



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

QUALIDADE DA ÁGUA

QUALIDADE DAS ÁGUAS NA ESTAÇÃO DE PONTE NOVA DO PARAOPEBA
E USO DO "ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS"

ELIANE DRUMMOND ABDALA

- . Engenheira Química; Mestre em Engenharia Sanitária
- . Técnico de nível superior - ABES - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
- . Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/CNPq.

BELO HORIZONTE - MINAS GERAIS - BRASIL

RESUMO

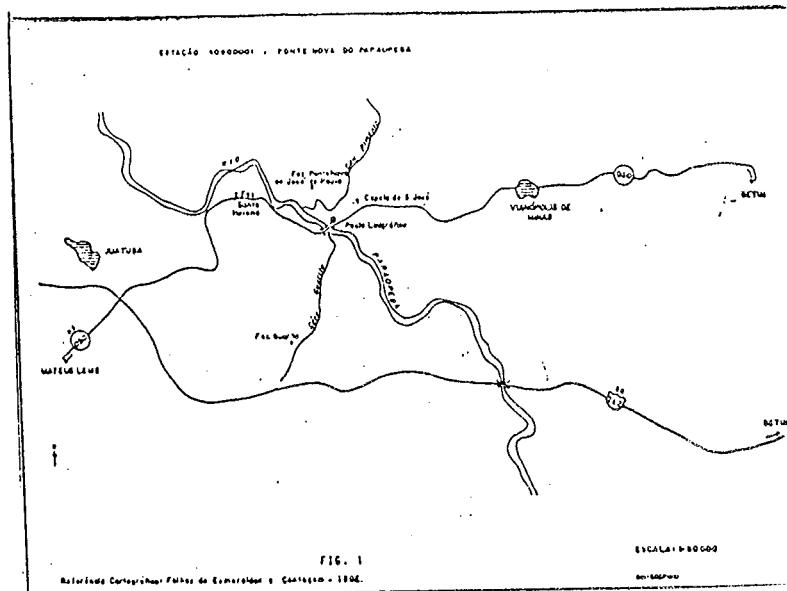
Efetua-se um levantamento das informações existentes sobre a Estação de Qualidade das Águas de Ponte Nova do Paraopeba, localizada na sub-bacia do Rio Paraopeba e procedeu-se à consistência desses dados.

Foi feita uma análise da localização dessa Estação e conclui-se pela sua manutenção como estação de controle de qualidade das águas, pela aplicação do Índice de Qualidade da Água Geral (sem uso específico), com uma frequência de 16 (dezesesseis) coletas por ano e parâmetros adicionais de substâncias tóxicas nos meses de estiagens.

Propõe-se a adoção dessa metodologia aplicada à Estação de Ponte Nova do Paraopeba para reformulação do monitoramento da rede de qualidade das águas no Estado de Minas Gerais.

1- ESCOLHA DA ESTAÇÃO - A Estação de Ponte Nova do Paraopeba é uma estação hidrométrica (pluviométrica e linigráfica) "on stream" cadastrada pelo DNAEE 5º distrito (Departamento Nacional de Águas e Energia) sob o nº 40800001, localizada em Ponte Nova do Paraopeba na sub-bacia do Rio Paraopeba, bacia do Rio São Francisco, distrito de Betim, Estado de Minas Gerais (MG) - Brasil. As referências cartográficas são: Folha de Itaúna, Carta de MG - Esc.: 1:100.000 - Latitude 19'56'5 e Longitude 44°17' WG.

Fig. 1 Croqui de localização da Estação de Ponte Nova do Paraopeba,

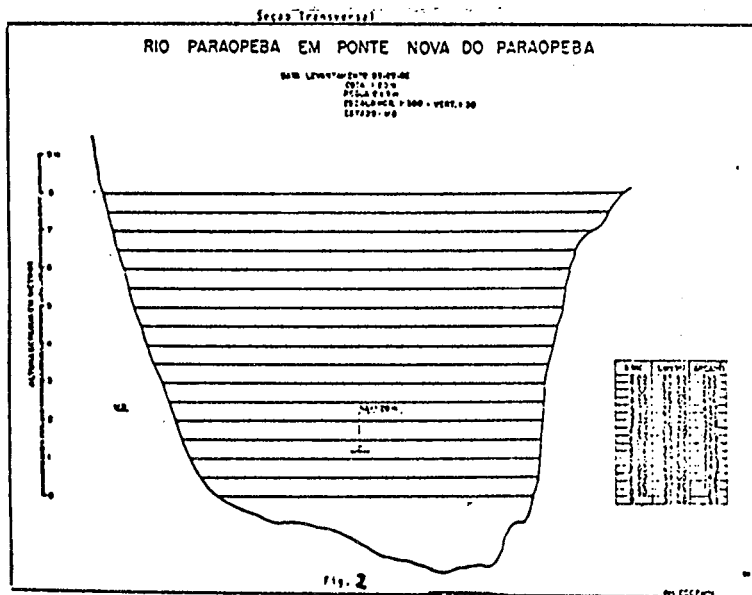


Essa Estação estabelecida em 27/11/73 pela Turma de Divisão de Águas do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) é de fácil acesso por rodovia.

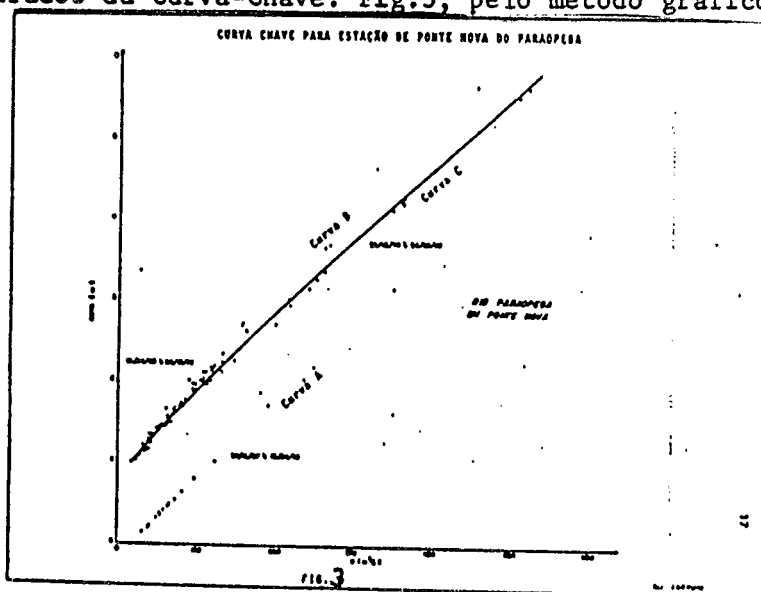
A drenagem local é do Rio São Francisco.

A escolha dessa estação para o estudo efetuado foi feita pelo fato dela ser: Fluviométrica desde 27/11/73; Qualidade das Águas desde 10/07/73; possuir uma seção transversal regular; ser sedimentométrica desde 19/12/75; Fluviográfica desde 01/05/76 e estar mais próxima de um dos dois principais sistemas* de abastecimento de água de Belo Horizonte. A altitude é de 720 m e a área da bacia hidrográfica é de 5663 Km². A natureza do leito no local é argilosa-arenosa e a cota de transbordamento é de 9,15 m. O canal estreita-se a 100m de jusante, onde existe uma corredeira. A Estação possui condições hidrológicas regulares e a sua implantação se fez com o objetivo do estudo do deflúvio, da descarga e da qualidade das águas do Rio Paraopeba. A fig. 2 representa a seção transversal da Estação em 1982.

* Sistema inaugurado em 03/02/83, para atendimento a um milhão de pessoas de baixa renda da região norte e oeste de Belo Horizonte e mais de 6 municípios vizinhos. Sua vazão atual é de 2600 l/s.



2- CONSISTÊNCIA DOS DADOS - Foram utilizados os dados de qualidade das águas (parâmetros físicos, físico-químicos e químicos) e sedimentométricos (sedimento em suspensão) no período de 10/07/73 a 16/05/79 em amostras de água coletadas com uma frequência mensal variável nesse período de 3 a 1 coleta/mês, analisadas pela C.P.R.M. (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) para o DNAEE. Foi efetuada coleta diária pelo observador local, para determinação de sedimento em suspensão no período de 24/08/76 a 30/10/79 (exceto de agosto a outubro de 77 e maio de 79). Os dados de vazão média foram fornecidos pelo DNAEE e os demais valores retirados da Curva-Chave. Fig.3, pelo método gráfico.



Posteriormente, foram feitas amostragens diárias no período de 40 dias, de 11/09/79 a 20/10/79. Para essas amostras, os dados de vazão foram retirados também da Curva-Chave.

As amostras foram coletadas pelo método I.V.C. (Integração Vertical Contínua) em 03 verticais da seção transversal molhada de acordo com as normas do U.S.G.S. United States Geological Survey (Guy & Norman, 1970), utilizando-se os amostradores de integração por profundidade, com exceção para as determinações de constituin-

tes voláteis e aqueles prejudicados pela aeração (Brown et al, 1970), (Goerlitz et al, 1972) e (Standard Methods, 1980). O volume de água recolhido foi misturado e homogeneizado. Os valores de temperatura pH e condutividade elétrica foram medidos "in loco", para maioria das amostras. Somente a partir de 1977, passou-se a utilizar o conjunto de filtração portátil, à vácuo com membrana filtrante de 0,45 μm acrescentando-se o tratamento posterior, conforme a determinação do grupo de constituintes. Os parâmetros nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, ferro, manganês, nitrato, sílica, cobre e fosfatos totais, foram determinados colorimetricamente. Os metais passaram a ser analisados pela absorção atômica a partir de 1975. Os dados relativos ao período de julho de 73 a maio de 79, foram listados, eliminando-se os parâmetros com menos de 20 determinações. A ocorrência de irregularidade foi examinada com auxílio da análise de diversas correlações entre os constituintes determinados. Foram retirados os dados de oxigênio dissolvido superiores a 8 mg/l. Após a eliminação desses valores procedeu-se a um estudo estatístico dos dados confiáveis pela aplicação do Programa SPSS/Statistical Package for the Social Sciences, (Abdala, 1983).

As observações obtidas desse estudo estatístico foram as seguintes: (1º) os valores dos desvios padrões estavam acima dos valores médios para os metais dissolvidos, indicando alta dispersão dos dados, que poderia ser explicada em função da variação desse parâmetro ao longo do período ou do limite de detecção do método analítico adotado. Considerando o limite de detecção para esses metais dissolvidos (Brown et al, 1970), utilizando-se colorimetria e espectrofotometria por absorção atômica, concluiu-se que os valores obtidos na análise estatística se deviam à inadequação de alguns dos métodos analíticos adotados, impossibilitando a verificação da segunda hipótese, referente à variação do parâmetro ao longo do tempo. Considerou-se então esses resultados como não confiáveis e portanto não possíveis de interpretações. (2º) para sólidos em suspensão (em mg/l) e cor (APHA/American Public Health Association) o valor do desvio padrão foi superior ao valor médio indicando alta dispersão dos dados. Para essas duas determinações o ocorrido corresponde realmente à variação do parâmetro ao longo do período de estudo, seis anos. A amplitude para sólidos em suspensão foi de 1338 mg/l e para cor 348 (APHA). (3º) Para determinações de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, os valores dos desvios padrões estão acima dos valores médios. Os valores médios encontrados para essas determinações estão dentro dos limites de detecção dos métodos analíticos utilizados. A alta dispersão dos dados pode ser explicada em função da variação desses parâmetros ao longo do período de 6 anos, sendo de 15,0 mg/l a amplitude da amônia, 0,04 mg/l a do nitrito e de 4,3 mg/l para nitrato.

3- FONTES INDUSTRIAIS POLUENTES NA REGIÃO DE PONTE NOVA DO PARAPEBA - A sub-bacia do Rio Parapeba foi dividida em 4 regiões para estudo, em função da localização e do número desses municípios, conforme critérios adotados pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. A bacia onde se localiza a Estação compreende 3 municípios: Contagem; Ibirité e parte de Betim. Foram cadastradas, preliminarmente 475 indústrias, sendo 370 em Contagem, 96 em Betim e 9 em Ibirité. Os principais tipos de indústrias são: metalurgia, beneficiamento de minerais não metálicos, produtos alimentares, indústria mecânica e de material elétrico. As estimativas de emissão de efluentes para 52 dessas indústrias são: 9,1 t/dia de DBO₅; 303 Kg/dia de óleos e graxas; 27 Kg/dia de cianetos; 684 Kg/dia de amônia; 27 t/dia de sólidos em suspensão e 355 Kg/dia de fenóis.

A carga estimada de sólidos em suspensão não inclui a contribuição proveniente das minerações na região, fator significativo para as águas do Rio Parapeba. Centrando-se a estação em estudo em uma circunferência com raio de 20 Km, doze dessas 52 indústrias foram localizadas dentro do círculo com a seguinte contribuição total de seus efluentes: 1,6 t/dia de DBO₅; 16,1* t/dia de sólidos em suspensão; 27 Kg/dia de cianetos; 684 Kg/dia de amônia; 120 Kg/dia de fenóis. As cargas estimadas para essas 12 indústrias representam em relação ao total estimado para as 52 indústrias: 17,7 % em termos de DBO₅; 58,25 % de sólidos em suspensão; 100 % de cianetos e 33,8 % de fenóis. As contribuições dos esgotos municipais não se incluem nos valores acima.

Com esse levantamento e o estudo das informações existentes, partiu-se para uma pesquisa com o objetivo de se determinar: 1º) quais e quantos parâmetros deveriam ser analisados em uma Estação de Qualidade das Águas e qual deveria ser a frequência de amostragem; 2º) quais as diretrizes para localização, manutenção ou realocação de uma Estação de Qualidade das Águas; 3º) a importância da aplicação do Índice de Qualidade das Águas Multiplicativo "I.Q.A.M." geral da reformulação da rede de monitoramento e controle de qualidade das águas no Estado de Minas Gerais.

4- APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA / "I.Q.A." - Em um estágio preliminar para construção do Índice de Qualidade das Águas, foi proposto um esquema de classificação, que transformava os parâmetros com diferentes unidades de concentração em notas com unidades uniformes de qualidade, através de curvas específicas para cada parâmetro, desenvolvidos com base na opinião de um painel de 74 espe

* Esses sólidos são lançados diretamente no Rio Betim, sem tratamento, provenientes de uma siderúrgica que contribui com 15,2 t/dia de sólidos em suspensão.

cialistas com conhecimento em água, em diversas regiões geográficas dos EEUU, pelo método Delphi (Dalkey, 1974) (Brown et al, 1970). Cada participante indicou qual seria o comportamento da água, de acordo com a concentração de cada parâmetro, individualmente (Abdala, 1983). Os dados foram obtidos de águas superficiais, fluindo a velocidades mensuráveis, não se aplicando para qualidade da água de lagos ou águas subterrâneas. A significância relativa (peso) ao se incluir cada parâmetro no índice foi também determinada pelo mesmo painel de especialistas. Esse índice tem como finalidade ser um instrumento que sumariza o maior número de informações sobre a qualidade das águas para administradores e para o público em geral, devendo ser conceitualmente simples e fácil de ser calculado. O índice deverá ser influenciado por todos os parâmetros e especialmente por aqueles que representem nível de qualidade extremamente inferiores na amostra de água. Um sistema de monitoramento de qualidade da água é caracterizado pelo número e local das estações de amostragens, pelas variáveis medidas e pela frequência de amostragem. Os índices de qualidade de água podem assim ser utilizados na determinação de valores ótimos para essas variáveis e as estações redundantes passam a ser identificadas e eliminadas, através do uso da análise da variância aplicada a valores do índice de qualidade da água nas estações vizinhas.

O índice de qualidade da água aritmético "WQIA" (Brown et al, 1974) foi proposto como sendo uma média aritmética para classificações de qualidade dos 9 parâmetros: Contagem de colifecal, pH, DBO₅, Nitratos, Fosfatos Totais, Gradiente de temperatura, Turbidez, Sólidos Totais, O.D. % de saturação, expresso como:

$$WQIA = \sum_{i=1}^9 a_i T_i (p_i) = \sum_{i=1}^9 a_i q_i \text{ onde } q_i = T_i (p_i) \text{ e } \sum_{i=1}^9 a_i = 1 \text{ e}$$

p_i = concentração média do parâmetro i , na amostra de água;

T_i = classificação na curva de qualidade da água (função de transformação) do parâmetro que expressa a qualidade da água, q_i como uma função do parâmetro p_i ;

q_i = contribuição para a qualidade da água do parâmetro i ;

a_i = peso aritmético do parâmetro i .

Observação: a_i foi definido como : $a_i = \frac{t_i}{\sum_{i=1}^9 t_i}$ onde t_i são os pesos transitórios

assumidos pelos iésimos parâmetros.

Os especialistas consultados definiram a importância de inclusão de cada parâmetro no índice classificando-os desde 1 ao de maior importância até 5 ao de menor importância. As classificações médias dos 9 parâmetros foram calculadas e divididas pela classificação média do oxigênio dissolvido, parâmetro escolhido como o mais importante. Os resultados normalizados estão representados por t_i , $i=1,2, \dots, 9$. Numa tentativa de se obter uma faixa de 0 a 100 para os valores do índice, conservando a simplicidade na construção e permitindo-se a influência dos parâme-

tros de baixa qualidade, foi proposto o índice multiplicativo expresso como:

$$WQIM = \prod_{i=1}^9 [T_i (p_i)^{a_i}] = \prod_{i=1}^9 q_i a_i \text{ onde, } p_i, T_i, q_i, a_i, i=1,2,3 \dots 9, \text{ são}$$

os mesmos definidos para o "WQIA". Esse índice representa a média geométrica e possui diversas vantagens notáveis por ser conceitualmente simples. A qualidade é uma função do produto de todos os níveis de qualidade dos parâmetros individuais, deste modo, o "WQIM" assume automaticamente o valor zero, quando qualquer parâmetro tiver um nível de qualidade nulo. Os pesos são aplicados exponencialmente e teoricamente o "WQIM" poderá ter valores entre 0 e 97, sendo seu limite superior imposto pelas formas das curvas de classificação T_i , $i=1,2,\dots,9$ (Abdala 1983). Quando aplicado a dados experimentais de campo, o "WQIM" alcança valores de 17 a 96, tendo uma amplitude maior que o "WQIA", possuindo pois um mecanismo discriminativo melhor (Brown et al, 1973) (McClelland) et al, 1973). No desenvolvimento do "WQIM" Landwehr (LANDWEHR, 1974) usou os mesmos parâmetros do índice desenvolvido por Brown et al, considerando a existência da curva de classificação da qualidade da água para os 9 parâmetros.

As descrições verbais para a qualidade da água foram relacionadas com as classificações numéricas para os índices de qualidade de águas através de levantamentos feitos a especialistas em qualidade da água. Foi apresentado um determinado número de amostras permitindo a eles classificá-las segundo uma faixa verbal ("muito ruim", "ruim", "média", "boa" e "excelente" ou "muito boa") e outra faixa numérica com notas de 0 a 100. A seguir, foi feita a comparação dessas classificações com aquelas calculadas pelos vários índices. A correlação obtida foi alta de acordo com as seguintes faixas: "excelente" ou "muito boa", 100-90; "boa", 90-75; "média", 75-45; "ruim" 45-20; "muito boa", 20-0.

Após estudos estatísticos efetuados (LANDWHER, 1974) pode-se concluir, entre outras observações, que os índices multiplicativos são mais correlacionados com as variações médias, tanto verbais, quanto numéricas, em relação aos índices aritméticos.

5 ANÁLISE DOS PARÂMETROS COMPONENTES DO "I.Q.A." / PARA APLICAÇÃO EM PONTE NOVA DO PARAPEBA.

Dos parâmetros medidos e estudados em Ponte Nova do Paraopeba, no período de julho de 73 a maio de 79, seis são componentes do "I.Q.A." (LANDWHER, 1974) : OD, pH, Turbidez, Nitrato, Resíduo Total de Evaporação e Temperatura. A temperatura definida no "I.Q.A.", refere-se ao gradiente de temperatura obtido a partir da temperatura de equilíbrio, sendo essa temperatura a que o curso da água alcançaria, nas condições predominantes de tempo, quando não sofresse alteração pela ação de qualquer descarga, como definido por Landwehr. O intervalo de variação de temperatura para Ponte Nova do Paraopeba foi adotado como zero, desde que no lo-

cal e nas proximidades da estação não há lançamento de efluentes industriais a temperaturas com diferença significativa.

As condições climáticas na região não apresentam variações elevadas para as estações de verão e inverno. O coeficiente de variação para a temperatura, obtido do estudo estatístico, foi de apenas 16 % para o período de 6 anos. Os impactos individuais de cada parâmetro na qualidade da água são apresentados sob a forma de curvas, que conferem uma determinada nota de 0 a 100 para cada valor de um parâmetro específico. Essas curvas são resultado do trabalho de Landwher (LANDWHER, 1974) e representam a opinião dos diversos especialistas consultados (Brown et al, 1970). Para os seis parâmetros foram calculadas as variações das notas, o número de medições e o coeficiente de variação (Abdala, 1983). Com relação à variação nesse período de aproximadamente 6 anos e a representatividade nas curvas de Qualidade da Água, são significativas as alterações de Turbidez e de Sólidos Totais principalmente para esse último, cuja amplitude foi de aproximadamente 705, com valor médio de 212. A correlação linear entre os valores da Turbidez e dos Sólidos em Suspensão nesse período apresentou um valor de 76,52 %. Concluímos pois que os dados coletados e analisados em Ponte Nova do Paraopeba, no período de julho/73 e maio/79, a Turbidez e os Sólidos Totais apresentaram as maiores variações nas notas obtidas da curva de Qualidade da Água. No trabalho de pesquisa de Ponte Nova do Paraopeba (Abdala, 1983) foi solicitada a opinião de diversos especialistas nacionais e internacionais sobre a ordem de importância e os pesos numéricos relativos aos parâmetros: OD, Coliformes Fecais, pH, DBO₅, Nitratos, Fosfatos, Temperatura, Turbidez e Sólidos Totais, considerando o uso da água para abastecimento, após tratamento convencional com as seguintes etapas: coagulação, sedimentação, filtração rápida e desinfecção com cloro. No texto dessa avaliação não foi mencionado que: 1º) esses parâmetros eram coincidentes com aqueles utilizados no cálculo do "I.Q.A." nos EEUU; 2º) os "Fosfatos" correspondiam a Fosfatos Totais; 3º) a "Temperatura" deveria se referir entre o valor medido e aquele ao qual se convencionou chamar de equilíbrio para a água no local de coleta; 4º) o O.D. deveria ser considerado como o percentual de saturação. Constatou-se no entanto, a observação da variação ampla e dos valores elevados de turbidez e sólidos totais para o período de 6 anos e também a ocorrência de elevados valores de coliformes fecais, no período posterior de 40 dias de coletas diárias de 11/09/79 a 20/10/79.

As anotações dos especialistas consultados (técnicos na área de qualidade das águas com experiência em sistemas de monitoramento de qualidade das águas, tratamento e análises de águas) estão sintetizadas no estudo realizado para Ponte Nova do Paraopeba (Abdala, 1983), bem como a relação desses participantes e sua qualificação profissional. Na primeira Etapa, 35 especialistas foram consultados.

Foram atribuídos pesos aos parâmetros e o critério adotado para eliminação dos valores situados dentro da faixa $\bar{x} \pm 2s$, correspondendo a aproximadamente 95 %, em uma distribuição normal. A eliminação foi feita sucessivamente em 4 passos, mantendo-se até o final a opinião de 14 especialistas e as seguintes médias de valores dos pesos relativos ao (Quadro 1), a seguir:

QUADRO 1
Pesos dos parâmetros

ORDEM	PARÂMETROS	PESOS (Valores médios)
1	coliformes fecais	0,17
2	O.D.	0,13
3	sólidos totais	0,13
4	turbidez	0,12
5	pH	0,11
6	DBO ₅	0,11
7	nitratos	0,08
8	fosfatos totais	0,08
9	temperatura	0,07

Obs.: O.D. e sólidos totais obtiveram os mesmos pesos, como também pH e DBO₅, nitratos e fosfatos totais.

A partir da comparação da ordem dos pesos entre os resultados deste trabalho (Abdala, 1983) e os da pesquisa conduzida nos EEUU (Landwher, 1974), pode-se observar que a turbidez e os sólidos em suspensão, como parâmetros que determinam a necessidade das operações de coagulação, decantação e filtração, foram importantes na pesquisa para Ponte Nova do Paraopeba, ao contrário da que foi realizada nos EEUU, onde não foi indicado o uso específico da água para abastecimento.

Na 2ª Etapa da pesquisa, foi feita nova consulta a 20 especialistas, sobre qual seria o peso dos 9 parâmetros, considerando a qualidade da água sem uso específico, sob o aspecto global. Nessa 2ª Etapa, permaneceram participantes da 1ª Etapa, entraram novos e saíram outros, cujas respostas não foram obtidas.

Adotando-se o mesmo critério de confiabilidade de 95 % em uma distribuição normal, foram considerados os valores dos pesos dentro da faixa de $x \pm 2s$. A eliminação dos valores extremos foi feita sucessivamente em 2 passos, mantendo-se até o final a opinião de onze especialistas.

Os pesos dos parâmetros estão no Quadro 2.

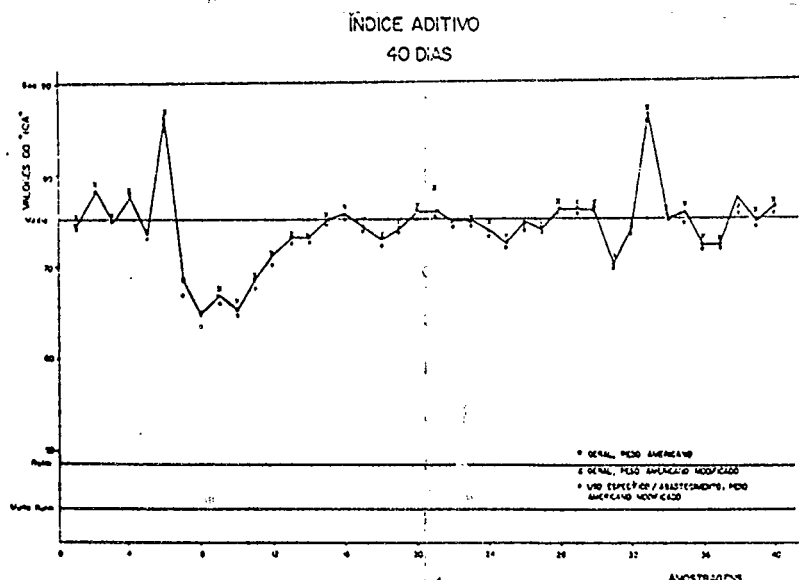
QUADRO 2
Pesos dos parâmetros

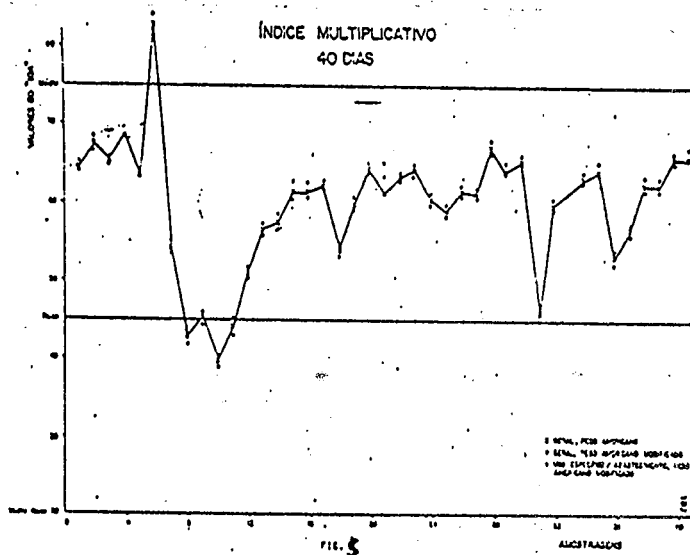
ORDEM	PARÂMETROS	PESOS (Valores médios)
1	O.D.	0,170
2	coliformes fecais	0,146
3	pH	0,124
4	DBO ₅	0,135
5	nitratos	0,089
6	fosfatos totais	0,097
7	temperatura	0,082
8	turbidez	0,074
9	sólidos totais	0,082

À partir da comparação dos pesos na pesquisa em Ponte Nova do Paraopeba e a pesquisa realizada nos EEUU, pode-se observar que Turbidez e Sólidos Totais, ocuparam a última posição em ambos os casos, ao contrário da pesquisa feita na 1ª Etapa, considerando o uso da água para abastecimento. Foi feito o cálculo das médias ponderadas dos pesos obtidos nos EEUU e no Brasil. Não houve variação entre a média ponderada dos pesos atribuídos a esses 9 parâmetros nessa 2ª Etapa da pesquisa e os pesos originais da pesquisa nos EEUU. Existe um alto grau de concordância entre os pesos obtidos, exceto quanto a uma pequena diferença de ordenação entre o pH e a DBO₅. Os especialistas brasileiros atribuíram a DBO₅ importância maior, refletindo provavelmente a necessidade de maior ênfase aos programas de tratamento de esgotos. Pode-se pois, concluir que os resultados obtidos são praticamente equivalentes. A composição média ponderada dos resultados obtidos não iria alterar significativamente os pesos estabelecidos pelo levantamento realizado nos EEUU, considerando a participação de 11 especialistas no total de 85 (11 brasileiros e 74 americanos).

6- ANÁLISE DOS PARÂMETROS EM PONTE NOVA DO PARAOPEBA, NO PERÍODO DE 11/09/79 A 20/10/79, PARA APLICAÇÃO DO "I.Q.A." - Para o período, foi feita a coleta diária em Ponte Nova do Paraopeba, para determinação dos parâmetros de interesse no cálculo do "I.Q.A".

Outros parâmetros foram também analisados (Abdala, 1983). As amostras foram filtradas no campo, sob pressão, utilizando-se o papel de filtro SS Faixa Azul, processando-se o tratamento e preservação necessária, de acordo com o parâmetro a ser determinado. Os valores de O.D. foram analisados pelo método de Winckler. O índice foi calculado para os 3 conjuntos de pesos pesquisados: 1º) pesos sugeridos pelos 74 especialistas americanos, para uso geral; 2º) pesos sugeridos pelos 74 especialistas americanos, modificados pela pesquisa feita aos especialistas brasileiros, para uso de abastecimento; 3º) pesos sugeridos pelos 85 especialistas americanos e brasileiros, para uso geral. Utilizando-se esses pesos foi feito o cálculo do "I.Q.A." Aditivo e Multiplicativo e construídos os gráficos correspondentes a essas variações (Abdala, 1983). A Fig. 4 e 5 representam esses gráficos.





Pode-se concluir, que a variação obtida no "I.Q.A." (Aditivo e Multiplicativo) para os 3 conjuntos calculados corresponde em algumas datas da coleta ao 1º algarismo duvidoso e ao segundo algarismo significativo, não apresentando modificações importantes. Os valores obtidos para cor em todas as amostras estão fora dos padrões estabelecidos pela Portaria nº 56/Bsb/77 do Ministério da Saúde, para água potável, bem como também o valor da Turbidez (FTU). O valor do alumínio (mg/l) excedeu o limite para 13 amostras coletadas nesse período e o ferro total para uma amostra. As substâncias listadas como apresentando risco potencial à saúde estão relacionadas nessa mesma portaria.

7- POLUIÇÃO CAUSADA PELAS MINERAÇÕES NA REGIÃO DE PONTE NOVA DO PARAPEBA - Os valores elevados para Turbidez, Sólidos em Suspensão e cor, nos dois períodos de estudo estão diretamente relacionadas à poluição causada pelas atividades de mineração na Região do Vale do Paraopeba principalmente o Alto e Médio Paraopeba, que se destaca pela produção de ferro e manganês e outras 15 substâncias de valor econômico para o Estado e o País. A situação legal do Vale em 1981 em relação às atividades de mineração, está no cadastro do DNPM (Abdala, 1983). As minerações localizadas na região da Estação em estudo, têm suas frentes de lavra à montante da Estação de Ponte Nova do Paraopeba. Poucas empresas possuíam, nessa época, sistemas de prevenção quanto ao lançamento de seus efluentes nos cursos d'água ou de controle de erosão. Não foi possível uma estimativa quantitativa, podendo-se estimar qualitativamente que essa contribuição é bastante significativa pelos valores dos parâmetros de Turbidez, Sólidos Totais, Sólidos em Suspensão, cor e pelo aspecto visual das águas turvas do Rio Paraopeba. Os mapas da área do Vale do Paraopeba, contendo os principais cursos d'água e os locais das minerações em atividades se encontram nos diversos Relatórios de viagem do DNPM (Abdala, 1983).

8- DETERMINAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM EM PONTE NOVA DO PARAPEBA - Adotou-se um método prático para o cálculo da frequência de amostragem e do "I.Q.A.". A frequência de amostragem anual ou sazonal baseia-se na formulação (1) $n = \left(\frac{f \cdot s \cdot z}{L} \right)^2$

sendo necessário o levantamento de dados para estimativa de s e L , onde :
 L = precisão do parâmetro, ou seja, o intervalo de confiança de um valor médio de n resultados, que define a faixa, contendo o valor médio verdadeiro para um determinado nível de confiança: s = estimativa do desvio padrão: n = número de itens amostras e z = fator dependente do nível de confiança, sendo substituído pela "t" da distribuição de Student para $n < 30$. "f" tem o valor de 1 para a média aritmética (Abreu, et al, 1979) (Ellis et al, 1980) (Chalmers, 1982).

A análise estatística dos dados coletados no período de 6 anos, mostrou que os parâmetros apresentavam usualmente variabilidades diferentes. Pode-se também inferir que os parâmetros irão se comportar de uma forma diversa para diferentes estações. Algumas generalizações baseadas em estudos de variabilidade em rios são comumente observadas. A distribuição dos valores para um parâmetro em uma estação particular, tende a ser normal e os desvios dessa distribuição, quando ocorrem, não são usualmente suficientes para invalidar os cálculos feitos para essa hipótese. Desse modo, a expressão definida em (1), que é a fórmula para o cálculo estatístico da precisão, pode ser utilizada como uma aproximação satisfatória, no cálculo do número suficiente de amostras para obtenção da precisão (para o valor médio observado). Os valores médios dos parâmetros podem ser obtidos a partir de um conjunto de amostras coletadas durante um certo período do ano, por exemplo, o período seco de junho a dezembro para a Estação em estudo, bem como também para um ciclo hidrológico * completo, quando então se considera todas as amostras durante um ano. A estimativa da frequência de coleta de amostra para um ano hidrológico completo foi feita estabelecendo-se o limite de precisão como sendo de 0,5 o desvio padrão. Desse modo, substituindo-se em (1) os valores de $f=1$, $k= 1,96$ e $L=0,5s$ obteve-se $n \approx 16$ amostras. Esses cálculos permitiram calcular uma frequência de amostragem para uma precisão e um grau de confiança determinados. O desvio padrão calculado para cada parâmetro inclui a variação da qualidade da água por causas naturais e/ou conseqüentes de ação direta do homem no período, considerando também a variação devida aos procedimentos de amostragem e da análise quantitativa. É extremamente interessante a possibilidade de se estimar estatisticamente o comportamento dos parâmetros do "I.Q.A.", tais como a média e o desvio padrão, a partir dos parâmetros semelhantes observados nos indicadores de qualidade da água propriamente ditos, tais como pH, Turbidez, Oxigênio Dissolvido e outros. A dificuldade inicial consiste na tradução dos desvios padrões dos parâmetros observados, para os desvios padrões das notas de qualidade da água que serão utilizadas no cálculo do "I.Q.A.". Em seu trabalho de tese Landwher (Landwher, 1974) adotou

* O ano hidrológico compreende os períodos de 02 (dois) anos civis, para melhor caracterização das estações climatológicas

uma aproximação para o novo desvio como sendo de 1/4 a 1/2 a diferença entre a nota máxima e a nota mínima da qualidade da água observada na região delimitada pelo parâmetro (π) mais ou menos 2 vezes o seu desvio padrão [$s(\pi)$] e a faixa de confiança de 95% para as curvas de qualidade. O cálculo do desvio padrão do "I.Q.A." Aditivo é feito sem problemas, devido à linearidade de sua formulação. Já para o "I.Q.A." Multiplicativo não é possível essa aproximação devido à sua não linearidade. Após a obtenção do número necessário de amostras a serem coletadas no período em questão, calcula-se o "I.Q.A." para cada amostra obtendo-se os valores distribuídos ao longo do ano ou agrupados por períodos. Para esses valores calcula-se a média e o desvio padrão que deverão ser comparados com o valor médio calculado e com a faixa de ($\pm 2s$), mais ou menos dois desvios do "I.Q.A.". No trabalho de pesquisa efetuado em Ponte Nova do Paraopeba (Abdala, 1983), para os dados obtidos no período de 40 dias de coletas diárias, com o peso corrigido, obteve-se "I.Q.A." Aditivo Médio 74,82 com desvio padrão de 4,19 e "I.Q.A." Multiplicativo Médio 60,80 com desvio padrão de 8,69. O valor médio do "I.Q.A." para essas 40 amostras poderá ser comparado futuramente com um valor referente a um período similar em ano diverso e verificada a sua inclusão na faixa de $\pm \frac{2s}{\sqrt{n}}$, onde n = número de amostras, considerando uma aproximação do nível de confiança de 95%. Médias fixas e/ou móveis poderão ser utilizadas nessa fase. Se a comparação for feita individualmente para cada "I.Q.A.", por exemplo, no caso dos valores mensais, a faixa aproximada de 95% para o nível de confiança deverá ser de $\pm 2s$, onde s = desvio padrão de valores mensais do "I.Q.A." obtidos nos anos base.

9- CONSIDERAÇÕES GERAIS - Dos levantamentos efetuados e dos estudos realizados para Ponte Nova do Paraopeba pode-se concluir pela não necessidade de determinação contínua de 30 a 40 parâmetros mensais, nas diversas estações da rede de monitoramento de qualidade das águas do Estado. A indicação para aplicação do "I.Q.A." está substanciada no fato de ser um instrumento que sumariza as informações da qualidade das águas para administradores e para o público em geral, refletindo essa qualidade através dos valores de seus parâmetros, sensível à ocorrência de um único parâmetro com valores que ultrapassem a faixa aceitável para uso geral. O "I.Q.A." permite também comparar e relacionar a qualidade de água para diferentes amostras em uma mesma estação, em diversos locais de coleta em um mesmo rio, em rios da mesma bacia hidrográfica e em diferentes bacias hidrográficas. As vantagens do "Índice de Qualidade das Águas Multiplicativo ("I.Q.A.M.") são as de permitir um cálculo fácil e ser conceitualmente simples, pois não sendo a qualidade um valor aditivo, o "I.Q.A.M." é uma função do produto de todos os níveis de qualidade dos parâmetros individuais. Desse modo, quando qualquer parâmetro tiver um nível de qualidade zero, o "I.Q.A.M." será automaticamente zero (Landwehr, 19874).

10- CONCLUSÃO - Deve-se partir sempre, em primeiro lugar, do levantamento de todas as informações existentes sobre as estações de qualidade das águas já operadas e em operação no Estado disponíveis nos diversos órgãos de controle, para uma avaliação e verificação de necessidade de manutenção e realocização de novas Estações. Para cada uma dessas Estações será feito um estudo específico, conforme as diretrizes estabelecidas na metodologia adotada em Ponte Nova do Paraopeba (Abdala, 1983) . A seleção dos locais de amostragem deverá levar em conta os aspectos dos objetivos do estudo, acessibilidade ao local, características físicas, fontes de contaminação e recursos disponíveis. Deverão ser consideradas também: vazão , homogeneização e outras características físicas do curso d'água, bem como as fontes de contaminação pontuais e difusas. Ao ser aplicada a metodologia proposta em Ponte Nova do Paraopeba na reformulação do monitoramento da rede de qualidade de águas do Estado de Minas Gerais, haverá uma economia substancial em termos de custos de operação e manutenção, permitindo a identificação de áreas críticas pela comparação das médias fixas ou móveis disponíveis nas fontes de monitoramento, além de permitir também uma representação gráfica para uma identificação visual imediata nas diversas estações de controle, possibilitando verificar e fiscalizar a classe de qualidade da águas para os diferentes cursos d'água. O número de 16 coletas estabelecido para Ponte Nova do Paraopeba obtido pela equação (1), de modo prático, deverá ser distribuído nos meses de janeiro a dezembro, cobrindo o ano hidrológico, compreendendo: 06 (seis) coletas no período de 06 (seis) meses de chuvas (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março); 06 (seis) coletas nos 04 (quatro) meses de estiagem (junho, julho, agosto e setembro); 04 (quatro) coletas nos meses intermediários (abril e maio). Esses períodos estão estabelecidos nos estudos efetuados sobre a precipitação na região de Ponte Nova do Paraopeba (Morimoto, 1979). Deverão ser determinados os nove parâmetros do "I.Q.A. M." e além desses, no período de estiagem, as substâncias tóxicas: chumbo, ferro, cromo⁺³, cobre e manganês, que excederam os limites permissíveis em algumas amostras no período de estudo de 40 dias de 11/09 a 20/10/79 (Abdala, 1983). Se qualquer uma dessas substâncias se apresentar acima dos limites permissíveis, o valor do índice irá automaticamente a zero.

Esse conjunto de amostragem, distribuído sazonalmente nos períodos característicos mencionados, deverá ter os seus resultados utilizados para comparação com outros a serem obtidos para os mesmos períodos em anos diferentes.

É necessário também que se faça uma avaliação do primeiro ano para atualização das informações e verificações do acréscimo de outros parâmetros e da frequência de amostragem. Esse acréscimo implica na entrada de novos elementos de informação, mantendo-se os parâmetros do "I.Q.A.". O método para coleta, preservação e análise são os recomendados internacionalmente e estão exaustivamente mencionados nos Anexos dos estudos efetuados em Ponte Nova do Paraopeba.

Finalmente, conclui-se que a Estação de Ponte Nova do Paraopeba deverá ser mantida como Estação de Controle da qualidade da água do Rio Paraopeba, considerando seu inventário de informações, sua infra-estrutura e sua localização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ABDALA, E.D. Qualidade das Águas na Estação de Ponte Nova do Paraopeba e Uso do Índice de Qualidade das Águas (Tese de Mestrado) Belo Horizonte - Departamento de Engenharia Sanitária da EEUFMG, 1983.
- 2 - ABREU, Rubens Monteiro & GUAZZELLI, M.R. A experiência da CETESB no monitoramento da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 1979.
- 3 - APHA; AWWA; WPCF. Standard methods for examination of water an wastewater. Washington DC 20005. APHA, 1980.
- 4 - BROWN, E.; SKOUGSTAD, M.W.; FISHMAN, M. J. Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. In: TECHNIQUES of water resources investigations of the United States Geological Survey, Washington, 1970, V.5., cap. 1.
- 5 - BROWN, R.M.; McCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.A. Water quality index - do we dare? In: PROCEEDING OF THE NATIONAL SYMPOSIUM ON DATA AND INSTRUMENTATION FOR WATER QUALITY MANAGEMENT. Madison, July 1970. (Reprinted in water and sewage works, oct. 1970).
- 6 - BROWN, Robert N.; McCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; LANDWEHR, J.M. Validation of the WQI. In: ASCE NATIONAL MEETING ON WATER RESOURCES ENGINEERING, Washington, Jan.29-Feb.2, 1973.
- 7 - CHALMERS, Robert K. Terminal Report United Nations Development Programme. Brasil, 20 Oct., 1982.
- 8 - DALKEY, N.C. The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion, The RAND Corporation, Memorandum RM-5888-PR, June, 1969. "APUD" LANDWEHR, Jurate Máciunas, 1974.
- 9 - ELLIS, J.C. & LACEY, R.F. Sampling: defining the tasks and planning the scheme.s.l., Water Research Center, 1980.

10- CONCLUSÃO - Deve-se partir sempre, em primeiro lugar, do levantamento de todas as informações existentes sobre as estações de qualidade das águas já operadas e em operação no Estado disponíveis nos diversos órgãos de controle, para uma avaliação e verificação de necessidade de manutenção e realocização de novas Estações. Para cada uma dessas Estações será feito um estudo específico, conforme as diretrizes estabelecidas na metodologia adotada em Ponte Nova do Paraopeba (Abdala, 1983) . A seleção dos locais de amostragem deverá levar em conta os aspectos dos objetivos do estudo, acessibilidade ao local, características físicas, fontes de contaminação e recursos disponíveis. Deverão ser consideradas também: va z ã o , homogeneização e outras características físicas do curso d'água, bem como as fontes de contaminação pontuais e difusas. Ao ser aplicada a metodologia proposta em Ponte Nova do Paraopeba na reformulação do monitoramento da rede de qualidade de águas do Estado de Minas Gerais, haverá uma economia substancial em termos de custos de operação e manutenção, permitindo a identificação de áreas críticas pe la co m p ar a ç ã o das médias fixas ou móveis disponíveis nas fontes de monitoramento, além de permitir também uma representação gráfica para uma identificação visual imediata nas diversas estações de controle, possibilitando verificar e fiscalizar a classe de qualidade da águas para os diferentes cursos d'água. O número de 16 coletas estabelecido para Ponte Nova do Paraopeba obtido pela equação (1), de mo do pr át ico, deverá ser distribuído nos meses de janeiro a dezembro, cobrindo o ano hidrológico, compreendendo: 06 (seis) coletas no período de 06 (seis) meses de chuvas (outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março); 06 (seis) co le t as nos 04 (quatro) meses de estiagem (junho, julho, agosto e setembro); 04 (qua tro) coletas nos meses intermediários (abril e maio). Esses períodos estão estabelecidos nos estudos efetuados sobre a precipitação na região de Ponte Nova do Paraopeba (Morimoto, 1979). Deverão ser determinados os nove parâmetros do "I.Q.A. M." e além desses, no período de estiagem, as substâncias tóxicas: chumbo, ferro, cro mo ⁺³, cobre e manganês, que excederam os limites permissíveis em algumas amostras no período de estudo de 40 dias de 11/09 a 20/10/79 (Abdala, 1983). Se qualquer uma dessas substâncias se apresentar acima dos limites permissíveis, o valor do índice irá automaticamente a zero.

Esse conjunto de amostragem, distribuído sazonalmente nos períodos característicos mencionados, deverá ter os seus resultados utilizados para comparação com outros a serem obtidos para os mesmos períodos em anos diferentes.

É necessário também que se faça uma avaliação do primeiro ano para atualização das informações e verificações do acréscimo de outros parâmetros e da frequência de amostragem. Esse acréscimo implica na entrada de novos elementos de informação, man ten do se os parâmetros do "I.Q.A.". O método para coleta, preservação e análise são os recomendados internacionalmente e estão exaustivamente mencionados nos Ane xos dos estudos efetuados em Ponte Nova do Paraopeba.

Finalmente, conclui-se que a Estação de Ponte Nova do Paraopeba deverá ser mantida como Estação de Controle da qualidade da água do Rio Paraopeba, considerando seu inventário de informações, sua infra-estrutura e sua localização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ABDALA, E.D. Qualidade das Águas na Estação de Ponte Nova do Paraopeba e Uso do Índice de Qualidade das Águas (Tese de Mestrado) Belo Horizonte - Departamento de Engenharia Sanitária da EEUFMG, 1983.
- 2 - ABREU, Rubens Monteiro & GUAZZELLI, M.R. A experiência da CETESB no monitoramento da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 1979.
- 3 - APHA; AWWA; WPCF. Standard methods for examination of water and wastewater. Washington DC 20005. APHA, 1980.
- 4 - BROWN, E.; SKOUGSTAD, M.W.; FISHMAN, M. J. Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. In: TECHNIQUES of water resources investigations of the United States Geological Survey, Washington, 1970, V.5., cap. 1.
- 5 - BROWN, R.M.; McCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.A. Water quality index - do we dare? In: PROCEEDING OF THE NATIONAL SYMPOSIUM ON DATA AND INSTRUMENTATION FOR WATER QUALITY MANAGEMENT. Madison, July 1970. (Reprinted in water and sewage works, oct. 1970).
- 6 - BROWN, Robert N.; McCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; LANDWEHR, J.M. Validation of the WQI. In: ASCE NATIONAL MEETING ON WATER RESOURCES ENGINEERING, Washington, Jan.29-Feb.2, 1973.
- 7 - CHALMERS, Robert K. Terminal Report United Nations Development Programme. Brasil, 20 Oct., 1982.
- 8 - DALKEY, N.C. The Delphi Method: An Experimental Study of Group Opinion, The RAND Corporation, Memorandum RM-5888-PR, June, 1969. "APUD" LANDWEHR, Jurate Máciunas, 1974.
- 9 - ELLIS, J.C. & LACEY, R.F. Sampling: defining the tasks and planning the scheme.s.l., Water Research Center, 1980.

- 10 - GOERLITZ, D.F. & BROWN, E. Methods for analysis of organic substances in water. In: TECHNIQUES of water resources investigations of United States Geological Survey. Washington, 1972. V.5., cap. 3.
- 11 - GUY, Harold P. & NORMAN, Vernon W. Field methods for measurement of fluvial sediment. In: TECHNIQUES of water resources investigations of the United States Geological Survey. Washington, s.ed., 1970, V.3., cap. C2.
- 12 - LANDWEHR, Jurate Maciunas Water quality indexes instruction and analysis. Ann Arbor, Environmental Sciences - Xerox University Microfilms, 1975. (The University Microfilms, 1975. The University of Michigan Ph.D. Theses), 1974.
- 13 - McCLELLAND, N.I.; BROWN, R.M.; DEININGER, R.A.; LANDWEHR, J.M. Water quality index applications in the Kansas river basin. In: ANNUAL CONFERENCE - WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION, 46 - Cleveland, Oct.2, 1973.
- 14 - MORIMOTO, Tsutomo Estudo sobre a precipitação na região de Ponte Nova Paraopeba. 1979. (Comunicação pessoal)
- 15 - UNEP: WHO; UNESCO; WMO Gems: water operational guide - Gems: global environmental monitoring system. Geneva, 1975.
- 16 - USGS National Handbook of recommended methods for water data acquisition. Reston, Office of Water Data Coordination Geological Survey, 1977.

