

**CURSO: “QUALIDADE DAS
ÁGUAS E POLUIÇÃO:
ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS”**

AULA 5

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁGUAS: COR,
TURBIDEZ, SÓLIDOS, TEMPERATURA, SABOR E ODOR**

Prof. Dr. Roque Passos Piveli

AULA 5: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS ÁGUAS: COR, TURBIDEZ, SÓLIDOS, TEMPERATURA. SABOR E ODOR

1. Introdução

Os principais parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente as águas naturais são a cor, a turbidez, os níveis de sólidos em suas diversas frações, a temperatura, o sabor e o odor. Embora sejam parâmetros físicos, fornecem indicações preliminares importantes para a caracterização da qualidade química da água como, por exemplo, os níveis de sólidos em suspensão (associados à turbidez) e as concentrações de sólidos dissolvidos (associados à cor), os sólidos orgânicos (voláteis) e os sólidos minerais (fixos), os compostos que produzem odor, etc..

As suas aplicações nos estudos e fenômenos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos e de caracterização e controle de qualidade de águas para abastecimento público e residuárias, tornam as características físicas indispensáveis à maioria dos trabalhos envolvendo qualidade de águas.

2. Cor das Águas

2.1. Definição

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la (e esta redução dá-se por absorção de parte da radiação eletromagnética), devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos pode-se mencionar os ácidos húmico e fúlvico, substâncias naturais resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos presentes em folhas, dentre outros substratos. Também os esgotos sanitários se caracterizam por apresentarem predominantemente matéria em estado coloidal, além de diversos efluentes industriais contendo taninos (efluentes de curtumes, por exemplo), anilinas (efluentes de indústrias têxteis, indústrias de pigmentos, etc), lignina e celulose (efluentes de indústrias de celulose e papel, da madeira, etc.).

Há também compostos inorgânicos capazes de possuir as propriedades e provocar os efeitos de matéria em estado coloidal. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais

presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor mas, em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz.

2.2. Importância nos estudos de controle de qualidade de águas

Com relação ao abastecimento público de água, a cor, embora seja um atributo estético da água, não se relacionando necessariamente com problemas de contaminação, é padrão de potabilidade (valor máximo permissível 5 uHazen pela portaria n° 36, de 1990, do Ministério da Saúde). A presença de cor provoca repulsa psicológica pelo consumidor, pela associação com a descarga de esgotos.

Também a Resolução n° 20 do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, que dispõe sobre os níveis de qualidade das águas naturais do território brasileiro, inclui a cor como parâmetro de classificação. Esta limitação é importante, pois nas águas naturais associa-se a problemas de estética, às dificuldades na penetração da luz e à presença de compostos recalcitrantes (não biodegradáveis, isto é, de taxas de decomposição muito baixas) que em geral são tóxicos aos organismos aquáticos. Embora existam técnicas mais específicas para a identificação de substâncias tóxicas na água, a presença de cor verdadeira na água pode ser indicadora dessa possibilidade. No entanto, a não inclusão como padrão de emissão (artigo n° 21 da resolução n° 20 do CONAMA) permite que determinadas indústrias contem com as diluições sofridas no corpo receptor e não necessitem de tratamento adicional específico para a remoção da cor residual de efluentes tratados por processos biológicos, por exemplo. Por outro lado, este tratamento físico-químico em nível terciário, à base do emprego de coagulantes, apresenta custo elevado devido ao grande consumo do produto e à grande produção de lodo a ser desidratado e disposto em aterro.

No controle da qualidade das águas nas estações de tratamento, a cor é um parâmetro fundamental, não só por tratar-se de padrão de potabilidade como também por ser parâmetro operacional de controle da qualidade da água bruta, da água decantada e da água filtrada, servindo como base para a determinação das dosagens de produtos químicos a serem adicionados, dos graus de mistura, dos tempos de contato e de sedimentação das partículas floculadas. Por serem parâmetros de rápida determinação, a cor e a turbidez são muito úteis nos ensaios de floculação das águas (Jar test) e nos ensaios de sedimentação em colunas e de filtração em leitos granulares.

Para os problemas de lançamento de efluentes industriais, deverá ser levada em consideração a necessidade de atendimento aos padrões de cor do corpo receptor.

2.3. Determinação da cor

A cor das águas tem sido historicamente medida através de comparação visual, empregando-se soluções padrão de cor e fonte de luz.

Para estudos envolvendo necessidades de medidas com maior grau de precisão, o método de determinação da cor por espectrofotometria é recomendado. Para os controles rotineiros de estações de tratamento de água e em estudos limnológicos, o uso do comparador visual é bastante razoável.

Neste, a amostra é disposta em um tubo de Nessler enquanto que em um outro adiciona-se água destilada. Ligando-se a lâmpada do aparelho, vai-se observar uma mancha escura no campo referente à amostra, devida à absorção de parte da radiação luminosa, enquanto que no campo da água destilada a imagem é bastante clara. Em seguida, deverá ser pesquisada no disco de cor qual a posição que leva à coincidência entre as manchas. O disco de cor contém uma solução sólida de cloroplatinato de potássio (K_2PtCl_6) em cloreto de cobalto ($CoCl_2$), daí o nome de método platina-cobalto. Esta solução tem uma tonalidade esverdeada, tal como as águas do rio europeu que era estudado quando o parâmetro foi introduzido. Assim, uma água com cor 5, apresentará sombreamento semelhante ao produzido pela água destilada quando se posiciona sobre ela o disco na posição 5, que contém a solução com 5 mg/L de platina.

Quando os valores da cor são muito elevados, como é o caso de efluentes industriais, devem ser preparadas diluições prévias da amostra até reduzir a cor abaixo do alcance do disco; mas, para este caso, o método espectrofotométrico é mais recomendado.

Deve ser observado que este método de comparação visual é de certa forma subjetivo, dependendo da sensibilidade do operador. Além disso, as diversas águas apresentam colorações muito diferentes da solução de cloroplatinato, dificultando a comparação.

Quanto ao resultado da cor, cinco unidades de cor ou 5 UC representa o mesmo que 5 mg/L Pt, ou 5 uHazen.

É importante fornecer o pH da amostra quando se utiliza este método para a avaliação da cor de águas naturais, não sendo apropriado para águas contaminadas por resíduos industriais.

A cor pode ser determinada por espectrofotometria visível, quando esta propriedade é expressa pelo comprimento de onda (λ) dominante na transmissão da luz em um equipamento apropriado a tais medidas (espectrofotômetro). Dessa forma, cobre-se todo o espectro luminoso e não apenas tons amarelos e marrons.

Águas naturais possuem intensidade de cor que varia entre 0 e 200 unidades pois, acima disso, já seriam águas de brejo e pântano com elevada concentração de matéria orgânica dissolvida. Coloração abaixo de 10 unidades quase não é perceptível. No Brasil, aceita-se para água bruta, isto é, antes do seu tratamento e distribuição em sistemas urbanos, valores de até 75 unidades de cor (Resolução CONAMA nº 20, de 18/06/86).

2.4. Cor real e cor aparente

Na determinação da cor, a turbidez da amostra causa interferência, absorvendo também parte da radiação eletromagnética. Esta coloração é dita aparente pois é como o ser humano a vê, mas é, na verdade, em parte resultado da reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão. A diferenciação entre a cor verdadeira e a cor aparente, que é incrementada pela turbidez, é dada pelo tamanho das partículas, isto é, pode ser generalizado que partículas com diâmetro superior a 1,2 μm causam turbidez, já que partículas coloidais e dissolvidas causam cor. Para a obtenção da cor real ou verdadeira há a necessidade de se eliminar previamente a turbidez através de centrifugação, filtração ou sedimentação. A centrifugação é o método mais aconselhável porque na filtração ocorre adsorção de cor da amostra no papel de filtro e, na sedimentação, existem sólidos em suspensão que se sedimentam muito lentamente e não são removidos.

2.5. Remoção de cor

Os métodos tradicionais de remoção de cor de águas para abastecimento público e residuárias industriais são à base de coagulação e floculação. Os tipos e as dosagens de coagulantes, bem como os efeitos dos auxiliares de floculação (polieletrólitos), variam de acordo com as características das águas. No tratamento de

águas para abastecimento, as dificuldades na floculação ocorrem quando a água apresenta cor elevada e turbidez baixa. Neste caso, a falta de partículas maiores que possibilitem a ocorrência de nucleação, torna-os pequenos e de baixa velocidade de sedimentação. Isto tem sido motivo frequente do uso da pré-cloração das águas para abastecimento público, isto é, a aplicação de cloro na etapa de coagulação e floculação para a oxidação de compostos coloidais e conseqüente melhora na floculação. Devido à possibilidade de formação de trihalometanos (THMs) durante este processo, outros processos oxidativos têm sido estudados, como por exemplo o emprego da ozonização da água. Neste caso, a formação de aldeídos é que pode ser problemática. Os THMs são compostos orgânicos halogenados, neste caso clorados, associados ao sério problema de saúde pública que é o desenvolvimento do câncer no organismo humano. Estudos de remoção de cor à base de outros agentes oxidantes ou através de radiações, também têm sido desenvolvidos.

3. Turbidez das águas

3.1. Definição

Turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (e esta redução se dá por absorção e espalhamento, uma vez que as partículas que provocam turbidez nas águas são maiores que o comprimento de onda da luz branca), devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc.. A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exige manobras operacionais, como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas estações de tratamento de águas. A erosão pode decorrer do mau uso do solo, em que se impede a fixação da vegetação. Este exemplo mostra também o caráter sistêmico da poluição, ocorrendo interrelações ou transferência de problemas de um ambiente (água, ar ou solo) para outro.

Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais também provocam elevações na turbidez das águas. Um exemplo típico deste fato ocorre em conseqüência das atividades de mineração, onde os aumentos excessivos de turbidez têm provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático.

3.2. Importância nos estudos de controle de qualidade das águas

A turbidez também é um parâmetro que indica a qualidade estética das águas para abastecimento público. O padrão de potabilidade (portaria nº 36 de janeiro de 1990) é de 1,0 UNT.

Nas estações de tratamento de água, a turbidez, conjuntamente com a cor, é um parâmetro operacional de extrema importância para o controle dos processos de coagulação-floculação, sedimentação e filtração. Há uma preocupação adicional que se refere à presença de turbidez nas águas submetidas à desinfecção pelo cloro. Estas partículas grandes podem abrigar microrganismos, protegendo-os contra a ação deste agente desinfetante. Daí a importância das fases iniciais do tratamento para que a qualidade biológica da água a ser distribuída possa ser garantida. E é por isso também que a cloração de esgotos sanitários tem seus efeitos limitados.

Nas águas naturais, a presença da turbidez provoca a redução de intensidade dos raios luminosos que penetram no corpo d'água, influenciando decisivamente nas características do ecossistema presente. Quando sedimentadas, estas partículas formam bancos de lodo onde a digestão anaeróbia leva à formação de gases metano e gás carbônico, principalmente, além de nitrogênio gasoso e do gás sulfídrico, que é malcheiroso.

O movimento ascensional das bolhas de gás ocasiona o arraste de partículas orgânicas não totalmente degradadas, aumentando a demanda de oxigênio na massa líquida (demanda bentônica).

A resolução nº 20 do CONAMA impõe limites de turbidez para as diversas classes de águas naturais.

Nos problemas relativos às águas residuárias, os parâmetros cor e turbidez não são normalmente utilizados, dando-se preferência às medidas diretas dos valores de sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos. Este fato é possível porque as faixas de concentração de sólidos são elevadas, permitindo obter uma precisão significativa na análise gravimétrica. Em águas de abastecimento, por outro lado, o uso da turbidez é muito mais expressivo do que a concentração de sólidos em suspensão medida diretamente.

Embora não seja muito freqüente o emprego da turbidez na caracterização de esgotos, é comum dizer-se, por exemplo, que uma água residuária tratada por processo anaeróbio apresenta turbidez mais elevada do que se o fosse por

processo aeróbio, devido principalmente ao arraste de sólidos provocado pela subida das bolhas de gases resultantes da fermentação. Também para os processos aeróbios, um aumento na turbidez do esgoto tratado é indicativo de problemas no reator biológico onde ocorre a floculação.

3.3. Determinação da turbidez

A determinação da turbidez em águas iniciou-se com o turbidímetro de vela de Jackson. Este turbidímetro é constituído de um tubo de vidro graduado sob o qual se posiciona uma vela acesa. À medida em que se adiciona amostra ao tubo e se observa pela outra extremidade em relação à vela, a chama reduz de intensidade progressivamente até desaparecer por completo, quando deverá ser efetuada a leitura na escala. Este método obedece ao princípio da “turbidimetria”, ou seja, a fonte de luz e o observador encontram-se em posições opostas (ângulo de 180°) e os resultados são expressos em UJT (Unidade Jackson de Turbidez).

Este método, no entanto, apresenta a limitação de não determinar valores baixos de turbidez (abaixo de 25 UNT), como é o caso da água tratada, porque partículas muito pequenas não dispersam a luz na faixa amarelo-vermelho do espectro eletromagnético, que corresponde à chama da vela. Assim, foi necessário desenvolver outros métodos, que são chamados de nefelométricos, mais sensíveis, que consistem em um equipamento dotado com uma fonte de luz (filamento de tungstênio), que incide na amostra, e um detector fotoelétrico capaz de medir a luz que é dispersa em um ângulo de 90° em relação à luz incidente. A turbidez assim medida é fornecida em unidades nefelométricas de turbidez (UNT), comparável à UJT.

Antes da determinação do valor da turbidez da amostra, a escala apropriada deverá ser escolhida e calibrada. Para esta calibração, são utilizadas suspensões-padrão de formazina (contém sulfato de hidrazina e hexametilenotetramina) ou de sílica. Desta forma, os resultados de turbidez podem também ser expressos em termos de mg/L de formazina ou sílica, dependendo do padrão utilizado na calibração. Os resultados expressos desta forma são equivalentes àqueles representados por UNT.

3.4. Remoção da turbidez

As partículas que provocam turbidez nas águas são as mais fáceis de serem separadas, por tratar-se de sólidos em suspensão sobre os quais, devido às baixas

relações área superficial/volume apresentadas, ocorre a predominância de fenômenos gravitacionais. Desta forma, a turbidez pode ser removida através de sedimentação simples, utilizando-se decantadores, sendo também possível e interessante em alguns casos o emprego da flotação por ar dissolvido. A filtração pode ser entendida como um processo complementar aos anteriores, ou ser empregada diretamente em casos de águas de baixa cor e turbidez.

Nos projetos dos decantadores, um dos parâmetros mais importantes a ser definido é a taxa de escoamento superficial (vazão aplicada por área em planta do decantador). Para esta finalidade, são conduzidos ensaios em colunas de sedimentação, onde o principal parâmetro de controle é a turbidez remanescente (residual) em função do tempo.

4. Sólidos em águas

4.1. Considerações iniciais

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão), com exceção dos sólidos sedimentáveis, cujo método mais comum é o volumétrico (uso do cone Imhoff).

4.2. Definições das diversas frações

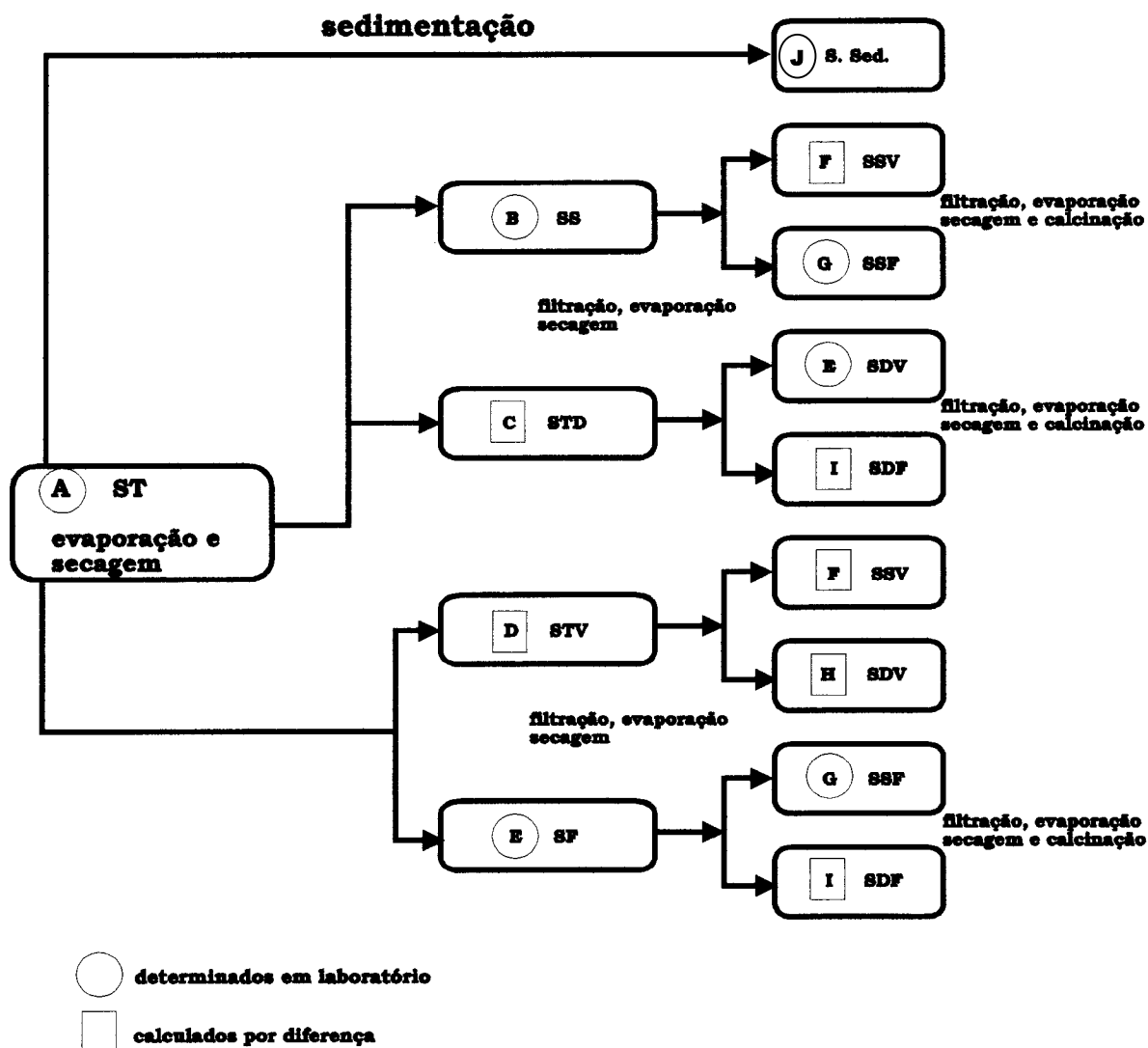
- a) Sólidos totais (ST): Resíduo que resta na cápsula após a evaporação em banho-maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C até peso constante. Também denominado resíduo total.
- b) Sólidos em suspensão (ou sólidos suspensos) (SS): É a porção dos sólidos totais que fica retida em um filtro que propicia a retenção de partículas de diâmetro maior ou igual a 1,2 µm. Também denominado resíduo não filtrável (RNF).
- c) Sólidos Voláteis (SV): é a porção dos sólidos (sólidos totais, suspensos ou dissolvidos) que se perde após a ignição ou calcinação da amostra a 550-600°C, durante uma hora para sólidos totais ou dissolvidos voláteis ou 15 minutos para

sólidos em suspensão voláteis, em forno mufla. Também denominado resíduo volátil.

- d) Sólidos Fixos (SF): É a porção dos sólidos (totais, suspensos ou dissolvidos) que resta após a ignição ou calcinação a 550-600°C após uma hora (para sólidos totais ou dissolvidos fixos) ou 15 minutos (para sólidos em suspensão fixos) em forno-mufla. Também denominado resíduo fixo.
- e) Sólidos Sedimentáveis (SSed): É a porção dos sólidos em suspensão que se sedimenta sob a ação da gravidade durante um período de uma hora, a partir de um litro de amostra mantida em repouso em um cone Imhoff.

4.3. Classificação

Considere-se a seguinte chave de classificação:



No laboratório, em trabalhos de rotina, as determinações realizadas são as dos sólidos totais (A), sólidos em suspensão (B), sólidos fixos (E), sólidos em suspensão fixos (G) e os sólidos sedimentáveis (J). As demais frações são determinadas por diferença.

4.4. Importância nos estudos de controle de qualidade das águas

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais e principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos). Este quadro não é definitivo para se entender o comportamento da água em questão, mas constitui-se em uma informação preliminar importante. Deve ser destacado que, embora a concentração de sólidos voláteis seja associada à presença de compostos orgânicos na água, não propicia qualquer informação sobre a natureza específica das diferentes moléculas orgânicas eventualmente presentes que, inclusive, iniciam o processo de volatilização em temperaturas diferentes, sendo a faixa compreendida entre 550-600°C uma faixa de referência. Alguns compostos orgânicos volatilizam-se a partir de 250°C, enquanto que outros exigem, por exemplo, temperaturas superiores a 1000°C.

No controle operacional de sistemas de tratamento de esgotos, algumas frações de sólidos assumem grande importância. Em processos biológicos aeróbios, como os sistemas de lodos ativados e de lagoas aeradas mecanicamente, bem como em processos anaeróbios, as concentrações de sólidos em suspensão voláteis nos lodos dos reatores têm sido utilizadas para se estimar a concentração de microrganismos decompositores da matéria orgânica, isto porque as células vivas são, em última análise, compostos orgânicos e estão presentes formando flocos em grandes quantidades relativamente à matéria orgânica “morta” nos tanques de tratamento biológico de esgotos. Embora não representem exatamente a fração ativa da biomassa presente, os sólidos voláteis têm sido utilizados de forma a atender as necessidades práticas do controle de rotina. Imagine-se as dificuldades que se teria, se fosse utilizada, por

exemplo, a concentração de DNA para a identificação da biomassa ativa nos reatores biológicos!

Algumas frações de sólidos podem ser inter-relacionadas, produzindo informações importantes. É o caso da relação SSV/SST que representa o grau de mineralização de lodos. Por exemplo, determinado lodo biológico pode ter relação SSV/SST = 0,8 e, depois de sofrer processo de digestão bioquímica, ter esse valor reduzido abaixo de 0,4.

Os níveis de concentração de sólidos sedimentáveis e de sólidos em suspensão são relacionadas entre si, constituindo-se em outro parâmetro prático de grande importância no controle operacional dos sistemas de tratamento biológico de esgotos, conhecido por índice volumétrico de lodo (IVL). O IVL representa o volume ocupado por unidade de massa de lodo.

$$\text{IVL(mL/g)} = \frac{\text{sólidos sedimentáveis (ml/L)}}{\text{sólidos em suspensão (mg/L)}} \times 1000$$

Os lodos que se apresentam em boas condições de sedimentabilidade apresentam valores de IVL baixos. Por exemplo, os processos de lodos ativados convencionais apresentam IVL em torno de 100 quando em boas condições de funcionamento, sendo este valor ainda menor quando se utiliza oxigênio puro. Os processos com aeração prolongada apresentam valores de IVL maiores, uma vez que a ocorrência em maior extensão de fase endógena no sistema leva à formação de flocos menores e mais leves.

O nível de sólidos sedimentáveis nos efluentes finais descarregados pelas indústrias é também extremamente importante por se tratar de parâmetro da legislação. No Estado de São Paulo, por exemplo, o limite máximo é de apenas 1 mL/L para a descarga direta no corpo receptor e de 20 mL/L para a descarga no sistema público de esgotos provido de estação de tratamento (Decreto Estadual nº 8468). Também na Resolução nº 20 do CONAMA aparece como padrão de emissão 1 mL/L de sólidos sedimentáveis (artigo 21), e também consta como padrão de classificação das águas naturais.

As concentrações de sólidos em suspensão são medidas importantes no controle de decantadores e outras unidades de separação de sólidos. Constituem parâmetro utilizado em análises de balanço de massa.

Com relação ao abastecimento público de água, a portaria nº 36 do Ministério da Saúde estabelece como padrão de potabilidade 1.000 mg/L de sólidos totais dissolvidos. No caso da Resolução CONAMA nº 20, o valor máximo é de 500 mg/L. Isto vale também para águas de irrigação, uma vez que excesso de sólidos dissolvidos pode levar a graves problemas de salinização do solo. A presença de sólidos dissolvidos relaciona-se também com a condutividade elétrica da água.

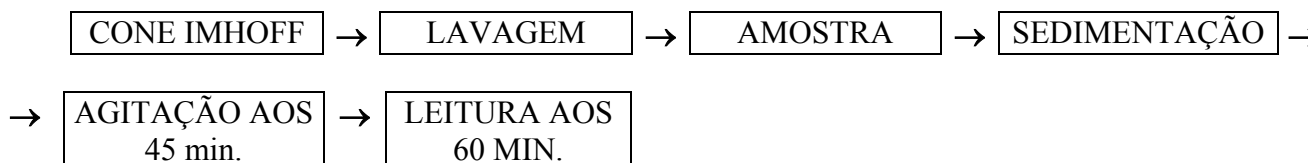
Deve-se salientar que a determinação das frações de sólidos é muito mais recomendada para águas fortemente poluídas e esgotos do que para águas limpas. Pouco são usadas nas estações de tratamento de água para abastecimento público, exceto as mais modernas que recuperam águas de lavagem de filtros e tratam e destinam adequadamente os lodos separados nos decantadores.

Nas ETAs, parâmetros indiretos como a cor e a turbidez devem ser preferivelmente usados, uma vez que a análise gravimétrica apresenta baixa precisão para níveis reduzidos de sólidos, além do tempo relativamente longo necessário para a execução da mesma.

4.5. Determinação analítica

a) Sólidos sedimentáveis

O cone Imhoff numerado deverá ter as suas paredes internas lavadas com água de torneira e em seguida deverá receber 1,0 litro da amostra homogeneizada que deverá permanecer em repouso. Após 45 minutos, o cone deverá sofrer suave rotação de 360° utilizando-se as duas mãos. Esta operação tem por objetivo promover o desprendimento dos sólidos aderidos à parede do cone e não pode ser vigorosa para que não ocorra a re-suspensão de sólidos sedimentados. Após um tempo de 60 minutos, a leitura final poderá ser realizada (posição da interface lodo/líquido sobrenadante), anotando-se o resultado em mL/L. No fluxograma a seguir são resumidas as principais operações:



b) Sólidos totais, fixos e voláteis

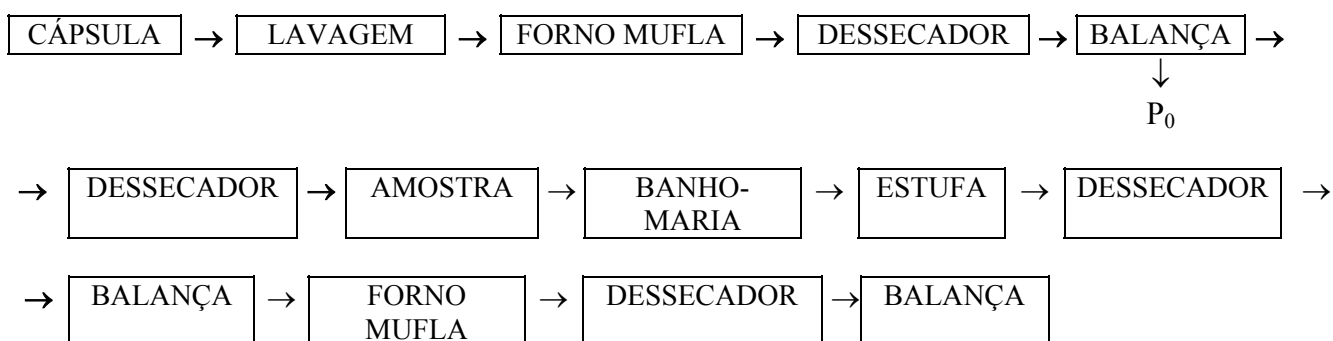
Inicialmente a cápsula de porcelana numerada com capacidade para 100 mL deverá ser preparada, lavando-a com água destilada, calcinando-a em forno mufla durante uma hora a 550-600°C e armazenando-a em dessecador de sílica-gel antes da pesagem em balança analítica.

Após a anotação do valor P_0 , peso da cápsula vazia, a mesma deverá ser armazenada em dessecador até o instante do seu uso na análise. A amostra homogeneizada deverá ser introduzida na cápsula através de um cilindro graduado (proveta) de 100 mL, sofrendo em seguida evaporação em banho-maria e secagem final em estufa a 103-105°C até peso constante. A evaporação em banho-maria tem por objetivo acelerar o processo de secagem, podendo ser suprimida. A cápsula retirada da estufa deverá ser armazenada em dessecador com sílica-gel até o instante da pesagem em balança analítica. O valor da massa da cápsula com o resíduo seco, P_1 , deverá ser anotado e o nível de sólidos totais será numericamente igual a $\frac{P_1 - P_0}{V}$, onde V é volume de amostra utilizado (100 mL). Para a determinação das frações de fixos e voláteis, a cápsula com o resíduo deverá ser introduzida em seguida em um forno mufla, permanecendo ali durante uma hora a 550-600°C. A esta temperatura, os sólidos orgânicos se volatilizarão e, após retenção de umidade em dessecador com sílica-gel e pesagem em balança analítica, o valor P_2 deverá ser anotado. P_2 deverá estar compreendido entre P_0 e P_1 e a concentração de sólidos fixos poderá ser calculada por $\frac{P_2 - P_0}{V}$. A fração dos sólidos voláteis terá sua concentração calculada por $\frac{P_1 - P_2}{V}$.

$$ST = SF + SV \quad SV = ST - SF \text{ ou}$$

$$SV = \frac{p_1 - p_0}{V} \quad \frac{p_2 - p_0}{V} = \frac{p_1 - p_2}{V}$$

No fluxograma a seguir estas operações são resumidas.



↓
P₁

↓
P₂

c) Sólidos em suspensão, totais, fixos e voláteis

Para a determinação destas frações, deverá ser utilizado um filtro-membrana de fibra de vidro com poros de 1,2 μ . Este filtro resiste à calcinação a 550-600°C sem perder massa. O filtro deverá ser previamente preparado: umedecido com água destilada no conjunto de filtração a vácuo, calcinado durante 15 minutos a 550-600°C, disposto em dessecador com sílica-gel, pesado em balança analítica (P₀) e retornado para o dessecador de até o instante da análise. Quando o filtro não é de boa qualidade, danifica-se durante a calcinação.

Dando prosseguimento à análise, a amostra deverá ser filtrada à vácuo, normalmente utilizando-se 100 mL ou volumes menores para lodos concentrados. O filtro contendo o resíduo em suspensão é em seguida levado para uma estufa durante uma hora a 103-105°C, sendo sempre manuseado com pinças e suportado por cápsula de porcelana devidamente identificada. Em seguida, o filtro com o resíduo seco é armazenado em dessecador até a pesagem em balança analítica (P₁). O valor de sólidos em suspensão totais pode ser calculado por: $SS = \frac{P_1 - P_0}{V}$, onde V é o volume de amostra. Para a determinação dos níveis de sólidos em suspensão fixos, a membrana é a seguir calcinada em forno mufla durante 15 minutos após ser atingida a temperatura de 550-600°C, sendo posteriormente armazenada em dessecador e pesada (P₂). O valor referente aos sólidos em suspensão fixos pode ser calculada por:

$$SSF = \frac{P_2 - P_0}{V} \text{ e } SSV = SS - SSF.$$

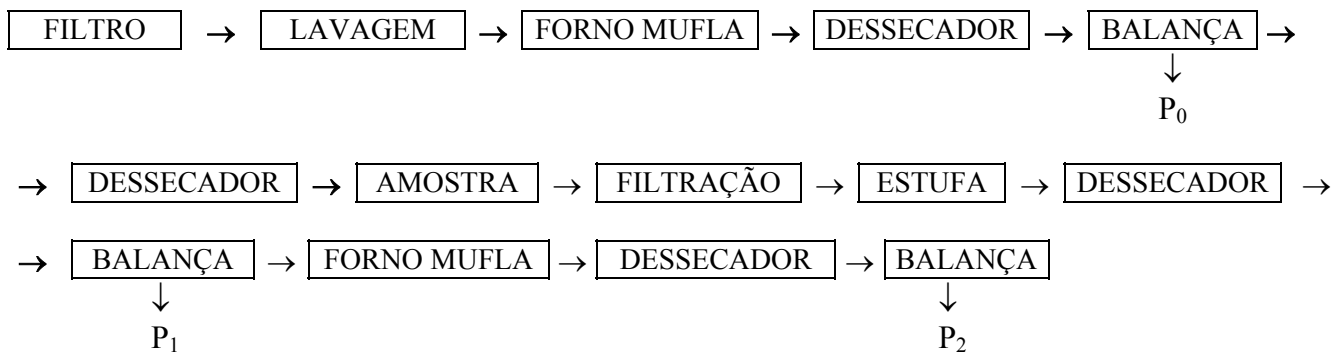
As frações sólidos dissolvidos totais, fixos e voláteis podem ser calculadas por diferença através de: $SD = ST - SS$

$$SDF = SF - SSF$$

$$SDV = SV - SSV$$

Em estudos onde não é exigido um grau de precisão elevado, pode-se eliminar o uso do filtro-membrana (cujo custo é relativamente alto), executando-se o procedimento inverso, isto é, filtrando-se a amostra em papel de filtro comum e analisando-se o filtrado recolhido em cápsula de porcelana (sólidos dissolvidos), repetindo-se o procedimento descrito para sólidos totais. Neste método, o menor grau de

precisão atingido deve-se ao fato de que os poros do papel de filtro mais fino são maiores do que os do filtro-membrana, permitindo assim maior passagem de material durante esta operação analítica. No fluxograma a seguir, são delineados os passos descritos para a determinação de sólidos em suspensão.



4.6. Remoção de sólidos

Embora os sólidos, sob o ponto de vista de tamanho, sejam classificados apenas em sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos, existem três faixas de tamanho com comportamentos distintos sob o ponto de vista do tratamento. Os sólidos em suspensão (partículas com diâmetro médio superior a 1μ), são os mais fáceis de serem separados da água. Prevaecem sobre eles fenômenos de massa (gravitacionais), e geralmente são removidos por sedimentação simples. Intermediariamente, os sólidos presentes no estado coloidal (diâmetro médio na faixa $1m\mu - 1\mu$), já são suficientemente pequenos de forma a apresentar relações área superficial/volume que os tornam estáveis na água devido aos campos eletrostáticos desenvolvidos. Desta forma, são removíveis por sedimentação, desde que precedida de processo de coagulação e floculação. Os flocos que apresentam baixas velocidades de sedimentação nos decantadores podem ser separados em filtros de areia ou filtros de camada dupla de areia e carvão antracito. A dificuldade maior sob o ponto de vista de tratamento consiste na separação de moléculas muito pequenas e íons dissolvidos na água. Nestes casos, apenas processos especiais de tratamento apresentam boa capacidade de remoção. Dentre estes processos, destacam-se aqueles que têm como princípio os fenômenos de adsorção, troca-iônica, precipitação química e osmose reversa.

Nas estações de tratamento de esgotos sanitários e de efluentes industriais predominantemente orgânicos, ocorrem reduções nas concentrações de sólidos voláteis dos despejos que são tratados por processos biológicos.

5. Temperatura

A temperatura é uma condição ambiental muito importante em diversos estudos relacionados ao monitoramento da qualidade de águas. Sob o aspecto referente à biota aquática, a maior parte dos organismos possui faixas de temperatura "ótimas" para a sua reprodução. Por um lado, o aumento da temperatura provoca o aumento da velocidade das reações, em particular as de natureza bioquímica de decomposição de compostos orgânicos. Por outro lado, diminui a solubilidade de gases dissolvidos na água, em particular o oxigênio, base para a decomposição aeróbia. Estes dois fatores se superpõem, fazendo com que nos meses quentes de verão os níveis de oxigênio dissolvido nas águas poluídas sejam mínimos, freqüentemente provocando mortandade de peixes e, em casos extremos, exalação de maus odores devido ao esgotamento total do oxigênio e conseqüente decomposição anaeróbia dos compostos orgânicos sulfatados, produzindo o gás sulfídrico, H_2S . Desta forma, a definição da temperatura de trabalho nos estudos de autodepuração natural faz-se necessária para a correção das taxas de desoxigenação e de reaeração, normalmente obtidas para a temperatura de referência de 20°C.

No campo do tratamento biológico de esgotos, as temperaturas mais elevadas registradas nos países do hemisfério sul levam a comportamentos diferentes dos registrados em sistemas existentes no hemisfério norte. Os modernos reatores utilizados no tratamento anaeróbio de efluentes industriais podem, no Brasil, operar à temperatura ambiente, enquanto que na Europa necessitam de controle a 35°C. Os sistemas de lagoas de estabilização são também bastante favorecidos por este aspecto. Até mesmo entre as diferentes regiões do território brasileiro, as cargas orgânicas admissíveis nos sistemas de lagoas variam de acordo com as temperaturas médias registradas. No nordeste e centroeste, por exemplo, as cargas aplicáveis são maiores do que na região sudeste.

Os processos físico-químicos em que ocorre equilíbrio, como por exemplo a dissociação do cloro e os processos de precipitação química, são também dependentes da temperatura, mas o efeito não é tão significativo como nos processos biológicos.

A temperatura da água é normalmente superior à temperatura do ar, uma vez que o calor específico da água é bem maior do que o do ar.

Devido às importantes influências da temperatura sobre a configuração dos ambientes aquáticos, normalmente este parâmetro é incluído nas legislações referentes ao controle da poluição das águas. No Estado de São Paulo, é imposto como padrão de emissão de efluentes a temperatura máxima de 40°C, lançados tanto na rede pública coletora de esgotos como diretamente nas águas naturais. Além disso, nestas últimas não poderá ocorrer variação superior a 3°C com relação à temperatura de equilíbrio. Isto é importante para efluentes industriais produzidos a quente, como os de tinturarias, galvanoplastias, indústrias de celulose, etc.

A temperatura das águas é medida de maneira bastante simples através de termômetros de mercúrio. A temperatura do ar, variável controlada em diversos estudos ambientais, pode também ser medida através dos termômetros de máximas e mínimas, que registram as temperaturas limites durante determinado período, por exemplo, 24 horas.

A temperatura de efluentes industriais pode ser reduzida através do emprego de torres de resfriamento. Qualquer outro processo que provoque aumento da superfície de contato ar/água pode ser usado, como aspersores, cascadeamento, etc.. Em muitos casos, apenas o tempo de detenção hidráulico dos efluentes em tanques de equalização é suficiente para promover a redução desejada de temperatura.

6. Sabor e odor

A água pura não produz sensação de odor ou sabor nos sentidos humanos. Uma das principais fontes de odor nas águas naturais é a decomposição biológica da matéria orgânica. No meio anaeróbico, isto é, no lodo de fundo de rios e de represas e, em situações críticas, em toda a massa líquida, ocorre a formação do gás sulfídrico, H₂S, que apresenta odor típico de ovo podre, de mercaptanas e amônia, esta última ocorrendo também em meio aeróbico. Águas eutrofizadas, isto é, águas em que ocorre a floração excessiva de algas devido à presença de grandes concentrações de nutrientes liberados de compostos orgânicos biodegradados, podem também manifestar sabor e odor. Sabe-se que certos gêneros de algas cianofíceas (algas azuis, resistentes às condições de severa poluição) produzem compostos odoríficos, em alguns casos até mesmo tóxicos. É, por exemplo, o problema cíclico que ocorre em São Paulo na Represa do Guarapiranga, manancial que recebe esgotos e abastece parte da região metropolitana. Vários episódios têm ocorrido, sendo que há alguns anos uma floração

de *Anabaena* provocou odor semelhante ao do BHC, sendo que a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo-SABESP, encontrou grandes dificuldades para contornar o problema na fase de captação, onde foram testados diversos algicidas, e na fase do tratamento (emprego de adsorção em carvão ativado).

Outra fonte que causa problemas de sabor e odor nas águas para abastecimento público refere-se à presença de fenóis. Esses compostos, mesmo quando presentes em quantidades diminutas (o padrão de potabilidade no Brasil é de $0,1\mu\text{g/L}$, a título de recomendação), reagem com o cloro residual livre formando clorofenóis que apresentam odor característico e intenso.

Além destas fontes principais, existe ainda o gosto na água proveniente de metais, acidez ou alcalinidade pronunciadas, cloreto (sabor salgado), etc..

Na legislação brasileira aparece apenas a designação “não objetável” para sabor e odor, o que representa certa subjetividade. A legislação paulista é talvez rigorosa demais, condenando a presença de qualquer tipo de odor senão o de cloro. Nos Estados Unidos é utilizada a técnica do odor limite para quantificar o problema, que consiste em proceder-se a diluições da amostra até que o odor não seja mais detectado. Se, por exemplo, apenas com diluições superiores a 1:5 os odores não podem mais ser percebidos, diz-se que aquela amostra de água apresenta odor limite 5. É óbvio que é uma técnica que também envolve subjetividade e imprecisões, mas é uma maneira de se aproximar melhor à questão, que pode ser interessante em diversos estudos. Para uma identificação precisa das concentrações dos compostos aromáticos presentes na água, técnicas analíticas sofisticadas como a cromatografia gasosa ou cromatografia/espectrometria de massa podem ser necessárias.

A adsorção em carvão ativado granular ou em pó é a técnica mais empregada e eficiente no controle de odor. Em casos particulares, como no importante problema da liberação de H_2S de processos anaeróbios, perceptível pelo olfato humano em concentrações da ordem de apenas 1 ppb, técnicas oxidativas empregando-se cloro, peróxido de hidrogênio e ozonização, entre outras, ou técnicas de precipitação química com sais de ferro, podem ser testadas. Essa medida, no entanto, deverá ser bem planejada, devendo ser primeiramente testada em menor escala para a verificação da eficiência real e para a identificação de problemas operacionais como a descarga de oxidante residual que possa resultar em efeito tóxico ao meio.

A inibição da proliferação de odores intervindo-se na atividade biológica tem sido aplicada com sucesso. Muitas cidades, principalmente as de clima quente,

sofrem com o problema da exalação de maus odores pela rede coletora de esgotos. A origem desse problema é a redução anaeróbia do sulfato para sulfeto, com conseqüente liberação do H_2S . Aplicada continuamente uma solução de nitrato de sódio, ocorre preferencialmente a redução do nitrato em nitrogênio gasoso, inibindo-se o crescimento das bactérias redutoras de sulfato e a exalação do gás sulfídrico.

7. Questionário

1. Qual a diferença entre cor e turbidez?
2. Qual a diferença entre cor real e cor aparente?
3. Dê exemplos de partículas que provocam cor nas águas.
4. Dê exemplos de partículas que provocam turbidez nas águas.
5. Qual a importância do parâmetro turbidez no controle operacional de uma estação de tratamento de água para abastecimento público?
6. Qual a importância do parâmetro cor nos estudos de controle da poluição das águas naturais (rios, lagos, etc.)?
7. Pode uma água natural apresentar cor elevada e turbidez baixa? Justifique. Que comportamento apresenta essa água com relação à coagulação e floculação?
8. Qual a importância da fração sólidos sedimentáveis no controle da poluição por efluentes líquidos industriais?
9. Qual a importância da fração sólidos em suspensão voláteis no controle das estações de tratamento de efluentes por processos biológicos?
10. Que características físicas das águas de um lago podem ser afetadas pelo desenvolvimento excessivo de algas? Explique.
11. Que características físicas das águas de um rio podem ser influenciadas pelo lançamento de um efluente industrial com elevado teor de matéria orgânica biodegradável?
12. Lançando-se continuamente uma carga constante de matéria orgânica biodegradável em um lago natural, a maior possibilidade de esgotamento total do

oxigênio dissolvido ocorrerá quando se tiver temperatura do ar de 0°C ou 40°C?
Justificar.

13. Em uma análise de amostra de lodo de digestor anaeróbio foram obtidos os seguintes resultados:

- massa do filtro - membrana após filtração de 25 mL do lodo e secagem a 104°C: 3,2437 g
- massa do filtro-membrana após calcinação a 600°C: 2,6982 g

Determinar os níveis de sólidos em suspensão voláteis da amostra.

14. Em uma análise do teor de sólidos de uma amostra de efluente industrial foram obtidos os seguintes resultados:

- massa da cápsula preparada: $P_0 = 101,9794$ g
- massa da cápsula após secagem a 104°C de 1000 mL da amostra: $P_1 = 102,0406$ g
- massa da capsula após calcinação a 600°C: $P_2 = 101,9522$ g

Determinar a porcentagem de matéria volátil na amostra.

15. Na análise de uma água natural foram obtidos os seguintes resultados:

Cor: 5 U.C.

Turbidez: 2 UNT

Sólidos totais: 350 mg/L

Sólidos fixos: 150 mg/L

Sólidos voláteis: 250 mg/L

Sólidos em suspensão totais: 280 mg/L

Sólidos em suspensão fixos: 60 mg/L

Sólidos em suspensão voláteis: 200 mg/L

Sólidos dissolvidos totais: 100 mg/L

Sólidos dissolvidos fixos: 20 mg/L

Sólidos dissolvidos voláteis: 80 mg/L

Sólidos sedimentáveis: 40 mL/L

Comentar sobre a coerência dos resultados.

16. Qual a diferença entre nefelometria e turbidimetria?
17. Que aspectos podem influenciar na precisão dos resultados da determinação da cor de amostras de água através do método da comparação visual?

8. Referências Bibliográficas

- AGUDO, E.G. Notas de Aula da Disciplina “Fundamentos Químicos do Saneamento”, Universidade Mackenzie, 1988.
- APHA, AWWA, WEF – “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 18th ed., 1990.
- BEYRUTH, Z. *et al.* – “Toxic Algae in Freshwaters of São Paulo State”. In: *Algae and Environment: A General Approach*. Sociedade Brasileira de Ficologia, São Paulo, 1992.
- KATO, M.T. Roteiro de aula da disciplina “Qualidade da Água, do Ar e do Solo”, Escola de Engenharia Mauá, 1983.
- PIVELI, R.P. “Qualidade da Água”. Apostila do Curso de Especialização em Engenharia em Saúde Pública e Ambiental da Fac. Saúde Pública – USP, 1996.
- POVINELLI, J. Notas de aula da disciplina “Técnicas Experimentais em Saneamento Ambiental”. Escola de Engenharia de São Carlos, 1979.
- SAWYER, C.N. & Mc CARTY, P.L., “Chemistry for Environmental Engineers”, Mc Graw-Hill Book Company, 3rd ed. 1982.

Questões de múltipla escolha – Aula 5

1. Assinale a alternativa correta:
 - a) As partículas que produzem cor nas águas influenciam na passagem da luz, as que provocam turbidez, não.
 - b) A cor é produzida por sólidos dissolvidos na água, principalmente em estado coloidal, a turbidez é provocada por sólidos em suspensão.
 - c) As partículas que produzem cor nas águas causam absorção e espalhamento da luz; as partículas que provocam turbidez, só provocam absorção da luz.
 - d) As partículas em suspensão, desviam o feixe de luz incidente apenas segundo um ângulo de 90° , as dissolvidas desviam a luz em várias direções diferentes.
 - e) n.d.a.

2. Assinale a alternativa correta:
 - a) A cor real é provocada apenas por sólidos dissolvidos, enquanto que a cor aparente é influenciada pela presença de sólidos em suspensão na água.
 - b) A cor real é sempre maior que a cor aparente.
 - c) A cor real é sempre menor que a cor aparente.
 - d) Cor real e cor aparente são parâmetros independentes, não se relacionando entre si.
 - e) n.d.a.

3. Em uma estação de tratamento de esgotos, para a previsão da sedimentabilidade de um lodo biológico, através do índice volumétrico de lodo, são interrelacionados os parâmetros:
 - a) Sólidos fixos e sólidos voláteis
 - b) Sólidos totais e sólidos em suspensão
 - c) Sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão
 - d) Sólidos em suspensão totais e sólidos em suspensão voláteis
 - e) Sólidos em suspensão fixos e sólidos em suspensão voláteis

4. Para a previsão do grau de mineralização de um lodo biológico, podem ser interrelacionados os parâmetros:
 - a) Sólidos em suspensão fixos e sólidos em suspensão voláteis
 - b) Sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos
 - c) Sólidos em suspensão e sólidos sedimentáveis
 - d) Sólidos sedimentáveis e sólidos voláteis
 - e) Sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis

5. No controle operacional de uma estação de tratamento de esgotos, associa-se a fração sólidos em suspensão voláteis à:
 - a) Carga orgânica biodegradável afluente ao reator biológico
 - b) Carga orgânica total afluente ao reator biológico
 - c) Eficiência do tratamento na remoção de matéria orgânica biodegradável
 - d) Teor de nutrientes presentes no reator biológico
 - e) Biomassa ativa no reator biológico

- 6) São importantes fontes de odor nas águas naturais ou para abastecimento público:

- a) Decomposição anaeróbia de matéria orgânica sulfatada, algas azuis, compostos fenólicos
- b) Decomposição aeróbia de matéria orgânica nitrogenada, detergentes, algas azuis
- c) Decomposição anaeróbia de matéria orgânica nitrogenada, óleos, gás carbônico
- d) Algas azuis, compostos fenólicos, nitrato
- e) Decomposição aeróbia de matéria orgânica sulfatada, óleos, detergentes
- 7) Assinale a alternativa correta:
- a) O aumento da temperatura diminui a velocidade de decomposição de matéria orgânica na água
- b) O aumento da temperatura aumenta a solubilidade dos gases dissolvidos na água
- c) Em uma água poluída por esgoto sanitário, o aumento da temperatura provoca diminuição mais rápida da concentração de oxigênio dissolvido
- d) A variação de temperatura não tem relação com a exalação de gás sulfídrico em águas fortemente poluídas
- e) A manutenção de condições aeróbias em um corpo é independente da temperatura
- 8) Em uma análise de amostra de lodo de um tanque de aeração de sistema de lodos ativados foram obtidos os seguintes resultados:
- Massa do filtro-membrana após filtração de 25 mL do lodo e secagem a 104°C: 0,2312 g
 - Massa do filtro-membrana após calcinação a 600°C: 0,1427 g

A concentração de sólidos em suspensão voláteis da amostra é:

- a) 3540 mg/L
- b) 3260 mg/L
- c) 2990 mg/L
- d) 2870 mg/L
- e) 2650 mg/L

9) Assinale a alternativa em que há coerência entre os resultados das análises:

- a) ST= 1500 mg/L STF= 500 mg/L STV= 500 mg/L
- b) ST= 2000 mg/L SST= 900 mg/L SDT= 1000 mg/L
- c) SDT= 150 mg/L SDF= 100 mg/L SDV= 50 mg/L
- d) SST= 1800 mg/L SSF= 900 mg/L SSV= 800 mg/L
- e) STV= 600 mg/L SSV = 200 mg/L SDV= 300 mg/L

Observações:

ST: sólidos totais

SF: sólidos fixos

SV: sólidos voláteis

SST: sólidos em suspensão totais

SSF: sólidos em suspensão fixos

SSV: sólidos em suspensão voláteis

SDT: sólidos dissolvidos totais

SDF: sólidos dissolvidos fixos

SDV: sólidos dissolvidos voláteis

- 10) Das seguintes frações de sólidos, qual constitui padrão de emissão de emissão de efluentes nas águas naturais:
- a) Sólidos sedimentáveis
 - b) Sólidos em suspensão
 - c) Sólidos voláteis
 - d) Sólidos totais
 - e) Sólidos dissolvidos
- 11) Os parâmetros cor e turbidez possuem maior utilidade nos controles de:
- a) Estações de tratamento de água para abastecimento e estações de tratamento de esgotos
 - b) Poluição de águas naturais e estações de tratamento de água para abastecimento
 - c) Poluição de águas naturais e estações de tratamento de esgotos
 - d) Estações de tratamento de esgotos e estações de tratamento de efluentes industriais
 - e) Poluição de águas subterrâneas e estações de tratamento de efluentes industriais

QUADRO DE RESPOSTAS – AULA 5

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A											
B											
C											
D											
E											
Valor	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	0.9