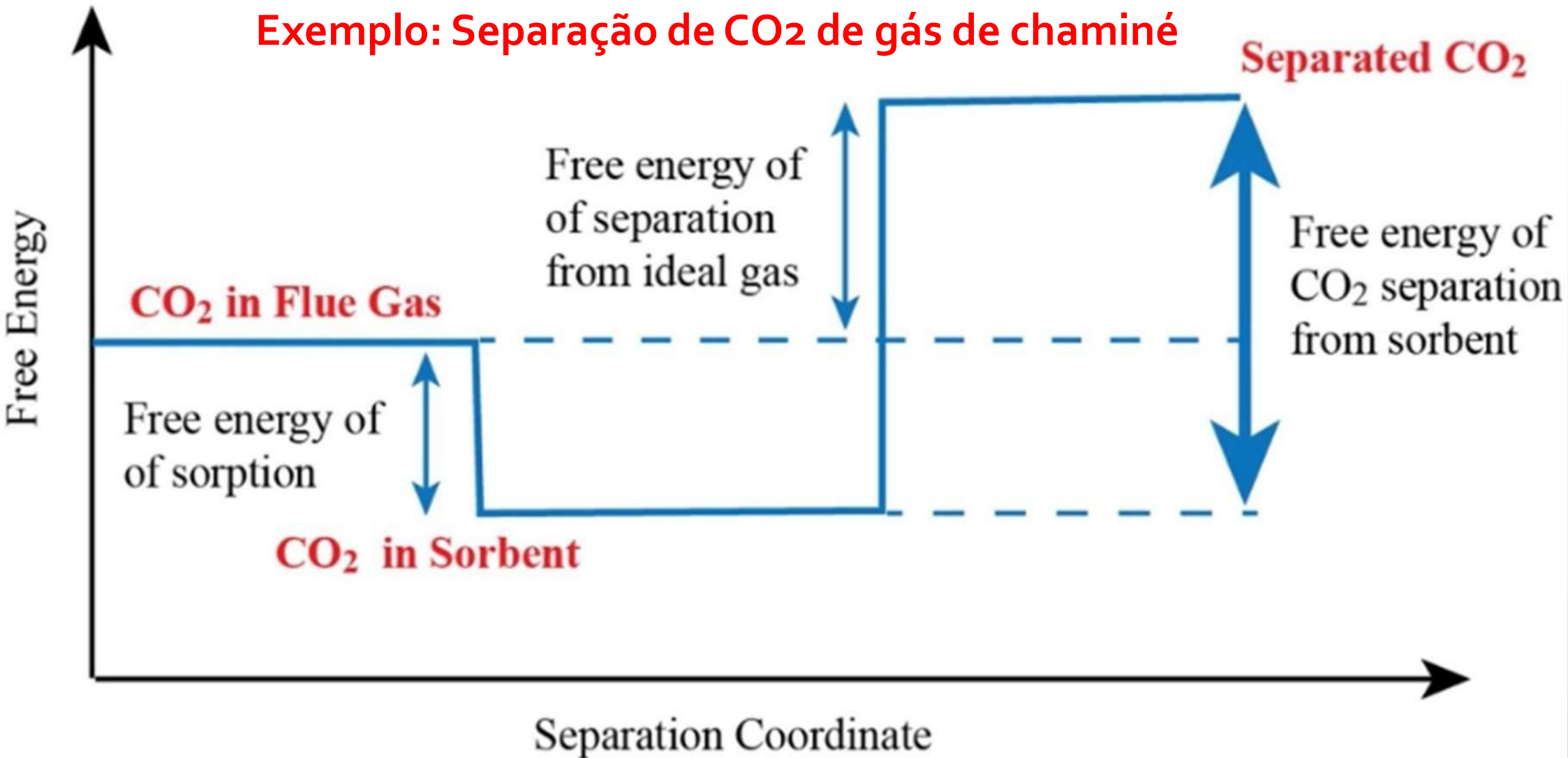
2. Ponto de vista termodinâmico



Exemplo: $\text{MO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3 + \dots$

Exemplo: Remoção de nutrientes de efluentes

Exemplo: Separação de CO₂ de gás de chaminé

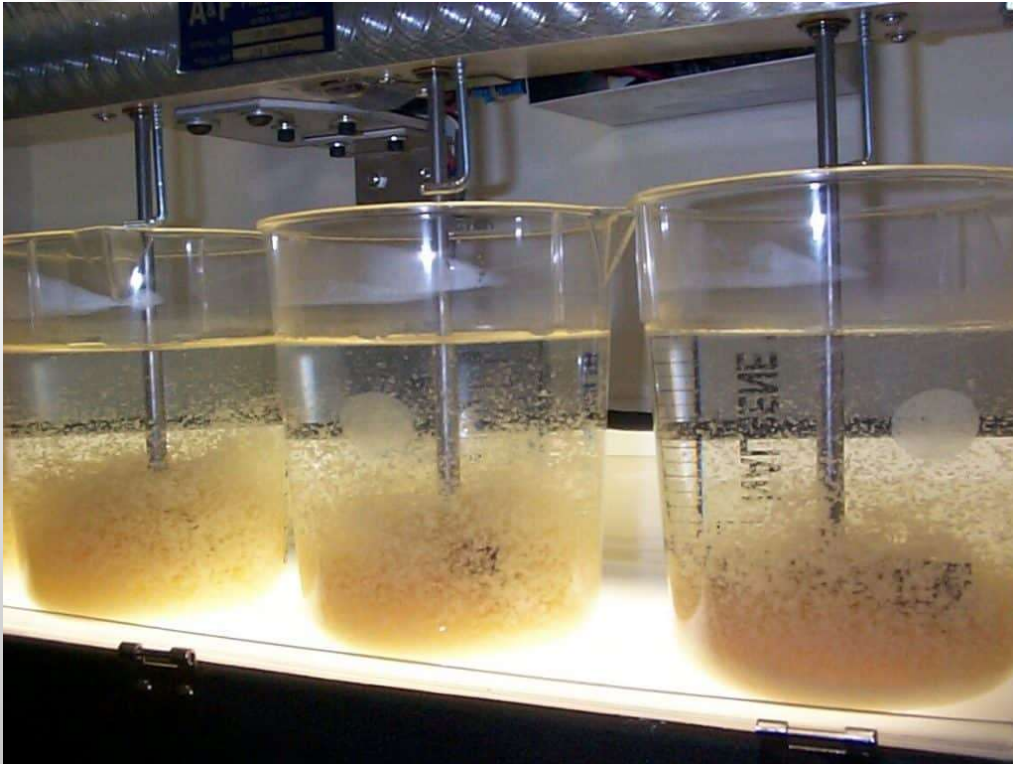


3.Objetivos do tratamento de efluentes

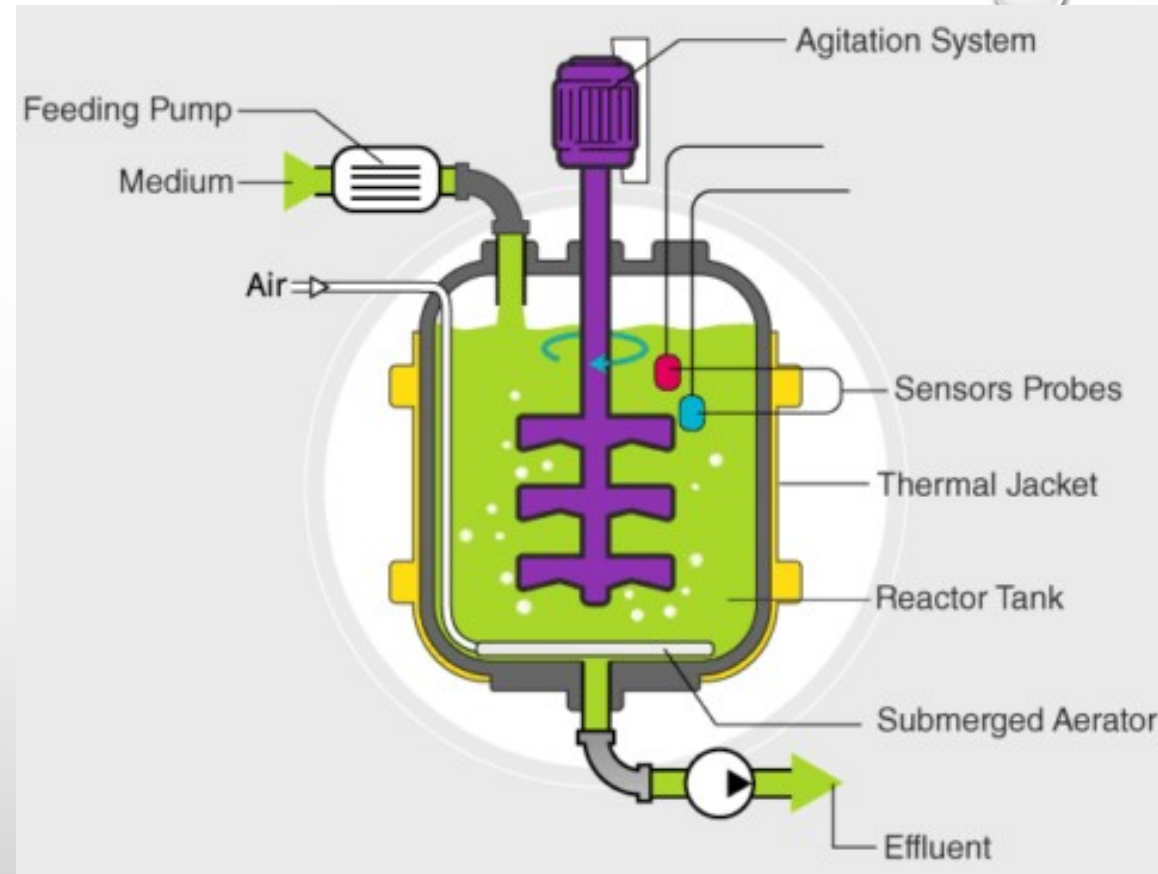


TRATABILIDADE E CARACTERIZAÇÃO

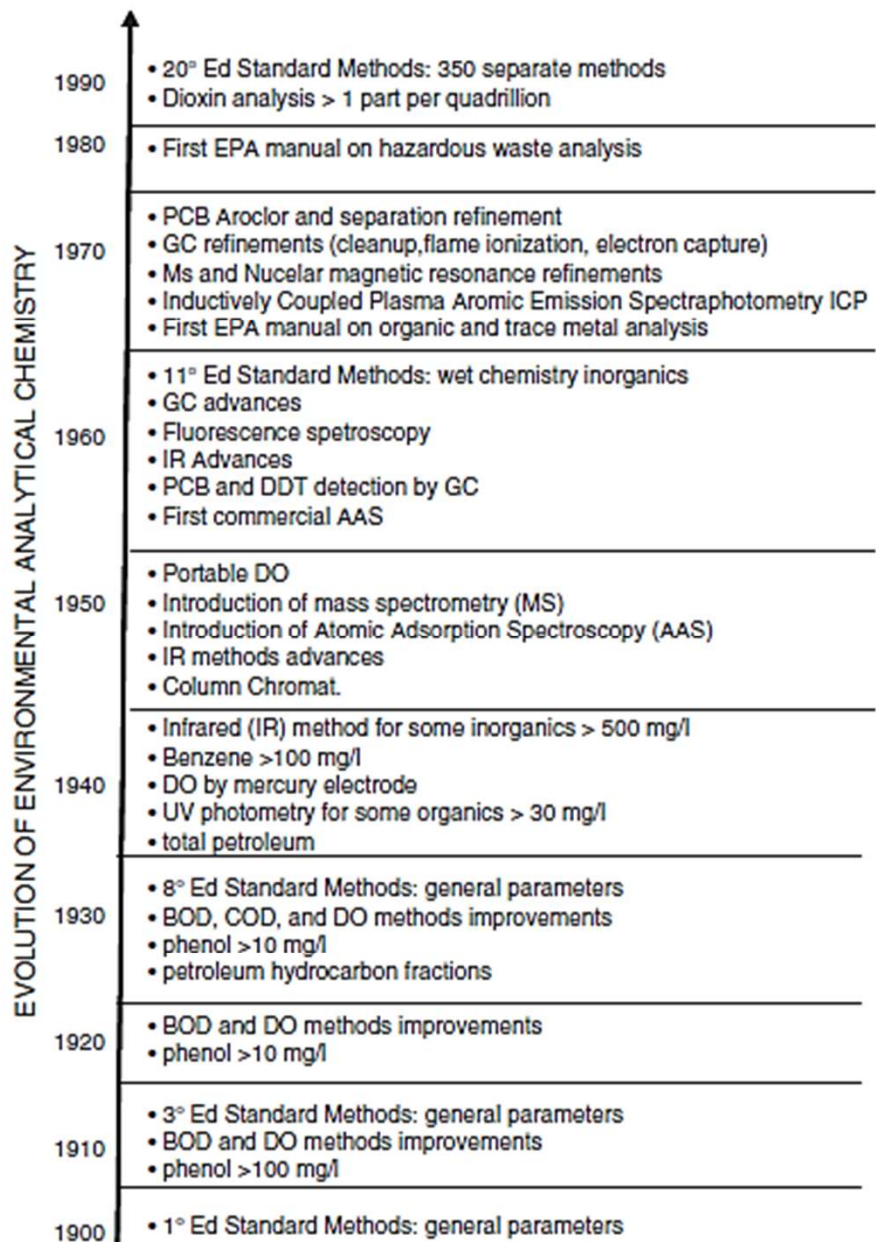
ENSAIOS DE TRATABILIDADE SÃO ESSENCIAIS



Teste de jarro



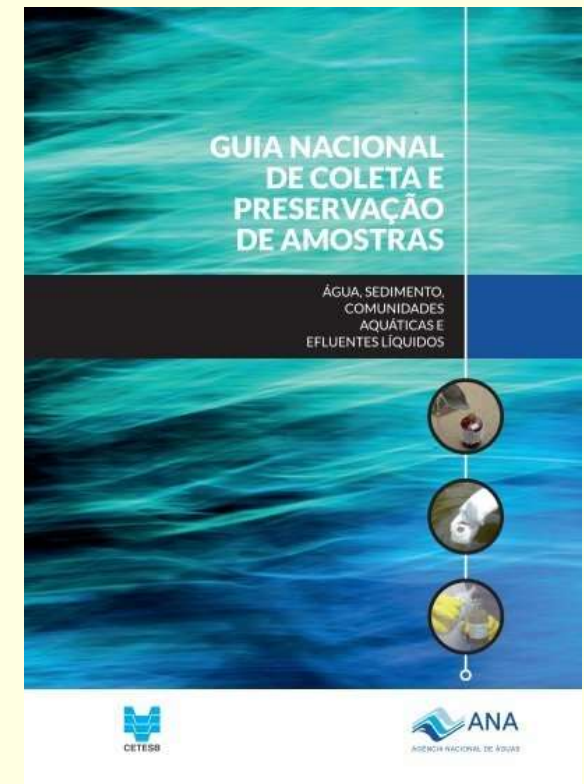
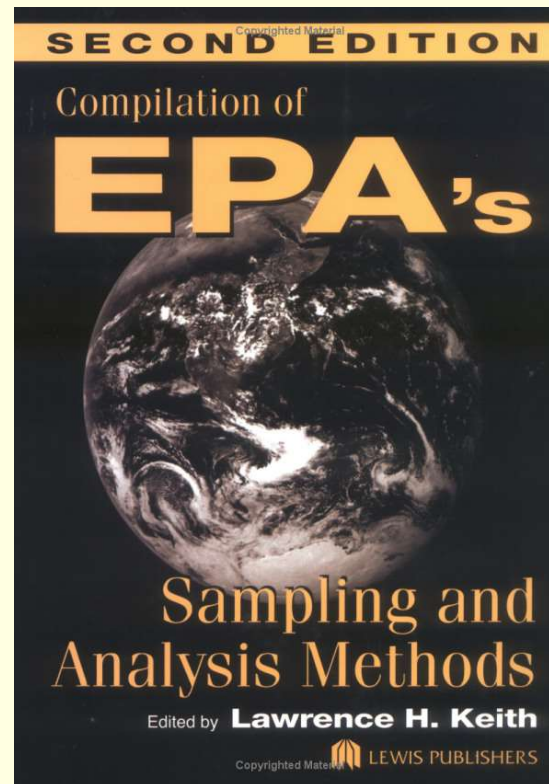
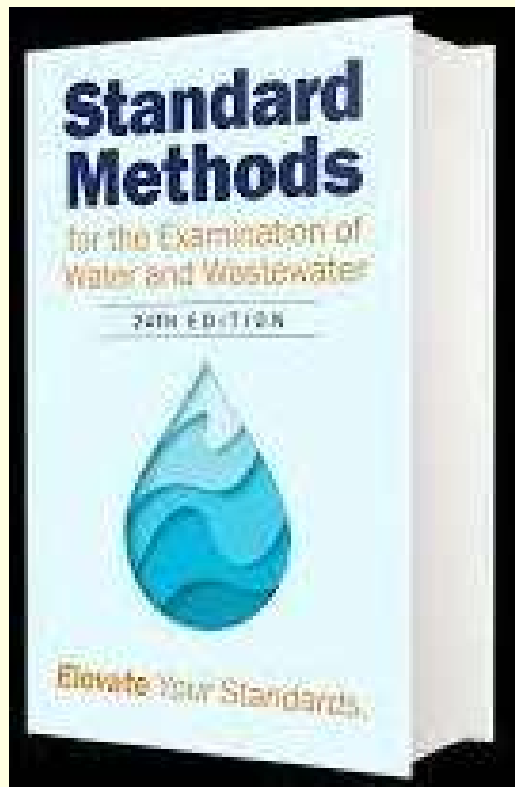
Reator Biológico



Evolução da Química Analítica Ambiental:

- Avanço dos métodos analíticos desde 1900, com as edições do *Standard Methods*;
- Introdução de técnicas como AAS, cromatografia, espectrometria de massa, ICP-AES,
- Detecção de ultra-traços de dioxinas nos anos 1990.

1. Amostragem



2. Categorias de Parâmetros

Os parâmetros para caracterização de efluentes podem ser agrupados em:

- Físicos;
- Físico-químicos;
- Químicos (inorgânicos e orgânicos agregados);
- Biológicos.

2.1. Parâmetros Físicos

■ Sólidos:

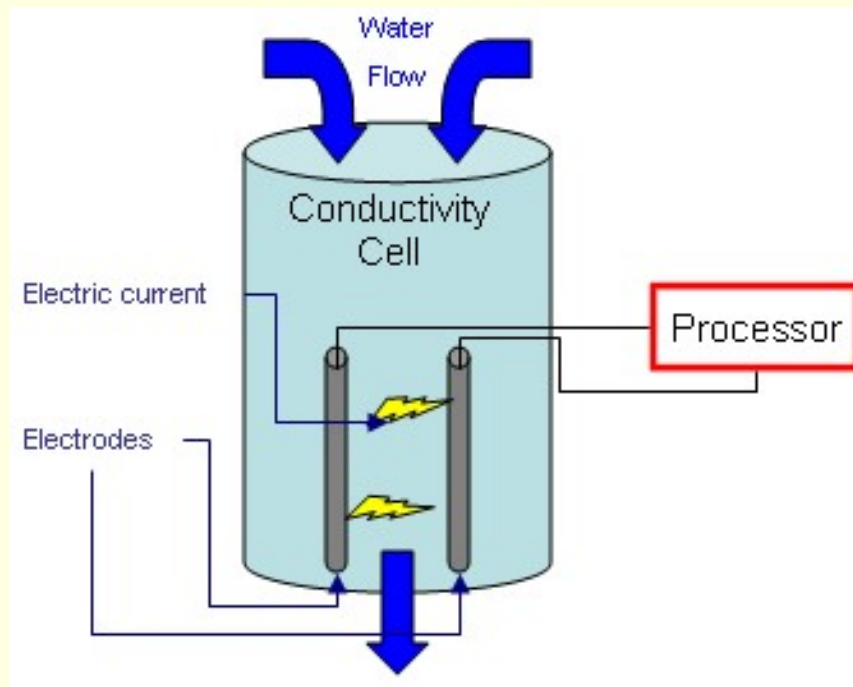
- Sólidos Totais: resíduo após evaporação da água (103 a 105°C; estufa);
(Voláteis=orgânicos; Fixos=inorgânicos; mg/L)
- Sólidos Suspensos: resíduo retido num filtro de 0,45 μm
(Voláteis=orgânicos; Fixos=inorgânicos; mg/L)
- Sólidos Dissolvidos: resíduo que passa num filtro de 0,45 μm
(Voláteis=orgânicos; Fixos=inorgânicos; mg/L)
- Sólidos sedimentáveis: sedimentos após 1 h em cone Imhoff (ml/L) (indicador de lodo primário e da sedimentabilidade).

- **Cor:** Fruto da poluição (materiais que conferem cor) ou decomposição de vegetais;
- **Turbidez:** atenuação da luz ao atravessar um meio.



2.1. Parâmetros Físicos

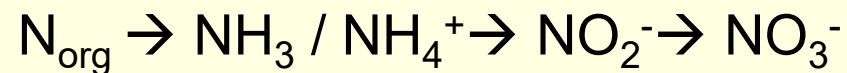
- **Condutividade:** Oriunda do conteúdo iônico do efluente.



2.2. Parâmetros Químicos Inorgânicos

■ Nitrogênio: Ocorre sob diversas formas:

- Amônia livre, NH_3 ;
- Nitrogênio orgânico, N_{org} (proteínas, lipídeos etc.);
- Nitrogênio Kjeldahl ($\text{N}_{\text{org}} + \text{NH}_4^+$);
- Nitritos, NO_2^- ;
- Nitratos, NO_3^- ;



■ **Fósforo:** Classificado em:

- Fósforo orgânico, P_{org} ;
- Fósforo inorgânico, $[P_xO_y]^{n-}$



- pH: ligado ao equilíbrio iônico em meio aquoso.

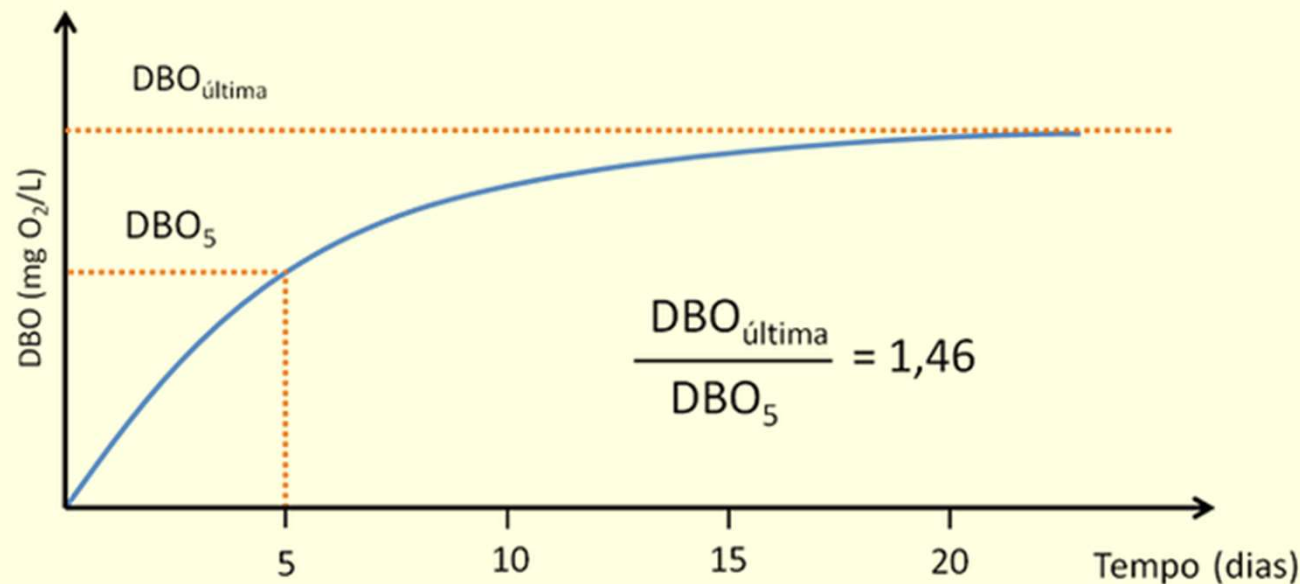


-
- Alcalinidade;
 - Sulfatos;
 - Metais: Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Zn, Mo, Se etc.;
 - Metais pesados (ver lista da EPA);
 - Gases (O_2 , CO_2 , NH_3 , H_2S , CH_4 , mercaptanas etc.).

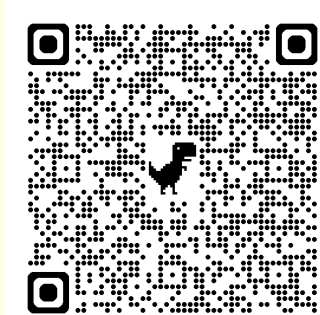
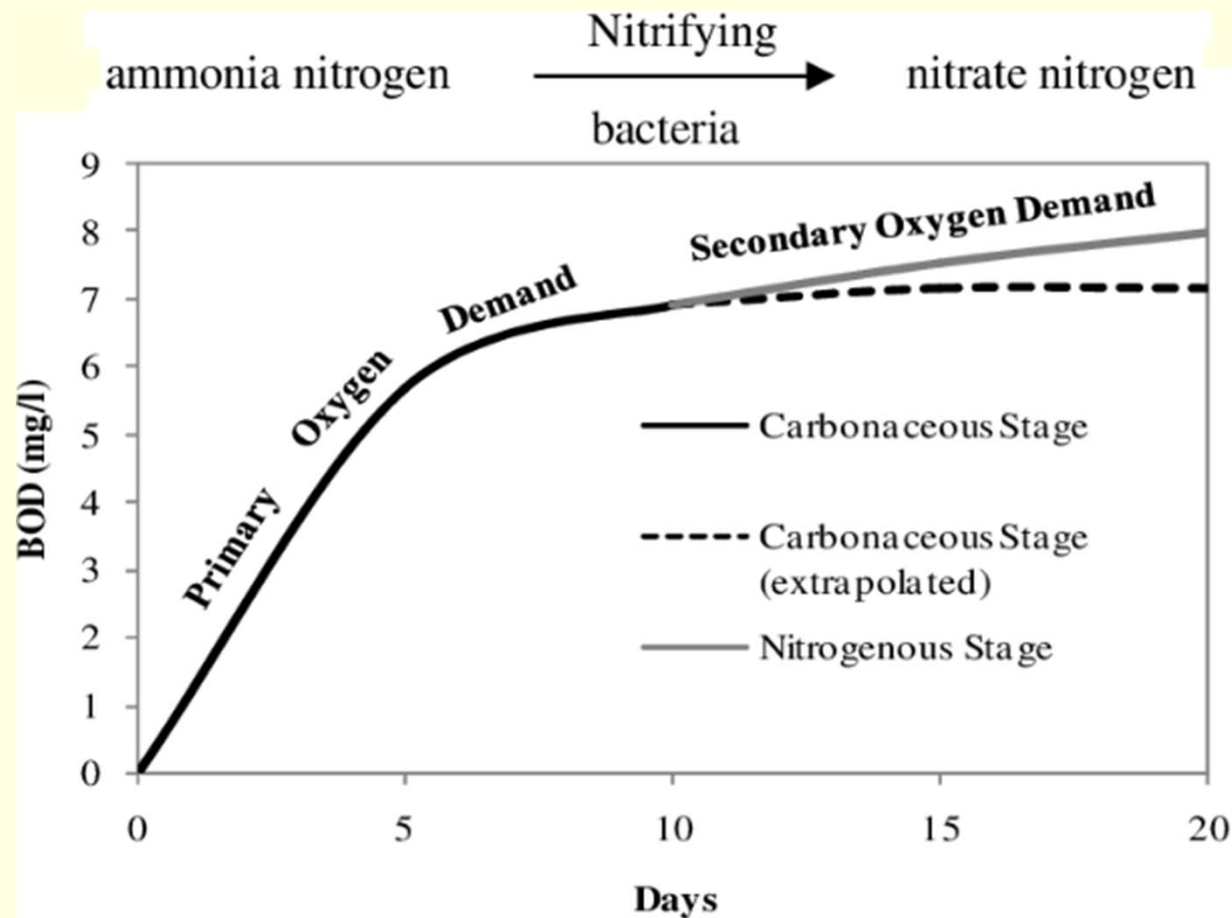
2.3. Parâmetros Químicos Orgânicos Agregados

- DBO: Demanda bioquímica de oxigênio – quantidade de oxigênio necessária ao metabolismo aeróbio do substrato biodegradável presente no efluente.

$$\text{DBO}(t) = \text{DBO}_u \{1 - \exp[-k \cdot t]\}$$



2.3. Parâmetros Químicos Orgânicos Agregados



2.3. Parâmetros Químicos Orgânicos Agregados

Sistema Respirométrico de Última Geração



By using percent mixtures		By direct pipetting into 300-mL bottles	
% mixture	Range of BOD, mg/L	mL	Range of BOD, mg/L
0.01	20,000–70,000	0.02	30,000–105,000
0.02	10,000–35,000	0.05	12,000–42,000
0.05	4,000–14,000	0.10	6,000–21,000
0.1	2,000–7,000	0.20	3,000–10,500
0.2	1,000–3,500	0.50	1,200–4,200
0.5	400–1,400	1.0	600–2,100
1.0	200–700	2.0	300–1,050
2.0	100–350	5.0	120–420
5.0	40–140	10.0	60–210
10.0	20–70	20.0	30–105
20.0	10–35	50.0	12–42
50.0	4–14	100.0	6–21
100.0	0–7	300.0	0–7

Metcalf & Eddy (2003).

When the dilution water is not seeded:

$$\text{BOD, mg/L} = \frac{D_1 - D_2}{P} \quad (2-56)$$

When the dilution water is seeded:

$$\text{BOD, mg/L} = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P} \quad (2-57)$$

where D_1 = dissolved oxygen of diluted sample immediately after preparation, mg/L
 D_2 = dissolved oxygen of diluted sample after 5-day incubation at 20°C, mg/L
 B_1 = dissolved oxygen of seed control before incubation, mg/L
 B_2 = dissolved oxygen of seed control after incubation, mg/L
 f = fraction of seeded dilution water volume in sample to volume of seeded dilution water in seed control
 P = fraction of wastewater sample volume to total combined volume

Metcalf & Eddy (2003).

Exercício – Determinação da DBO:

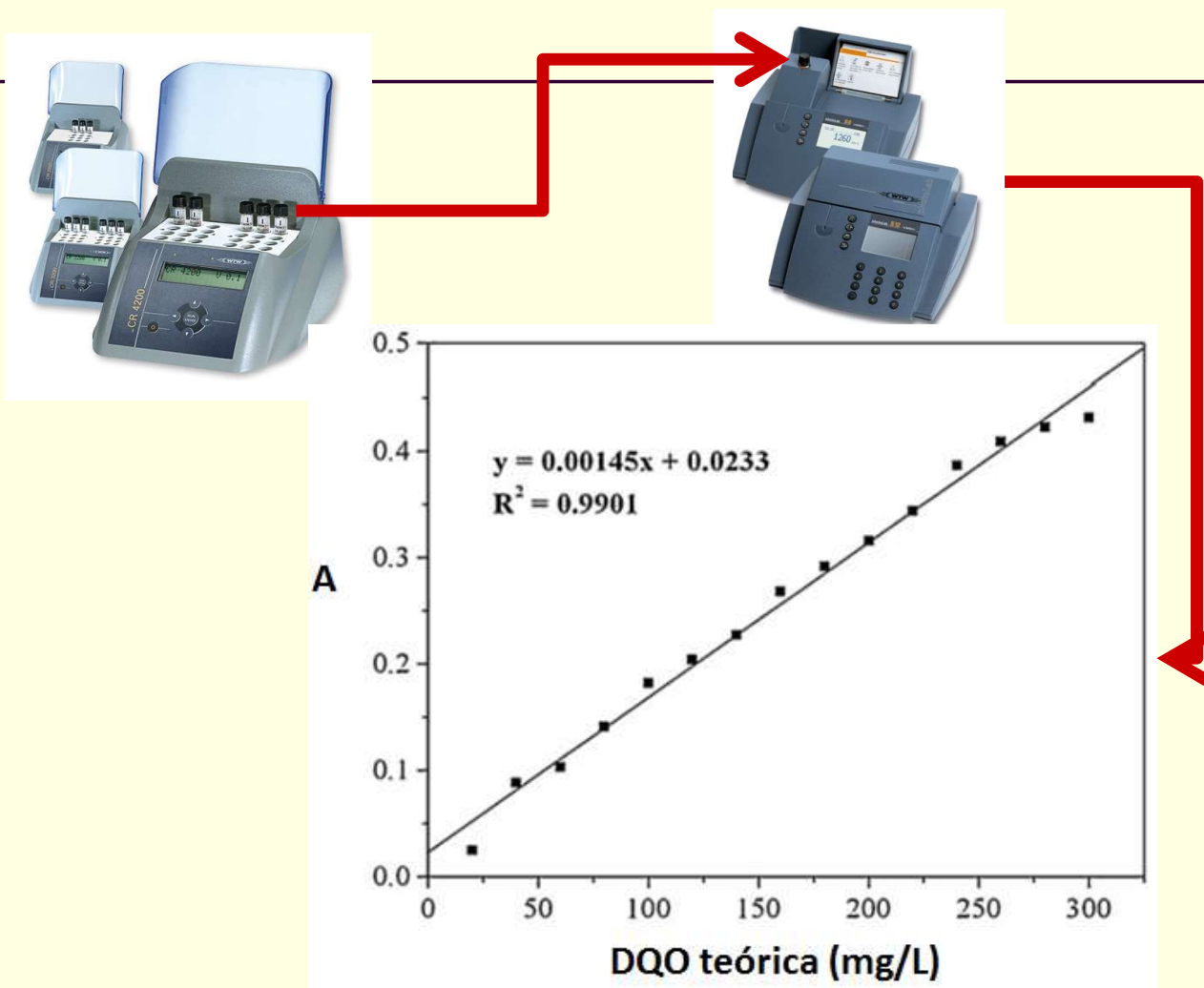
Na determinação da DBO de um efluente pela técnica respirométrica, 6 mL de um efluente foram misturados com 294 mL de água saturada com oxigênio contendo 9,1 mg/L. Após 5 dias de incubação, a 20°C, o teor de oxigênio dissolvido na mistura resultante foi de 2,8 mg/L. Calcule a DBO do efluente, considerando que o teor de oxigênio dissolvido no efluente bruto tenha sido zero.

2.3. Parâmetros Químicos Orgânicos Agregados

- DQO – Demanda química de oxigênio.



Aparelhagem para Análise da DQO



2.3. Parâmetros Químicos Orgânicos Agregados

- COT – Carbono orgânico total.

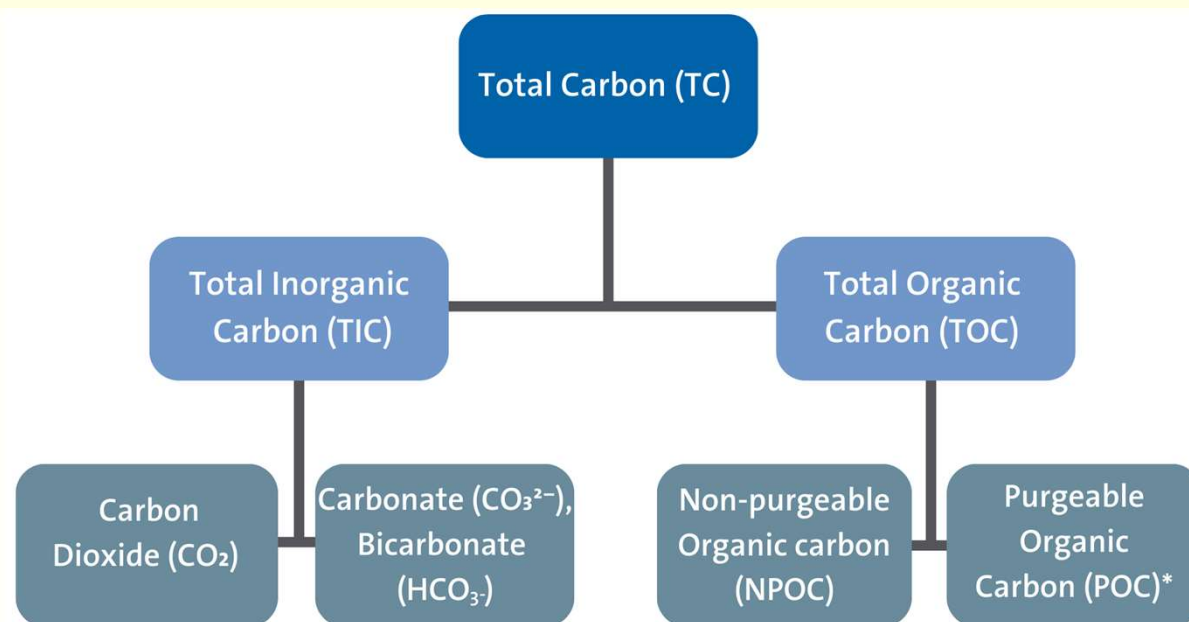
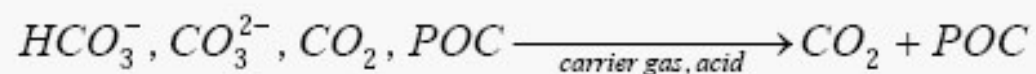
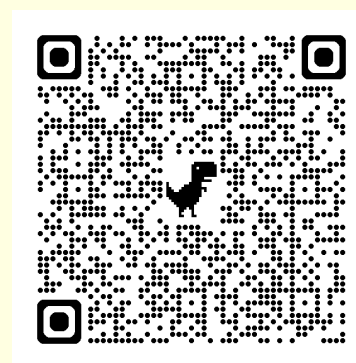


Figure 1. Types of Carbon

*POC is also referred to as volatile organic carbon (VOC)



2.3. Parâmetros Químicos Orgânicos Agregados

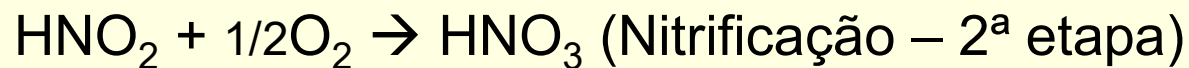
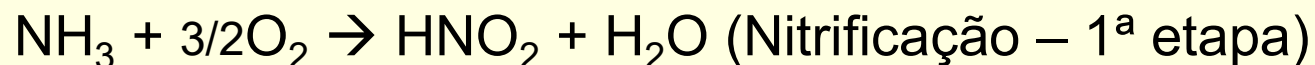
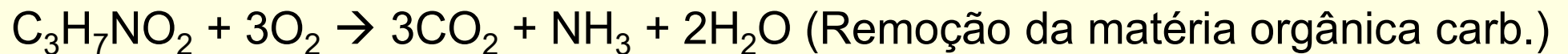
- TOG – Teor de óleos e graxas



Exercício (DQO, DNO e DTeO):

Estime as demandas de oxigênio (DQO, DNO e DTeO) para uma solução de $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$ (alanina) a 450 mg/L. Qual o consumo total de oxigênio num processo que tratará 1000 m³/d desse suposto efluente?

Reações:



2.3. Parâmetros Químicos Orgânicos Agregados

- Razões entre os parâmetros orgânicos agregados (efluente sanitário)

Type of wastewater	BOD/COD	BOD/TOC
Untreated	0.3–0.8	1.2–2.0
After primary settling	0.4–0.6	0.8–1.2
Final effluent	0.1–0.3 ^a	0.2–0.5 ^b

^aCBOD/COD.
^bCBOD/TOC.

Metcalf & Eddy (2003).

2.4. Parâmetros Biológicos

Maior parte dos microrganismos conhecidos pelo microbiologistas estão presentes nos efluentes orgânicos em degradação.

- Bactérias (coliformes, inclusive);
- Protozoários;
- Helmintos;
- Vírus;
- Algas (em menor magnitude).

2.5. Compostos orgânicos por categorias

- COVs;
- THMs;
- PCBs;
- BTEXN;
- HPAs;
- Organoclorados
- Pesticidas (várias classes).

2.6. Poluentes Emergentes

Poluentes contemporâneos, destacando-se:

- Antibióticos de uso humano e veterinário;
- Fármacos humanos (com prescrição e sem prescrição);
- Produtos presentes em efluentes doméstico e industrial;
- Hormônios sexuais e esteroidais.

BECOME
A MEMBER

TOXIC CHEMICALS THREATEN HUMANITY'S ABILITY TO REPRODUCE

In a new book, epidemiologist Shanna Swan looks at the impact of environmental chemicals on human sexuality and reproductive systems.



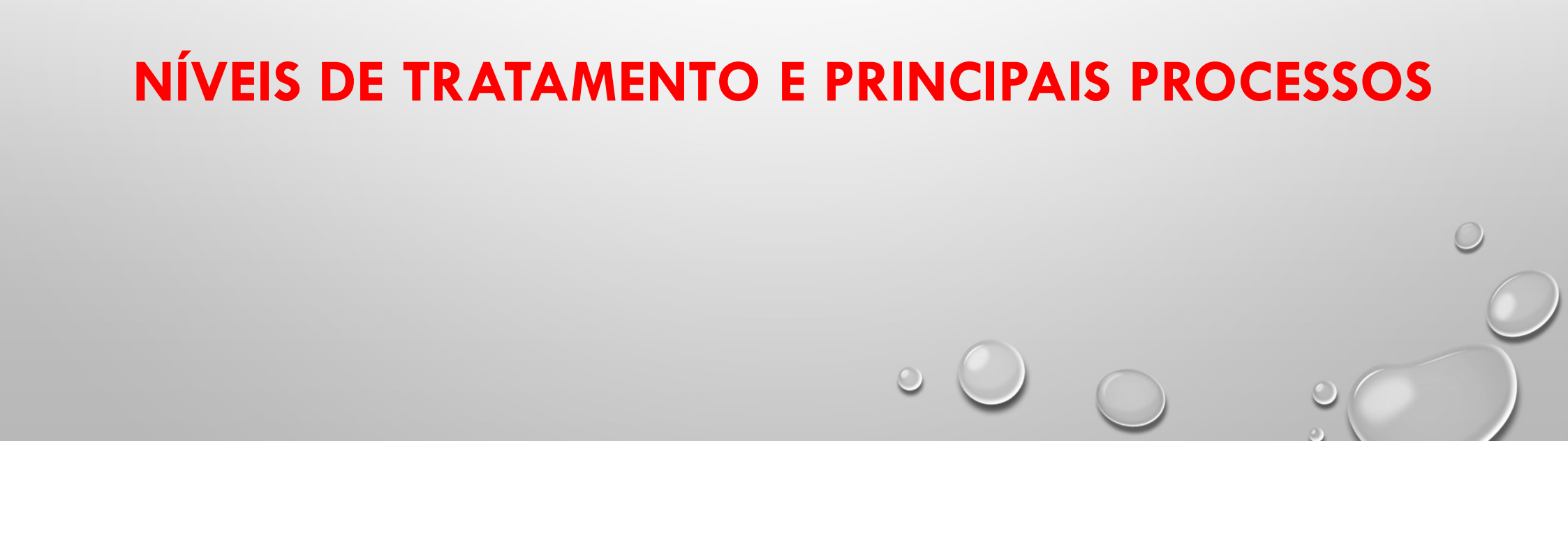
Sharon Lerner

January 24 2021, 7:00 a.m.

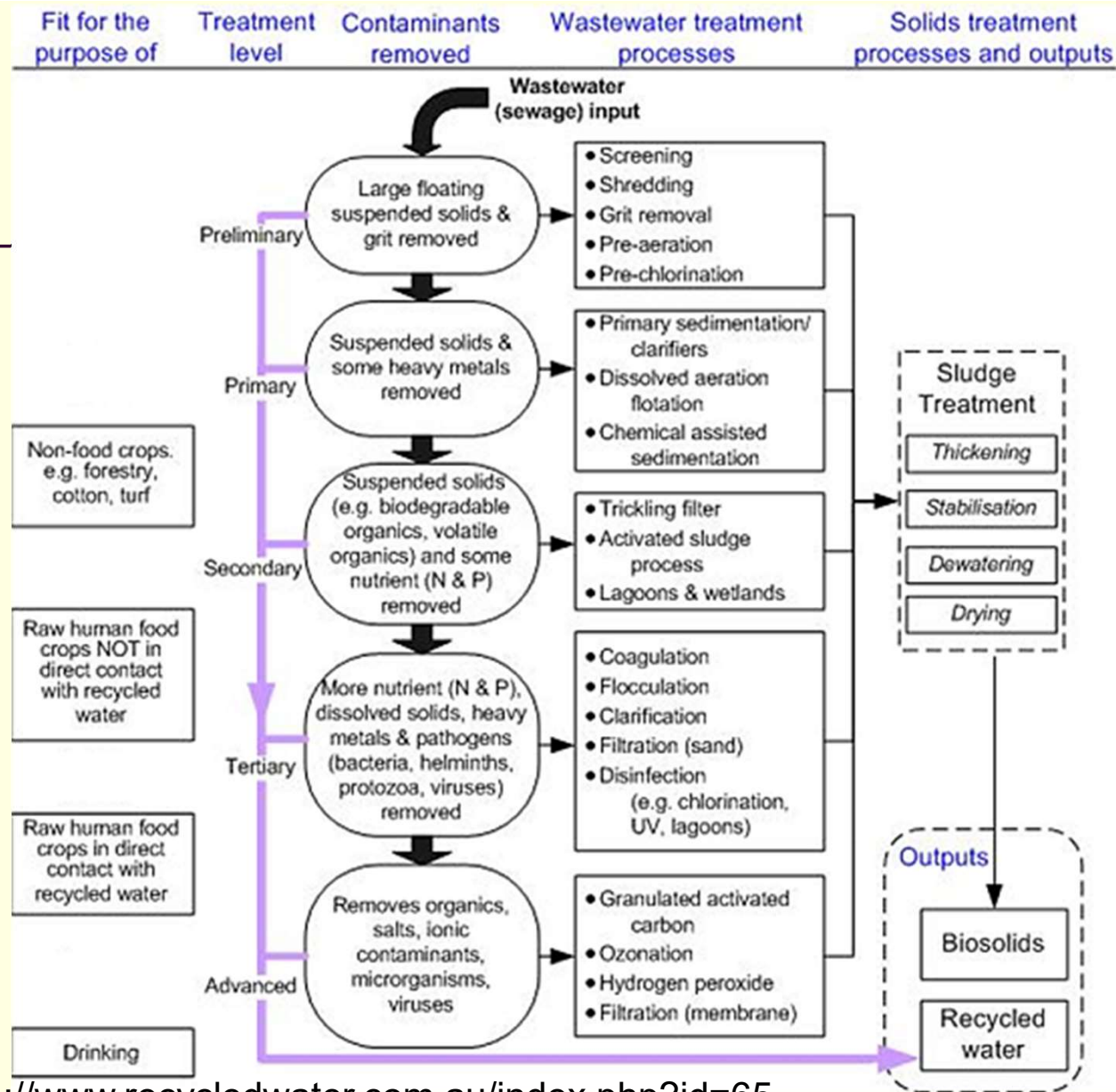
SHANNA SWAN IS the senior author of a [2017 study](#) that documented a dramatic drop in sperm counts in Western countries over the past half-century. That meta-analysis of 185 studies involving 42,935 men found that total sperm count fell 59 percent between 1973 and 2011. Swan, a reproductive epidemiologist, pointed to the role of environmental chemicals in that trend. Now she has written "[Count Down: How Our Modern World Is Threatening Sperm Counts, Altering Male and Female Reproductive Development, and Imperiling the](#)



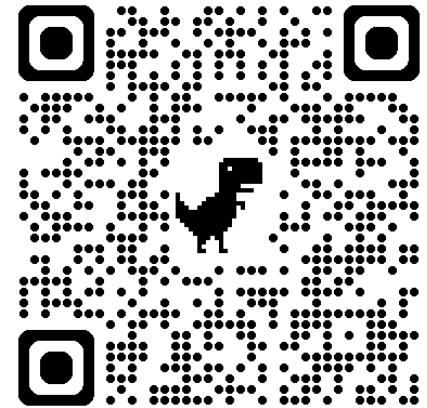
NÍVEIS DE TRATAMENTO E PRINCIPAIS PROCESSOS



1. Níveis de Tratamento



<http://www.recycledwater.com.au/index.php?id=65>



2.Principais processos de tratamento



Visão Geral de uma ETE Aeróbia

