

# Apêndice D – Índice de Qualidade de Água

## 1. Índice de Qualidade de Água – CCME Canadá

A Rede de Monitoramento das Águas Costeiras da CETESB, embora relativamente nova, oferece valiosas informações sobre a qualidade dessas águas. Contudo, dados apresentados de forma discreta fornecem informações limitadas no que se refere ao diagnóstico geral das áreas monitoradas. Não obstante, estas informações são usadas na gestão da qualidade dessas águas. No sentido de aperfeiçoar a apresentação e integrar as informações geradas optou-se por introduzir neste ano, o cálculo de um Índice de qualidade para as águas costeiras que possa agregar os dados mais relevantes gerando uma classificação que reflète um diagnóstico das áreas avaliadas no litoral paulista.

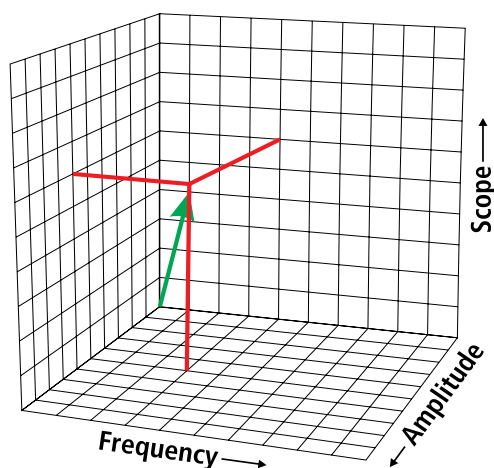
Com esse objetivo foi empregada a metodologia do Índice de Qualidade elaborado pelo CCME - *Canadian Council of Ministers of the Environment* (2001), pois se trata de uma ferramenta devidamente testada e validada com base estatística e aplicável também para águas salinas e salobras.

O método Canadense consiste em uma análise estatística que relaciona os resultados obtidos nas análises com um valor padrão para cada parâmetro incluído no cálculo. Por ser um método estatístico, o modelo não pode ser utilizado para menos de 4 valores. Para tanto, o índice foi calculado para cada ponto de amostragem utilizando-se os resultados obtidos nas três profundidades em duas campanhas, totalizando 6 valores.

A metodologia Canadense contempla 3 fatores principais que se referem às desconformidades em relação à um padrão legal ou valor de referência.

- A. Parâmetros ou abrangência (Scope)
- B. Frequência
- C. Amplitude

**Figura 1** – Modelo conceitual do índice



#### A. Abrangência: Parâmetros Desconformes

Este fator do índice (denominado  $F_1$ ) avalia a quantidade de parâmetros que apresenta não conformidades. Uma área que apresente desconformidade em poucos parâmetros será menos penalizada no cálculo do que uma área que apresente desconformidade em muitos parâmetros analisados. Este fator não considera a frequência das não conformidades de forma que apenas uma ocorrência é suficiente para a inclusão do parâmetro. O cálculo é porcentual simples como apresentado na equação (1):

$$F_1 = \left( \frac{V_{NC}}{V_T} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$V_{NC}$  é o número de variáveis que apresentaram não conformidade em relação aos valores de referência (por exemplo os limites da Resolução CONAMA 357/2005);

$V_T$  é o número total de variáveis analisadas que possuem valores de referência.

#### B. Frequência de desconformidade

Este fator avalia a quantidade de não conformidades como um todo e não diferencia os parâmetros entre si. Desta forma, uma área que tenha poucos parâmetros com não conformidades e que estes parâmetros apresentem resultados sistematicamente não conformes terá seu índice reduzido da mesma forma que uma área em que muitos parâmetros apresentem não conformidades ocasionais. Este fator temporal é impactado pelo fato da CETESB não realizar quatro amostragens anuais. A insuficiência em número de campanhas por ano foi compensada considerando-se as amostras de superfície, meio e fundo de cada uma das duas campanhas anuais realizadas atualmente. O cálculo é apresentado na equação (2).

$$F_2 = \left( \frac{A_{NC}}{A_T} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$A_{NC}$  é o número total de amostras não conformes;

$A_T$  é o número total de amostras.

Nota: incluem-se todas as amostras de todos os parâmetros considerados para o cálculo, mesmo aqueles com menor número (as análises de clorofila consideram apenas superfície e meio).

#### C. Amplitude da desconformidade

Este fator (denominado  $F_3$ ) avalia a amplitude das não conformidades. Neste caso a quantidade de amostras desconformes e o 'tamanho' do desvio em relação ao padrão utilizado serão determinantes. Desta forma um valor 50% acima do padrão teria um peso igual a dois valores que excedessem em apenas 25%. Cada amostra não conforme deve ser comparada ao padrão e o valor total dos desvios deve ser somado segundo as equações (3a), (3b) e (4). A equação (3b) deve ser usada em casos em que existe um valor mínimo e não máximo como é o caso do oxigênio dissolvido.

$$D_i = \left( \frac{NC_j}{R_i} \right) - 1 \quad (3a)$$

$$D_i = \left( \frac{R_i}{NC_j} \right) - 1 \quad (3b)$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{A_T} \quad (4)$$

Onde:

$D_i$  é o desvio do valor da não conformidade em relação ao valor de referência;

$NC_j$  é o resultado das análises não conformes;

$R_i$  é valor de referência para o parâmetro analisado;

$S$  é a somatória normalizada dos desvios.

A parcela  $F_3$  é então calculada seguindo-se uma função assintótica que transpõe o resultado para um número em uma escala de 0 e 100 conforme a equação (5).

$$F_3 = \frac{S}{0,01 \times S + 0,01} \quad (5)$$

### Índice

O índice é então calculado segundo a equação (6).

$$\text{Índice Costeiro} = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \quad (6)$$

O valor 1,732 advém do fato de que o valor máximo para cada fator do índice pode atingir é 100. A visualização gráfica dos três fatores mostra que o vetor resultante pode ser dado pela equação (7).

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173,2 \quad (7)$$

Sendo 173,2 seu valor máximo. Dessa forma, faz-se necessário adicionar o divisor 1,732 para trazer a amplitude máxima do vetor para uma escala de 0 a 100.

O CCME determinou faixas de classificação para o índice que se mostraram bastante satisfatórias em testes realizados pela CETESB e optou-se por utilizar estas faixas em um primeiro momento. As classificações são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Valores e classificação para cada faixa do IQAC

| Faixa de valores do índice | Classificação da faixa |
|----------------------------|------------------------|
| $\geq 95$                  | Ótima                  |
| $< 95$ e $\geq 80$         | Boa                    |
| $< 80$ e $\geq 65$         | Regular                |
| $< 65$ e $\geq 45$         | Ruim                   |
| $< 45$                     | Péssima                |

## 2. Índice de estado trófico costeiro (IETC)

O estado trófico das águas costeiras é uma informação importante para compor o diagnóstico dessas águas. Para tanto, a CETESB desenvolveu uma classificação das águas litorâneas do estado de São Paulo baseada em levantamentos realizados na região.

Para a classificação dessas águas utilizou-se os resultados de clorofila a sendo estabelecidas faixas de concentrações diferenciadas para os ambientes marinho e estuarino, já que esses sistemas possuem características tróficas naturalmente diferentes. Em geral, ambientes estuarinos (salobros) possuem concentrações de clorofila mais elevadas.

Com o objetivo de se estabelecer as faixas de concentrações de clorofila a para cada classe de estado trófico foram utilizados os dados de clorofila a disponíveis dos monitoramentos marinhos e estuarinos realizados em anos anteriores, no período de 2004 a 2011. Com esses dados foram calculados os quartis 25%, 50% e 75% para as diferentes profundidades (superfície, meio e fundo) e ambientes (marinho e estuarino).

### IETC para ambientes marinhos

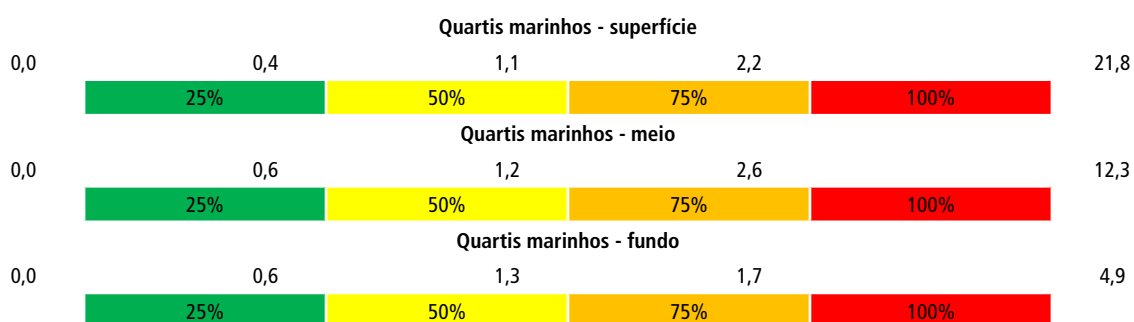
Para se definir o índice trófico a ser utilizado, foram observadas outras classificações feitas para ambientes marinhos. Hakanson (1994 apud Smith *et al.* 1999) propôs uma classificação para ambiente marinho dividindo o estado trófico em 4 classes, considerando, além da clorofila a, as concentrações dos nutrientes fósforo e nitrogênio (Tabela 2).

**Tabela 2** – Classes de níveis tróficos baseada nas concentrações de clorofila a, nitrogênio e fósforo, para ambientes marinhos, proposta por Hakanson (1994 apud Smith et al. 1999)

| Estado trófico | Clorofila a (µg/L) | Nitrogênio (mg/L) | Fósforo (mg/L) |
|----------------|--------------------|-------------------|----------------|
| Baixo          | 1 < CL             | < 0,26            | < 0,01         |
| Médio          | 1 - 3              | 0,26 - 0,35       | 0,01 - 0,04    |
| Alto           | 3 - 5              | 0,35 - 0,40       | 0,03 - 0,04    |
| Hipereutrófico | >5                 | > 0,40            | H > 0,04       |

Considerando a análise dos resultados obtidos de 2004 a 2011 (Figura 2) assim como a classificação desenvolvida por Hakanson (1994 apud Smith, 1999) foi elaborada uma proposta de classificação para ambientes marinhos com 4 classes como apresentada na Figura 3.

**Figura 2** – Quartis 25%, 50% e 75% da clorofila *a*, ambiente marinho (superfície, meio e fundo)



**Figura 3** – Proposta de classificação do ambiente marinho com base nas concentrações de clorofila *a*

| MAR            |                  |
|----------------|------------------|
| Estado Trófico | Clorofila a mg/L |
| Oligotrófico   | CL<1,00          |
| Mesotrófico    | 1,00<CL<2,50     |
| Eutrófico      | 2,50<CL<5,00     |
| Supereutrófico | CL>5             |

### IETC para ambientes estuarinos

No que se refere ao ambiente estuarino pode-se observar resultados superiores aos do ambiente marinho. Os resultados dos quartis 25%, 50% e 75% dos resultados de 2004 a 2011 do ambiente estuarino, incluindo os projetos de Águas Costeiras, encontram-se na Figura 4.

Bricker et al. (2003) propuseram uma classificação para ambiente estuarino dividindo o estado trófico em 4 classes, e, assim como a classificação de Hakanson (1994) foram levados em conta também, além de clorofila *a*, os nutrientes (nitrogênio e fósforo) (Tabela 3).

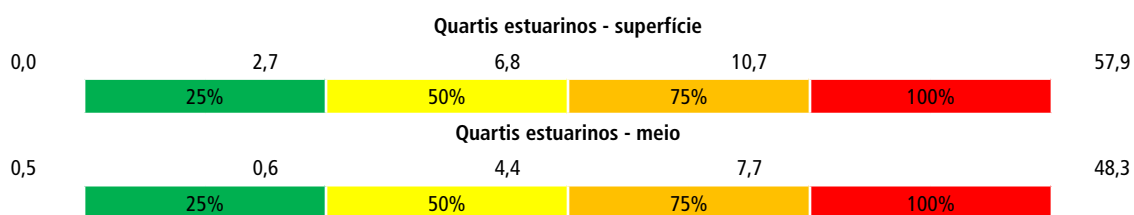
**Tabela 3** – Classes de níveis tróficos baseadas nas concentrações de clorofila *a*, nitrogênio e fósforo, para ambientes estuarinos, proposta por Bricker *et al.* (2003)

| Estado trófico | Clorofila <i>a</i> (µg/L) | Nitrogênio (mg/L) | Fósforo (mg/L) |
|----------------|---------------------------|-------------------|----------------|
| Baixo          | 5<L                       | 0<L<0,1           | 0<L<0,01       |
| Médio          | 5<M<20                    | 0,1<M<1,0         | 0,01<M<0,1     |
| Alto           | 20<H<60                   | H<1,0             | H<0,1          |
| Hipereutrófico | <60                       |                   |                |

Considerando o conjunto de dados dos monitoramentos realizados assim como a classificação proposta por Bricker et al. (2003) foi desenvolvida uma classificação.

Os valores máximos do estado mesotrófico (2,50 µg/L, para ambiente marinho e 10,0 µg/L, para ambiente estuarino) foram utilizados para compor o Índice de Qualidade de Águas Costeiras.

**Figura 4** – Quartis 25%, 50% e 75% para clorofila *a*, ambiente estuarino (superfície e meio)



**Figura 5** – Proposta de classificação do ambiente estuarino baseada nas concentrações de clorofila *a*

| ESTUÁRIO       |                         |
|----------------|-------------------------|
| Estado Trófico | Clorofila <i>a</i> µg/L |
| Oligotrófico   | CL<3                    |
| Mesotrófico    | 3<CL<10                 |
| Eutrófico      | 210<CL<30               |
| Supereutrófico | CL>30                   |

## ÍNDICES DE QUALIDADE DO SEDIMENTO

### 1. Índice de Qualidade Ecotoxicológica do Sedimento

No monitoramento da Rede Costeira, as amostras de sedimento coletadas no primeiro semestre, exceto para o Canal de Bertioga e Canal de Santos, nos quais as amostras foram coletadas no segundo semestre, foram analisadas por meio do ensaio agudo com o anfípodo marinho *Grandidierella bonnieroides*. Esse ensaio consiste na exposição de jovens à amostra de sedimento por um período de 10 dias (ABNT, 2016).

Os resultados das amostras, considerando a mortalidade dos organismos, foram comparados com os dos controles, de forma a identificar diferenças estatisticamente significativas, com a aplicação do teste de bioequivalência contido no programa estatístico TOXSTAT 3.5 (WEST INC. & GULLEY, 1996).

Como não existem padrões de qualidade de sedimentos na legislação brasileira, a CETESB utiliza, no caso de substâncias tóxicas, os critérios de qualidade do CCME (ISQG ou TEL e PEL) e para as concentrações de outras substâncias como nutrientes adota alguns valores de referência propostos pela CETESB baseados em bibliografia e resultados dos monitoramentos realizados na zona costeira (BERBEL, 2008). Para os relatórios futuros estão sendo discutidas novas metodologias e alternativas de classificação da qualidade dos sedimentos costeiros que poderão integrar esse estudo tornando-o mais representativo.

A Tabela 4 apresenta as faixas de classificação para os resultados ecotoxicológicos, nos quais as amostras que não apresentam diferença significativa em relação ao controle, ou seja, ausência de toxicidade, são classificadas como Ótimas. Por outro lado, nas amostras com diferença significativa, consideradas tóxicas, a intensidade dos efeitos observados, isto é, a porcentagem de mortalidade nos ensaios com *Grandidierella bonnieroides*, foi utilizada para definir a classificação da amostra em Ruim ou Péssima.

**Tabela 4** – Classificação das amostras de acordo com os resultados ecotoxicológicos

| Classificação | <i>Grandidierella bonnieroides</i> |
|---------------|------------------------------------|
| Ótima         | Não tóxico <sup>(a)</sup>          |
| Ruim          | Mortalidade <50% <sup>(b)</sup>    |
| Péssima       | Mortalidade ≥50%                   |

(a) Não apresenta diferença significativa em relação ao controle.

(b) Mortalidade inferior a 50%, porém apresentando diferença significativa em relação ao controle

A avaliação ecotoxicológica crônica, com *Lytechinus variegatus*, não tem sido realizada, uma vez que este ouriço-do-mar foi incluído na lista de espécies vulneráveis publicada na Portaria do Ministério do Meio Ambiente MMA nº 445/2014. Outras espécies de ouriço-do-mar estão sendo estudadas para a substituição do *Lytechinus variegatus* no monitoramento futuro.

## 2. Índice de qualidade microbiológica de sedimento costeiro (IQMSC)

Para a avaliação da qualidade microbiológica de sedimentos usualmente é realizada a pesquisa e quantificação de *Clostridium perfringens* e de coliformes termotolerantes. Os coliformes termotolerantes são os microrganismos amplamente utilizados para avaliação da poluição de origem fecal recente, sendo constituídos predominantemente pela bactéria *Escherichia coli*, considerada o indicador mais adequado. Os clostrídios, também constituintes da flora fecal humana e de animais de sangue quente, são considerados importantes indicadores biológicos e a sua presença pode ser natural ou causada por descargas de origem antrópica. Por serem microrganismos produtores de esporos são capazes de resistir por muito mais tempo no ambiente em comparação aos coliformes termotolerantes. *Clostridium perfringens* é usado como indicador de poluição fecal remota. Sabe-se que a concentração dessa espécie diminui com a profundidade e com a distância das fontes de esgoto.

Esses indicadores foram analisados pela Técnica de Tubos Múltiplos, e, portanto, as concentrações nas amostras de sedimento são expressas em “Número Mais Provável” (NMP) por 100 gramas de amostra. A interpretação dos resultados é difícil já que não existem padrões ou valores orientadores para microrganismos nesse compartimento, e *C. perfringens* tem sido sempre detectado em concentrações bastante elevadas em todas as amostras de sedimento. Assim, foi elaborada uma proposta de classificação em cinco categorias utilizando-se os resultados obtidos desde 2006 em várias regiões do litoral. Para a definição das classes foram levadas em consideração algumas características das regiões do litoral, como o nível de impacto (baixo impacto: Cocanha e Mar de Cananeia; médio impacto: Saco da Ribeira e Canal de São Sebastião; alto impacto: Canal de Santos, Canal de São Vicente e Canal de Bertioga), a qualidade dos compartimentos água e sedimento nessas regiões e a presença de descargas de esgoto doméstico. Essa análise associada ao conjunto de resultados de vários anos de monitoramento permitiu construir a proposta de classificação (Tabela 5).

**Tabela 5** – Classificação para os parâmetros microbiológicos

| CATEGORIA | CTt      | <i>Clostridium perfringens</i> |
|-----------|----------|--------------------------------|
| ÓTIMA     | ≤ 200    | ≤ 10.000                       |
| BOA       | ≤ 500    | ≤ 50.000                       |
| REGULAR   | ≤ 1.000  | ≤ 100.000                      |
| RUIM      | ≤ 10.000 | ≤ 500.000                      |
| PÉSSIMA   | > 10.000 | > 500.000                      |