SANEAMENTO AMBIENTAL | QUALIDADE DA ÁGUA

CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS E QUANTITATIVAS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Apostila de Estudos para Concurso Público | Engenharia Civil

Provas de Engenharia — Pedro Murga

@ppedromurga

Material exclusivo para estudo em concurso público

SUMÁRIO

ROTEIRO DA AULA 4
CAPÍTULO 1 — QUALIDADE DA ÁGUA: CONCEITOS E USOS 5
Disponibilidade de Água no Planeta 5
Usos Múltiplos da Água 5
Resolução CONAMA n.º 357/2005 — Classificação das Águas Doces 6
CAPÍTULO 2 — PADRÕES DE QUALIDADE E PARÂMETROS FÍSICOS 8
Embasamento Legal 8
Classificação das Impurezas na Água 8
Parâmetro Físico: Cor 8
Parâmetro Físico: Turbidez 8
Parâmetro Físico: Sabor e Odor 10
Parâmetro Físico: Temperatura 10
CAPÍTULO 3 — PARÂMETROS QUÍMICOS DA QUALIDADE DA ÁGUA 11
pH 11
Alcalinidade 11
Dureza 11
Cloretos 11
Nitrogênio nas Águas 11
Fósforo nas Águas 12
Fluxo do Fósforo na Bacia Hidrográfica 13
CAPÍTULO 4 — SÓLIDOS E CLASSIFICAÇÃO 14
Sólidos Totais (ST) 14
Sólidos em Suspensão (SS) 14
Sólidos Dissolvidos (SD) 14
Sólidos Fixos (SF) 14
Sólidos Voláteis (SV) 14
Sólidos Sedimentáveis (SSed) 14
CAPÍTULO 5 — LIMNOLOGIA E EUTROFIZAÇÃO 17
Classificação dos Ecossistemas Aquáticos 17
Gênese de Lagos 17
Tempo de Detenção Hidráulica 18
Estado Trófico de Lagos 18
Eutrofização 18
Principais Causas 18

Principais Efeitos ... 18
Formas de Controle ... 18
CAPÍTULO 6 — OXIGÊNIO DISSOLVIDO E AUTODEPURAÇÃO ... 19
Matéria Orgânica nas Águas Residuárias ... 19
Autodepuração dos Corpos d'Água ... 19
CAPÍTULO 7 — DBO, DQO E CARBONO ORGÂNICO TOTAL ... 21
Demanda Bioquímica de Oxigênio — DBO ... 21
Demanda Química de Oxigênio — DQO ... 21
Carbono Orgânico Total — COT ... 22
CAPÍTULO 8 — METAIS PESADOS E MICROPOLUENTES ... 23
Metais Pesados ... 23
Micropoluentes Orgânicos ... 24
Micropoluentes Biológicos — Indicadores de Contaminação Fecal ... 24
Coliformes Totais (CT) ... 24
Coliformes Fecais (CF) / E. coli ... 24
Estreptococos Fecais (EF) ... 24
Principais Doenças de Veiculação Hídrica ... 25
CAPÍTULO 9 — POLUIÇÃO DAS ÁGUAS E QUANTIFICAÇÃO DE CARGAS ... 26
Principais Parâmetros a Serem Investigados ... 26
Poluição das Águas ... 26
Formas de Contaminação ... 26
Quantificação das Cargas Poluidoras ... 26
Mistura de Esgotos com Corpo Receptor ... 27
CAPÍTULO 10 — QUESTÕES DE CONCURSO RESOLVIDAS ... 28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ... 30

ROTEIRO DA AULA

01. Água × Recurso Hídrico
02. Usos múltiplos da água e padrões de qualidade (CONAMA 357/2005)
03. Parâmetros físicos: cor, turbidez, sabor, odor e temperatura
04. Parâmetros químicos: pH, alcalinidade, dureza, cloretos, nitrogênio e fósforo
05. Classificação de sólidos em águas residuárias
06. Limnologia: ambientes lóticos e lênticos — eutrofização
07. Oxigênio Dissolvido (OD) e autodepuração dos corpos d'água
08. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)
09. Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Carbono Orgânico Total (COT)
10. Metais pesados e micropoluentes orgânicos e biológicos
11. Poluição e quantificação de cargas poluidoras
12. Questões de concurso resolvidas

CAPÍTULO 1 — QUALIDADE DA ÁGUA: CONCEITOS E USOS

Água
Água — Elemento natural, descomprometido com qualquer uso ou utilização (H_2O). Substância composta por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, essencial para a vida.

Recurso Hídrico
Recurso Hídrico — Água como bem econômico, passível de utilização com fins específicos. Conceito que pressupõe disponibilidade e valor para determinado uso.

Disponibilidade de Água no Planeta

Do volume total de água doce existente no planeta, a distribuição é extremamente desigual: 76,7% encontra-se retida em geleiras e lençóis glaciais; 22,3% compõe os lençóis subterrâneos; e apenas 1,0% constitui águas de superfície (rios, charcos e pântanos). Portanto, os recursos hídricos efetivamente disponíveis ao uso humano representam apenas 0,001% do volume total de água existente no planeta.



Figura 1 — Distribuição dos recursos hídricos no planeta

Usos Múltiplos da Água

A água é utilizada para diferentes finalidades, cada uma com exigências específicas de qualidade. Os principais usos são:

- **Navegação:** Baixa presença de material grosseiro que possa colocar em risco as embarcações.
- **Hidroeletricidade:** Baixa agressividade (corrosão de turbinas) e baixa dureza (torres de resfriamento).
- **Abastecimento humano:** Isenta de substâncias químicas e organismos prejudiciais à saúde; esteticamente agradável.
- **Abastecimento industrial:** Variável conforme o contato com o produto; isenta de compostos nocivos quando incorporada ao produto.
- **Recreação e turismo:** Contato primário: isenta de patógenos; contato secundário: aparência agradável.

- **Pesca e aquicultura:** Concentrações adequadas de OD e ausência de substâncias tóxicas para organismos aquáticos.
- **Controle de cheias:** Gestão de volumes e picos de cheia em reservatórios.
- **Irrigação:** Isenta de patógenos (para hortaliças consumidas cruas) e salinidade não excessiva.
- **Dessedentação de animais:** Isenta de substâncias e organismos prejudiciais à saúde animal.



Figura 2 — Usos múltiplos da água

Resolução CONAMA n.º 357/2005 — Classificação das Águas Doces

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 classifica as águas doces em classes de qualidade de acordo com os usos preponderantes previstos:

Classe	Usos Preponderantes
Especial	Abastecimento humano sem tratamento; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Classe 1	Abastecimento humano com tratamento simplificado; recreação de contato primário; irrigação de hortaliças consumidas cruas.
Classe 2	Abastecimento humano com tratamento convencional; recreação de contato primário; aquicultura e pesca.
Classe 3	Abastecimento humano com tratamento convencional ou avançado; irrigação de culturas arbóreas; dessedentação de animais.
Classe 4	Navegação; harmonia paisagística.

⚠ Atenção — Concursos
A Resolução CONAMA 357/2005 é amplamente cobrada em provas de Engenharia Civil e Ambiental. Memorize as classes e seus usos preponderantes, especialmente a Classe 1 (recreação de contato primário) e a Classe 2 (abastecimento com tratamento convencional).



Figura 3 — Classificação dos Corpos Hídricos — CONAMA 357/2005

CAPÍTULO 2 — PADRÕES DE QUALIDADE E PARÂMETROS FÍSICOS

> 📌 **Padrão de Qualidade**
> Padrões de Qualidade de Água — Valores máximos toleráveis que garantem os usos pretendidos da água, embasados por suporte legal (lei, decreto, resolução etc.). Seu estabelecimento requer estudos toxicológicos adequados e depende dos usos previstos para o corpo hídrico.

Embasamento Legal

- Resolução CONAMA 357/2005 — padrões de qualidade dos corpos receptores, padrões de lançamento de efluentes e definição de classes.
- Portaria MS 518/2004 — padrões de potabilidade para água de abastecimento humano.

Classificação das Impurezas na Água

- Físicas: sólidos presentes na água (em suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do tamanho).
- Químicas: matéria orgânica ou inorgânica dissolvida ou em suspensão.
- Biológicas: seres vivos presentes na água (bactérias, algas, fungos, vírus, helmintos etc.).

Parâmetro Físico: Cor

A cor da água é causada por sólidos dissolvidos. Pode ter origem natural (ácidos húmicos e ferro dissolvido) ou antropogênica (tinturas industriais). A unidade de medida é uH (Unidade de Hazen). Distingue-se a cor aparente da cor verdadeira: a cor verdadeira é obtida após remoção da turbidez por centrifugação. Águas com cor elevada (> 25 uH) geralmente requerem coagulação química seguida de filtração na Estação de Tratamento de Água (ETA).

Parâmetro Físico: Turbidez

A turbidez é causada por sólidos em suspensão. Pode ter origem natural (partículas de rocha, argila, silte e algas) ou antropogênica (despejos domésticos, industriais e erosão). A unidade de medida é uT (Unidade de Turbidez ou Nefelométrica).

- 10 uT: ligeira nebulosidade já pode ser notada.
- 500 uT: água praticamente opaca.
- Acima de 50 uT: requer etapa de filtração na ETA.

Os principais equipamentos de medição são o Disco de Secchi (método de campo) e o Turbidímetro (método laboratorial, mais preciso e utilizado atualmente).



Figura 4 — Turbidímetro de laboratório para medição de turbidez

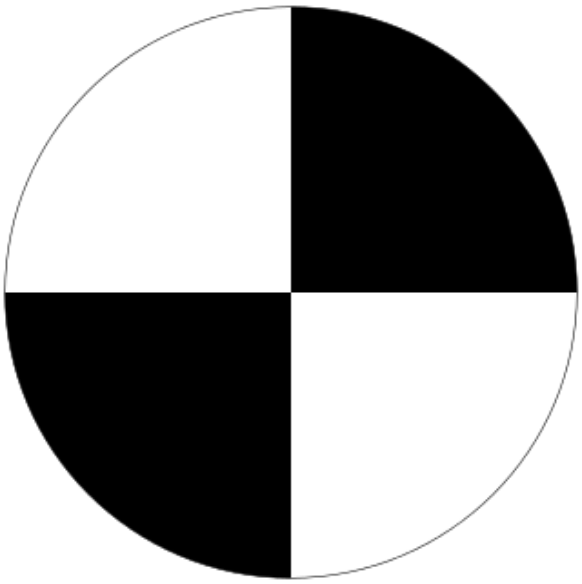


Figura 5 — Disco de Secchi — instrumento de campo para estimativa de turbidez

📌 Disco de Secchi
Disco de Secchi — Disco circular de cor branca (ou preto e branco) utilizado para estimar a transparência e o nível de turbidez de corpos de água. É baixado verticalmente até desaparecer da vista. A profundidade de desaparecimento, chamada profundidade de Secchi, estima a atenuação média da luz na coluna de água. Em águas com alto teor de sólidos, desaparece entre 1 e 3 m; no oceano aberto, pode ser visível até 20–30 m.

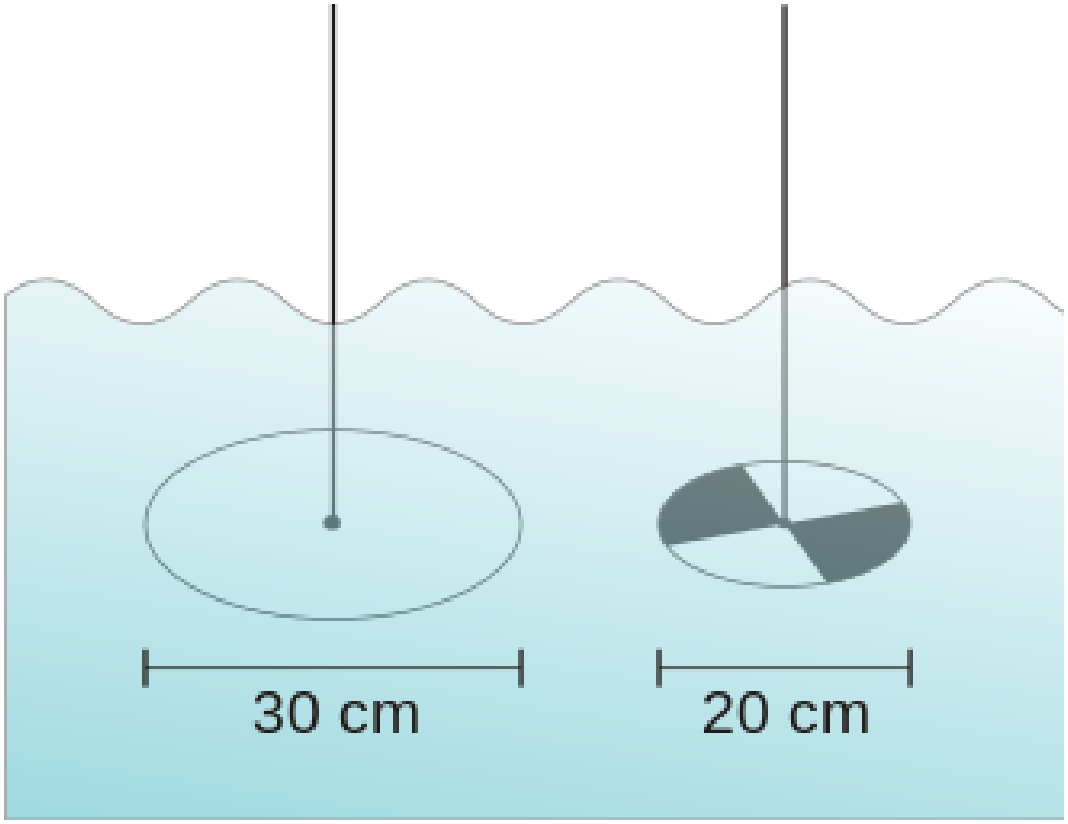


Figura 6 — Disco de Secchi em uso no campo

Parâmetro Físico: Sabor e Odor

O sabor e o odor resultam da interação entre o gosto (salgado, doce, azedo e amargo) e a sensação olfativa. São causados por sólidos em suspensão ou dissolvidos e por gases dissolvidos. Podem ter origem natural (matéria orgânica em decomposição, algas, gás sulfídrico) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais). Na interpretação dos resultados, é fundamental identificar a origem do sabor e do odor para direcionar o tratamento adequado.

Parâmetro Físico: Temperatura

A temperatura é a medição da intensidade de calor da água. Pode ter origem natural (radiação, condução ou convecção) ou antropogênica (águas de torres de resfriamento ou despejos industriais). A elevação da temperatura aumenta a taxa das reações químicas e diminui a solubilidade dos gases, favorecendo a transferência de oxigênio para a atmosfera — o que pode comprometer a vida aquática aeróbia.

> **Relação temperatura × OD**
> Quanto maior a temperatura da água, menor a concentração de saturação de Oxigênio Dissolvido (OD). Essa relação é fundamental para entender autodepuração e análise de corpos receptores.

CAPÍTULO 3 — PARÂMETROS QUÍMICOS DA QUALIDADE DA ÁGUA

pH

Concentração de íons H^+ em escala anti-logarítmica (0 a 14), indicando acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Pode ter origem natural (dissolução de rochas, absorção de gases) ou antropogênica (despejos domésticos ou industriais). Importante nas ETAs (eficiência dos coagulantes) e ETEs (taxa de crescimento de microrganismos).

Alcalinidade

Capacidade da água de neutralizar ácidos (capacidade tampão), expressa em mg/L de $CaCO_3$. Os principais constituintes são bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). Importante nas ETAs (coagulação) e ETEs (crescimento de microrganismos).

Dureza

Concentração de cátions multimetálicos em solução, principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+}. Reduz a formação de espuma, causa sabor desagradável e incrustações nas tubulações de água quente.

Cloretos

Advindos da dissolução de sais (ex.: NaCl). Podem ter origem natural (dissolução de minerais, intrusão de águas salinas) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais). Causam problemas de salinização do solo quando a água é usada para irrigação.

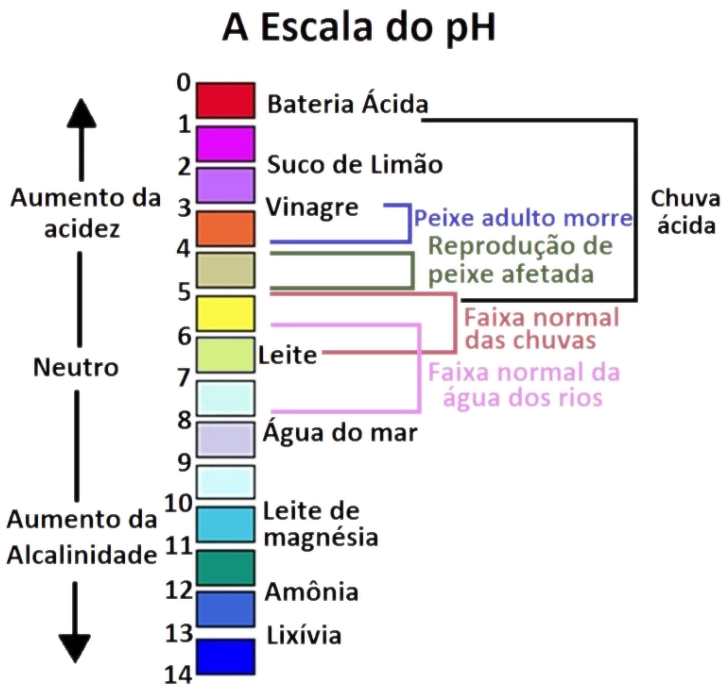


Figura 7 — Escala de pH e suas implicações na qualidade da água

Nitrogênio nas Águas

O nitrogênio alterna entre diversas formas e estados de oxidação no meio aquático, sendo indicador importante do grau e da antiguidade da contaminação:

Forma de Nitrogênio	Significado / Indicação
N_2 (Molecular)	Gasoso; escapa para a atmosfera.
Nitrogênio Orgânico	⚠ Indicativo de contaminação RECENTE por águas residuárias.
Amônia (NH_3 / NH_4^+)	⚠ Indicativo de contaminação RECENTE por águas residuárias.
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl = Nitrogênio Orgânico + Nitrogênio Amoniacal.
Nitrito (NO_2^-)	Forma intermediária de oxidação biológica.
Nitrato (NO_3^-)	⚠ Indicativo de contaminação ANTIGA — processo de nitrificação já avançado.

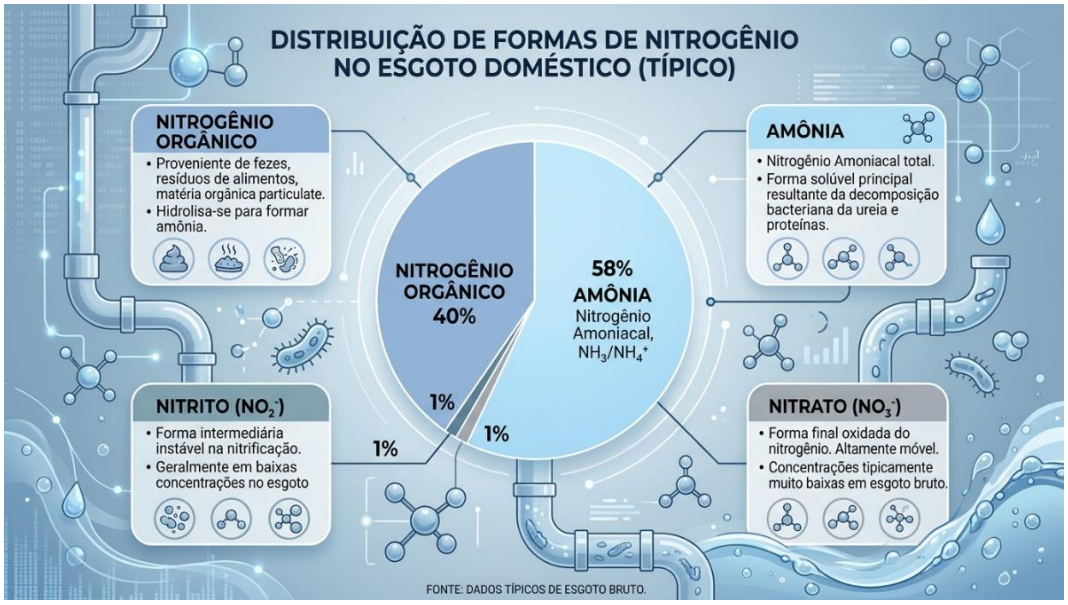


Figura 8 — Distribuição das formas de nitrogênio no esgoto doméstico

Fósforo nas Águas

O fósforo é encontrado na água nas formas de ortofosfatos (PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}), polifosfatos e fósforo orgânico. Pode ter origem natural (dissolução de compostos do solo, decomposição de matéria orgânica) ou antropogênica (esgotos domésticos, efluentes industriais, detergentes e fertilizantes). É o principal nutriente limitante para o crescimento de algas em lagos e represas.

> 📌 **Índice de Eutrofização pelo Fósforo**
> P < 0,01–0,02 mg/L → Não eutrófico
> P entre 0,02 e 0,05 mg/L → Estágio intermediário (mesotrófico)
> P > 0,05 mg/L → Eutrófico

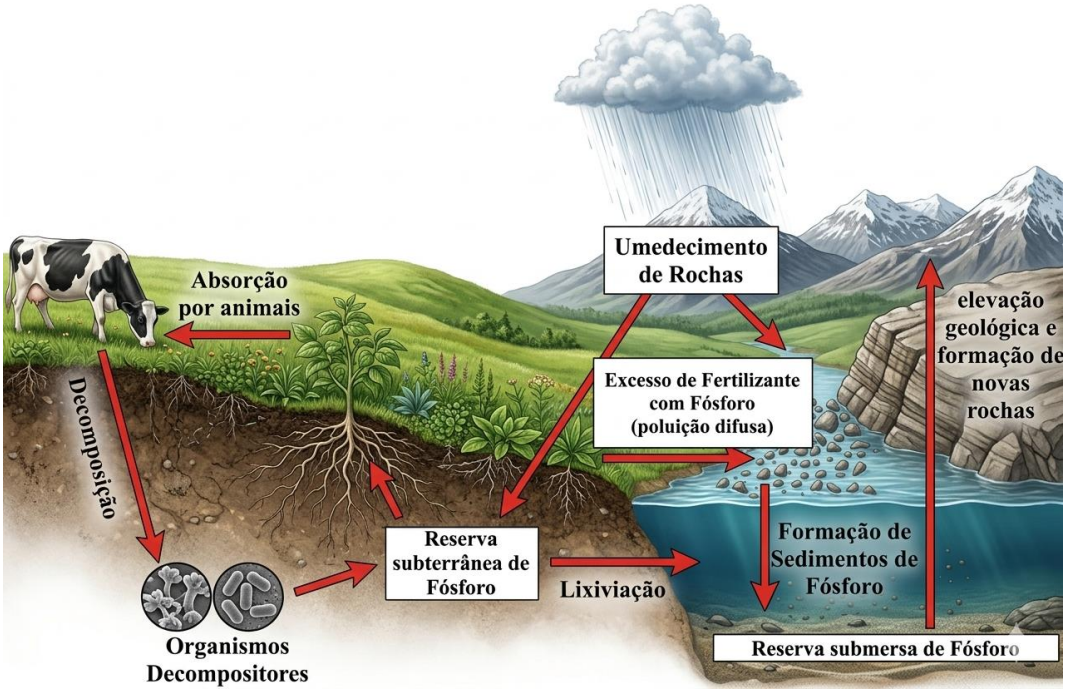


Figura 9 — Ciclo do fósforo no ecossistema aquático

Fluxo do Fósforo na Bacia Hidrográfica

A lixiviação é o processo de movimento de materiais solúveis na matriz do solo pelo efeito da água que escorre (erosão) ou que infiltra em direção ao lençol freático. Esse processo é o principal mecanismo de transporte difuso de fósforo das áreas agrícolas para os corpos hídricos.

Fonte	Tipo de áreas	Valores Típicos	Unidades
Drenagem	Matas/Florestas	10	$kgP/km^2 \cdot ano$
	Agrícolas	50	$kgP/km^2 \cdot ano$
	Urbanas	100	$kgP/km^2 \cdot ano$
Esgotos	Domésticos	0,4	$kgP/hab \cdot ano$

Figura 10 — Concentrações unitárias de fósforo em efluentes

CAPÍTULO 4 — SÓLIDOS E CLASSIFICAÇÃO

A classificação dos sólidos presentes na água é fundamental para o projeto e controle operacional de estações de tratamento. Os sólidos podem ser classificados por suas características físicas, químicas e de decantabilidade.

Sólidos Totais (ST)

Resíduo remanescente após evaporação em banho-maria e secagem em estufa a 103–105 °C até peso constante. Também denominado resíduo total.

Sólidos em Suspensão (SS)

Porção dos sólidos totais retida em filtro com retenção de partículas de diâmetro ≥ 1,2 µm. Também denominado resíduo não filtrável (RNF).

Sólidos Dissolvidos (SD)

Porção dos sólidos totais que atravessa o filtro de 1,2 µm. Corresponde a sólidos em solução verdadeira e coloides.

Sólidos Fixos (SF)

Porção dos sólidos (totais, suspensos ou dissolvidos) remanescente após ignição/calcinação a 550–600 °C (forno-mufla). Denominado resíduo fixo; corresponde à fração inorgânica.

Sólidos Voláteis (SV)

Porção dos sólidos perdida após ignição a 550–600 °C. Denominado resíduo volátil; corresponde aproximadamente à fração orgânica dos sólidos.

Sólidos Sedimentáveis (SSed)

Porção dos sólidos em suspensão que se sedimenta por gravidade em 1 hora, a partir de 1 litro de amostra em repouso em cone Imhoff. Unidade: mL/L.

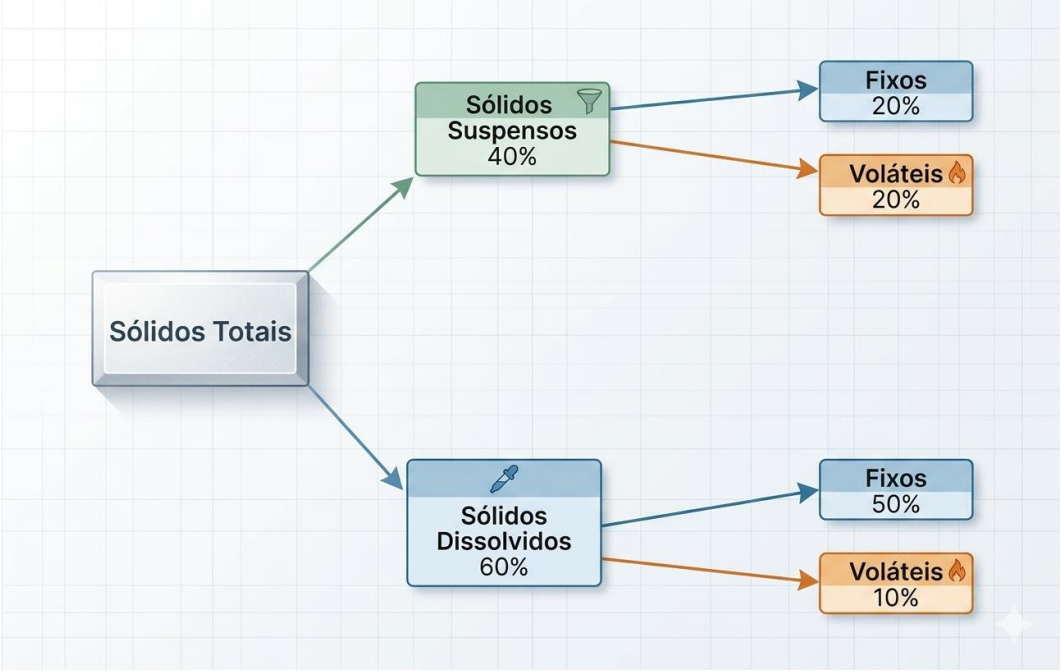


Figura 11 — Diagrama de classificação dos sólidos na água

⚠ Atenção — Assoreamento dos Rios
O excesso de sólidos em suspensão sedimentáveis contribui diretamente para o assoreamento de rios e

reservatórios, comprometendo a capacidade de armazenamento e a qualidade da água. A erosão acelerada por desmatamento e uso inadequado do solo é a principal causa antrópica.

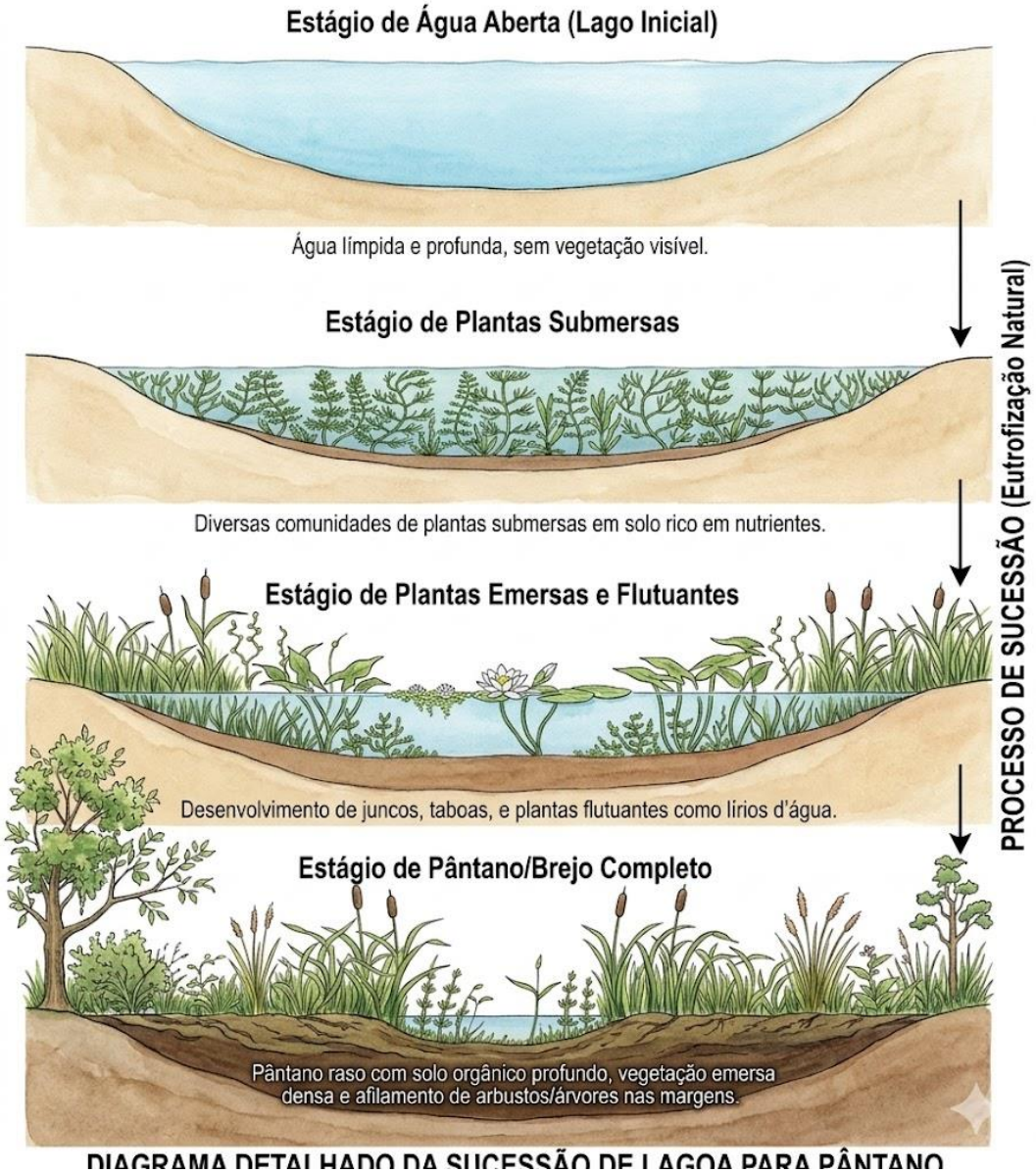


Figura 12 — Assoreamento de corpo hídrico

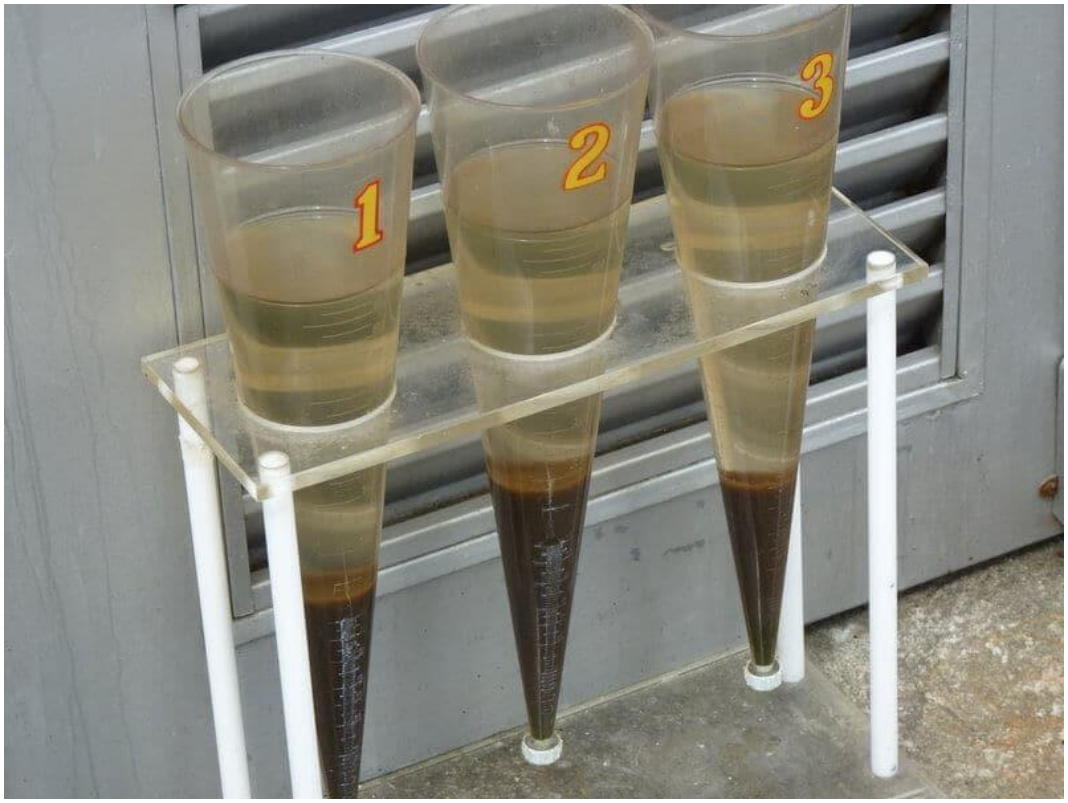


Figura 13 — Cone Imhoff para determinação de sólidos sedimentáveis

CAPÍTULO 5 — LIMNOLOGIA E EUTROFIZAÇÃO

Limnologia
Limnologia — Ciência que estuda as reações funcionais e a produtividade das comunidades bióticas de lagos, rios, reservatórios e região costeira, em relação aos parâmetros físicos, químicos e bióticos do ambiente.

Classificação dos Ecossistemas Aquáticos

- Lênticos (lenis = calmo): lagos, tanques e reservatórios — ambientes de águas "paradas".
- Lóticos (lotus = lavado): mananciais, riachos e rios — ambientes de águas correntes.
- Alagados: brejos e pântanos — níveis de água que flutuam sazonalmente.

Característica	Lóticos (rios)	Lênticos (lagos/represas)
Velocidade de escoamento	Alta — baixo tempo de detenção	Baixa — alto tempo de detenção
Mistura e diluição	Rápida	Lenta
Recuperação pós-poluição	Menor	Maior (recuperação mais lenta)
Suscetibilidade à eutrofização	Menor	Maior

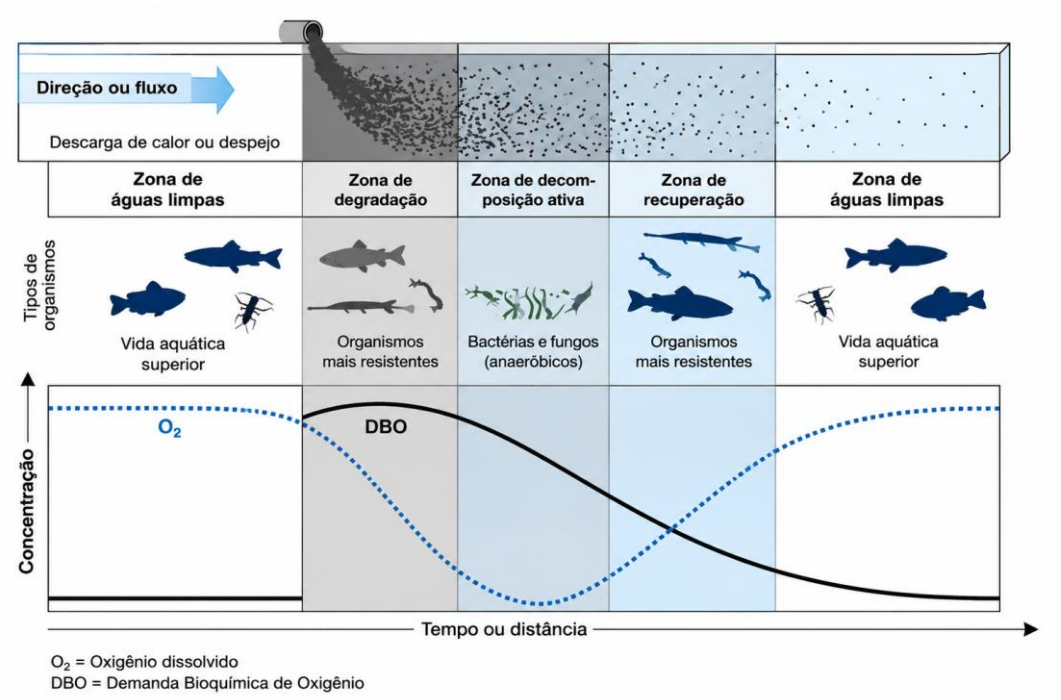


Figura 14 — Estratificação térmica em lagos — características limnológicas

Gênese de Lagos

- Falhas tectônicas e abalos sísmicos.
- Dissolução de rochas (lagos cársticos).
- Formados por atividades de rios: lagos de inundação, lagos em ferradura.
- Lagos artificiais: represas, açudes e reservatórios — para armazenamento, regularização de vazões, energia etc.

Tempo de Detenção Hidráulica

📌 **Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)**
TDH = Volume total do lago / Vazão de saída
TDH < 10 dias → comportamento similar a um rio
10 dias < TDH < 1 ano → comportamento intermediário
TDH > 1 ano → características típicas de lago
Pode ultrapassar 200 anos em lagos profundos de grande volume.

Estado Trófico de Lagos

Estado Trófico	Produtividade Biológica	Transparência	Concentração de Nutrientes
Oligotrófico	Baixa	Alta	Baixa
Mesotrófico	Intermediária	Intermediária	Intermediária
Eutrófico	Alta	Baixa	Alta

Eutrofização

A eutrofização é o enriquecimento excessivo de nutrientes (principalmente N e P) em corpos hídricos, resultando no crescimento desordenado de algas e plantas aquáticas e na consequente degradação da qualidade da água.

Principais Causas

- Cargas pontuais: esgotos domésticos e industriais sem tratamento adequado e sem remoção de nutrientes.
- Cargas não pontuais (difusas): drenagem agrícola com excesso de fertilizantes, escoamento urbano.

Principais Efeitos

- Anoxia (ausência de OD): mortalidade em massa de peixes e produção de gases tóxicos (metano, H_2S).
- Produção de toxinas por cianobactérias: hepatotoxinas, citotoxinas e endotoxinas — difícil remoção, resistentes à hidrólise.
- Altas concentrações de matéria orgânica, que ao serem tratadas com cloro podem gerar subprodutos carcinogênicos.
- Deterioração do valor estético e recreacional de lagos e represas.
- Florescimento de algas e crescimento descontrolado de macrófitas, dificultando navegação e pesca.

Formas de Controle

- Medidas preventivas: tratamento terciário do esgoto (remoção de nutrientes), tratamento de efluentes industriais, redução do uso de fertilizantes, recomposição de matas ciliares, controle da drenagem urbana.
- Medidas corretivas: aeração da camada inferior para manter o fósforo insolúvel; colheita de macrófitas; remoção de sedimento de fundo.

⚠ **Impactos Econômicos da Eutrofização**
• Aumento dos custos de tratamento de água
• Perda do valor estético de lagos e rios
• Impedimentos à navegação, recreação e turismo
• Perdas relacionadas à saúde humana e doenças de veiculação hídrica
• Impactos sobre atividades econômicas vinculadas à qualidade hídrica

CAPÍTULO 6 — OXIGÊNIO DISSOLVIDO E AUTODEPURAÇÃO

📌 Oxigênio Dissolvido (OD)
Oxigênio Dissolvido (OD) — Parâmetro de essencial importância para organismos aeróbios. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias consomem oxigênio em seus processos respiratórios, reduzindo sua concentração no meio — o que pode causar morte de peixes e outros organismos aeróbios. A solubilidade do OD varia inversamente com a temperatura e altitude. Ao nível do mar, a 20 °C, a concentração de saturação é de aproximadamente 9,2 mg/L.

Concentração de OD (mg/L)	Efeito sobre a Fauna Aquática
> 6 mg/L	Condições adequadas para a maioria dos organismos aeróbios.
4–6 mg/L	Estressante para espécies mais exigentes; redução da biodiversidade.
< 4 mg/L	Começa a mortalidade de peixes mais sensíveis (salmonídeos).
< 2 mg/L	Morte generalizada de peixes e organismos aeróbios.
0 mg/L (anóxico)	Apenas organismos anaeróbios sobrevivem; produção de H_2S e CH_4.

Matéria Orgânica nas Águas Residuárias

A matéria orgânica presente nos esgotos é a principal causadora de poluição hídrica. Sua quantificação é realizada por métodos indiretos:

- Medição do consumo de oxigênio: DBO e DQO.
- Medição do carbono orgânico: COT (Carbono Orgânico Total).

Autodepuração dos Corpos d'Água

Um corpo d'água poluído por matéria orgânica biodegradável sofre um processo natural de recuperação por meio de mecanismos físicos (diluição, sedimentação), químicos (oxidação) e biológicos (metabolismo microbiano). Esse processo é chamado de autodepuração e caracteriza-se por zonas distintas:

- **Região anterior ao lançamento:** Águas limpas, com elevada concentração de OD e vida aquática superior.
- **Zona de degradação:** Localizada a jusante do ponto de lançamento. Diminuição inicial do OD, sedimentação de sólidos, aspecto indesejável. Presença de peixes em busca de alimento, grande quantidade de bactérias e fungos.
- **Zona de decomposição ativa:** OD atinge valores mínimos (pode chegar a zero — zona anóxica). Redução ou eliminação de organismos aeróbios. Predominam bactérias anaeróbias.
- **Zona de recuperação:** OD começa a aumentar — reaeração predomina sobre desoxigenação. Melhora progressiva das condições da água; retorno gradual de peixes e organismos aeróbios.
- **Zona de águas limpas:** OD retorna a concentrações satisfatórias. DBO reduzida. Restabelecimento da fauna e flora aquática original.

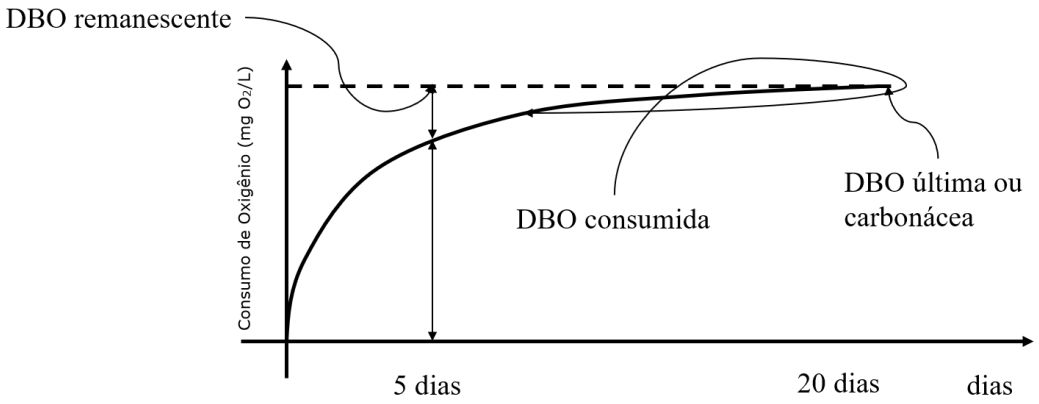


Figura 15 — Curva de autodepuração — variação do OD a jusante do lançamento

CAPÍTULO 7 — DBO, DQO E CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Demanda Bioquímica de Oxigênio — DBO

DBO
DBO — Quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, por processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea de uma amostra de água.
Padronização: DBO_5 — 5 dias de incubação a 20 °C.
DBO_5 / DBO última (DBOu): relação que indica a biodegradabilidade da matéria orgânica.
Esgoto doméstico bruto: DBO_5 típica de 200–300 mg/L.

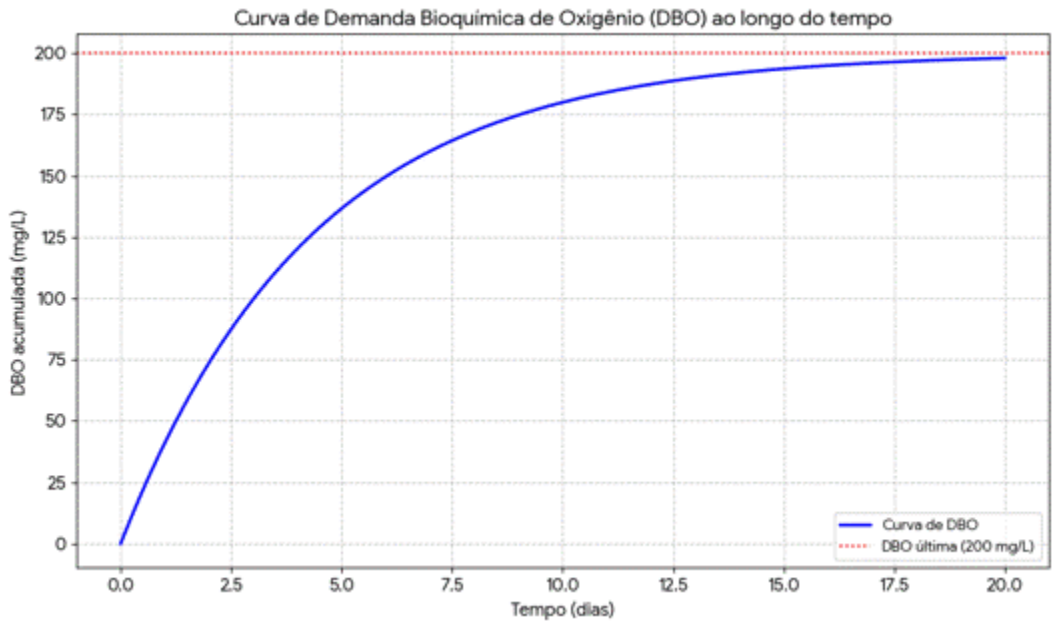


Figura 16 — Curva de DBO ao longo do tempo

Demanda Química de Oxigênio — DQO

A DQO retrata a quantidade de oxigênio requerida para a oxidação química da matéria orgânica, tanto biodegradável quanto inerte. Utiliza dicromato de potássio como oxidante forte em meio ácido.

Aspecto	DBO_5	DQO
Tempo de análise	5 dias	2–3 horas
O que mede	Fração biodegradável	Fração total (biodegradável + inerte)
Oxidante	Oxigênio (via microrganismos)	Dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$)
Vantagem	Representa o consumo real de OD no corpo hídrico	Rapidez; uso de kits analíticos
Desvantagem	Lento (5 dias); não detecta compostos inertes	Superestima consumo biológico de OD

Relação DBO × DQO × COT
Esgoto doméstico típico: $DBO_5 \approx 100$ mg/L → DBOu ≈ 150 mg/L → DQO ≈ 200 mg/L
Razão DBO_5/DQO: indica biodegradabilidade.

Valores próximos a 0,5 → efluente predominantemente biodegradável.
Valores baixos (< 0,2) → alta fração de compostos inertes.

Carbono Orgânico Total — COT

O COT é medido diretamente — não indiretamente pelo consumo de oxigênio como DBO e DQO. O ensaio mede todo o carbono liberado na forma de CO_2 após oxidação completa da amostra.

- Vantagem: análise muito rápida (minutos).
- Desvantagem: equipamentos caros; viável apenas para grandes laboratórios.

CAPÍTULO 8 — METAIS PESADOS E MICROPOLUENTES

Metais Pesados

Os metais pesados presentes nas águas têm origem principalmente em despejos industriais, atividades mineradoras e garimpo. Muitos se bioacumulam na cadeia alimentar, representando grande risco para organismos nos degraus superiores.

Metal	Fonte Principal	Efeitos
Chumbo (Pb)	Baterias, tintas, gasolina.	Danos ao sistema nervoso central; neurotoxicidade.
Cádmio (Cd)	Galvanoplastia.	Concentra-se nos rins, fígado e pâncreas; causa doença 'itai-itai'; bloqueia brânquias de peixes.
Arsênico (As)	Fontes termais, indústrias.	Toxicidade aguda; carcinogênico em exposição crônica.
Cromo (Cr)	Galvanoplastia e curtumes.	Corrosão do aparelho digestivo; Cr VI altamente tóxico e carcinogênico.
Mercúrio (Hg)	Garimpo, cloro-álcali.	Efeito cumulativo; causa lesões cerebrais (doença de Minamata).
Níquel (Ni)	Galvanoplastia.	Carcinogênico; bloqueia brânquias e provoca asfixia de peixes.
Zinco (Zn)	Galvanoplastia.	Elemento essencial à vida, mas em altas concentrações causa asfixia em peixes.



Figura 17 — Garimpo — principal fonte de mercúrio nas águas brasileiras

Micropoluentes Orgânicos

São materiais orgânicos resistentes à degradação biológica, alguns com características cumulativas. Principal origem: defensivos agrícolas e indústrias de processamento.

- Solventes orgânicos: benzeno, tolueno e xileno (BTX) — principal fonte: indústrias de processamento de petróleo.
- Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) — 12 substâncias listadas na Convenção de Estocolmo: aldrina, dieldrina, endrina, clordano, heptacloro, DDT, toxafeno, mirex, hexaclorobenzeno, bifenilos policlorados (PCBs), dioxinas e furanos.



Figura 18 — Símbolo da Convenção de Estocolmo — POPs

Micropoluentes Biológicos — Indicadores de Contaminação Fecal

A detecção direta de agentes patogênicos (bactérias, vírus, protozoários) é difícil devido às baixas concentrações. Utilizam-se organismos indicadores de contaminação fecal, que apresentam as seguintes vantagens:

- Grande quantidade nas fezes humanas.
- Resistência similar à maioria das bactérias patogênicas intestinais.
- Técnicas de detecção rápidas e econômicas.

Coliformes Totais (CT)

Grupo amplo de bactérias, incluindo a Escherichia coli (de origem exclusivamente fecal). Entretanto, bactérias dos gêneros Citrobacter, Enterobacter e Klebsiella também são detectadas como CT e podem existir no solo e vegetais. Resultado positivo não confirma necessariamente contato com fezes.

Coliformes Fecais (CF) / E. coli

Microrganismos do trato intestinal. Em laboratório, são diferenciados dos CT pela temperatura (CF crescem a 44 °C; CT crescem a 35 °C). Resultado positivo indica presença de matéria fecal, embora não exclusivamente humana.

Estreptococos Fecais (EF)

Espécies do gênero Streptococcus spp. que ocorrem apenas no trato intestinal do homem e de animais de sangue quente. Não se multiplicam em águas poluídas — presença indica contaminação fecal recente.

> 📌 **Relação CF/EF para identificar origem da contaminação**
> CF/EF > 4 → Contaminação fecal predominantemente HUMANA
> CF/EF < 1 → Contaminação fecal predominantemente de ANIMAIS de sangue quente
> Essa relação é utilizada para diferenciar a fonte de contaminação fecal em estudos epidemiológicos.

Principais Doenças de Veiculação Hídrica

- Bactérias: febre tifoide, disenteria bacilar, cólera.
- Protozoários: amebíase (disenteria amebiana), giardíase, criptosporidíase.
- Vermes e larvas: esquistossomose.
- Vírus: hepatite infecciosa (A e E), poliomielite.

CAPÍTULO 9 — POLUIÇÃO DAS ÁGUAS E QUANTIFICAÇÃO DE CARGAS

Principais Parâmetros a Serem Investigados

Parâmetro	Categoria	Relevância
pH	Químico	Afeta processos de tratamento e vida aquática.
OD	Químico	Indicador da qualidade de vida aquática aeróbia.
DBO_5	Químico/Biológico	Medida da carga orgânica biodegradável.
DQO	Químico	Carga orgânica total (biodegradável + inerte).
Sólidos Suspensos	Físico	Turbidez, assoreamento e carreamento de poluentes.
Coliformes Fecais	Biológico	Indicador de contaminação fecal.
Nitrogênio / Fósforo	Químico	Potencial de eutrofização.
Metais Pesados	Químico	Toxicidade e bioacumulação na cadeia alimentar.

Poluição das Águas

Definição
Poluição das Águas (Von Sperling, 1998) — Adição de substância ou formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo de água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos.
A contaminação da água é um caso específico de poluição: quando a poluição resulta em prejuízos à saúde humana.

Formas de Contaminação

- Pontual: poluentes lançados de forma concentrada no espaço (ex.: emissário de esgoto em um rio).
- Difusa: poluentes distribuídos ao longo de parte do corpo de água (ex.: drenagem pluvial, agricultura).

Quantificação das Cargas Poluidoras

Carga Poluidora
Carga Poluidora = Massa do poluente por unidade de tempo.
• Carga = concentração × vazão
• Carga = contribuição per capita × população
• Carga = contribuição por unidade produzida × produção
• Carga = contribuição por unidade de área × área

Mistura de Esgotos com Corpo Receptor

A concentração inicial de OD no ponto de mistura (Co) é determinada pela equação de mistura, ponderando as vazões e concentrações do rio (Qr, Concr) e do esgoto (Qe, Conce):

i Fórmula de Mistura

Co = (Qr × Concr + Qe × Conce) / (Qr + Qe)

Onde:

- Co = concentração inicial de OD no ponto de mistura [mg/L]
- Qr = vazão do rio a montante do lançamento [m³/s]
- Qe = vazão de esgotos [m³/s]
- Concr = concentração de OD no rio a montante [mg/L]
- Conce = concentração de OD no esgoto [mg/L]

Fórmula de mistura — recorrente em concursos

A equação de mistura (balanço de massa) é cobrada frequentemente nas provas de Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental. Dominar o cálculo de Co para OD, DBO e demais parâmetros é fundamental para questões de projeto de ETEs e análise de autodepuração.

CAPÍTULO 10 — QUESTÕES DE CONCURSO RESOLVIDAS

Prefeitura de Sobral/CE — 2018 | Auditor de Controle Interno

Em uma Estação de Tratamento de Água, são realizados diversos ensaios para controlar a qualidade da água. Assinale a opção que apresenta corretamente as respectivas descrições dos ensaios de pH, Dureza Total e Alcalinidade Total.

a) Soma das concentrações de íons cálcio e magnésio; concentração de íons H^+; concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos.

b) Concentração de íons H^+; soma das concentrações de íons cálcio e magnésio; concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos.

c) Concentração de íons H^+; concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos; soma das concentrações de íons cálcio e magnésio.

d) Soma das concentrações de íons cálcio e magnésio; concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos; concentração de íons H^+.

✓ Gabarito

Gabarito: Alternativa b

📝 Fundamentação: pH mede a concentração de íons H^+ (0–14); Dureza Total expressa a concentração de cátions multimetálicos (Ca^{2+} e Mg^{2+}); Alcalinidade Total é a capacidade tampão da água, representada por hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos. (Von Sperling, 2014, Cap. 2)

Prefeitura de Sobral/CE — 2018 | Auditor de Controle Interno

Água é uma substância incolor e inodora, formada pela combinação química de dois gases: hidrogênio e oxigênio. As impurezas podem ser determinadas por exames físicos (cor, turbidez) ou químicos (pH, cloro residual). Considerando a nomenclatura da qualidade da água, assinale a afirmação FALSA.

a) Água contaminada é a que contém microrganismos patogênicos ou contaminantes tóxicos.

b) Água esterilizada é aquela que, por técnica apropriada, foi tornada isenta de organismos vivos.

c) Água alcalina é a água subterrânea que contém quantidade acentuada de CO_2, H_2S, sais de magnésio e potássio, que lhe dão valor terapêutico.

d) Água salobra é a água que possui dureza.

✓ Gabarito

Gabarito: Alternativa c

📝 Fundamentação: A alternativa C confunde água alcalina com água mineral medicinal. Água ALCALINA é simplesmente a água com pH superior a 7,5, não relacionada obrigatoriamente à presença de CO_2 ou H_2S. Além disso, a alternativa D também é incorreta: água salobra possui salinidade entre água doce e salgada (0,5–30 g/L de sais), não sendo definida pela dureza. A alternativa C é a mais claramente falsa por erro conceitual de definição de alcalinidade. (CONAMA 357/2005; Von Sperling, 2014)

Questão Temática — DBO e DQO | Nível: Concurso Engenharia Sanitária

Um efluente industrial apresenta DBO_5 = 300 mg/L e DQO = 900 mg/L. Considerando a relação entre esses parâmetros, assinale a afirmação CORRETA.

a) A relação DBO_5/DQO = 0,33 indica que o efluente é predominantemente biodegradável e pode ser tratado eficientemente por processos biológicos.

b) A DQO sempre será menor que a DBO_5 para efluentes com fração orgânica inerte elevada.

c) A relação DBO_5/DQO = 0,33 sugere presença significativa de compostos orgânicos não biodegradáveis, indicando necessidade de tratamento físico-químico complementar.

d) O COT desse efluente será necessariamente maior que a DQO, em mg/L.

✓ Gabarito

Gabarito: Alternativa c

📝 Fundamentação: Razão $DBO_5/DQO = 300/900 = 0{,}33$. Valores entre 0,3 e 0,5 indicam biodegradabilidade moderada; valores < 0,3 sugerem fração inerte elevada. A relação 0,33 indica presença significativa de compostos não biodegradáveis, exigindo tratamento complementar. A DQO é sempre ≥ DBO_5 (não menor — alternativa B incorreta). O COT é independente e geralmente menor que a DQO em mg/L — alternativa D incorreta. (Von Sperling, 2014, v.1, Cap. 3)

Questão Temática — Eutrofização | Nível: Concurso Engenharia Ambiental

Sobre o processo de eutrofização de corpos hídricos, analise as afirmativas e marque a CORRETA.

a) O nitrogênio é o principal nutriente limitante para a eutrofização em lagos e represas.

b) A anoxia gerada pela eutrofização favorece a liberação de fósforo do sedimento para a coluna d'água, agravando o processo.

c) Lagos oligotróficos apresentam alta produtividade biológica e baixa transparência.

d) As toxinas produzidas por cianobactérias são facilmente removidas pelo tratamento convencional com cloro.

✓ Gabarito

Gabarito: Alternativa b

📝 Fundamentação: Em condições anóxicas (anaeróbias), o fósforo ligado ao ferro no sedimento é liberado para a coluna d'água — mecanismo conhecido como 'reciclagem interna de fósforo' ou 'liberação interna de P'. Isso cria um ciclo de retroalimentação positiva que agrava a eutrofização. Alternativa A: o fósforo é o principal nutriente limitante em lagos. Alternativa C: oligotróficos têm BAIXA produtividade e ALTA transparência — contrário. Alternativa D: as cianotoxinas são resistentes à hidrólise e podem persistir após a cloração convencional. (Von Sperling, 2014)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília: CONAMA, 2005.

BRASIL. Portaria MS n.º 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

SPERLING, Marcos von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).

SPERLING, Marcos von. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: UFMG, 2007. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 7).

TUCCI, Carlos E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS — ANA. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil. Brasília: ANA, 2005.

BRAGA, Benedito et al. Introdução à Engenharia Ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

Provas de Engenharia — Pedro Murga

Material exclusivo para estudo em concurso público

@ppedromurga | Engenharia Civil | Saneamento Ambiental

Todos os direitos reservados.