10º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

MANAUS/21 A 26 DE JANEIRO DE 1979

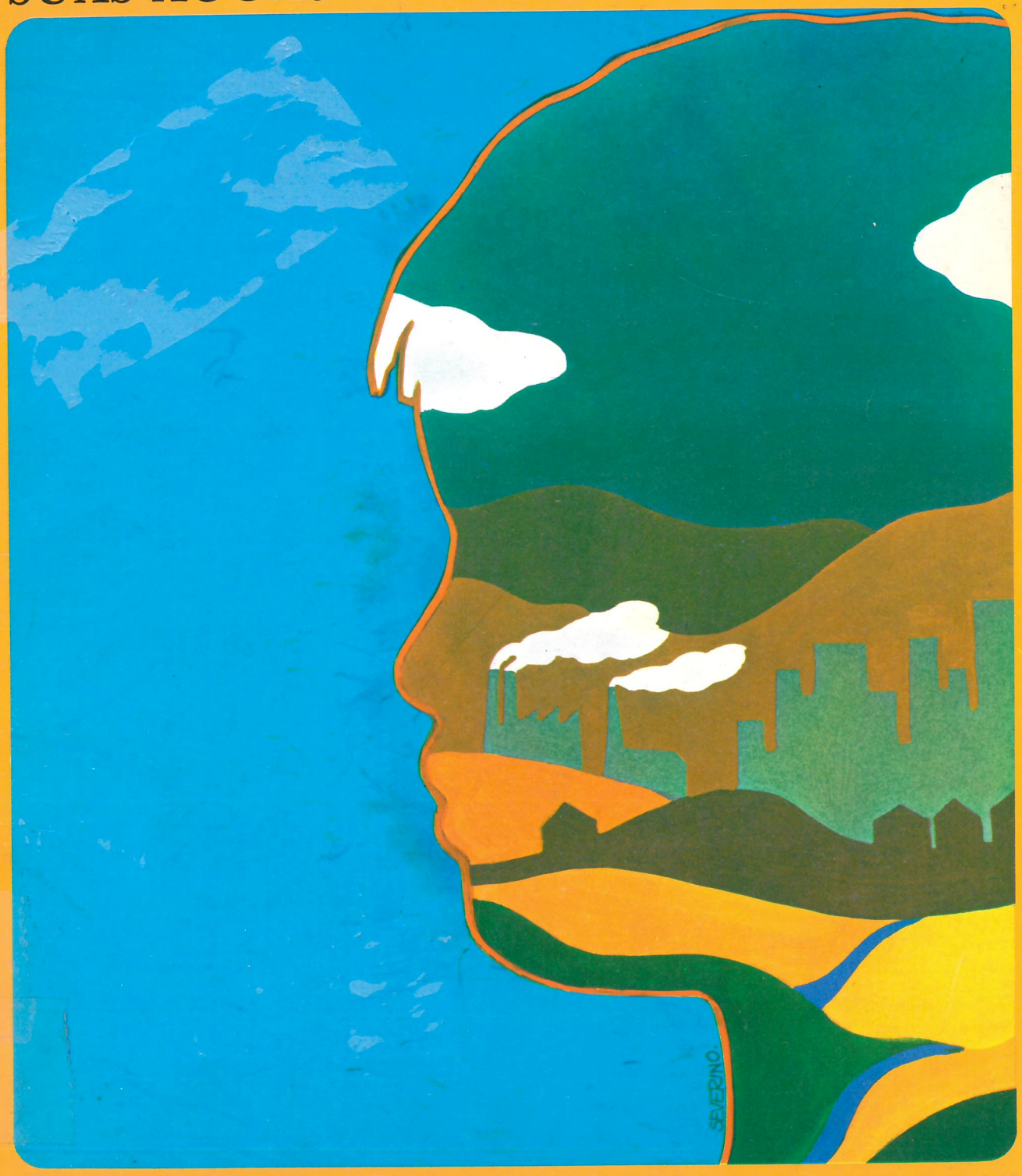
PROMOVIDO PELA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL — ABES SEÇÃO DO AMAZONAS, SOB OS AUSPÍCIOS DA ABES-NACIONAL

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB

32 ESTUDO DA REPRESA BILLINGS

CARACTERIZAÇÃO SANITÁRIA E ECOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE SUAS ÁGUAS



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO — SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE OBRAS E DO MEIO AMBIENTE
COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

32 ESTUDO DA REPRESA BILLINGS
CARACTERIZAÇÃO SANITÁRIA E ECOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE SUAS ÁGUAS

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas [illegible] Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
Manaus 21 a 26 de janeiro de 1979
promovido pela associação brasileira de engenharia sanitária e ambiental - abes - seção do amazonas, sob os auspícios da abes - nacional

CLASS.
AUTOR
NUMBO 27546

3306
C338e
027546
Ex.2

ESTUDO DA REPRESA BILLINGS
CARACTERIZAÇÃO SANITÁRIA E ECOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE SUAS ÁGUAS

- **Equipe Técnica da Gerência de Pesquisas Hidrobiológicas**

- Engenheiros da Gerência de Pesquisas Hidrobiológicas

APRESENTAÇÃO*

A Represa Billings assume, dentro do Sistema Alto Tietê - Cubatão, uma posição de fundamental importância para a utilização racional dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana de São Paulo.

O conhecimento integral de suas características ecológicas, químicas, hidráulicas e hidrológicas torna-se cada vez mais importante para o inter-relacionamento entre a qualidade de suas águas e as cargas poluidoras oriundas do Rio Pinheiros e acumuladas na própria Represa.

Este trabalho de pesquisa, fundamentado na melhor tecnologia disponível e desenvolvido por especialistas de maior renome em nosso País, assegura, através dos diferentes modelos que estabelece, o correlacionamento desejado, vinculando as regras operativas hidráulicas do sistema Alto Tiete com a qualidade das águas da Represa Billings.

Pelo nível tecnológico apresentado, pelo ineditismo e pela consistência com que atingiu seus objetivos, este trabalho, além de fornecer subsídios para uma melhor compreensão do sistema hídrico que aborda, poderá "latu sensu" ser utilizado como modelo e orientação básica para outros estudos limnológicos e sistemas de bacias hidrográficas.

RESUMO

Este estudo foi realizado com o propósito de caracterizar os principais fenômenos que governam a qualidade das águas da represa, em diferentes condições de operações das Usinas Elevatórias de Pedreira, Traição e Edgard de Souza possibilitando assim uma avaliação prévia do ponto de vista ecológico e sanitário das consequências que possam advir de uma determinada operação que se pretenda adotar a esse sistema.

Os principais resultados obtidos no presente estudo são os seguintes:

* Ivanildo Hespanhol - Superintendente de Pesquisa

CARGAS POLUIDORAS LANÇADAS NA REPRESA BILLINGS

No levantamento realizado constatou-se que a cidade de São Paulo descarrega diariamente cerca de 350 t de matéria carbonácea (em termos de DBO), nos rios Tietê e Pinheiros, dos quais aproximadamente 50% provêm da bacia do rio Tamanduateí, e 10% do rio Aricanduva. Além da DBO, foram avaliados os fluxos diários de nitrogênio em cerca de 45 t, em 10 t o fluxo de fósforo, e em $1,7 \times 10^{19}$ o número de coliformes fecais, inclusive apreciável quantidade de vários tipos de íons metálicos.

Parte de tais materiais poluentes lançados nos rios Tietê e Pinheiros encaminham-se para a represa Billings e outra parte para a represa de Pirapora, em proporções variáveis dependendo da operação do sistema hídrico do Alto Tietê. A quantidade deDBO, introduzida na represa Billings através da barragem de Pedreira durante o período do estudo, se manteve entre 110 e 310 t/dia. Devido ao efeito da diluição decorrente da precipitação pluviométrica na bacia em estudo, verificou-se significativa variação das concentrações de materiais poluentes nas águas recalcadas para a represa.

As contribuições de cargas poluidoras da bacia da represa Billings, são limitadas, do ponto de vista quantitativo, quando comparadas com as dos rios Tietê e Pinheiros. Entretanto, observou-se que alguns afluentes, como por exemplo, o Rio Grande, Ribeirão Apuras, Ribeirão Guacuri, Rio do Alvarenga, apresentaram grau relativamente elevado de poluição, sendo suficiente para ocasionar a deterioração da qualidade das águas dos respectivos braços da represa.

Os afluentes existentes nos braços de Bororé, Taquacetuba e rio Pequeno praticamente não apresentaram poluição.

CÁLCULO DOS TEMPOS DE TRÂNSITO

Para a avaliação dos tempos de trânsito no corpo central da represa Billings foram efetuados estudos hidráulicos e hidrológicos.
Tais estudos permitiram estabelecer uma relação entre os níveis d'água e descargas médias pelo corpo central da represa, com os tempos de trânsito pela mesma, para quaisquer condições de operação.

FENÔMENO DE AUTO-DEPURAÇÃO NO CORPO CENTRAL DA REPRESA

Durante o escoamento da água proveniente do rio Pinheiros para o corpo central da represa, ocorrem vários fenômenos físicos e reações bioquímicas e biológicas caracterizando o fenômeno de auto-depuração.

Verificou-se que as concentrações de DBO sofreram redução de cerca de 80%, em qualquer época do ano, no trecho inicial com o tempo de trânsito de 10 a 15 dias, atingindo concentrações praticamente estabilizadas após o tempo de detenção citado, até o final do percurso. Esse fenômeno foi identificado como consequência, principalmente, do efeito da sedimentação no trecho inicial e, no segundo trecho, do equilíbrio entre os processos de remoção da DBO devido à sedimentação, degradação biológica e o acréscimo da DBO devido à produção de algas e influência do material bentônico.

Ao contrário da redução nas concentrações da DBO, as concentrações de Oxigênio Dissolvido aumentaram ao longo do corpo central. Além dessa variação longitudinal, foi notada sensível variação deste parâmetro com a profundidade, principalmente na época quente decorrente das variações verticais em diversos fatores físicos, químicos e biológicos.

Devido à acentuada concentração de nutrientes contidos na água proveniente do rio Pinheiros, observou-se maciça proliferação de algas em grandes extensões do corpo central da represa, praticamente durante o ano todo.

Algas do gênero Microcystis, que tiveram absoluta predominância quantitativa durante o período de estudo, mostraram um crescimento em forma exponencial no trecho inicial do corpo central, tendendo a se estabilizar posteriormente.

Inversamente ao crescimento de algas, as concentrações de nutrientes diminuiram em função do tempo de trânsito.

A densidade de coliforme fecal diminuiu exponencialmente, praticamente em toda a extensão do corpo central, em diferentes épocas do ano. As medidas deste parâmetro nas proximidades do "Summit Control" oscilaram em torno de 10^2/100ml durante o estudo.

As concentrações de íons metálicos na água do corpo central, foram inferiores às estabelecidas para águas de Classe 2 na Legislação Estadual (Decreto Lei 8.468), exceto o íon mercúrio cuja concentração excedeu ligeiramente ao limite estabelecido, em um ponto próximo da barragem de Pedreira. Entretanto, os resultados de análises do lodo mostram elevado nível de contaminação dessas substâncias. Em termos comparativos, as concentrações de íons metálicos no lodo da represa Billings, são em média, de 5 a 12 vezes maiores do que as encontradas normalmente em solos isentos de poluição.

VOLUME DO LODO ACUMULADO E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DA ÁGUA

O volume total do lodo acumulado no corpo central, foi avaliado aproximadamente em $52x10^6m^3$, dos quais cerca de 90% se encontram no trecho compreendido entre a barragem de Pedreira e a estrada dos Imigrantes. As espessuras médias do lodo nas seções variaram de 1 a 6,5 metros.

Com relação à influência deste lodo na qualidade de águas, os resultados obtidos com experiência "in situ" e em laboratório, demostraram significativa diferença de fluxo de nutrientes do lodo para o corpo da água entre condição aeróbia e anaeróbia. Em condição anaeróbia, houve fluxo de nutriente, notadamente fósforo, em cerca de 80% maior do que na condição aeróbia. Dessa maneira, a manutenção de condição aeróbia na camada inferior da represa seria uma das medidas para minimização do fenômeno de eutrofização.

O consumo de oxigênio pela demanda bentônica é relativamente limitado, podendo ser compensado satisfatoriamente pelo oxigênio fornecido através da ação fotossintética e do processo da reareação, quando há intensa circulação vertical da massa líquida. Entretanto, na época em que ocorre a estratificação térmica, as atividades biológicas do lodo poderão provocar condição anaeróbia na camada inferior da represa.

Dentro do nível de precisão das análises efetuadas na presente investigação, não se identificou nenhuma interação de íons metálicos entre a fase de lodo e de líquido.

ELABORAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO

Com base nos dados levantados na represa, bem como em resultados obtidos experimentalmente em laboratórios, foram elaborados vários modelos que equacionam os parâmetros sanitários e ecológicos. Com referência às variações de concentrações de DBO, algas e coliformes fecais, foram desenvolvidos modelos teóricos com base no princípio de balanço de materiais. Devido à complexidade de fatores que afetam a variação de concentração de oxigênio no sistema lêntico, elaborou-se uma equação empírica que permite representar as variações longitudinal e vertical deste parâmetro no corpo central.

A representatividade desses modelos mostrou-se satisfatória do ponto de vista da aplicação prática. Os valores dos coeficientes de variação para os modelos de DBO, algas e OD resultaram em torno de 15, 25 e 40%, respectivamente. O modelo para coliformes fecais apresentou-se menos satisfatório em termos de representatividade, recomendando-se, portanto, sua utilização apenas para a obtenção de uma visão grosseira da variação de densidade de bactérias no trecho em estudo.

PROGRAMA DE COMPUTAÇÃO

Com a aplicação prática dos modelos apresentados no presente trabalho, foi desenvolvido um programa denominado QUABIL. Esse programa foi implantado em linguagem FORTRAN IV para o cumputador VARIAN, existente na Divisão de Operação de Processamento de Dados da CETESB.

Os modelos programados permitem realizar a avaliação da qualidade das águas da represa, em função de condições pré-estabelecidas na barragem de Pedreira. Possibilitam, também, estabelecer os limites máximos de concentrações de materiais poluentes e descargas recalcadas em Pedreira, a partir de características desejáveis de qualidade de águas em pontos previamente selecionados. Além disso, permitem selecionar as melhores combinações em termos de qualidade de água, entre os níveis da represa e descarga recalcada em Pedreira, visando fornecer subsídios básicos para estabelecer regras de operação hidráulica do sistema do Alto Tietê.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os estudos sanitários e ecológicos da Represa Billings enfocados no presente relatório, fazem parte de um programa de estudo para o controle da poluição do meio ambiente no Estado de São Paulo, elaborado sob a orientação da Organização Mundial da Saúde do Governo do Estado de São Paulo, foram iniciados em julho de 1974 e tiveram um prazo de execução de três anos.

A represa Billings, além da produção de energia elétrica que é sua função precípua, tem atualmente uma função importante como corpo receptor de cargas poluentes provenientes da Grande São Paulo e ao mesmo tempo como área de recreação e fonte de abastecimento público para a população da região do ABC.

Deve-se salientar que a represa Billings representa dentro do sistema LIGHT o elemento que permite a derivação de águas da bacia do Alto Tietê para a Baixada Santista. Isso significa que, dependendo da quantidade de cargas poluidoras produzidas na Grande São Paulo e da capacidade assimiladora da mesma, os prejuízos causados pela deterioração da qualidade das suas águas não se limitariam apenas à represa propriamente dita. Os materiais poluentes não assimilados nesse corpo de água, transportados até a Baixada Santista, podem ameaçar seu equilíbrio ecológico.

Considerando os fatos acima, o presente estudo foi realizado com o propósito de caracterizar os principais fenômenos que governam a qualidade das águas da represa, em diferentes condições de operação do sistema LIGHT, possibilitando assim uma avaliação prévia do ponto de vista ecológico e sanitário das consequências que possam advir de uma determinada operação que se pretende adotar a esse sistema.

Os trabalhos consubstanciados neste relatório foram realizados com a participação da seguinte equipe técnica:

Lim. Hideo Kawai
Fis. Alcibiades Pacheco de Toledo Jr.
Engº Sunao Assae
Engº Flávio Augusto Câmara
Engº Boris Scheneiderman
Engª. Maria José Muniz Rocha
Biol. Maria Raphaela Musameci
Engº Antonio Luiz Domingues
Engº Augusto Merighe Jr.
Biol. Sérgio José Chinez
Biol. Pedro Jureidini

Finalmente cumpre agradecer o constante apoio financeiro e técnico propiciado pelo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) da Secretaria de Obras do Meio Ambiente através da sua Divisão de Planejamento de Obras Hidráulicas. Registre-se aqui também os agradecimentos ao Comitê Executivo do Acordo Ministério das Minas e Energia e Governo do Estado de São Paulo, o qual demonstrou elevado interesse por este trabalho além de colaborar financeiramente na fase final do estudo.

No desenvolvimento deste estudo a LIGHT - Serviços de Eletricidade S/A prestou valiosa colaboração tanto no fornecimento de dados hidráulicos como no auxílio aos serviços de campo, pelos quais agradecemos.

LEVANTAMENTO DO FLUXO DE CARGAS POLUIDORAS NA REPRESA BILLINGS

INTRODUÇÃO

O presente levantamento foi realizado com o objetivo de caracterizar as principais fontes poluidoras e de avaliar os fluxos dos vários tipos de materiais poluentes, tanto na área da cidade de São Paulo, como na bacia contribuinte da represa Billings, e sua influência na qualidade da água dessa represa.

Devido à complexidade do sistema de disposição de esgotos sanitários e despejos industriais, bem como à carência de dados hidrológicos de longo período em pontos importantes na bacia em estudo, não foi possível obter valores representativos do fluxo de cargas poluidoras em todas as épocas do ano. Entretanto, os resultados obtidos "in loco", neste levantamento, forneceram um quadro significativo do potencial poluidor descarregado na represa Billings.

PROCEDIMENTOS DO LEVANTAMENTO EFETUADO

ÁREA DA CIDADE DE SÃO PAULO

Foram estabelecidos dezoito pontos de coleta na área da cidade de São Paulo, distribuídos da seguinte forma: oito pontos nos rios Tietê e Pinheiros (P0 a P7), oito pontos nos afluentes do rio Tietê (próximos às respectivas confluências com esse último); um ponto na ETE de Leopoldina e finalmente um último no ponto na ETE de Pinheiros (Figura 1).

As medições de vazões em cada ponto de coleta, exceto nos pontos estabelecidos nas ETES bem como as medições de tempo de trânsito "in situ" no rio Tietê foram efetuadas através de traçadores radiativos, (radioisótopos ^{82}BR e ^{121}I). Os dados de vazões efluentes das diversas estações do tratamento de esgoto foram fornecidos pela SABESP.

Nos pontos selecionados no rio Tietê, as medições de vazões e as coletas de amostras foram efetuadas concomitantemente uma única vez com intervalo de quatro horas, durante o período de vinte e quatro horas.

Nos afluentes do rio Tietê foram realizadas duas medições de vazão por dia, em período de dois dias consecutivos.

No rio Tamanduateí, um dos maiores receptores de materiais poluentes na região estudada, as medições e coletas de amostras foram efetuadas três vezes durante três dias consecutivos.

As campanhas de amostragem foram realizadas entre 06 e 08 de novembro de 1974, período que foi antecedido por quinze dias sem nenhuma precipitação pluviométrica.

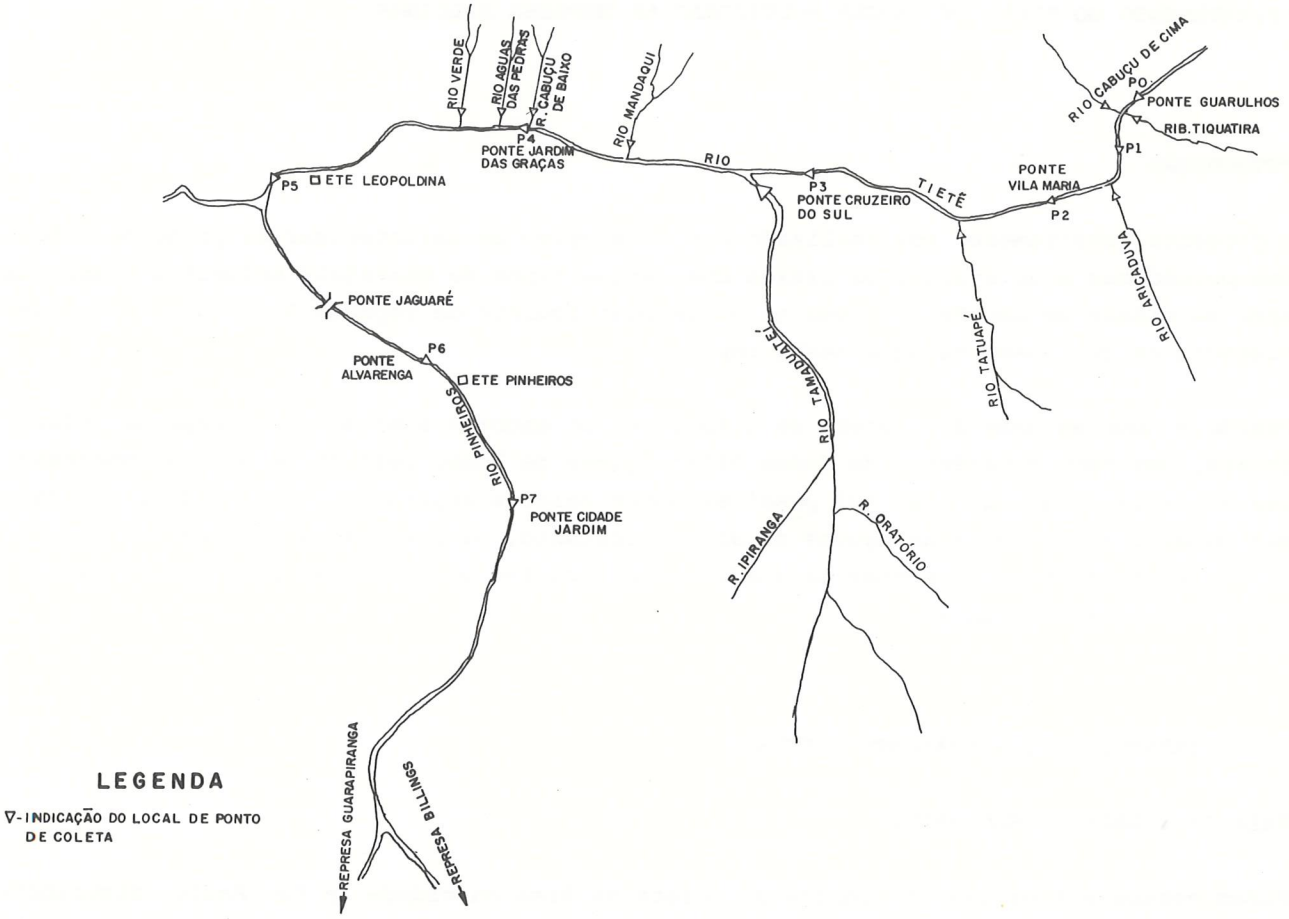


FIGURA 1 - Localização de pontos de coleta no rio Tietê no trecho entre Guarulhos e Represa Billings.

BACIA CONTRIBUINTE DA REPRESA BILLINGS

Além de um ponto de amostragem na barragem de Pedreira, foram selecionados treze pontos nos afluentes principais na bacia contribuinte da represa Billings, levando-se em consideração principalmente a existência de fontes poluidoras significativas (Figura 2).

Na barragem de Pedreira, onde se localiza o maior receptor de materiais poluentes na represa, foram efetuadas coletas de amostras durante um ano (agosto de 1974 a julho de 1975) acompanhadas das amostragens realizadas na represa, com intervalo de dois a três dias.

Em cada dia de coleta foram realizadas amostragens compostas, a cada meia hora, totalizando-se quatro amostras compostas entre 8.00 e 18.00 horas (dez horas).

Uma vez por mês foram realizadas coletas em regime de vinte e quatro horas, para relacionar quantitativamente os fluxos calculados com base nas coletas de dez e vinte e quatro horas.

Os dados sobre as vazões bombeadas na represa Billings foram fornecidos pela LIGHT S/A.

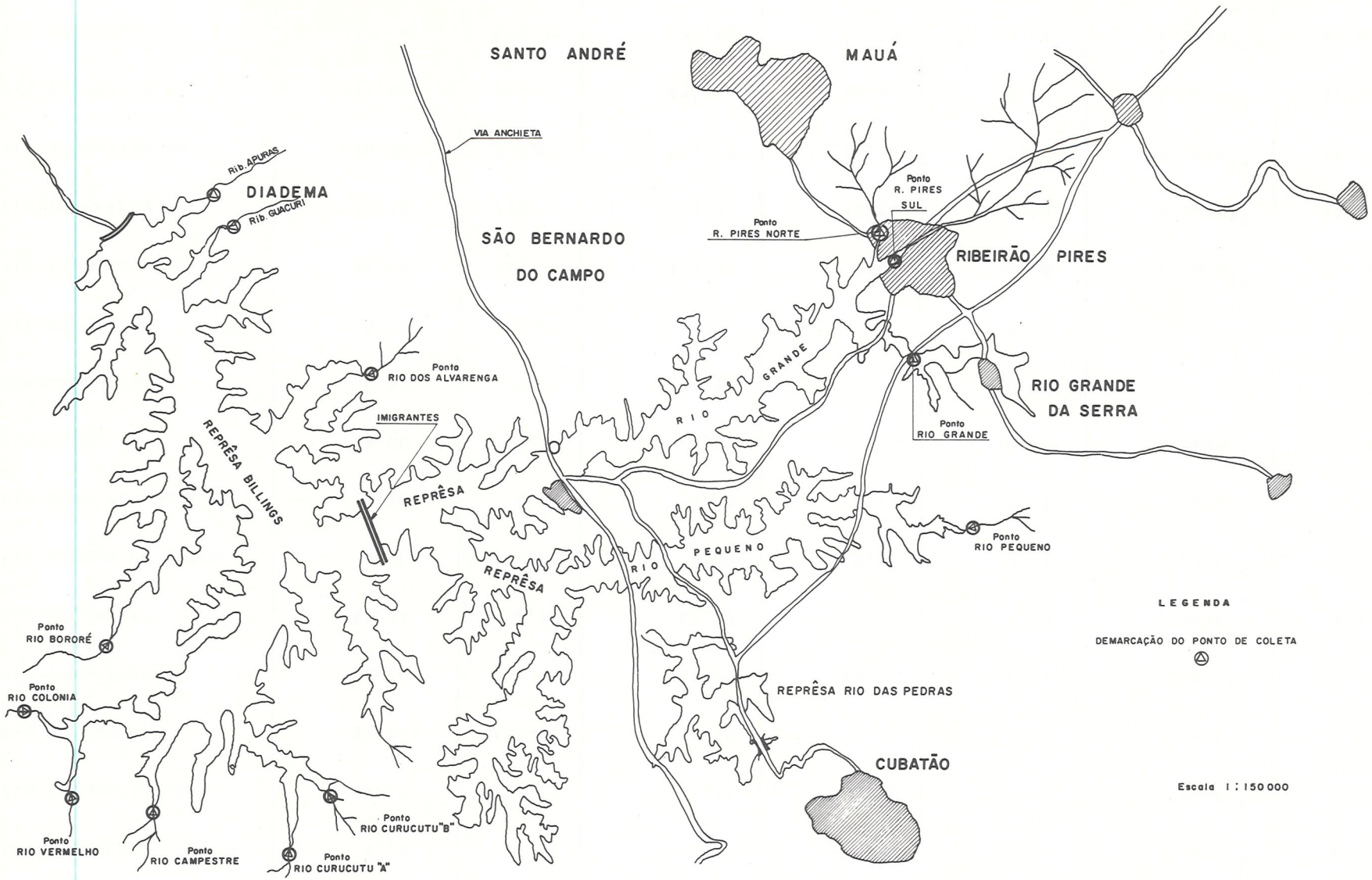


FIGURA 2 - Localização dos pontos de coleta.

QUADRO 1 - FLUXO DE CARGAS POLUIDORAS NO RIO TIETÊ NO TRECHO ENTRE GUARULHOS E BARRAGEM DE PEDREIRA

PARÂMETROS / PONTOS	DBO 5d 20°C (t/d)	DQO (t/d)	Res.vol. (t/d)	N.total (t/d)	P.total (t/d)	C.fecal (NMP/d)	Vazão (m^3/s)
Rib.Tiquatira	4,16	17,01	11,15	0,83	0,15	$1,6x10^{16}$	0,54
Rio Cabuçu de cima	9,15	27,03	21,14	2,16	0,42	$3,8x10^{16}$	1,13
Rio Aricanduva	40,06	129,53	81,87	4,41	1,57	$6,7x10^{17}$	3,04
Rio Tamanduateí	173,20	554,40	344,60	22,03	4,24	$1,6x10^{19}$	12,96
Rio Mandaqui	14,53	32,48	19,98	1,75	0,59	$1,6x10^{17}$	1,05
Rio Cabuçu de baixo	2,28	6,29	5,00	0,42	0,08	$5,7x10^{16}$	0,39
Rio Água das Pedras	0,76	1,95	1,15	0,26	0,04	$7,9x10^{16}$	0,09
Rio Verde	4,60	11,26	4,07	0,83	0,19	$2,3x10^{17}$	0,26
ETE Leopoldina	0,36	0,77	0,19	-	0,06	-	0,15
ETE Pinheiros	5,08	12,02	-	-	0,37	-	0,70
Rio Pinheiros P1	24,59	130,31	483,00	6,64	1,44	$6,2x10^{16}$	26,06
Rio Pinheiros P3	49,74	235,61	314,15	15,54	4,56	$6,5x10^{16}$	30,38
Rio Pinheiros P4	238,00	875,05	612,05	28,04	7,90	$2,1x10^{18}$	41,07
Rio Pinheiros P5	219,80	663,10	476,30	28,00	8,00	$6,3x10^{18}$	42,30
Rio Pinheiros P6	204,77	659,35	286,68	30,50	9,11	$1,9x10^{18}$	47,04

Para as avaliações de cargas poluidoras nos principais afluentes à represa, foram realizadas concomitantemente amostragens em duplicata e medição da vazão com uso de traçador ^{82}Br, por duas vezes, no mês de setembro de 1974.

APRESENTAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

ÁREA DA CIDADE DE SÃO PAULO

Os resultados deste levantamento estão resumidos no quadro 1 e apresentados esquematicamente na Figura 3 nos quais são apresentados os fluxos de matéria orgânica (DBO) e resíduo volátil, nitrogênio total, fósforo total e coliforme fecal, nos pontos de coleta estabelecidos.

No quadro 2 são apresentados os tempos de trânsito, medidos nos pontos de coleta no rio Tietê e canal Pinheiros.

QUADRO 2 - MEDIDAS DE TEMPO DE TRÂNSITO NO RIO TIETÊ E CANAL PINHEIROS

	PONTOS DE CONTROLE							
	P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_7	Ponte Interlagos
Tempo de trânsito à partir de P0 (horas)	0	0,56	1,70	4,55	8,16	11,70	17,60	32,6

Como se pode visualizar no quadro 1 e na Figura 1, o fluxo de matéria orgânica, em termos de DBO, no ponto inicial de coleta do rio Tietê (P0), é estimado em 10 $t.d^{-1}$, havendo o aumento deste fluxo para cerca de 50 $t.d^{-1}$, no ponto P3, antes da confluência com o rio Tamanduateí.

A bacia do Tamanduateí, que abriga uma das maiores zonas industriais de São Paulo, descarrega no Tietê uma carga de matéria orgânica equivalente a cerca de 173$t.d^{-1}$ de DBO.

No trecho do rio Tietê, compreendido entre a confluência com o rio Tamanduateí e o canal de Pinheiros, o fluxo de DBO dos 4 afluentes existentes é relativamente reduzido, atingindo cerca de 22 $t.d^{-1}$.

O fluxo acumulado de DBO de todos os afluentes do rio Tietê, no trecho compreendido entre Guarulhos (P_0) e confluência com o rio Pinheiros (P5), incluindo a carga no ponto P0, atinge um total de cerca de 260 $t.d^{-1}$.

Por outro lado, a carga de DBO determinada no ponto P5 acima mencionado foi de 220$t.d^{-1}$ Essa diferença entre os dois últimos valores, que corresponde a aproximadamente 15% do fluxo total determinado nos afluentes, poderia ser atribuida, em maior parte, à remoção de matéria orgânica pelos efeitos da degradação biológica e sedimentação, processada durante seu percurso no rio Tietê.

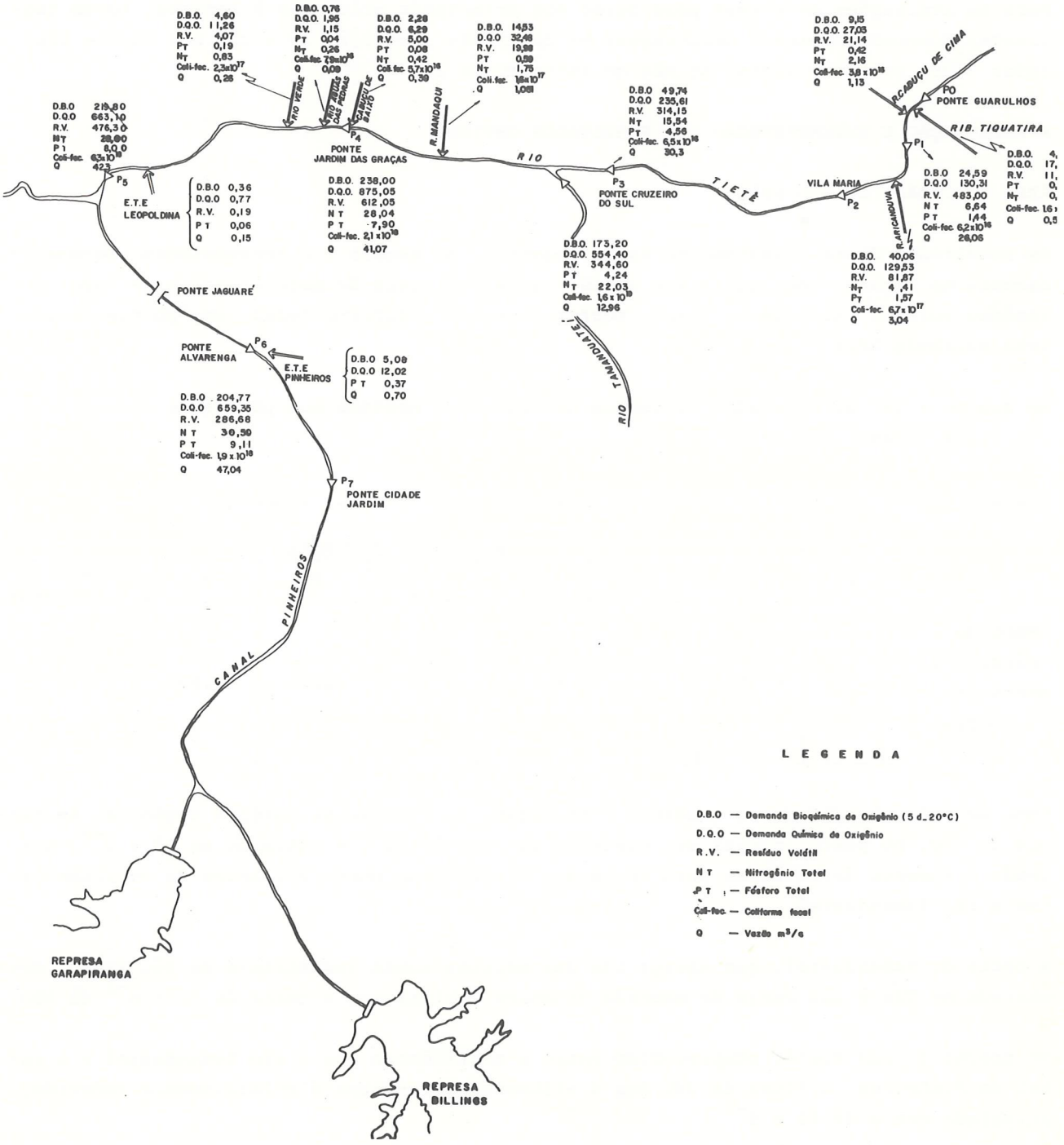


FIGURA 3 - Fluxo de cargas poluidoras (t/dia) no Rio Tietê no trecho entre Guarulhos e Barragem de Pedreira

Ressalte-se que, além dos afluentes estudados, existem córregos de pequeno porte que carreiam materiais poluentes - situados principalmente ao longo do canal Pinheiros - com lançamentos efetuados diretamente nos rios em estudo, cuja influência não foi possível avaliar nesta campanha.

No caso da bacia do rio Pinheiros (incluindo Osasco) estima-se que a sua população corresponde a cerca de 20% da população da cidade de São Paulo (1).

Considerando-se a proporção acima citada e admitindo-se que os fluxos de materiais poluentes sejam proporcionais à distribuição populacional, estima-se que o fluxo total de DBO na área urbana de São Paulo seja em torno de 350 $t.d^{-1}$, durante a época de realização da campanha.

Com base nestes dados de fluxo total, pode-se inferir que o Tamanduateí contribui com aproximadamente 50% do valor total de DBO da área urbana de São Paulo, isto é 173 t/dia.

O rio Aricanduva também carreia apreciável quantidade de matéria carbonácea em termo de DBO que corresponde cerca de 10% da contribuição total da área da cidade de São Paulo.

As relações quantitativas entre valores de DBO e DQO, obtidos no presente levantamento, variam de 1/3 a 1/5, conforme o local da coleta.

Quanto aos valores de nitrogênio e fósforo totais, os fluxos determinados no rio Tietê no trecho compreendido entre P0 e P5 foram da ordem de 36 $t.d^{-1}$ e 8 $t.d^{-1}$, respectivamente. Adotando-se o mesmo critério utilizado para o fluxo de DBO em relação à contribuição das sub-bacias do rio Tietê, os fluxos totais de nitrogênio e fósforo são estimados em 45 $t.d^{-1}$ e 10 $t.d^{-1}$ respectivamente. Estes valores representam cerca de 13% e 3% do fluxo total da DBO respectivamente.

Da mesma forma foi avaliado o fluxo total de coliforme fecal como sendo 17 x $10^{18}.d^{-1}$.

Como no caso da DBO, o rio Tamanduateí contribui também com maior porcentagem de elementos nutritivos e bactérias de origem fecal em relação com outros afluentes.

As concentrações de íons metálicos e seus fluxos nos pontos de coletas estabelecidos estão resumidas no Quadro 3.

Dentre os efluentes estudados, o rio Tamanduateí contribui com todos os íons analisados em quantidades significativas, excetuando-se o cromo hexavalente. Este fato demonstra a importância das fontes poluentes da região do ABC, como lançadoras de íons metálicos.

As concentrações de íons de cobre, chumbo, zinco e cromo total neste rio variam de 0,3 a 3,7 mg/l e a concentração de mercúrio total é apreciavelmente alta (11,7 µg/l).

Após o rio Tamanduateí, o rio Aricanduva foi o que apresentou maiores quantidades de íons metálicos. Em todos os efluentes estudados o íon zinco apresentou maior fluxo, seguido do cobre, chumbo, cromo total, cadmio e mercúrio. Cromo hexavalente não foi encontrato nestes afluentes, devido à condição anaeróbia presente nos mesmos que ocasiona redução deste elemento a forma cromo trivalente.

Nos rios Tietê e Pinheiros, as concentrações destes materiais são baixas, comparando-as com as concentrações limite estabelecidas pela SEMA para águas de classe 2, com exceção do íon cromo total (2). Esse fato pode ser explicado pelo efeito de diluição e pela formação de sais insolúveis em consequência da condição anaeróbia, posteriormente removidos pela sedimentação.

QUADRO 3 - CONCENTRAÇÕES (mg/ℓ) E FLUXO ($kg \cdot d^{-1}$) DE ÍONS METÁLICOS DETERMINADOS NO RIO TIETE E CANAL PINHEIROS E SEUS AFLUENTES (05-08/11/74)

Ponto de coleta	Q m^3/s	Cu		Pb		Zn		Hg total		Cr^{+6}		Cr total		Cd	
		mg/l	kg d^{-1}	mg/l	kg d^{-1}	mg/l	kg d^{-1}	µg/l	g d^{-1}	mg/l	kg d^{-1}	mg/l	kg d^{-1}	mg/l	kg d^{-1}
R. Cabuçu de Cima	1,130	0,083	8,1	0,00	0,00	0,222	21,7	0,33	32,0	0,000	0,000	1,238	120,8	0,00	0,00
R. Tiquatira	0,543	0,062	2,9	0,00	0,00	0,130	6,1	011	5,0	0,000	0,000	0.090	4,2	0,00	0,00
R. Aricanduva	3,36	0,098	28,5	0,06	17,4	0,350	101	0,70	203,0	0,000	0,000	0,087	25,3	0,00	0,00
R. Tamanduateí	11,36	0,692	679,2	0,467	458,3	3,714	3645,4	11,7	11483,6	0,000	0,000	0,323	317,0	0,006	5,9
R. Mandaqui	1,05	0,040	3,6	0,00	0,00	0,220	20,0	0,22	20,0	0,000	0,000	0,016	1,5	0,00	0,00
R. Cabuçu de Baixo	0,386	0,030	1,0	0,00	0,00	0,070	2,3	0,07	2,0	0,000	0,000	0,020	0,7	0,00	0,00
R. Água das Pedras	0,092	0,070	0,6	0,02	0,2	0,760	6,0	0,20	2,0	0,000	0,000	0,112	0,9	0,00	0,00
R. Verde	0,262	0,060	1,4	0,04	0,9	0,240	5,4	0,20	5,0	0,000	0,000	0,066	1,5	0,00	0,00
R. Tietê															
P_1	26,6	0,02	46	0,0	0,0	0,14	322	0,33	758	0,000	0,000	0,027	62	0,0	0,0
P_3	30,3	0,03	79	0,0	0,0	0,175	458	0,65	1 702	0,000	0,000	0,061	159	0,0	0,0
P_4	41,7	0,14	504	0,03	108	0,415	1495	0,90	3 243	0,000	0,000	0,084	303	0,005	18,0
P_5	42,3	0,08	293	0,04	147	0,40	1465	085	3 107	0,000	0,000	0,098	358	0,00	0,000
P_7	47,4	0,10	410	0,04	164	0,34	1392	0,65	2 662	0,000	0,000	0,104	126	0,000	0,000

CARGAS POLUIDORAS LANÇADAS NA REPRESA BILLINGS

a) Fluxo através da Barragem de Pedreira

O padrão sazonal das precipitações na bacia hidrográfica do alto Tietê que condiciona distintamente os períodos de chuva e estiagem afeta consideravelmente a qualidade das águas dos rios da bacia.

A figura 4 apresenta as variações de concentrações médias mensais de DBO e nitrogênio amoniacal, obtidas no rio Pinheiros, junto à barragem de Pedreira, em várias épocas do ano, demonstrando a nítida influência da precipitação pluviométrica na qualidade das águas que são recalcadas para a represa Billings.

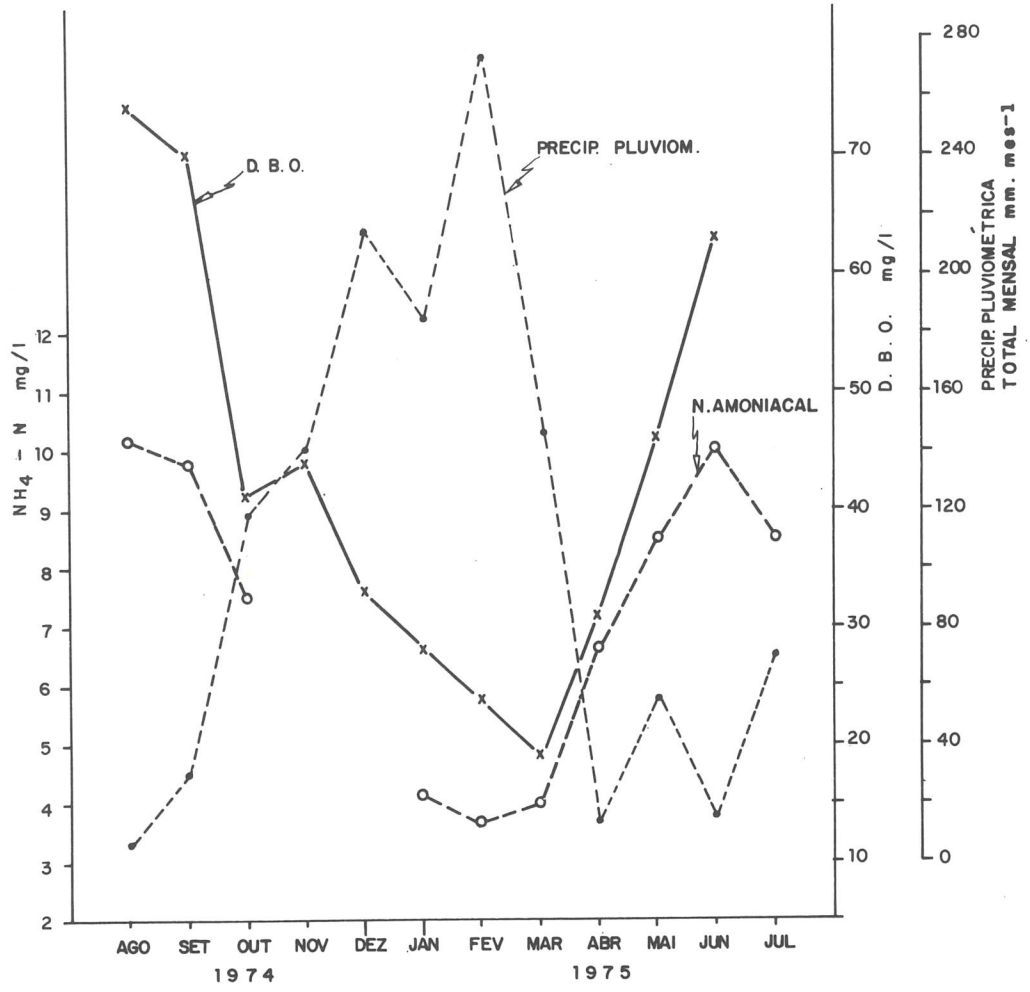


FIGURA 4 - Variações das concentrações de DBO, nitrogênio amoniacal e precipitação pluviométrica na Represa Billings em alguns meses de 1974/1975

Projetando-se essa relação nas Figuras 5 e 6 e interpretando-a pela técnica de regressão linear, encontra-se significativa correlação entre as concentrações de DBO, N.amoniacal e as precipitações pluviométricas.

O Quadro 4 mostra os fluxos médios mensais de DBO, nitrogênio total, fósforo total e coliformes fecais, que foram recalcados para a represa Billings através de Elevatória

QUADRO 4

CONCENTRAÇÃO E FLUXO DE DBO - N. TOTAL - P. TOTAL E COLI FECAL RECALCADOS
PARA A REPRESA BILLINGS ATRAVÉS DA BARRAGEM DE PEDREIRA

MÊS / ANO	VAZÃO m^3/s	DBO		N. TOTAL		P. TOTAL		COLI. FECAL	
		Conc. mg/l	Fluxo $t.d^{-1}$	Conc. mg/l	Fluxo $t.d^{-1}$	Conc. mg/l	Fluxo $t.d^{-1}$	NMP/100 ml x 10^6	NMPx10^{16} d^{-1}
1974									
agosto	37,08	74,0	237,07	12,72	40,75	1,15	12,60	3,5	11,2
setembro	34,85	70,4	210,8	13,96	41,80	2,34	11,00	3,2	9,6
outubro	88,32	41,0	312,9	9,81	74,86	2,08	15,87	3,8	29,0
novembro	54,41	43,6	204,10	7,43	34,93	2,04	9,60	4,2	19,7
dezembro	74,96	33,1	214,4	5,78	37,4	1,53	9,91	3,6	23,3
1975									
janeiro	87,53	28,2	213,3	5,33	40,31	1,28	9,68	3,92	29,6
fevereiro	90,50	23,8	186,1	6,07	47,5	1,28	10,00	2,92	22,8
março	70,25	19,2	116,5	6,38	38,7	0,75	4,6	2,83	17,2
abril	57,37	31,1	154,2	10,00	49,6	1,28	6,3	2,83	14,0
maio	42,89	45,6	169,0	11,57	42,9	1,37	5,08	3,69	13,7
junho	26,77	63,1	145,9	13,55	31,3	1,46	3,38	6,01	13,9
julho	41,95	68,5	248,3	11,57	41,9	1,12	4,06	15,02	54,4

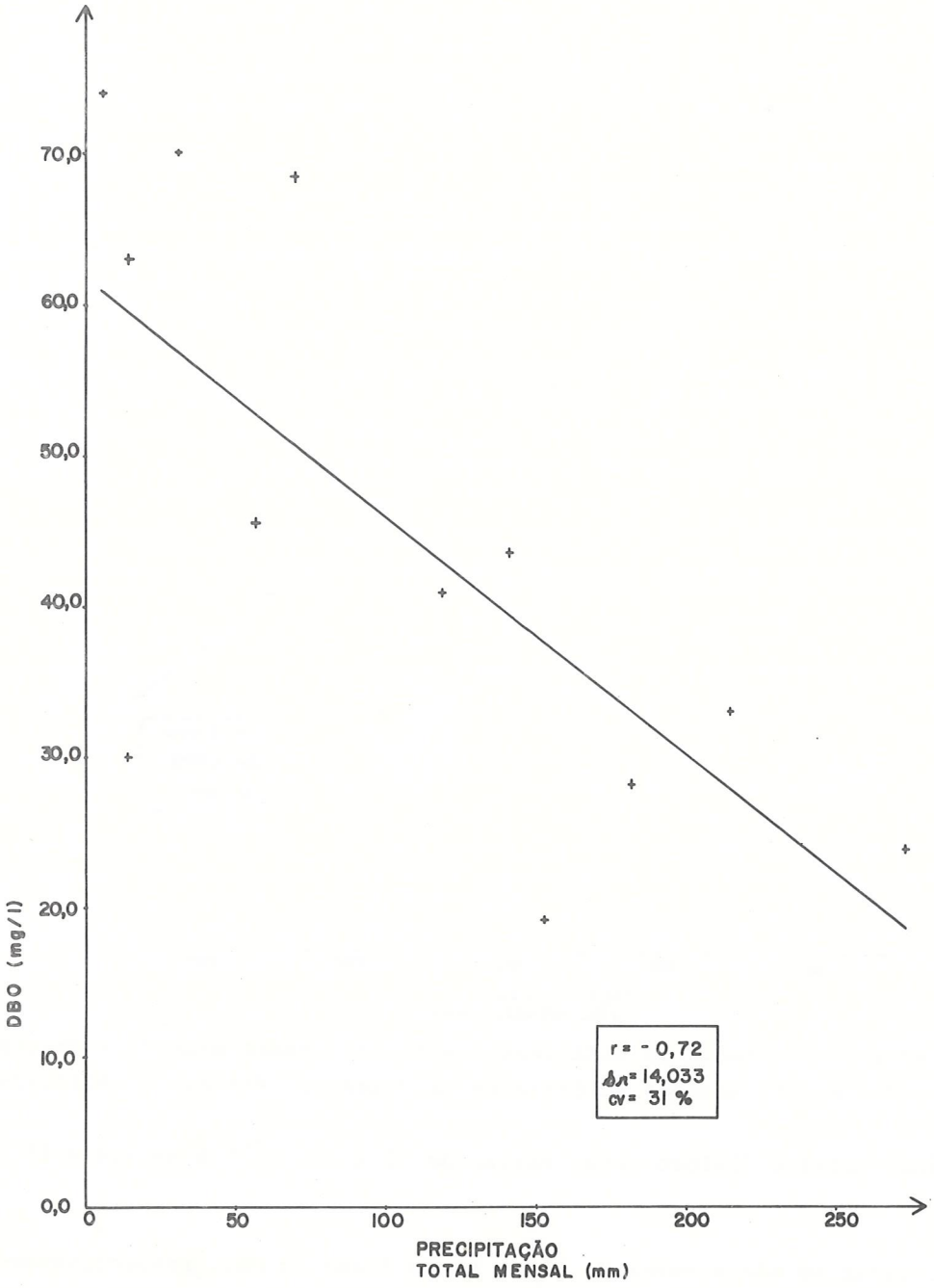


FIGURA 5 - Relação entre concentração de DBO (média mensal) e precipitação pluviométrica total mensal medidas na Barragem de Pedreira. Período - 1974/1975.

de Pedreira durante os levantamentos.

O fluxo de DBO oscilou entre 116 $t.d^{-1}$ e 313 $t.d^{-1}$ durante o estudo, o que correspondeu a cerca de 30 a 90% do fluxo total estimado anteriormente para a área metropolitana de São Paulo. Essa diferença deve ser atribuída á degradação durante o percurso ao longo dos rios Tietê e Pinheiros e à parte dos resíduos que são encaminhados para o reserva-

tório de Pirapora.

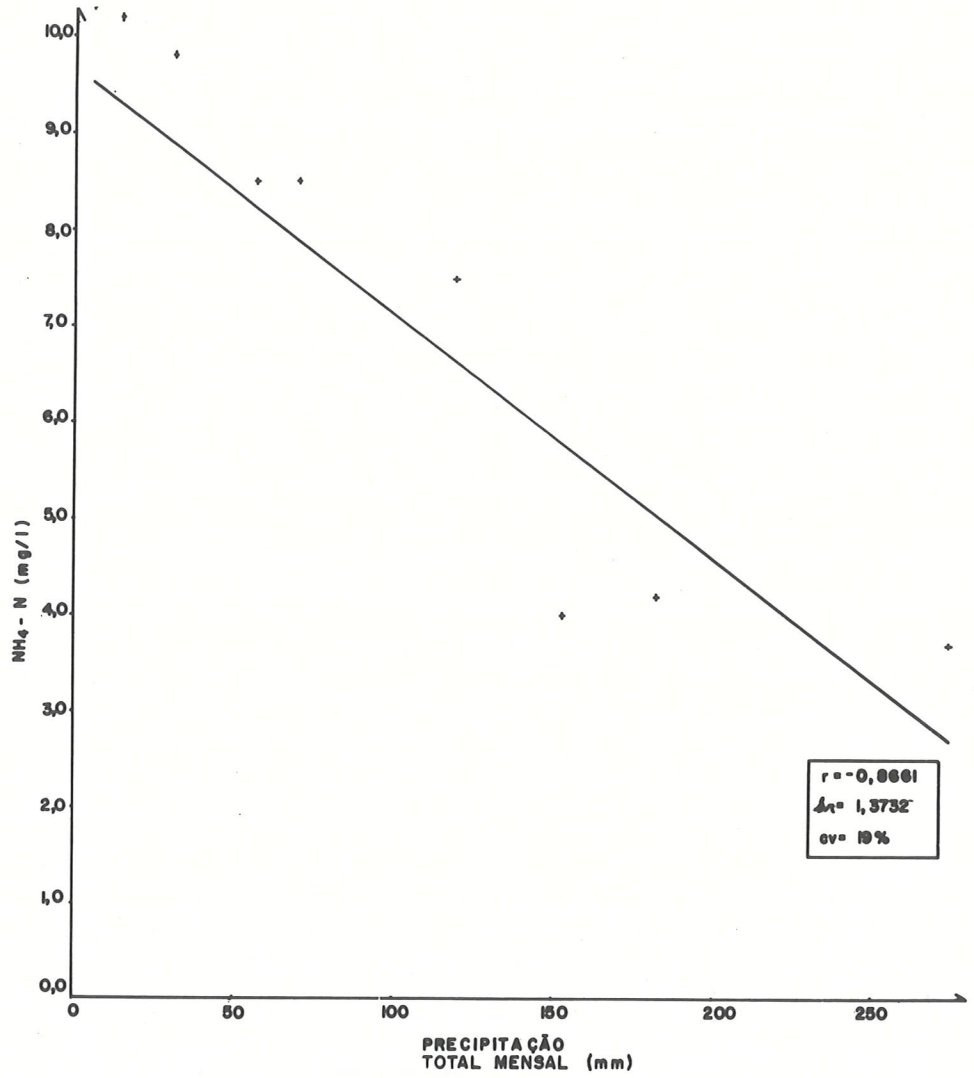


FIGURA 6 - Relação entre concentração de nitrogênio amoniacal (média mensal) e precipitação fluviométrica total mensal medidas na Barragem de Pedreira. Período - 1974/1975

Os fluxos de nitrogênio total e fósforo total variam de 31 a 75 $t.^{d-1}$ e de 3,4 a 15.9 $t.^{d-1}$ respectivamente.

Esses valores constituiram,em média,cerca de 20% e 4% do fluxo da DBO, respectivamente, relações estas que se apresentaram bastante elevadas comparadas com as relações presentes no esgoto normal, devido à degradação da matéria carbonácea que ocorre nos percursos realizados pelos cursos d'água.

A quantidade de coliformes fecais lançados na Represa Billings durante os estudos foi da ordem de 11 a 54.10^{16} $NMP.d^{-1}$.

b) Fluxo através da bacia de drenagem da Represa Billings

No Quadro 5 são apresentados os resultados obtidos nos quatorze afluentes da bacia da Represa Billings.

QUADRO 5 - CONCENTRAÇÕES DE MATERIAIS POLUENTES E SEUS FLUXOS MÉDIOS LEVANTADOS NOS AFLUENTES DA BACIA DA REPRESA BILLINGS

Rios	R. Bororé		R. Colonia		R. Vermelho		R. Campestre		R. Curcutu A		R. Curcutu B	
vazão (l/s)	38,0		7,9		46,6		28,7		60,5		25,0	
pH	7,0	-	6,6	-	6,7	-	6,5	-	6,3	-	6,4	-
Parâmetros	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})
Alcalinidade HCO_3^-	13,0	-	12,0	-	9,0	-	5,0	-	4,0	-	3,0	-
NH_4 - N	0,03	0,10	0,12	0,082	0,12	0,48	0,10	0,25	0,0	-	0,08	0,17
NO_2 - N	0,04	0,13	0,01	0,007	0,01	0,04	0,01	0,025	0,01	0,052	0,01	0,022
NO_3 - N	0,28	0,92	0,02	0,014	0,01	0,04	0,01	0,025	0,12	0,63	0,14	0,302
N - org.	0,55	1,81	6,70	0,48	0,41	1,65	0,55	1,36	0,36	1,88	0,27	0,583
PO_4 - P	0,006	0,02	0,005	0,003	0,015	0,06	0,012	0,03	0,002	0,01	-	-
R. total	43,0	141,2	44,0	30,0	63,0	253,7	59,0	146,3	26,0	135,9	31,0	66,9
R. volátil	11,0	36,1	13,0	8,9	23,0	92,6	20,0	49,6	8,0	41,8	9,0	19,4
DBO	1,0	3,3	2,4	1,6	2,0	8,1	0,8	2,0	0,6	3,1	0,6	1,30
Coli fecal-NMP/100 ml	330	$1,1(10^{10})$	$1,1(10^{4})$	$7,5(10^{10})$	48	$1,9(10^{9})$	170	$4,2(10^{9})$	170	$8,9(10^{9})$	38	$7,1(10^{8})$
Cu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr total	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CETESB

QUADRO 5 - (Continuação)

Rios	R. Pequeno		R. Grande		R. Pires sul		R. Pires norte		R. Alvarenga		R. Apuras		R. Guacuri	
vazão (l/s)	59,0		1173,5		,200,0		127,0		23,0		11,0		9,0	
pH	5,8	-	7,0	-	7,2	-	6,5	-	7,1	-	6,8	-	7,0	-
Parâmetros	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})	Conc. (mg/l)	Fluxo (kg d^{-1})
Alcalinidade HCO_3	-	-	-	-	104,0	-	16,5	-	69,0	-	-	-	-	-
NH_4 - N	0,0	0,0	0,28	27,8	1,6	27,6	0,65	6,10	0,03	0,06	3,9	3,70	1,95	1,52
NO_2 - N	0,0	0,0	0,02	1,8	0,01	0,17	0,015	0,..4	0,26	0,52	0,20	0,19	0,06	0,05
NO_3 - N	0,085	0,42	0,20	18,7	0,02	0,35	0,14	3,61	1,76	3,50	1,8	1,70	0,54	0,42
N - org.	0,155	0,68	0,42	47,1	2,68	46,3	1,18	13,02	-	-	-	-	-	-
PO_4 - P	0,010	0,057	0,147	14,8	1,925	33,3	0,57	4,19	0,035	0,070	0,055	0,05	0,039	0,03
R. total	33,0	165,1	325,0	29484,0	532,0	9193,0	-	-	178,0	353,7	-	-	-	-
R. volátil	15,5	89,4	48,0	4354,6	169,0	2920,3	-	-	65,0	129,2	-	-	-	-
DBO	0,5	3,5	6,8	616,9	80,0	1382,4	12,5	118,5	4,8	9,54	12,0	11,40	7,0	5,44
Coli fecal NMP/100 ml	-	-	$7,9(10^5)$	$6,8(10^{14})$	$1,3(10^6)$	$2,2(10^{14})$	$7,9(10^4)$	$1,2(10^{13})$	$4,9(10^5)$	$9,7(10^{12})$	$1,3x(10^4)$	$1,2\ (10^4)$	$2,3(10^3)$	$1,8(10^{10})$
Cu	-	-	0,03	3,36	0,15	2,59	0,02	0,30	-	-	-	-	-	-
Pb	-	-	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	0,08	8,96	0,28	4,84	0,15	2,23	-	-	-	-	-	-
Hg	-	-	0,0095	1,06	0,0009	0,016	0,0002	0,003	-	-	-	-	-	-
Cr total	-	-	0,082	9,19	0,07	1,21	0,01	0,151	-	-	-	-	-	-
Cd	-	-	0,01	1,12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CN	-	-	0,0	0,0	0,019	0,33	0,0	0,0	-	-	-	-	-	-

O rio Grande, o ribeirão Pires Norte e o ribeirão Pires Sul apresentam índices de poluição apreciavelmente altos, com a presença, inclusive, de alguns íons metálicos, que são resultantes de contribuições de cargas poluidoras de algumas indústrias e municípios que se localizam na sub-bacia do rio Grande.

O fluxo total de DBO de todos os afluentes estudados foi estimado em 2,17 $t.d^{-1}$, das quais 98% são imputados aos três cursos d'água, citados anteriormente.

O fluxo de cargas poluentes que adentram o rio Grande é suficientemente intenso para comprometer suas águas para os fins de abastecimento público e recreação a que se destinam atualmente.

Apesar de se constatar índices de poluição significativos no rio Alvarenga, ribeirão Apurase, ribeirão Guacuri, as contribuições de materiais poluentes desses cursos d'água em termos de fluxo são limitadas, comparadas com o nível de poluição encontrado atualmente no corpo principal da represa Billings.

Além desses pequenos contribuintes que não foram investigados no presente levantamento, sabe-se da existência de outros focos de poluição, constituidos por pequenos núcleos habitacionais e de áreas de acúmulo de lixo nas sub-bacias dos rios Grota Funda, riacho Grande, etc. As cargas poluidoras oriundas desses locais, mesmo não influenciando a poluição das águas da represa Billings em termos globais, podem, contudo, serem suficientes para ocasionar deterioração das águas daqueles braços da represa, correspondentes às citadas sub-bacias.

Nos demais afluentes existentes nos braços do Bororé, Itaquaquecetuba, Pedra Branca e rio Pequeno não se registrou praticamente, a presença de materiais poluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - HAZEN AND SAWYER - Relatório sobre disposição de esgotos. Departamento de Águas e Esgotos - Estado de São Paulo, 1967

2 - Ministério do Interior - SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente. Classificação das Águas Interiores do Território Nacional. Portaria GM/0013/14/Jan/1976.

ESTUDO DO TEMPO DE TRÂNSITO DA MASSA LÍQUIDA NO CORPO CENTRAL DA REPRESA BILLINGS

INTRODUÇÃO

O tempo de trânsito das águas é um dos parâmetros hidráulicos fundamentais para a obtenção de dados referentes às variações dos fenômenos físico-químicos e biológicos que ocorrem de forma complexa num sistema aquático, num determinado espaço de tempo, os quais, por sua vez, permitem caracterizar as condições sanitárias desse sistema em função do fluxo de materiais poluentes.

A metodologia empregada no âmbito do presente trabalho para avaliação do tempo de trânsito baseia-se na determinação, a partir dos dados operacionais disponíveis da represa, da velocidade de escoamento das águas ao longo do corpo principal da mesma, durante um período de tempo previamente selecionado.

De posse dos valores desse tempo, a partir do dia primeiro de cada mês, no período de janeiro de 1960 a abril de 1977, foram desenvolvidos estudos de correlação tendo em vista o estabelecimento de expressões analíticas e gráficos, que permitem avaliar os tempos de trânsito para determinadas condições de operação que se pretenda impor ao reservatório.

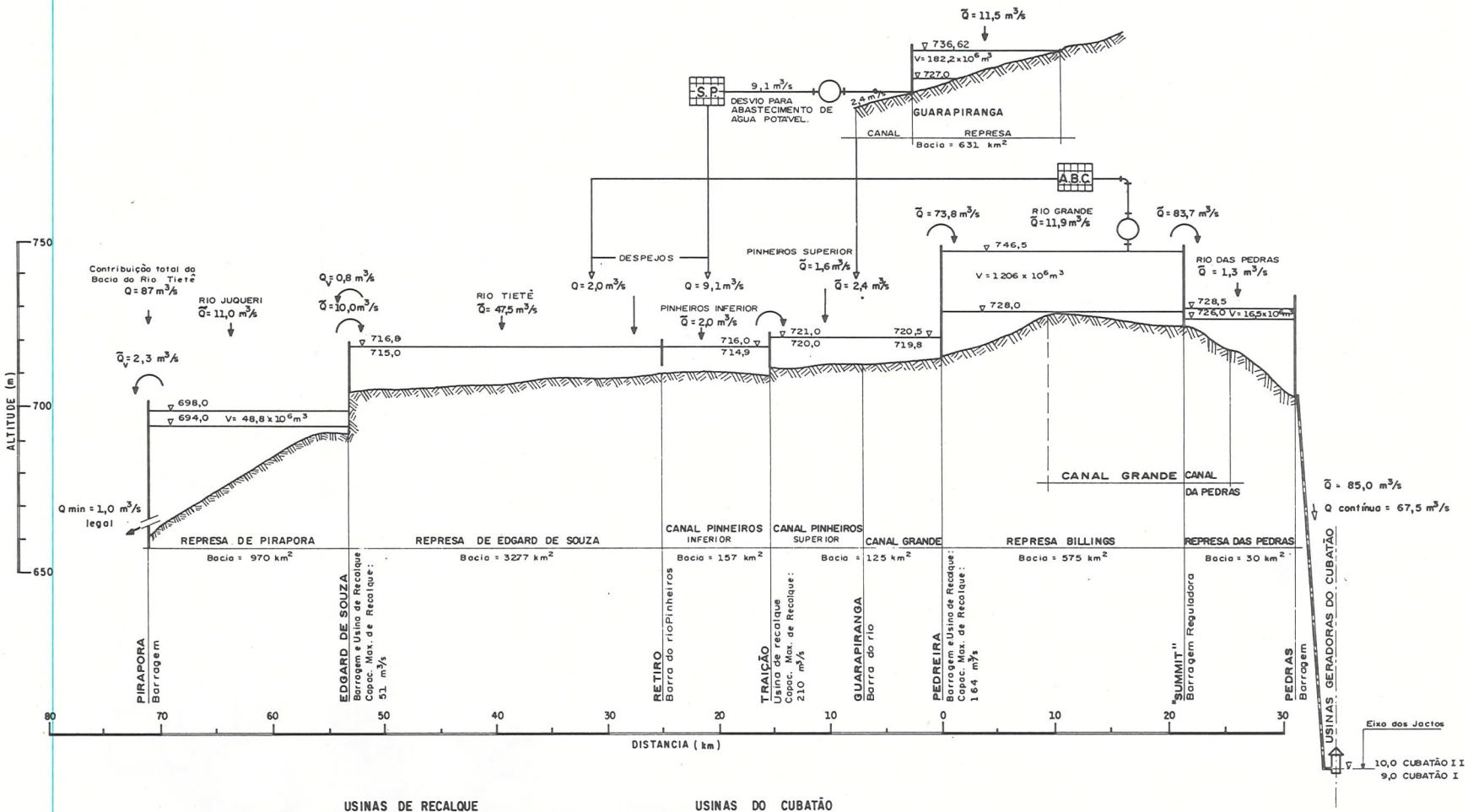
O SISTEMA HIDRELÉTRICO DE CUBATÃO

O sistema hidrelétrico de Cubatão, da LIGHT S/A., compreende essencialmente duas usinas no município de Cubatão, sendo uma com potência instalada de 471 MW (usina velha) e outra com potência instalada de 442 MW (usina nova) e um conjunto de obras nos rios Pinheiros e Tietê, para reversão das águas da bacia do Alto Tietê, que drena uma área de 5.785 km^2 para as citadas usinas de Cubatão.

As obras no rio Tietê compreendem, entre outras barragens adiante mencionadas, uma em Pirapora, a jusante da confluência com o rio Juqueri, cujo remanso atinge uma segunda barragem com usina de recalque em Edgard de Souza. Essa barragem de Edgard de Souza permite inverter o sentido de escoamento do rio Pinheiros, o qual passa a atuar como canal de adução das águas de todo Alto Tietê até a represa Billings situada no Rio Grande, tributário do Pinheiros, para em seguida alimentar as usinas de Cubatão através de um sistema de penstocks existente na Serra do Mar.

O reservatório Billings é formado pela barragem de Pedreira junto a qual existe uma estação elevatória (usina reversível). No próprio rio Pinheiros, entre Pedreira e a confluência com o Tietê existe a estação elevatória de Traição (também usina reversível), que recalca as águas para a elevatória de Pedreira.

As características principais das obras integrantes do sistema hidrelétrico de Cubatão são apresentadas nas Figuras 7, 8A, 8B e 8C. Na Figura 9 são apresentadas, graficamente, as descargas turbinadas nas usinas de Cubatão no período de 1934 a 1975.



USINAS DE RECALQUE

DENOMINAÇÃO	ALTURA MEDIA, m	kwh/m³	m³/kwh	kw/m³/s
PEDREIRA	22	0,0771	13,0	277
TRAIÇÃO	6	0,0210	47,6	76
EDGARD DE SOUZA	20	0,0701	14,3	252

USINAS DO CUBATÃO

ORIGEM DA ÁGUA	kwh/m³	m³/kwh	MW/m³/s
PEDRAS	1,62	0,619	5,82
BILLINGS	1,62	0,619	5,82
GUARAPIRANGA	1,54	0,650	5,54
EDGARD DE SOUZA	1,52	0,659	5,46
PIRAPORA	1,45	0,691	5,21

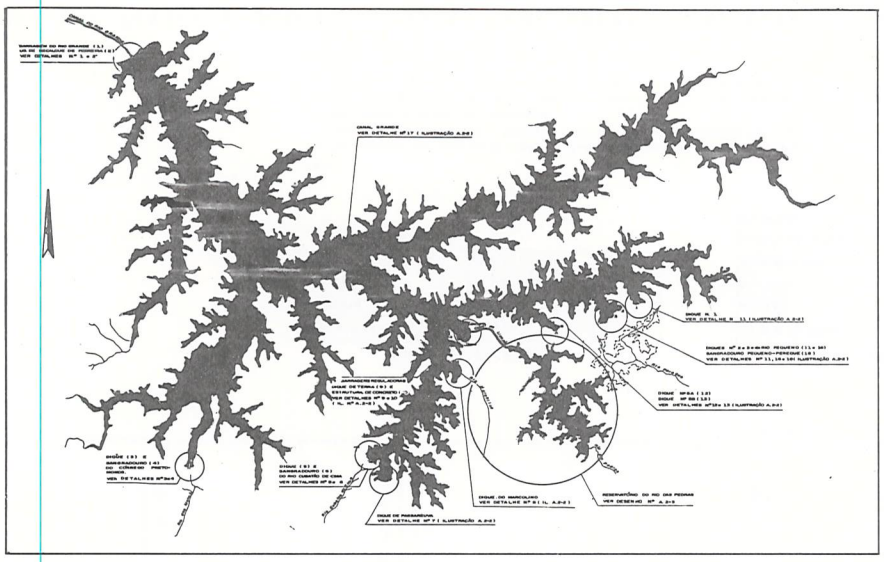
OBS:

1) Reproduzido do desenho H-1480 da Cobast, atualizado com os resultados dos estudos do Convênio Hibrace (até fevereiro de 1968) e também com os resultados obtidos no presente trabalho no que se refere às descargas e áreas de drenagem.
Não considerou-se as perdas por uso consuntivo das águas desviadas para o abastecimento.

2) As cotas constantes do presente desenho acham-se referidas no datum altimétrico do Light

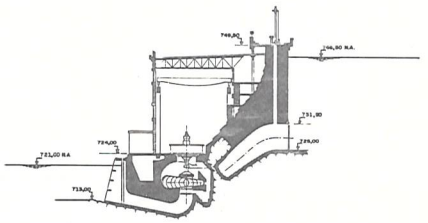
FIGURA 7 - Perfil esquemático do aproveitamento hidrelétrico de Cubatão

CETESB

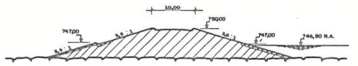


RESERVATORIO BILLINGS

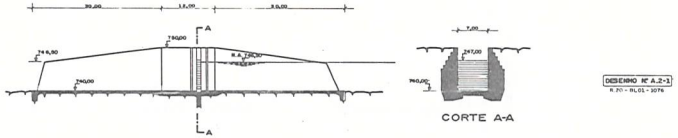
ESC. 1:100 000



USINA DE RECALQUE DE PEDREIRA (DET. Nº 2)



DIQUE DO CORREGO PRETO-MONOS (DET. Nº 3)

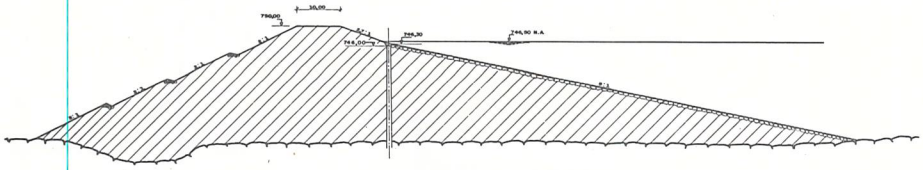


SANGRADOURO DO CORREGO PRETO-MONOS (DET. Nº 4)

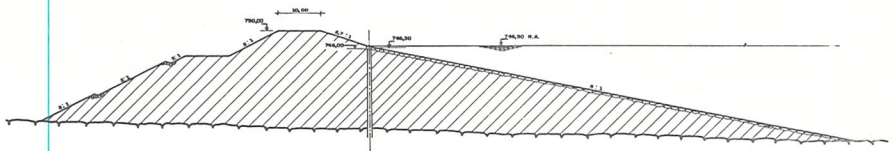
DESENHO Nº A.2-1

R.70 - RL01 - 1076

BARRAGEM DO RIO GRANDE (DETALHE Nº 1)

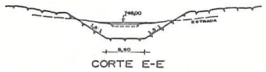


BARRAGEM DO RIO GRANDE - LADO OESTE -

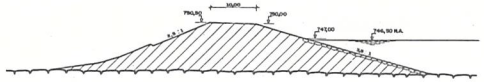


BARRAGEM DO RIO GRANDE - LADO LESTE -

ESCALA 1:500



CORTE E-E



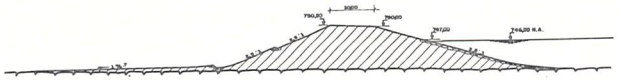
DIQUE DO CUBATÃO DE CIMA (DET. Nº 5)



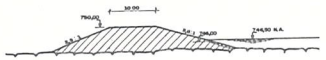
SANGRADOURO DO CUBATÃO DE CIMA (DET. Nº 6)

ESCALA 1:500

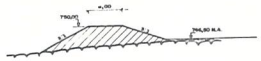
FIGURA 8A - Reservatório Billings - Barragens, diques e demais estruturas periféricas



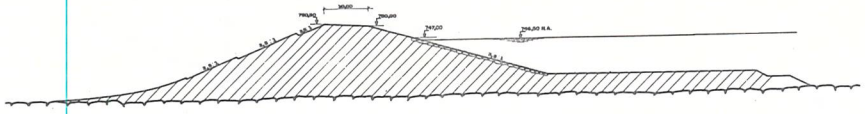
DIQUE DO PASSAREÚVA (DET. Nº 7)



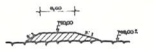
DIQUE Nº 1, 2 e 3 (DET. Nº 11)



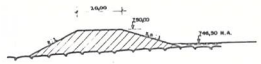
DIQUE Nº 5A (DET. Nº 12)



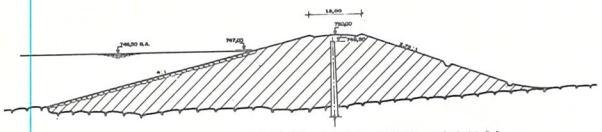
DIQUE DO MARCOLINO (DET. Nº 8)



DIQUE Nº 5B (DET. Nº 13)



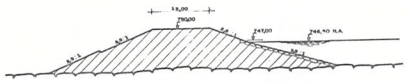
DIQUE Nº 6 (DET. Nº 14)



BARRAGEM REGULADORA (DET. Nº 9)
(DIQUE DE TERRA)

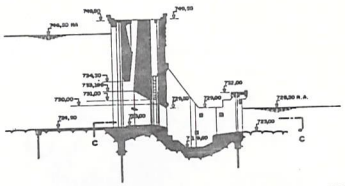


DIQUE Nº 7 (DET. Nº 15)



DIQUE DO RIO PEQUENO (DET. Nº 16)

DETERMINO Nº A-2-2
N.20 - 84.01 - 1074

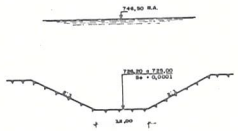


BARRAGEM REGULADORA (DET. Nº 10)
(ESTRUTURA DE CONCRETO)

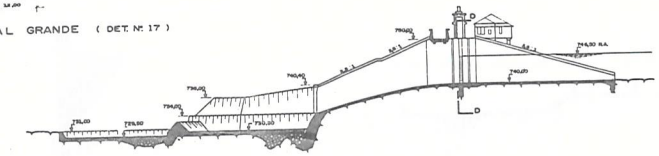


CORTE C-C
(HÁ TRÊS ABERTURAS IGUAIS)

ESCALA 1:300

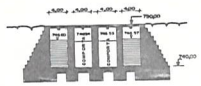


CANAL GRANDE (DET. Nº 17)



SANGRADOURO PEQUENO - PEREQUÊ (DET. Nº 18)

ESCALA 1:300



CORTE D-D

FIGURA 8B - Reservatório Billings - Barragens, diques e demais estruturas periféricas

CETESB

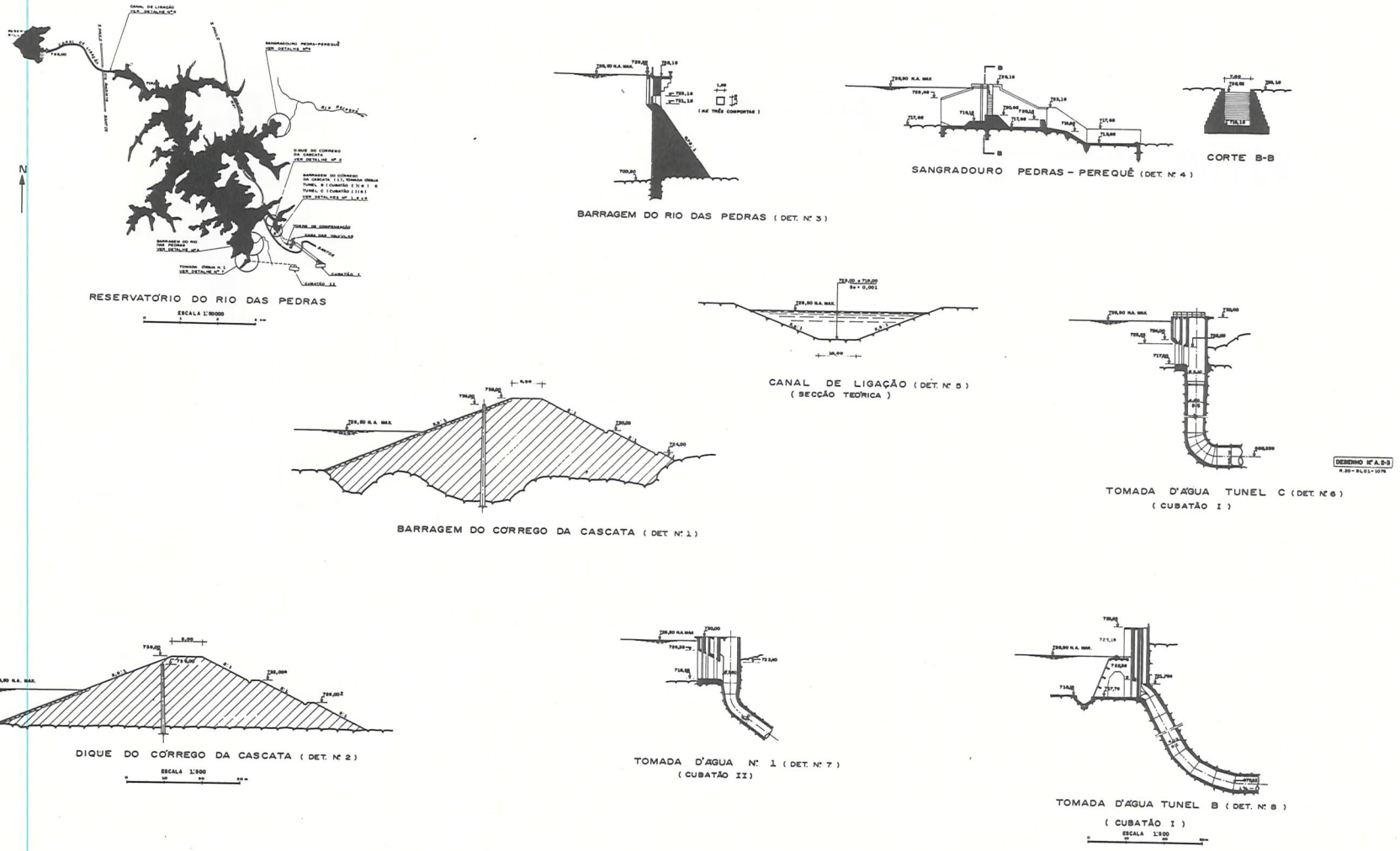


FIGURA 8C - Reservatório Billings - Barragens, diques e demais estruturas periféricas

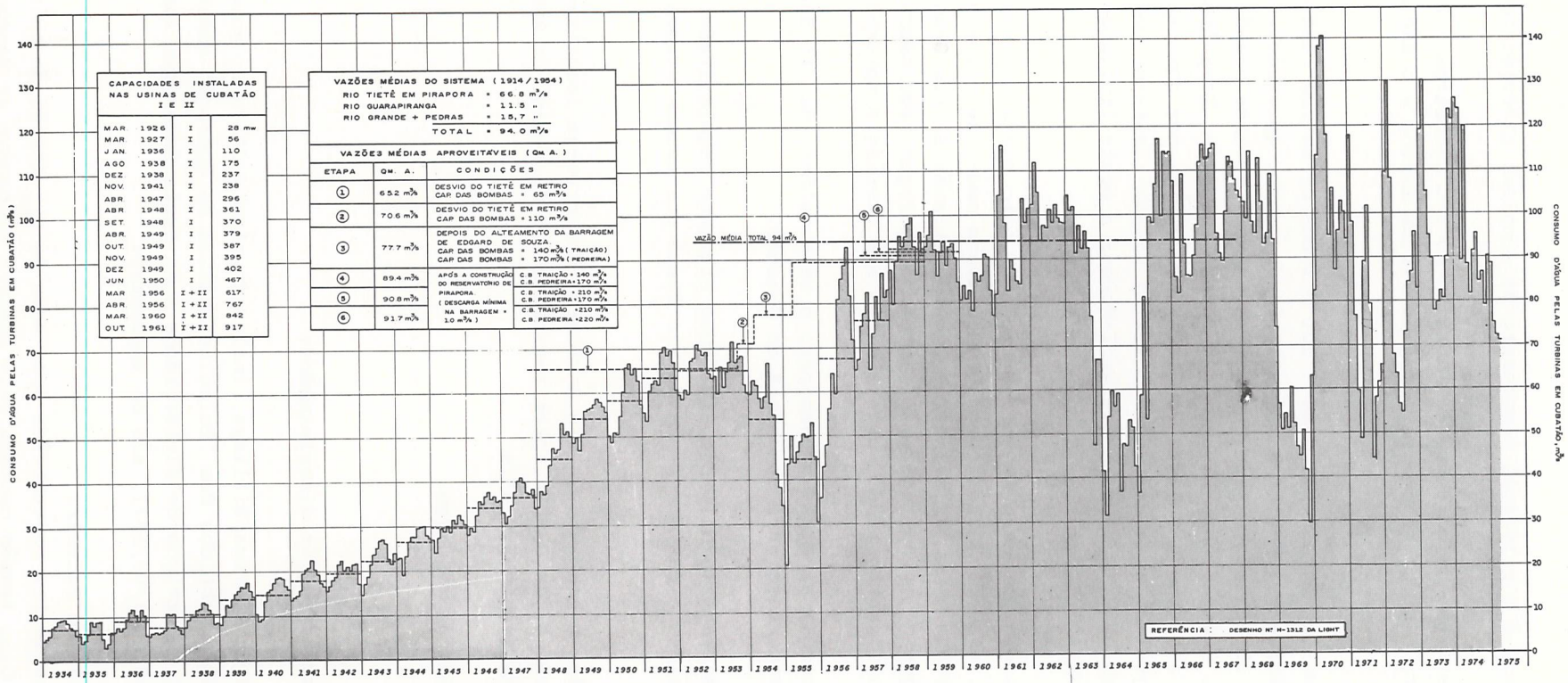


FIGURA 9 - Descargas turbinadas nas usinas de Cubatão I e II

CETESB

A REPRESA BILLINGS E SUA BACIA HIDROGRÁFICA

O reservatório Billings é o principal componente do complexo hidrelétrico de Cubatão.

Foi criado com a construção da barragem de Pedreira no rio Pinheiros e alguns diques em selas topográficas; o nível d'água máximo é de 746,50 metros e o mínimo de 728,00 metros.

Sua capacidade de armazenamento total é de 1.200 milhões de metros cúbicos e seu espelho d'água na cota máxima é superior a 120 milhões de metros quadrados. Drena uma área de cerca de 560 km^2, abrangendo, entre outras, as bacias dos rios Grande, Pequeno, Capivari, Pedra Branca, Taquacetuba, Alvarengas, Bororé e Cocaia. Essa área, conforme Figura 10, limita-se ao norte e a leste com as áreas de drenagem dos rios Tamanduateí, Guaió e Taiaçupeba, que são afluentes do rio Tietê; ao sul limita-se com as bacias costeiras dos rios Quilombo, Cubatão e Capivari-Monos; a oeste limita-se com a bacia de drenagem do rio Guarapiranga.

A represa Billings recebe as águas de toda a bacia do Alto Tietê através da estação de recalque de Pedreira, situada junto à barragem do mesmo nome; no rio Pinheiros; daí suas águas são conduzidas para as usinas de Cubatão através do rio Grande e, posteriormente, ao rio Pequeno, até atingirem o dique e a barragem reguladora do canal de Pedras (Summit Control), percorrendo neste trajeto uma distância aproximada de 22 km.

Através do Summit Control, as águas passam para o reservatório do rio das Pedras, de onde são aduzidas diretamente para as usinas de Cubatão.

Funcionalmente, o reservatório Billings atua como elemento regularizador das descargas de sua bacia contribuinte e das descargas do rio Tietê que recebe através do rio Pinheiros.

No braço do rio Grande, a montante da Via Anchieta, encontra-se localizada a captação de água da ETA Rio Grande, da SABESP, para abastecimento da região do ABC. A descarga retirada é de aproximadamente 3,0 m^3/s.

DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE TRÂNSITO

DADOS UTILIZADOS

Os dados utilizados são a seguir discriminados:

a) dados operacionais da represa Billings, incluindo níveis d'águas, volumes e vazões afluentes e efluentes, obtidos dos "Boletins Diários de Operação Hidráulica", fornecidos pela LIGHT - Serviços de Eletricidade S.A. Esses dados que abrangem o período de 01/01/1960 a 31/07/1977, são os seguintes:

QP = vazão recalcada em Pedreira
QS = vazão total efluente, constituída pela soma de Q_{SC} (vazão de saída pelo Summit Control) com Q_{ABC} (vazão captada pela SABESP- Companhia de Saneamento Básico

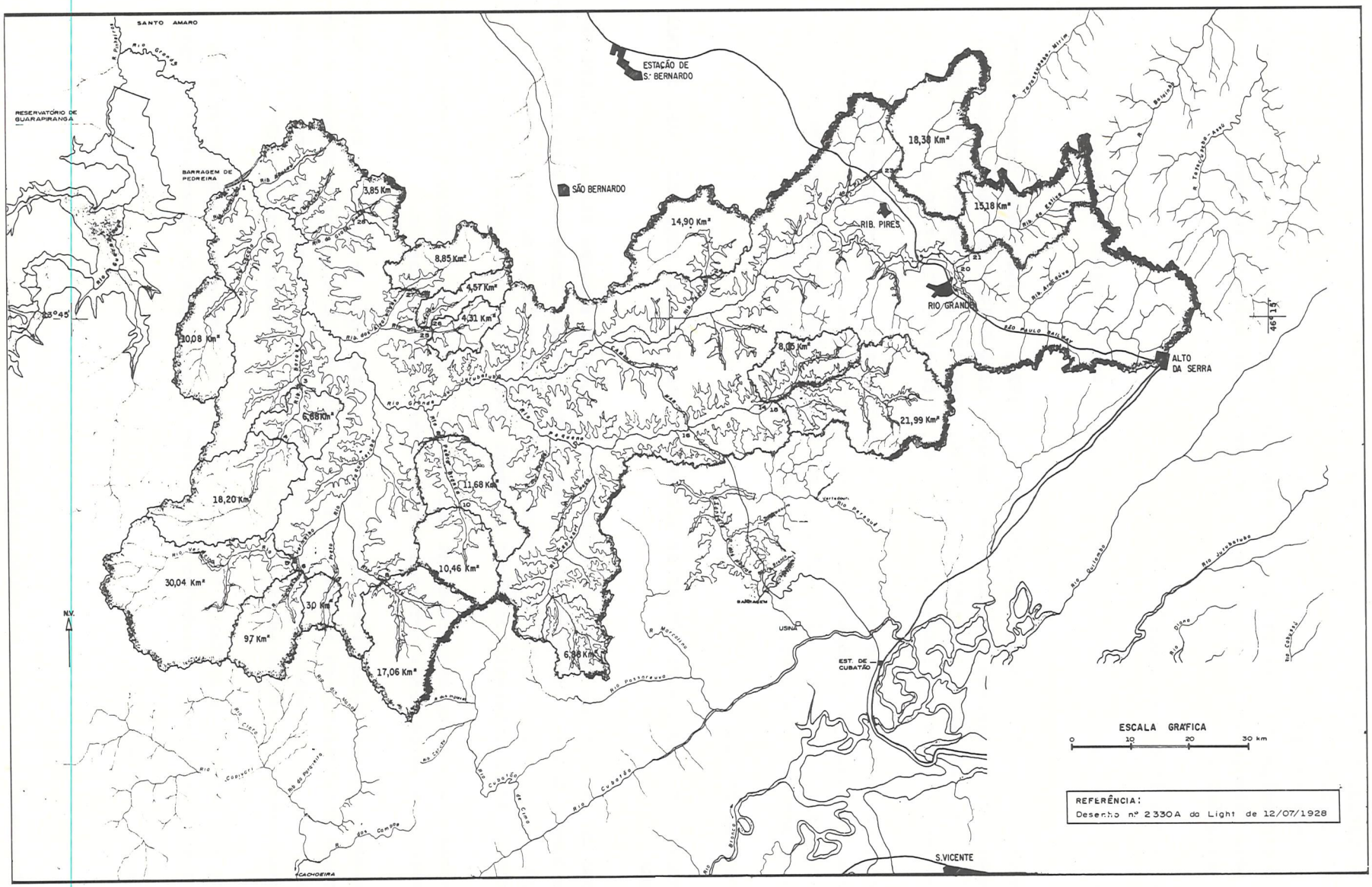


FIGURA 1.0 - Bacia hidrográfica do Rio Grande a montante da Barragem de Pedreira

do Estado de São Paulo para abastecimento do ABC).

NA = níveis de água diários

VT = volumes de águas totais no reservatório

QN = contribuição natural da área drenada pelo reservatório, obtida indiretamente pelo balanço das afluências e efluências, e variações de volumes totais no reservatório.

b) dados cartográficos e topográficos:

- Mapas do IGG (Instituto Geográfico e Geológico de São Paulo) na escala 1:50 000 sob números : P-27, P-28, Q-27 e Q-28.

- Plantas da LIGHT na escala 1:5.000, de 14/12/1927, contendo dados topográficos concernentes à represa Billings, sob números: 1260-5744; 1260-5440; 1260-5444; 1270-5144, 1260-4548, 1260-4552, 1260-4556, 1260-4560, 1260-4564, 1260-4568, 1260-4864, 1260-4868, 1260-4248, 1260-4252, 1260-4256, 1260-4260 e 1260-4264.

- Perfis batimétricos de algumas secções significativas do corpo principal da represa Billings, já citadas anteriormente, perfis esses obtidos por batimetrias efetuadas nos dias 25 e 27/11/1975 (vide INVESTIGAÇÕES SOBRE A INFLUÊNCIA DO MATERIAL BENTÔNICO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA REPRESA BILLINGS)

METODOLOGIA DE CÁLCULO

DETERMINAÇÃO DAS VELOCIDADES MÉDIAS DE ESCOAMENTO DAS ÁGUAS AO LONGO DO CORPO CENTRAL DA REPRESA

O processo de cálculo dos tempos de trânsito das águas na represa Billings, entre Pedreira e Summit Control, desenvolvido no âmbito do presente trabalho, baseia-se na determinação da velocidade média de escoamento das águas ao longo do corpo central do reservatório, em um intervalo unitário de tempo previamente selecionado.

Nesse processo adotou-se como sendo de uma semana o intervalo unitário de tempo; consequentemente as velocidades correspondem a valores médios semanais.

A determinação dessas velocidades médias semanais numa seção genérica do reservatório, foi efetuada considerando-se as descargas recalcadas em Pedreira, as variações do volume armazenado entre Pedreira e a seção em consideração, as descargas naturais afluentes nesse trecho e aquelas retiradas pela SABESP para abastecimento do ABC.

Obteve-se inicialmente a descarga na seção genérica em questão, utilizando-se a expressão abaixo transcrita, estabelecida com base no princípio da conservação da massa:

$$Q = Q_{NP} + Q_P - \frac{D_{VP}}{D_T} \qquad (1)$$

onde:

Q = a descarga média semanal na seção genérica

Q_{NP} = a contribuição natural média semanal entre a seção inicial (Pedreira) e a seção genérica.

A descarga Q_{NP} corresponde a uma parcela da contribuição natural total ao reservatório (Q_N), durante o intervalo de tempo D_T, e foi estimado pela seguinte relação:

$$Q_{NP} = \frac{ad}{AD} \cdot Q_N = K.QN \qquad (2)$$

onde:

ad = a área drenada pelo trecho da represa compreendido entre Pedreira e a seção genérica, área essa obtida da curva de evolução das áreas de drenagem ao longo do reservatório, contina na Figura 11.

AD = a área de drenagem total controlada pelo reservatório.

Q_N = a contribuição natural total ao reservatório.

K = constante para cada trecho considerado.

Ressalte-se que a contribuição natural total ao reservatório (Q_N) - na falta de dados de medição direta dos cursos d'água afluentes - é obtida de maneira indireta, fazendo-se o balanço hídrico do mesmo, a partir dos dados de operação já referidas.

Q_P = a descarga média semanal recalcada em Pedreira.

É calculada a partir dos dados de operação de represa.

D_{VP} = a variação do volume no trecho do reservatório, limitado por Pedreira e a seção genérica em questão, durante o intervalo de tempo D_t.

Na determinação de D_{VP} foram utilizadas as curvas de relação cota-volume para cada trecho do reservatório considerado, constantes na Figura 12.

D_T = o intervalo de tempo considerado; no caso uma semana.

Calculada a descarga Q através da expressão 1 acima, determinou-se a correspondente velocidade média semanal V_M na seção em estudo, através da seguinte expressão:

$$V_M = \frac{Q}{\bar{A}} \qquad (3)$$

onde:

$\bar{A}$ = a área média de escoamento na seção considerada, durante o intervalo D_t.

Obtiveram-se os diversos $\bar{A}$, utilizando-se as curvas de relação cota-área de cada

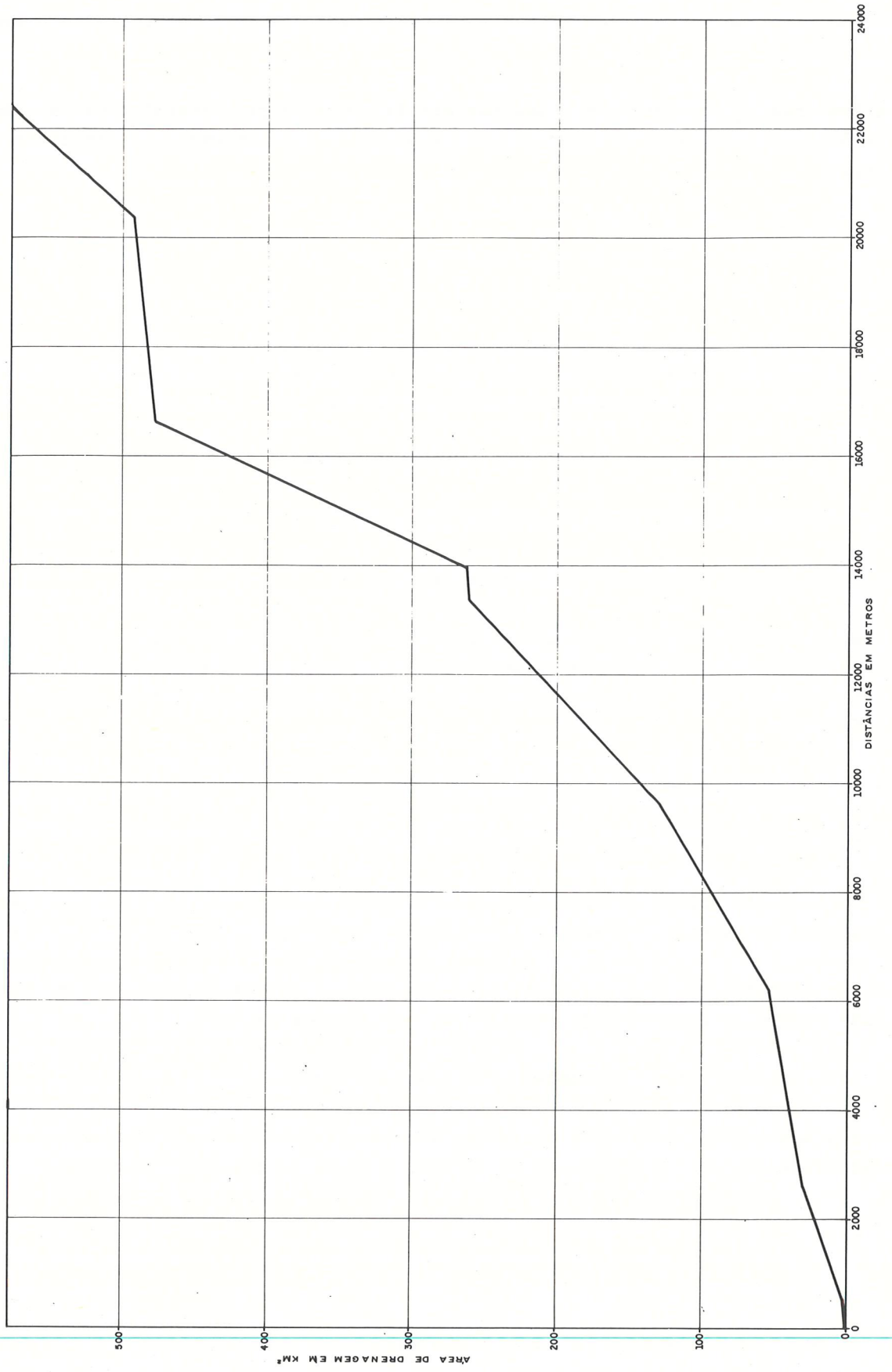


FIGURA 11 - Curva de evolução das áreas de drenagem ao longo da represa Billinas, a partir da barragem de Pedreira

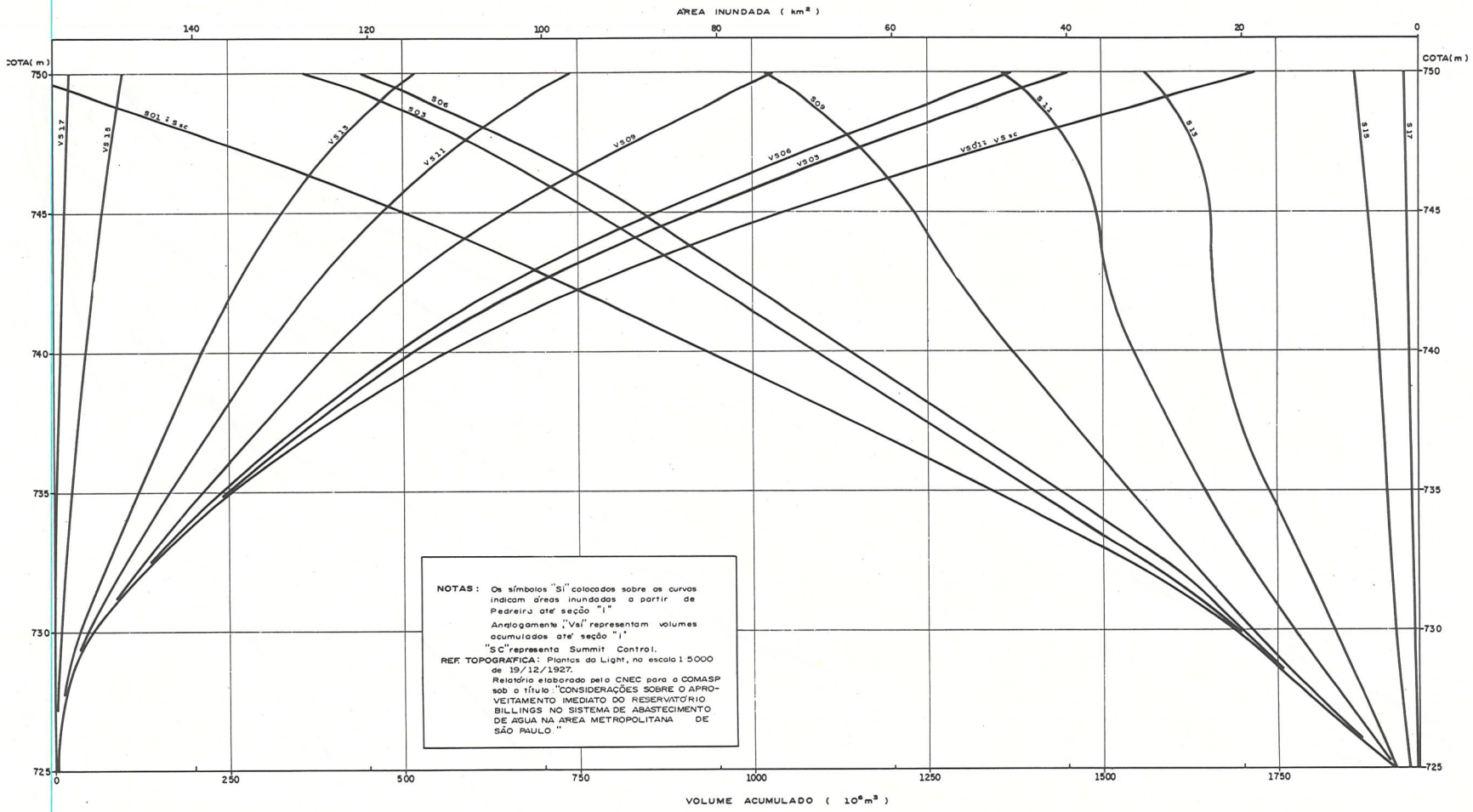


FIGURA 12 - Curvas de áreas inundadas e volumes armazenados no reservatório Billings a partir de Pedreiras até as diversas secções consideradas

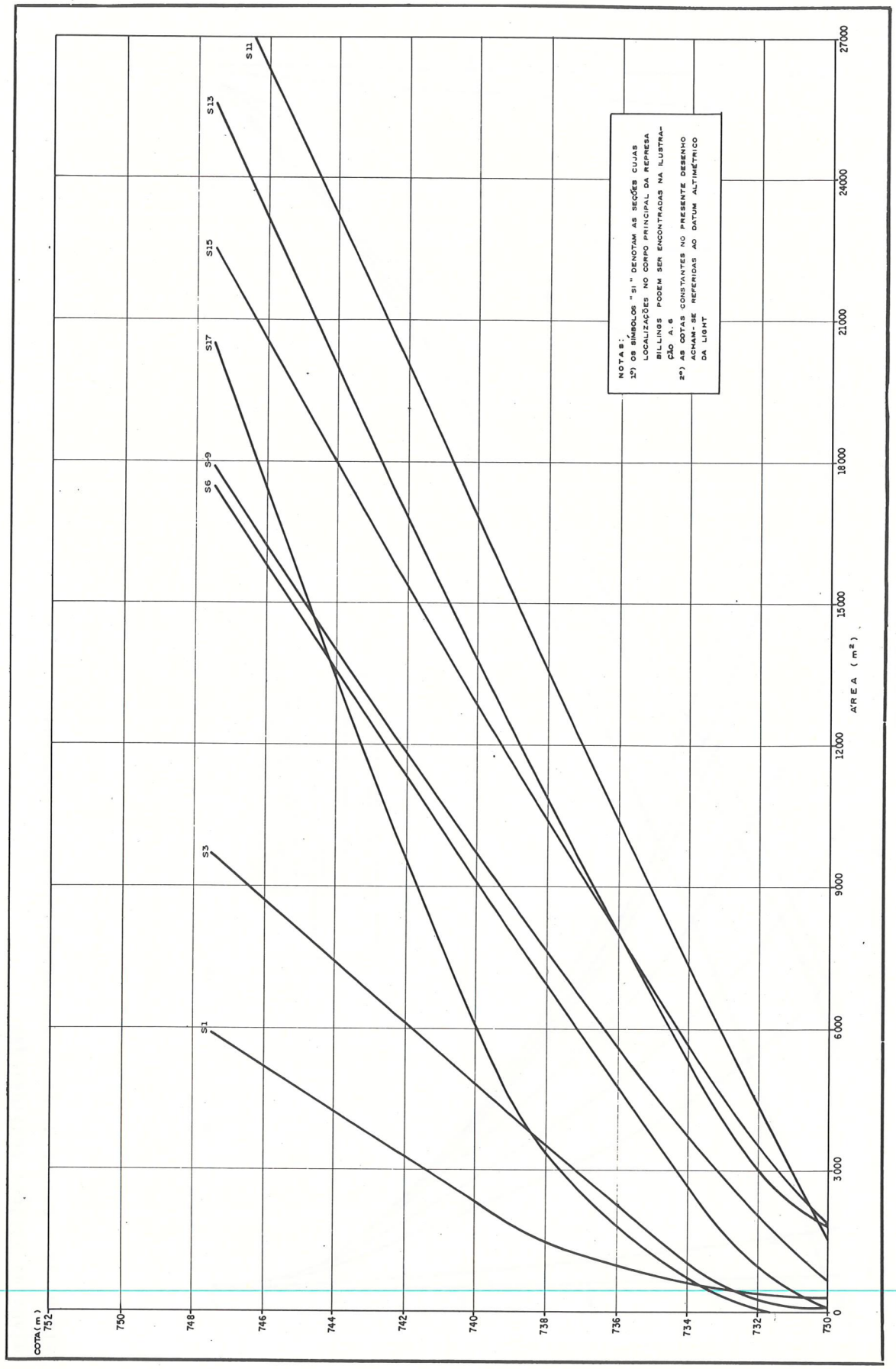


FIGURA 13 - Áreas molhadas das seções transversais consideradas na Represa Billings em função das cotas

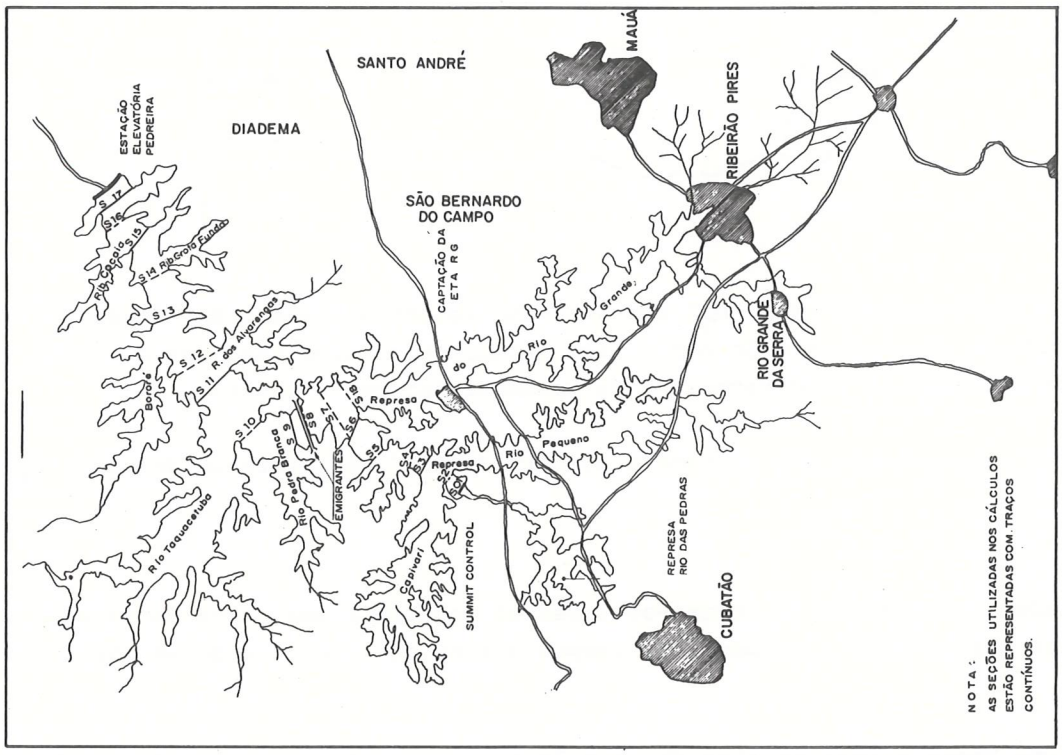


FIGURA 14 - Localização das seções batimétricas ao longo da Represa Billings

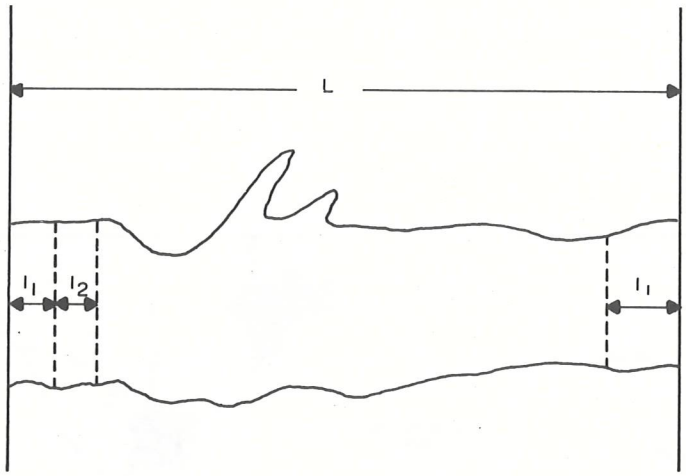
seção transversal em estudo, apresentadas na Figura 13. Essas curvas puderam ser traçadas a partir dos perfis batimétricos de algumas seções pré determinadas (vide INVESTIGAÇÕES SOBRE A INFLUÊNCIA DO MATERIAL BENTÔNICO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA REPRESA BILLINGS).

Para os fins visados no presente estudo, o corpo principal da represa Billings foi dividido em sete trechos, sendo que as oito seções delimitativas desses trechos são mostradas na Figura 14.

Determinadas as velocidades médias em cada seção, a partir da expressão 3, obtiveram-se as velocidades médias nos trechos sucessivos, considerando-as como sendo as médias das velocidades das seções que delimitam cada trecho.

DETERMINAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE AS DISTÂNCIAS PERCORRIDAS AO LONGO DO CORPO CENTRAL DO RESERVATÓRIO E OS TEMPOS DE TRÂNSITO

Considere-se um trecho genérico de reservatório de comprimento L.



Para cada intervalo de tempo "D_T" ter-se-á uma velocidade média das águas "$\bar{V}i$" no trecho, calculada de conformidade com o item acima, velocidade essa que é função das condições de operação do reservatório e da descarga natural afluente.

A cada "$\bar{V}i$" corresponde uma distância percorrida "li" no intervalo de tempo D_T:

$$li = \bar{V}iD_T \qquad (4)$$

Determinados os diversos li, torna-se possível construir uma curva de relação entre as distâncias percorridas e respectivos tempos gastos no trecho, como se mostra na Figura 15.

Nessa curva basta marcar no eixo das distâncias o comprimento total do trecho "l", para se encontrar em correspondência o tempo de trânsito "TT" das águas nesse trecho, a partir de uma origem de tempo qualquer.

Na Figura 15 (B) é mostrada uma representação esquemática do processo para cálculo do tempo de trânsito das águas no corpo central da represa Billings, que nada mais é do que uma repetição sequencial, nos vários trechos considerados, do processo acima descrito.

No gráfico constante da Figura 15 (A) mostra-se a curva final, que se pretendia obter, de relação entre a distância percorrida pelas águas no corpo central da represa e o tempo de trânsito, relação essa que depende precipuamente das condições de operação do reservatório no intervalo abrangido pelo referido tempo de trânsito.

A metodologia apresentada permite avaliar os tempos de trânsito na represa, para qualquer data inicial da referência desde que se disponha dos dados operacionais da mesma.

ESTUDO COM TRAÇADOR RADIOISÓTOPO

Efetuaram-se duas campanhas de lançamento de radioisótopo. A primeira foi realizada na época de seca (agosto de 1974), utilizando-se o isótopo ^{131}I como traçador. Embora não se tenha conseguido atingir os resultados esperados, essa campanha serviu para obten-

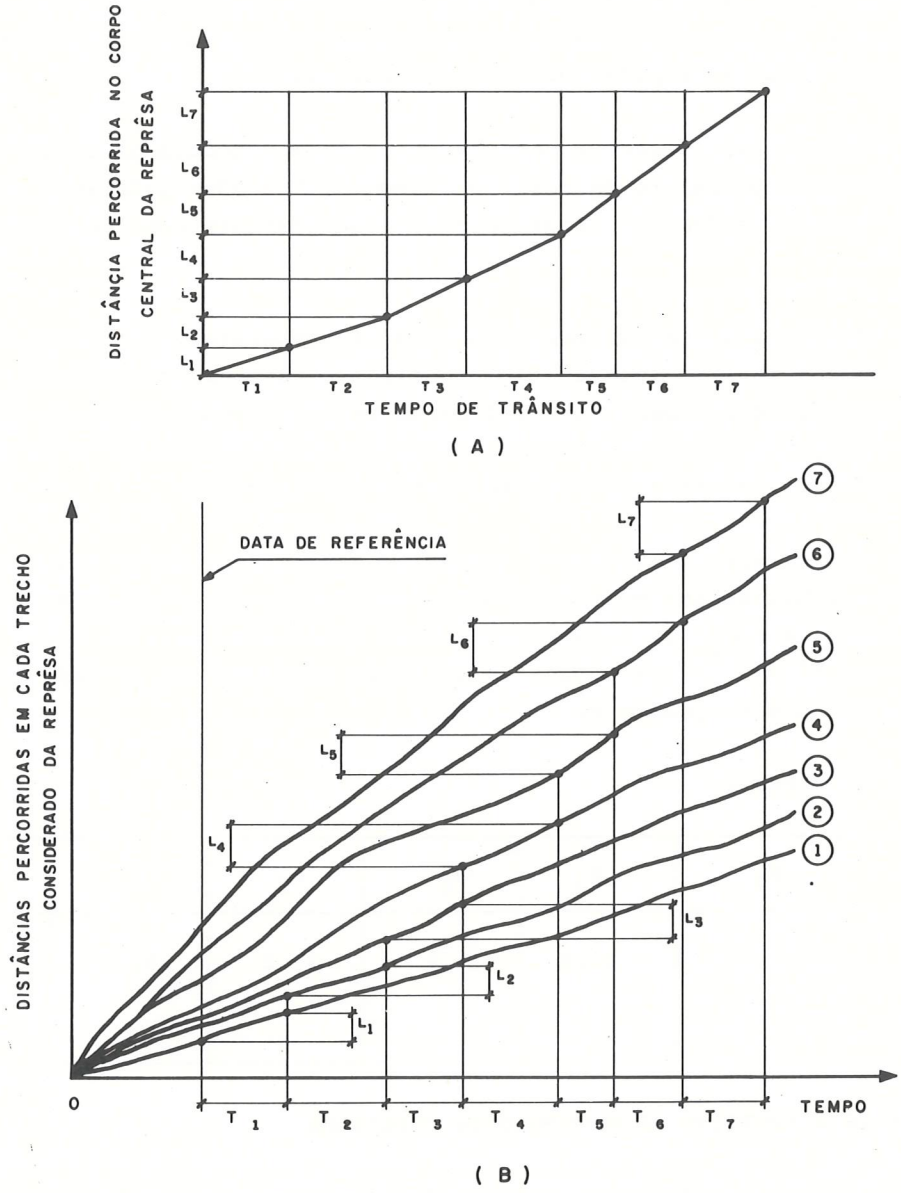


FIGURA 15 - Representação esquemática do processo para determinação do tempo de trânsito na represa em função da distância

ção de conhecimentos preliminares sobre a questão.

Na segunda campanha usou-se como traçador o trítio (^{3}H 100 Ci) que foi lançado na primeira semana de janeiro de 1975 no poço de sucção da estação de recalque da barragem de Pedreira e, daí, prosseguiu-se, de acordo com a movimentação da massa líquida com

coletas de amostras para a determinação das concentrações de isótopo usado. Essas coletas foram efetuadas durante aproximadamente 5 (cinco) meses nas oito seções estabelecidas no corpo principal da represa Billings (Figura 14) (1).

Os tempos de trânsito em cada seção no corpo central foram computados tomando-se como base o tempo de passagem do centro de massa da núvem do traçador pela seção de controle. Os resultados obtidos podem ser interpretados resumidamente como se apresenta a seguir.

A água recalcada em Pedreira, em virtude de sua maior temperatura (efeito da usina térmica Piratininga que utiliza água do rio Pinheiros a montante da Barragem de Pedreira) atinge rapidamente a superfície, delocando-se em direção oblíqua e gerando uma corrente de recirculação na primeira seção da represa (da barragem até 1 km para montante), apresentando praticamente um sistema de mistura completa.

A partir da saída da primeira seção até a seção localizada no rodovia dos Imigrantes (R_5), o comportamento hidráulico do reservatório classifica-se, praticamente, como "plug flow", no qual a massa líquida se desloca com velocidade mais ou menos constante em todo o percurso (590 $m.d^{-1}$). Os tempos de trânsito determinados em cada seção de controle são apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 - TEMPOS DE TRÂNSITO

SEÇÃO	R_2	R_3	R_4	R_5	R_{15}	R_{16}
Tempo de trânsito a partir de Pedreiras (dias)	16,3	20,4	26,4	35,2	81,8	102,9

CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DA METODOLOGIA UTILIZADA

As investigações realizadas mediante o emprego de traçadores radioisótopos para avaliação de tempos de trânsito das águas no corpo principal da represa Billings, mostraram resultados bastante concordantes com os estudos hidráulicos efetuados no trecho entre Pedreira e a rodovia dos Imigrantes, conforme mostrado na Figura 16. No trecho seguinte, até o Summit Control, segundo a mesma ilustração, verificou-se uma divergência bastante acentuada nos resultados obtidos pelos dois processos, o que levou à suposição de uma possível influência resultante da entrada da massa líquida proveniente de Pedreira no braço do rio Grande, cuja desembocadura no corpo principal da represa se situa imediatamente após a rodovia dos Imigrantes.

A fim de se comprovar essa influência, foi efetuado um estudo para avaliação das descargas e respectivos sentidos de escoamento na seção de entrada do braço do rio Grande (Seção 18).

Os estudos efetuados foram desenvolvidos durante o mesmo período que o das campanhas com os traçadores radioisótopos e aplicando-se a mesma metodologia utilizada para o

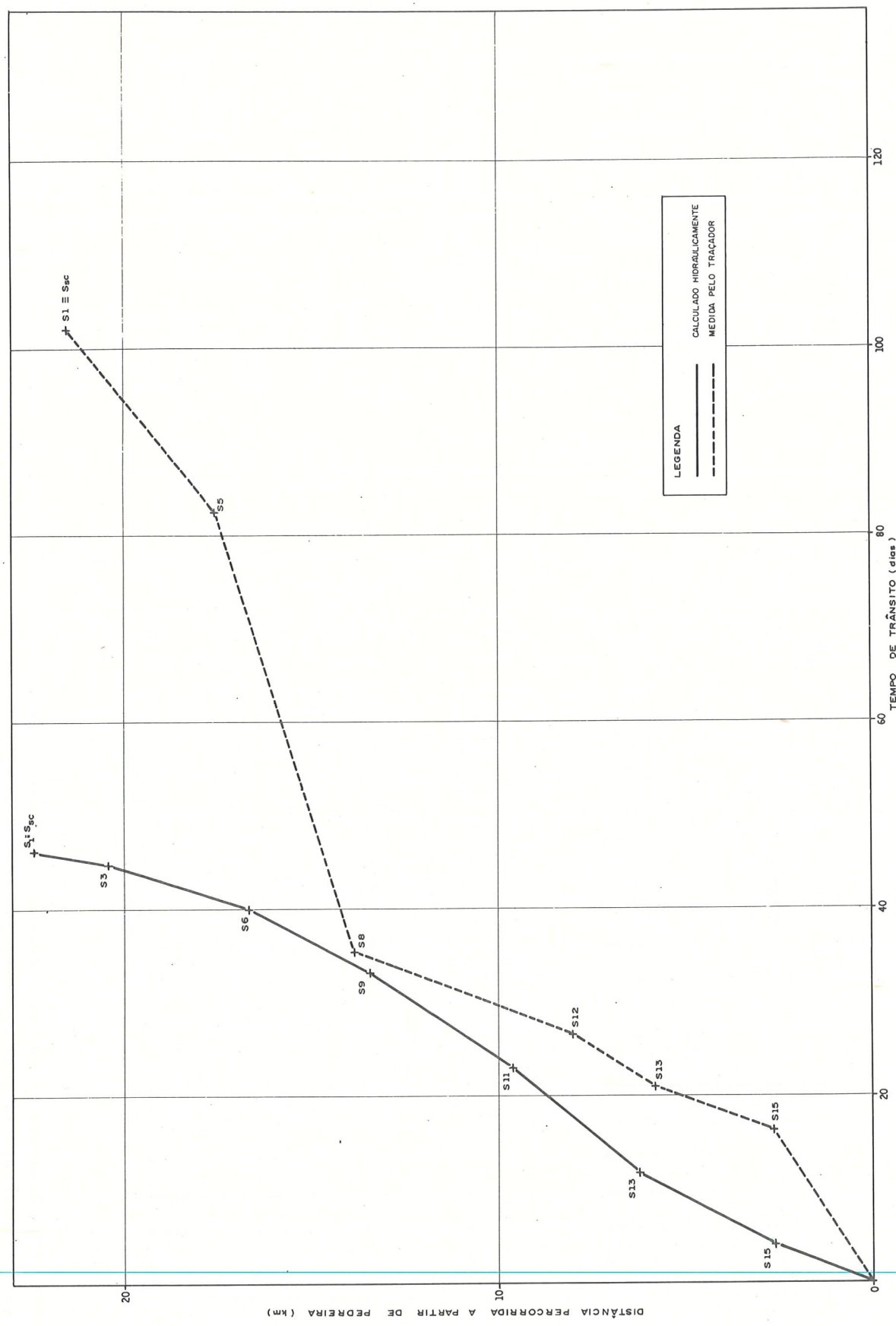
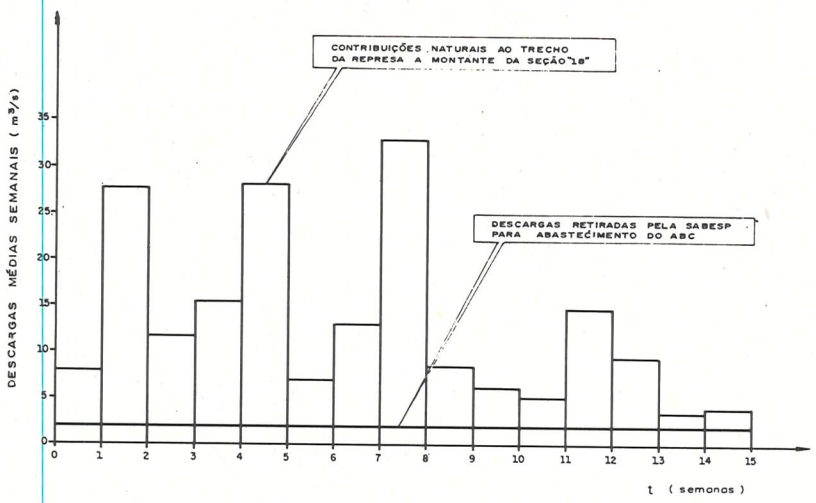
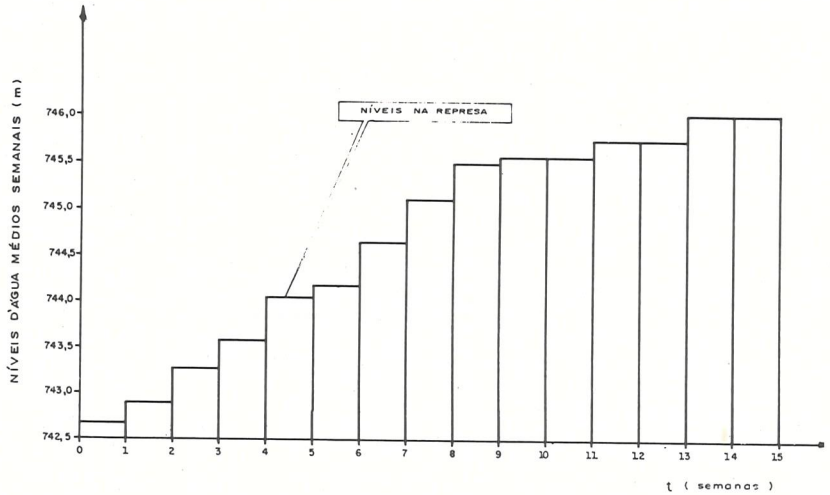
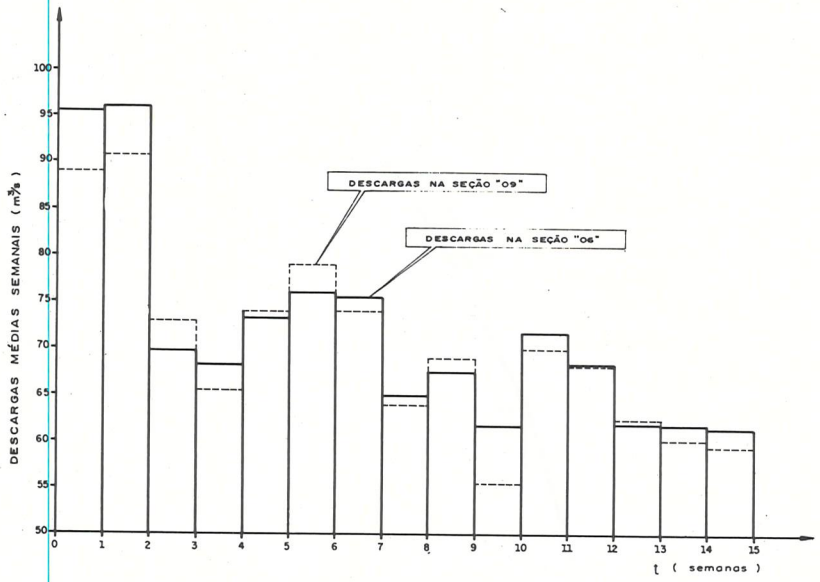


FIGURA 16 - Diagrama dos tempos de trânsito das águas da Represa Billings em função das distância ao longo do seu corpo principal a partir da Barragem de Pedreira







NOTAS :

1.°) A primeiro semana corresponde ao período de 06 a 12 de janeiro de 1975.

2.°) Valores positivos de $"0"_{18}$ correspondem a vazões saindo do Braço do Rio Grande, em direção ao corpo principal do represa Billings.

3.°) As localizações das seções mencionadas no presente desenho, encontram-se na ilustração A.6

4.°) As cotas constantes no presente desenho acham-se referidas ao datum altimétrico da Light

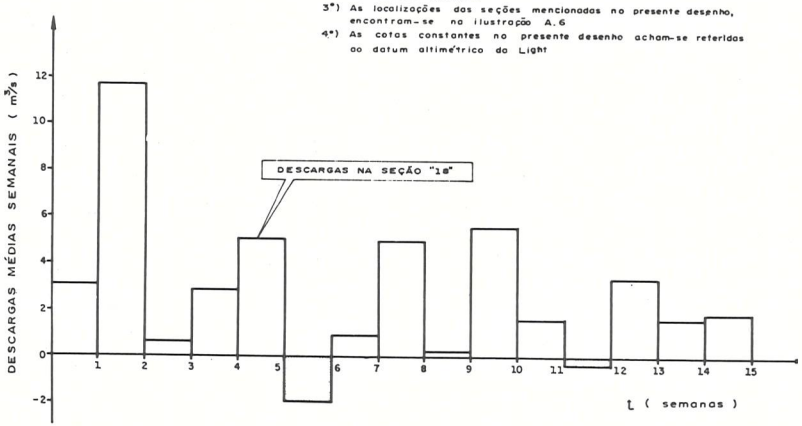


FIGURA 17A - Diagrama de vazões e níveis d'água médios semanais intervenientes no balanço hídrico do braço do Rio Grande na Represa Billings, a montante da seção 10

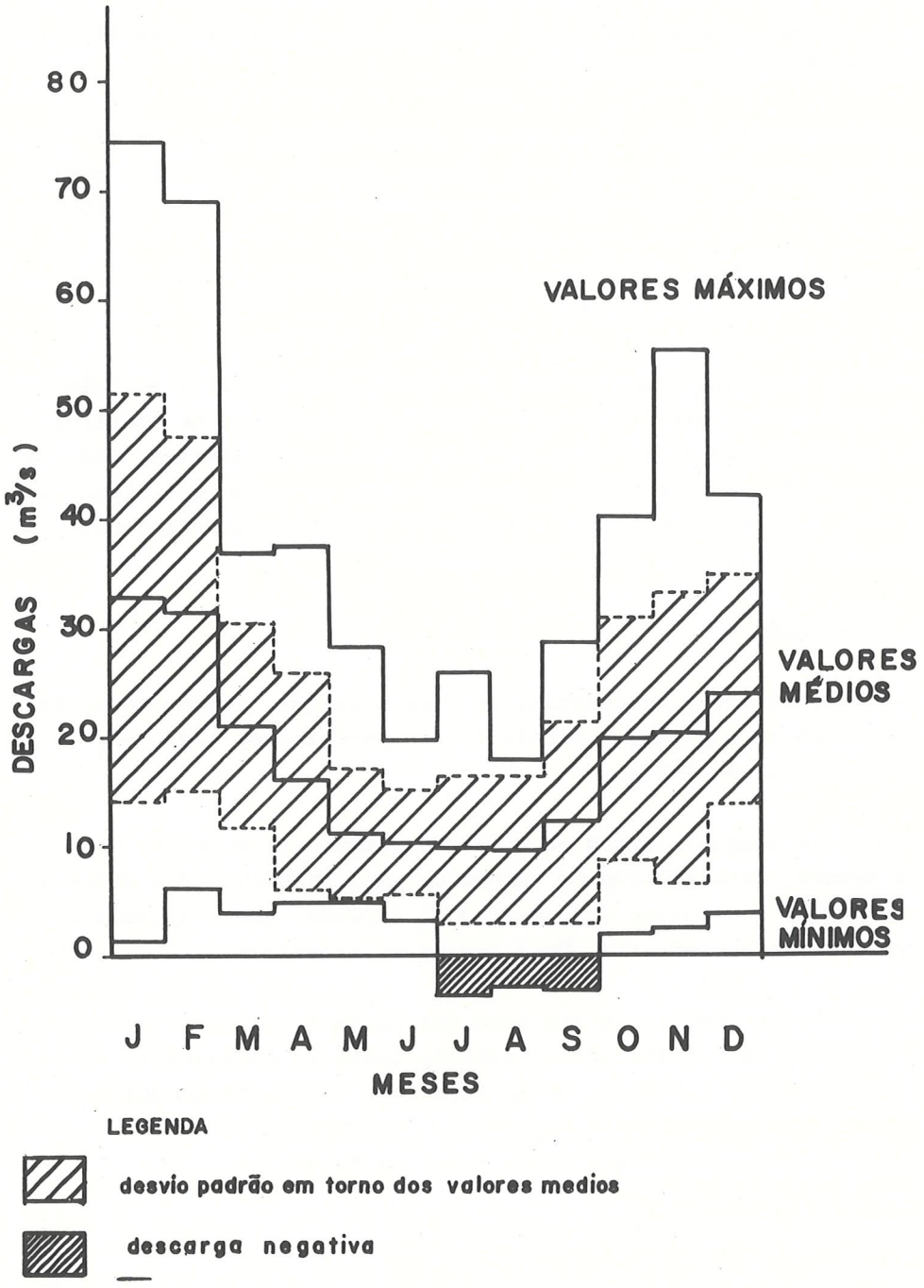


FIGURA 17B - Variações médias mensais das contribuições naturais na represa Billings (calculados indiretamente através dos dados operacionais da represa)

corpo principal da represa.

Os resultados obtidos estão sintetizados na Figura 17A, onde se pode verificar, durante o período em consideração, ou seja, de 06 de janeiro a 20 de abril de 1975, que

predominam na seção 18 descargas saindo do braço do Rio Grande para o corpo principal da represa, resultantes das contribuições naturais relativamente elevadas, da bacia, no período em questão. Estas descargas são bastante superiores às retiradas pela SABESP, que são da ordem de 2,0 m^3/s.

Para uma melhor apreciação da variação das contribuições naturais globais à represa, apresenta-se na Figura 17B em têrmos de médias mensais, os valores máximos, médios e mínimos relativos a cada mês, referentes ao período hidrológico de 1960 a 1977.

Os valores negativos observados correspondem a contribuições da represa para o lençol freático.

Estes resultados permitem concluir que as citadas divergências não são devidas à influência resultante da entrada da massa líquida proveniente de Pedreira no braço do Rio Grande. Julga-se que sejam causadas pela própria travessia da rodovia dos Imigrantes, a qual constitui uma importante singularidade no corpo principal da represa, que certamente cria condições locais de escoamento bastante especiais cujo conhecimento exigiria estudos e pesquisas mais aprofundados.

ESTUDOS DE CORRELAÇÃO

Aplicando-se a metodologia apresentada no item anterior, foram calculados os tempos de trânsito das águas na represa, a partir do dia primeiro de cada mês, no período de janeiro de 1960 a abril de 1977.

Em correspondência a esses tempos de trânsito totais (t) e dentro dos intervalos abrangidos pelos mesmos, determinaram-se também os valores médios das descargas naturais totais afluentes ($\overline{QN}$) e os dados de operação da represa, quais sejam, níveis d'água ($\overline{NA}$), descargas recalcadas em Pedreira ($\overline{Q}p$) e descargas liberadas no Summit Control ($\overline{Q}sc$).

Análises estatísticas realizadas com base nos parâmetros acima citados, mostraram que para um determinado $\overline{NA}$, existe uma correlação bastante consistente entre o tempo de trânsito (t) e a média aritmética de Qp mais $\overline{Q}sc$, representada doravante por $\overline{Q}$.

Essa correlação é mostrada em sua forma final na Figura 18.

ESTIMATIVA DOS TEMPOS DE TRÂNSITO PARCIAIS

Embora a correlação acima citada permita o cálculo dos tempos de trânsito totais (t) para determinadas condições de operação que, futuramente, se pretenda impor à represa, não possibilita o mesmo com respeito aos tempos de trânsito parciais (ti) de Pedreira até uma seção genérica qualquer i, que são necessários para atender os objetivos do presente trabalho.

Entretanto à luz da análise da correlação em foco e mediante uma simplificação da metodologia original, considerou-se que a massa d'água em trânsito pelo corpo central da represa tenha uma descarga $\overline{Q}$ constante igual à média aritmética de $\overline{Q}p$ e $\overline{Q}sc$ - para um nível d'água médio ($\overline{NA}$), no intervalo abrangido pelo correspondente tempo de trânsito

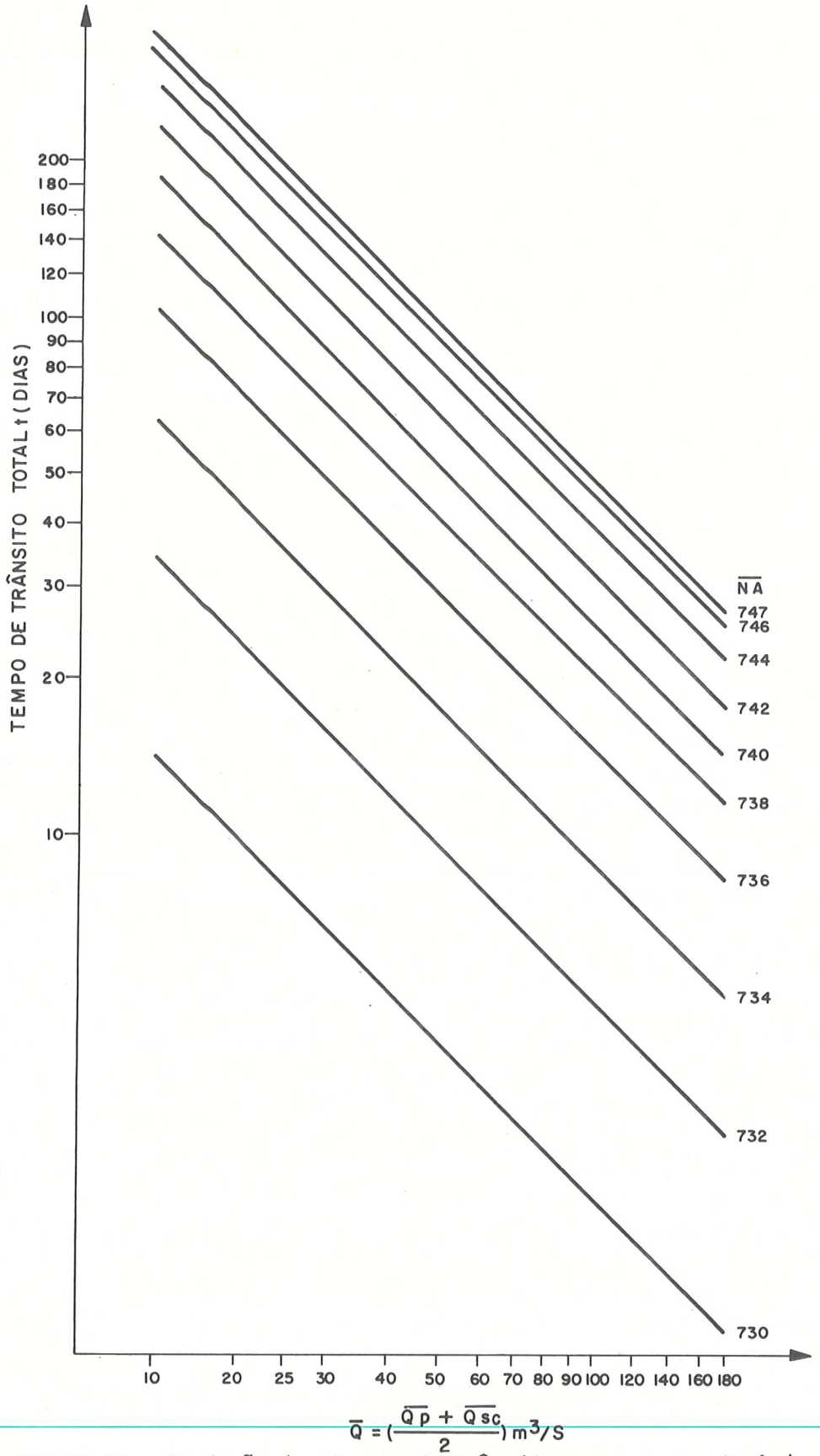


FIGURA 18 - Variação dos tempos de trânsito no corpo central da represa Billings para diferentes condições de operação da represa

total (t).

Nessas condições os tempos de trânsito parciais (ti) poderão ser expressos em função de apenas duas variáveis independentes, Q e NA. A equação da continuidade fornece imediatamente a relação funcional entre essas três variáveis:

$$t_i = \frac{\Sigma\ L_i\ (A_{i-1} + A_i)}{172{,}8\ \overline{Q}} \qquad (5)$$

onde:

t_i = tempo de trânsito das águas, em dias, de Pedreira até uma seção genérica i;

L_i = distância em km entre Pedreira e a seção genérica i;

$\overline{Q}$ = média entre $\overline{Q}_p$ e $\overline{Q}$sc, conforme já mencionado em m^3/s;

A_1 = área da seção transversal correspondente a Pedreira, em m^2;

A_i = área da seção genérica i em m^2.

Partindo-se dessa expressão foram elaborados os diagramas da Figuras 19 a 24, que para uma determinada condição de operação da represa, representada por $\overline{NA}$ e $\overline{Q}$, permitem estimar os tempos de trânsito parciais (t_i).

Ressalte-se que aplicando-se a expressão 5 às seções extremas da represa (Pedreira e Summit Control), pode-se chegar à expressão abaixo que possibilita também a avaliação expedita dos tempos de trânsito totais:

$$t = \frac{-\ 2{,}21 \times 10^5 + 302{,}24\ NA}{\overline{Q}} \qquad (6)$$

válida para $732 \leq NA \leq 747$ m, t em dias

Os valores de tempos de trânsito totais obtidos através dessa expressão, quando comparados com os calculados pela metodologia original, se mostram bastante consistentes, conforme se pode observar no Quadro 7.

Conclue-se portanto, que a equação 6 pode substituir com vantagens a metodologia original, por permitir, pela sua própria simplicidade, maior rapidez de cálculo.

Por outro lado, as relações t_i/t com valores resultantes da aplicação das equações 5 e 6, possibilitam expressar os tempos de trânsito parciais em termos de porcentagens do respectivo tempo de trânsito total, independentemente de $\overline{Q}$, relações essas que são mostradas na Figura 25.

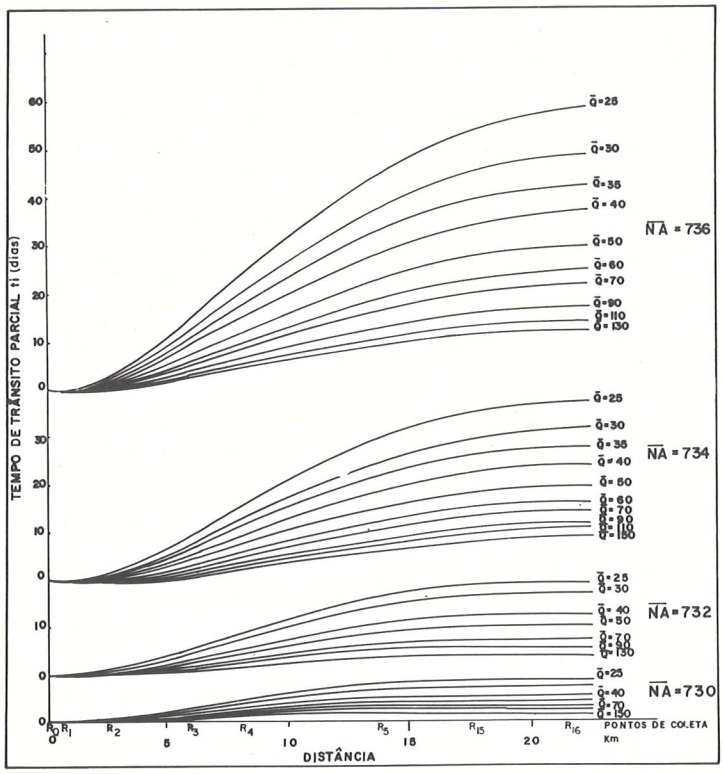


FIGURA 19 - Evolução dos tempos de trânsito parciais (ti) a partir de Pedreira, por diferentes condições de operação da represa

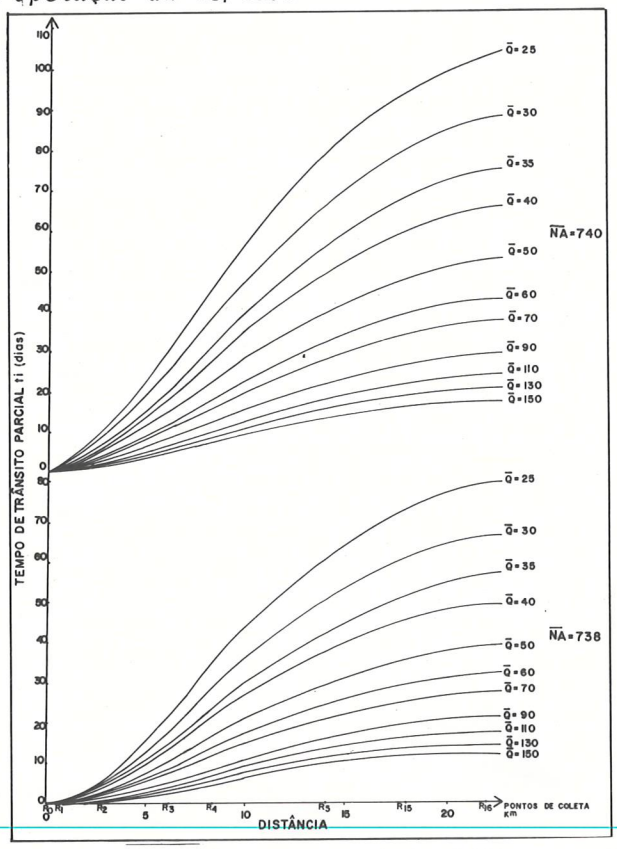


FIGURA 20 - Evoluçao dos tempos de trânsito parciais (ti) a partir de Pedreira, por diferentes condições de operação da represa

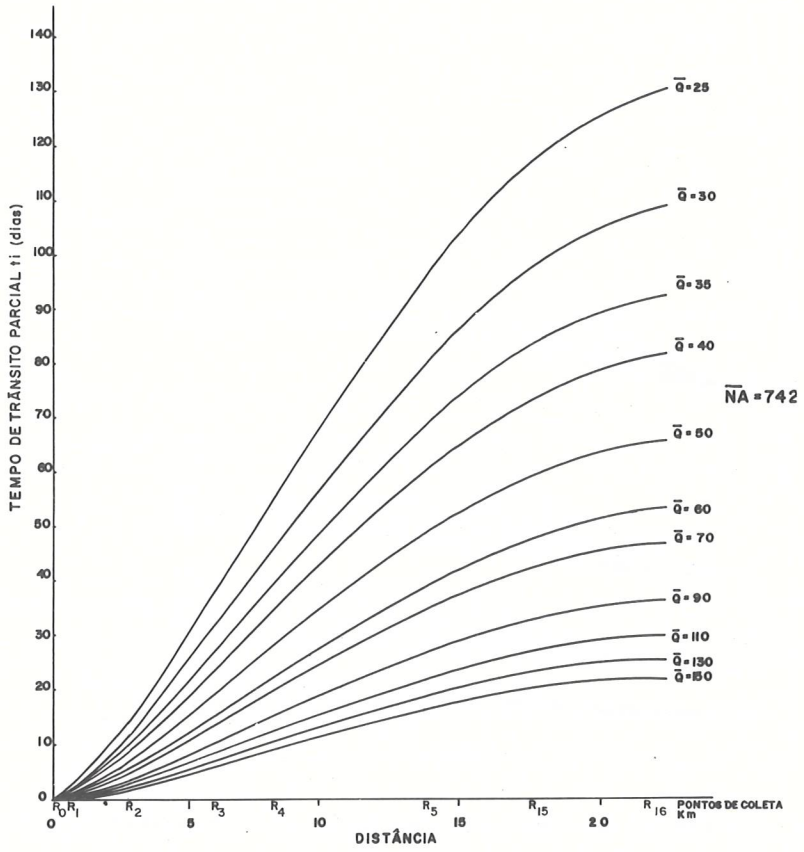


FIGURA 21 - Evolução dos tempos de trânsito parciais (ti) a partir de Pedreira, por diferentes condições de operação da represa

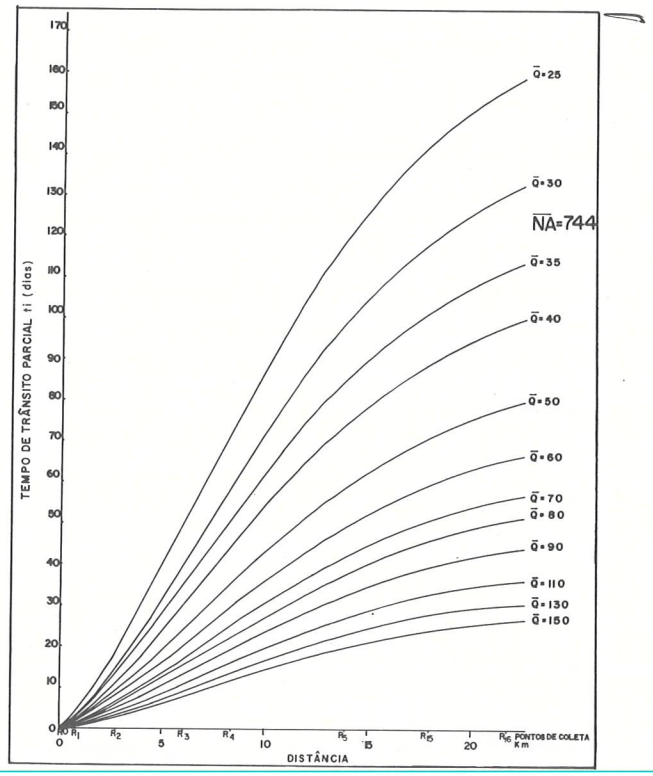


FIGURA 22 - Evolução dos tempos de trânsito parciais (ti) a partir de Pedreira, por diferentes condições de operação da represa

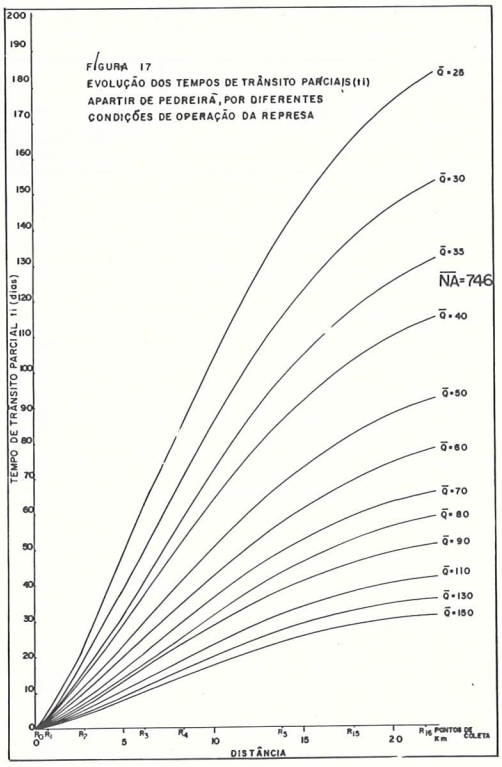


FIGURA 23 - Evolução dos tempos de trânsito parciais (ti) a partir de Pedreira, por diferentes condições de operação da represa

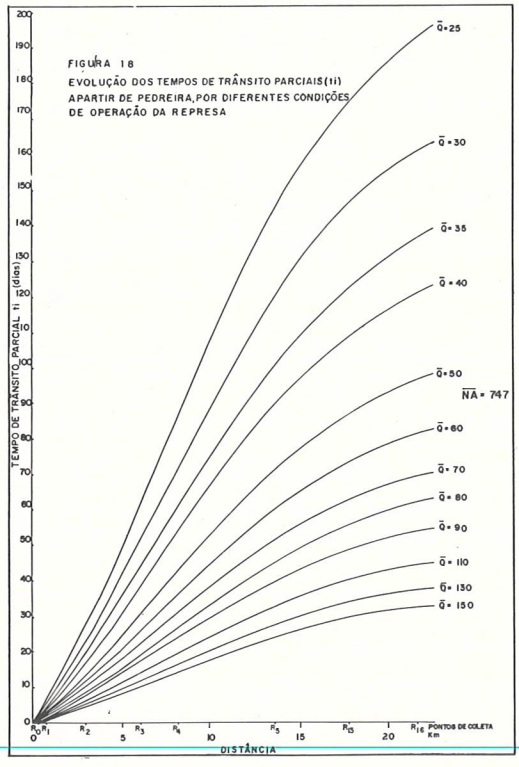


FIGURA 24 - Evolução dos tempos de trânsito parciais (ti) a partir de Pedreira, por diferentes condições de operação da represa

QUADRO 7 - COMPARAÇÃO ENTRE ALGUNS VALORES DE TEMPOS DE TRÂNSITO TOTAIS (T) CALCULADOS PELA METODOLOGIA ORIGINAL E OS OBTIDOS DA EXPRESSÃO 6 (VIDE TEXTO)

MÊS/ANO	NA (m)	$\overline{Q}$ (m^3/s)	TEMPO DE TRÂNSITO (DIAS)	
			metodologia original	expressão 6
09/60	743,5	71	49	52
07/61	744,5	70	55	57
10/61	741,3	94	30	32
07/62	740,4	83	33	33
08/62	738,7	80	26	28
10/62	736,8	87	17	19
12/62	737,4	96	16	19
05/63	742,2	73	45	46
06/63	740,7	70	39	41
07/63	739,1	72	31	33
08/63	737,2	73	23	25
09/63	734,9	66	15	17
10/63	733,2	40	14	15
11/63	733,1	52	10	11
08/65	743,3	87	42	42
09/65	741,8	81	37	40
03/74	745,5	100	41	43
11/74	741,9	72	49	45
01/75	743,4	84	46	44
10/75	743,0	71	55	50
12/75	743,2	82	48	44
02/76	745,4	104	45	41
04/76	745,7	85	54	52
08/76	745,8	48	101	92
10/76	745,6	46	109	95
12/76	745,2	50	97	85
12/76	745,2	50	97	85
04/77	744,8	46	90	89

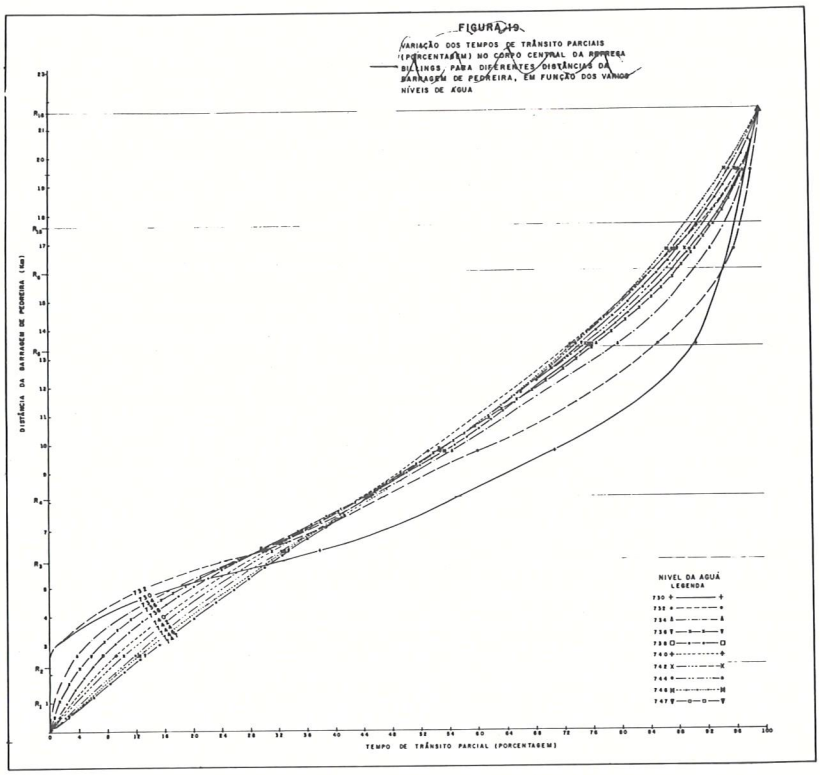


FIGURA 25 - Variação dos tempos de trânsito parciais (porcentagem) no corpo central da represa Billings para diferentes distâncias da barragem de Pedreira, em função dos vários níveis de água

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Agudo E.G., N.Sanches, J.L. dos Santos, A.Merighi Júnior - Dinâmica de Lagos e Reservatório de grande porte utilizando traçadores radioativos. XV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária. Buenos Aires - 1976.

CARACTERIZAÇÃO SANITÁRIA E ECOLÓGICA DA REPRESA BILLINGS

INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas investigações sobre as alterações dos componentes dos materiais poluentes provenientes da cidade de São Paulo no trecho principal da represa Billings. São aqui enfatizados cinco fenômenos básicos que se prestam à caracterização sanitária e ecológica básica de ambientes lênticos, ou seja, a degradação da matéria carbonácea, o balanço de oxigênio dissolvido, o desenvolvimento do processo de eutrofização, a redução das bactérias de origem fecal e as concentrações de substâncias tóxicas.

A qualidade das águas nas demais áreas da represa depende praticamente dos processos de mistura que ocorrem entre a massa líquida presente nessas áreas e a ma líquida do corpo central, processos esses que são conseqüência, em grande parte, das condições de operação da represa.

Devido a esta particularidade, grande parte das investigações se concentrou no corpo principal da represa, entre a barragem de Pedreira e o "Summit Control".

Na intepretação dos resultados obtidos procurou-se equacionar cada fenômeno de forma quantitativa em função de tempo de reação e dos principais fatores que interferem nos fenômenos estudados, com o objetivo de possibilitar a previsão das futuras condições sanitárias e ecológicas da represa Billings, bem como para fornecer subsídios aos estudos de outras represas com características semelhantes à mesma.

CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM PARA OBTENÇÃO DE DADOS BÁSICOS

Para a obtenção de dados básicos visando caracterizar as condições físicas, químicas e biológicas do corpo central da represa Billings, foram efetuadas campanhas intensivas de amostragem e análise de 14 (quatorze) parâmetros relativos às concentrações de bactérias, nutrientes, matéria carbonácea, algas e oxigênio em três períodos diferentes: de julho de 1974, de janeiro a julho de 1975 e de julho a dezembro de 1976. Em consonância com as seções estabelecidas para os estudos hidráulicos, foram demarcados oito pontos de amostragem no corpo central da represa Billings (Figura 26).

A maioria dos parâmetros em estudo, exceto a clorofila e a concentração de oxigênio dissolvido, foi analisada com freqüência de dois a três dias por semana num total de trinta a sessenta dias em cada ponto de coleta, em três diferentes profundidades (superfície, meio e fundo).

O tempo de trânsito da massa líquida em cada ponto de coleta foi estimado através do cálculo efetuado pelo modelo hidráulico já apresentado anteriormente.

As amostras para análise de clorofila e oxigênio dissolvido foram realizadas nas profundidades de 0,0; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0; 7,0; 9,0; 11,0 m e próximo ao fundo.

Os demais procedimentos utilizados nas coletas de amostras bem como nos experimentos

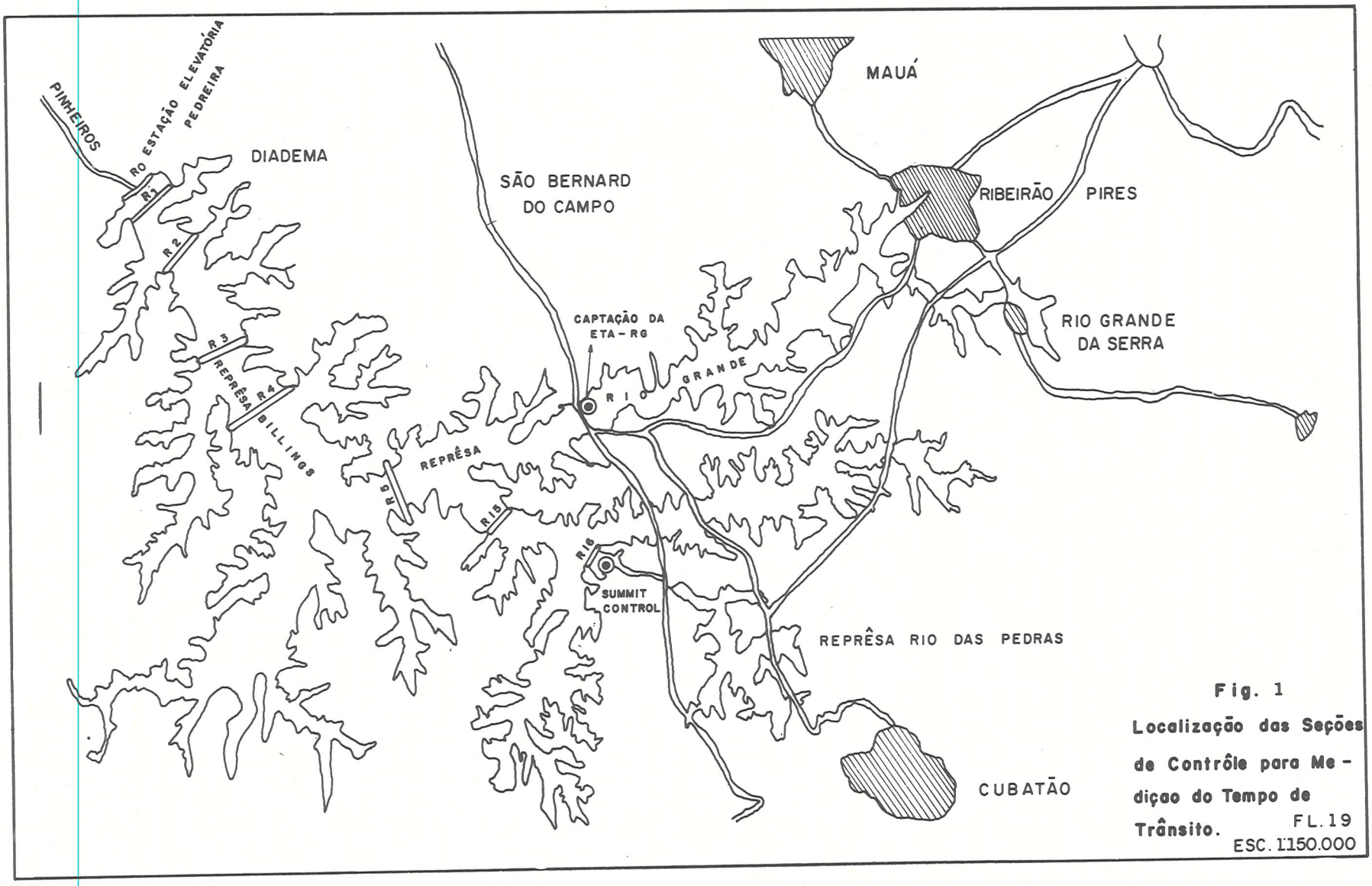


FIGURA 26 - Localização das seções de controle para medição do tempo de trânsito

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA
CETESB

em laboratório e "in situ" serão mencionados nos itens referentes a cada assunto.

DEGRADAÇÃO DA MATÉRIA CARBONÁCEA

A determinação quantitativa da matéria carbonácea biodegradável em termos de DBO num corpo d'água, constitui um parâmetro importante para a avaliação do seu nível de poluição relacionado com a concentração de oxigênio dissolvido na água.

As variações das concentrações de matéria carbonácea introduzida na represa dependem da ação bacteriana, através tanto do processo aeróbio como do anaeróbio, além do efeito da sedimentação e da decomposição do material sedimentado.

Em lagos e rios enriquecidos significativamente com elementos nutritivos, os microrganismos clorofilados que ali proliferam também contribuem consideravelmente para a variação dos valores de DBO.

No presente estudo foi realizado o levantamento de dados relativos aos principais processos que afetam a degradação de matéria carbonácea em diferentes épocas do ano, com base nos quais foram elaborados os modelos teóricos bem como os modelos empíricos que permitem equacionar adequadamente as variações de valores de DBO ao longo do corpo central da represa.

METODOLOGIA

Os dados relativos às variações de concentrações de matéria carbonácea, em termos de DBO nos vários pontos de coleta selecionados no presente estudo, foram levantados na campanha geral de coleta de amostras.

O valor do coeficiente de sedimentação foi estimado através de incubações em frascos (diâmetro de 20 cm e altura de 40 cm) próximos ao fundo da represa durante três dias nos 14 pontos estabelecidos no corpo central. Estas medições foram repetidas três vezes nos meses de março e abril de 1975 e três vezes nos meses de julho e agosto de 1976.

A velocidade de degradação da matéria carbonácea, em termos de DBO em condição aeróbia, foi avaliada segundo metodologia proposta por Moore (1) efetuando-se três vezes essas determinações no trecho entre os pontos R_3 e R_{16} nos meses de fevereiro e março de 1975.

As determinações de velocidade de degradação dessa matéria em condição anaeróbia foram realizadas em laboratório, utilizando-se amostras coletadas nos pontos de amostragem R_1 e R_2. Essas amostras d'água foram colocadas em vários frascos com capacidade de 1 litro, incubando-os à temperatura de 20°C. Com os resultados obtidos, em termos de DBO nos vários períodos de incubação, foi calculado o valor do coeficiente de degradação através do processo gráfico de Lee (2). Essa determinação foi efetuada na época de chuvas de 1975 e na época de seca de 1976.

Os coeficientes de contribuição da matéria carbonácea (DBO) do lodo para o corpo da

água foram bastante difíceis de serem obtidos dentro das precisões desejadas, porque essa contribuição pode ser realizada em forma solubilizada ou em forma de gás, dependendo da temperatura. Além disso, o movimento da massa líquida na camada do hipolimnio, associado com a agitação do líquido pela evolução do gás no lodo, pode introduzir matéria carbonácea do fundo para o meio líquido, cuja medida não se pode estabelecer com precisão.

Em vista dessas dificuldades, os valores dos coeficientes citados foram estimados de forma indireta através de equações selecionadas para cada trecho da represa.

Para o primeiro trecho, compreendido entre Pedreira e o ponto R_1, este valor foi estimado em termos de símbolo F da equação 7 que engloba o balanço de matéria carbonácea entre a camada líquida e o lodo.

O cálculo de F foi efetuado estatisticamente (regressão teórica por aproximações sucessivas) através da equação 7, empregando-se os valores de DBO obtidos nos pontos R_0 e R_1 em nove diferentes períodos e valor de coeficiente K determinado pelo procedimento mencionado anteriormente. O valor K foi corrigido de acordo com a temperatura em cada período de coleta.

Para a avaliação do valor da demanda de oxigênio proveniente das algas produzidas na represa Billings, foi selecionada a alga Microcystis sp devido a sua absoluta predominância nesse corpo d'água.

Essa alga, após ser cultivada em meio de cultura, foi distribuída em várias concentrações em frascos de DBO, os quais foram incubados em câmara de temperatura constante sem iluminação. Periodicamente (cada doze horas) durante sete dias, foi retirado um grupo de frascos e determinadas as concentrações de oxigênio pelo medidor automático YSI, modelo 54, e verificadas as concentrações de clorofila e as condições fisiológicas de algas através de microscópio.

O valor do coeficiente da demanda de oxigênio pelas algas (a) foi obtido a partir do conhecimento da DBO das algas determinadas experimentalmente, que por sua vez é calculada a partir das concentrações de clorofila-a em diferentes pontos de coleta e épocas do ano, através da equação 9. Em seguida, foi feita a correlação entre valores do coeficiente (a) e as concentrações de clorofila com base na técnica estatística do ajuste da curva exponencial.

INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

São inseridos na Figura 27 os valores médios mensais de DBO, obtidos durante as investigações no corpo central da represa a partir da barragem de Pedreira.

Observa-se sensível variação sazonal nas concentrações de DBO nos pontos localizados entre Pedreira e "Summit Control" e uma diminuição gradativa desses valores com o afastamento do ponto de coleta inicial (Pedreira):

Por outro lado, as concentrações médias de oxigênio dissolvido em todas as profundida-

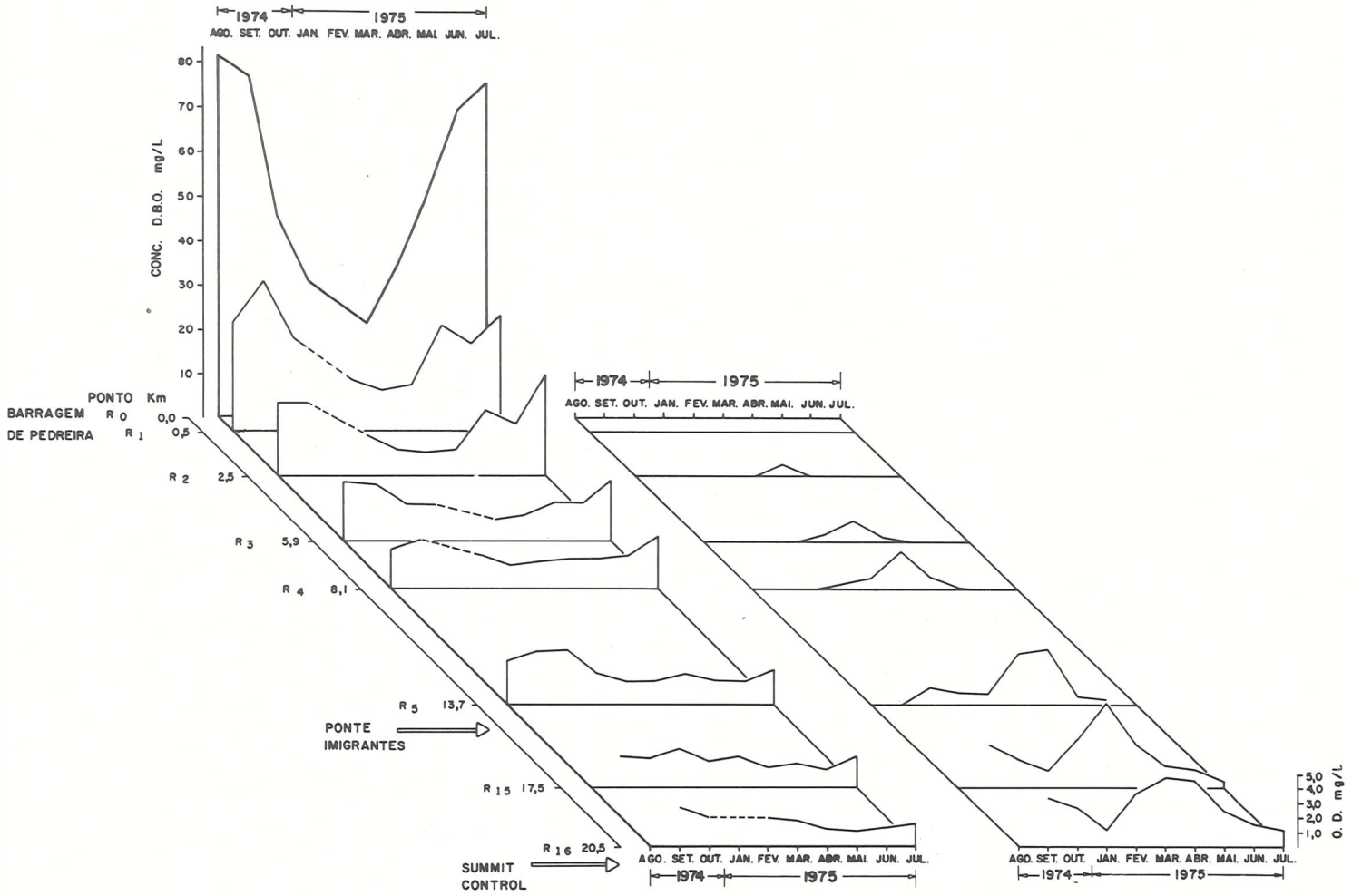


FIGURA 27 - Variação média mensal de DBO e OD no corpo central da Represa Billings

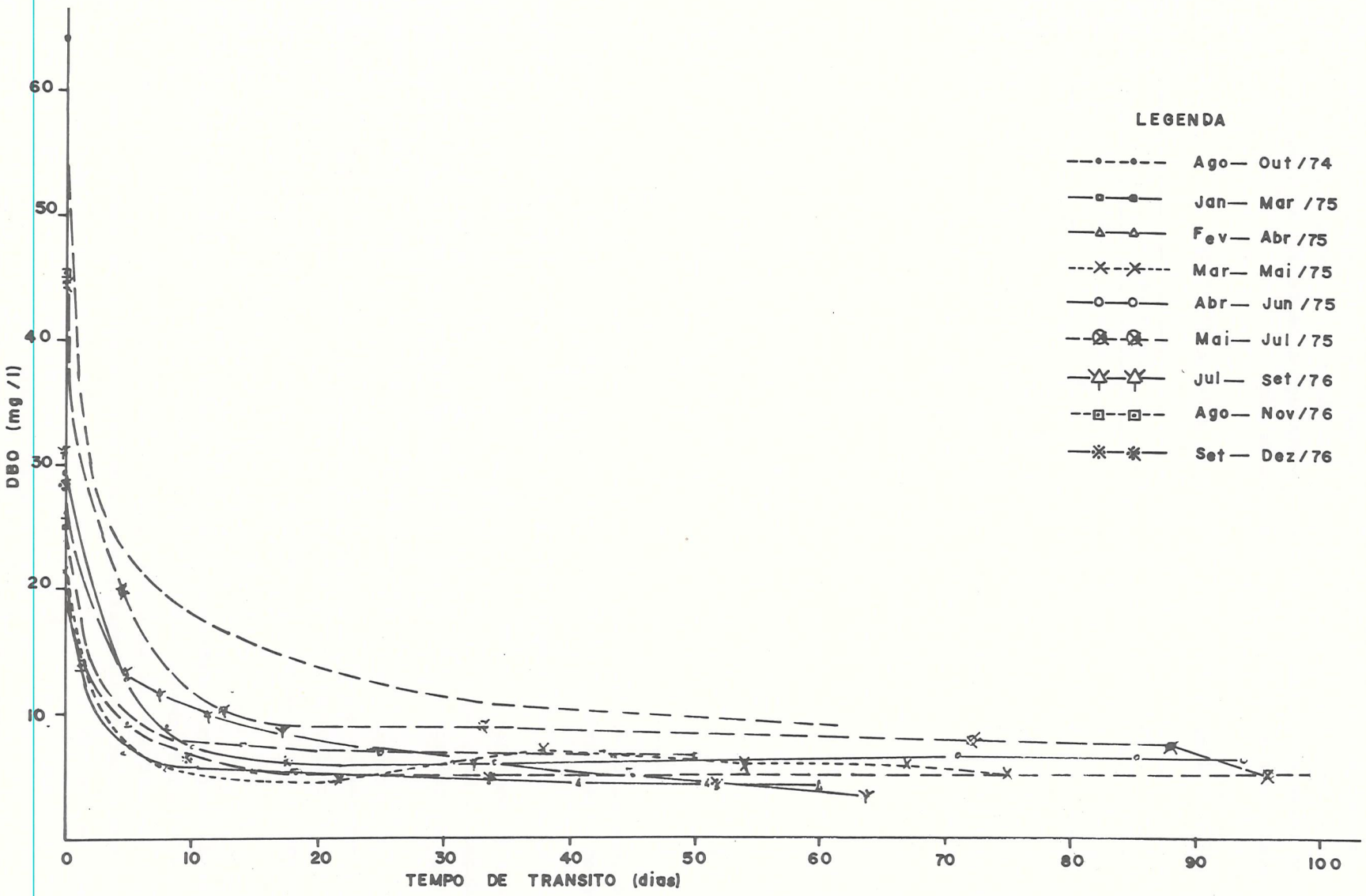


FIGURA 28 - Variação das concentrações médias de DBO em função do tempo de trânsito no corpo central da Rep. Billings

des variam inversamente com os valores de DBO. Na época de seca, durante o período estudado, a represa apresentava-se praticamente anaeróbia até o ponto R_4, enquanto que no mês de março foram encontradas as maiores concentrações desse gás ao longo do corpo central e paralelamente as menores concentrações de DBO.

QUADRO 8 - VALORES DE CONSTANTES (20°C) OBTIDOS NA REPRESA BILLINGS

PONTOS / CONSTANTES		1º trecho			2º trecho				
		R_0-R_1	R_1-R_2		R_2-R_3	R_3-R_4	R_4-R_5	R_5-R_{15}	R_{15}-R_{16}
Coeficiente de sedimentação (d^{-1})	is	0,18	0,13	K_3	0,066	0,025	0,025	0,010	0,010
Coeficiente de degradação (d^{-1})	K	0,10	0,10	K_1	0,10	0,19	0,19	0,16	0,16
Coeficiente de contribuição do lodo em mg/l.d^{-1}	-	-	-	P	1,34	0,98	0,80	0,77	0,77
em g/m^2.d^{-1}	-	-	-	-	22,8	16,2	13,2	10,8	10,8
Coeficiente global(ip+is.sp) (d^{-1})	F	0,461	0,461	-	-	-	-	-	-

Comportamento semelhante às variações de DBO pode ser observado na Figura 28 relativa às concentrações desse parâmetro em função do tempo de trânsito em diferentes épocas do ano.

Todas as curvas de DBO plotadas mostram-se do tipo hiperbólico, notando-se que cerca de 70% de redução da DBO, em qualquer época, ocorre praticamente durante os primeiros 10 dias de tempo de trânsito.

Tais variações nas concentrações de matéria carbonácea podem ser resultantes de complexas reações referentes aos processos físico-químicos e biológicos no sistema ecológico. Os valores do coeficiente de velocidade de reação, determinados na presente investigação, permitem analisar esse fenômeno do ponto de vista de balanço de materiais (Quadro 8).

Na proximidade da barragem de Pedreira a remoção de matéria carbonácea, devido à degradação anaeróbia, é relativamente limitada (K = 0,10 d^{-1} em 20°C) enquanto que a remoção de DBO pela sedimentação se processa a uma taxa de cerca de 18% por dia, o que pode se constituir no fator fundamental para a sensível diminuição do valor de DBO no primeiro trecho da represa.

A taxa de sedimentação diminui com a distância da barragem. Entretanto, a velocidade da degradação da matéria carbonácea (K_1), torna-se maior com o aparecimento de zonas aeróbias no segundo trecho da represa, compreendido entre os pontos R_2 e R_{16}.

Embora se tenha previsto uma pronunciada diminuição dos valores de DBO, com acelerada velocidade de degradação de matéria carbonácea, constatou-se pouco decréscimo desse parâmetro em qualquer época do ano na maioria das áreas do segundo trecho. Este fato pode ser atribuído ao alto fluxo de matéria carbonácea do lodo, além da contribuição proveniente da proliferação intensa de algas.

Através de ensaios realizados em culturas de Microcystis sp foi obtido o valor de 8,2 mg da demanda de oxigênio (20°C e 5 dias) por 0,1 mg de clorofila-a.

As concentrações de clorofila-a encontradas no ponto R_5, por exemplo, durante o estudo atingiu cerca de 0,03 a 0,04 mg/l em média de toda a coluna da água.

Desta maneira estima-se que cerca de 20 a 60% dos valores de DBO determinados neste trecho devem ser atribuídos às atividades endógenas de microrganismos clorofilados.

MODELO MATEMÁTICO UTILIZADO

a) Elaboração das equações teóricas

Para o equacionamento dos principais processos de degradação da matéria carbonácea acima discutidos no corpo principal da represa, foram consideradas duas equações teóricas (equações 7 e 9) descritas a seguir:

$$Pu = \frac{Pui.F}{1+R.K} \qquad (7)$$

$$F = (ip + is \,.\, sp)$$

onde:

Pui e Pu = as concentrações de DBO (20 d e 20°C) do afluente e efluente do sistema (mg/l);

ip = a fração de DBO que fica retida no meio líquido;

is = a fração de DBO que sedimentou no fundo da represa;

sp = a fração de DBO que retorna do lodo do fundo para o corpo da água;

R = tempo de retenção (dia);

K = constante de degradação de 1ª ordem em $(dia)^{-1}$.

O valor K depende da temperatura, de acordo com a seguinte relação:

$$K_T = K_{T_o}\,\theta - (T_o - T) \qquad (8)$$

No presente estudo adotou-se 1,072 para o valor do coeficiente de temperatura θ.

$$L = \left(La - \frac{Pb + a}{K_1+K_3+K_D}\right)\frac{Q_o}{Q}\ e^{-(K_1+K_3)} + \frac{Pb + a}{K_1+K_3+K_D} \qquad (9)$$

onde:

La e L = concentrações de DBO (20 d 20°C) no início e final do trecho em estudo (mg/l);

Pb = coeficiente da contribuição bentônica de DBO ($mg/l.d^{-1}$);

a = coeficiente da contribuição de DBO dos microrganismos clorofilados (mg/l),

K_1 = coeficiente de desoxigenação (d^{-1});

K_3 = coeficiente de dissedimentação de DBO (d^{-1});

K_D = coeficiente de diluição (d^{-1});

Q_0 e Q = vazões nas seções inicial e final do trecho em estudo (m^3/s)

A primeira equação (equação 7) foi utilizada para o primeiro trecho (da barragem de Pedreira até a distância de 1 km da mesma), onde foi verificado que o movimento da água segue o modelo de mistura completa, e a segunda (equação 9) foi empregada no segundo trecho (distante 1 km da barragem de Pedreira até o "Summit Control"), com movimento da água obedecendo o modelo de escoamento tubular.

A equação 7 foi desenvolvida por Marais, baseando-se no princípio do balanço de materiais em lagos com sistema de mistura completa.

Os detalhes quanto ao desenvolvimento das equações citadas acima podem ser encontrados na bibliografia (1).

Devido à dificuldade de avaliação do coeficiente de contribuição da matéria carbonácea do lodo, foi adotado o símbolo F para o termo (ip+is.sp) na equação 7 a fim de possibilitar o cálculo global do balanço de matéria carbonácea entre a camada líquida e o lodo.

Como a bacia hidrográfica pertencente ao primeiro trecho é bastante limitada, não foi introduzida nenhuma modificação na equação, em consideração ao efeito da diluição causado pela contribuição natural da bacia.

A equação 9 foi deduzida desprezando-se o fator de dispersão longitudinal e com a condição de que as concentrações de DBO tivessem uma distribuição vertical uniforme. Essa última condição foi introduzida em vista dos dados levantados na represa Billings não mostrarem variações significativas quanto aos valores da DBO obtidos na coluna vertical da água.

O balanço de massa de DBO foi considerado em um intervalo de tempo dt, tomado sobre um elemento de volume dV = Adx, limitado por duas seções transversais, distantes dx entre

si, onde A é a área dessas seções e x é a distância medida ao longo do fluxo.

As variações da vazão e a adição ou subtração de DBO devem causar uma variação da massa dessa propriedade, contida entre essas duas seções. Portanto, durante o tempo dt:

$$\frac{\partial}{\partial t}(LA)\,dx\,dt = QLdt - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x}dx\right)\left(L + \frac{\partial L}{\partial x}dx\right)dt + M\,dx\,dt - AKLdxdt \qquad (10)$$

variação de massa de DBO = massa de DBO na entrada − massa de DBO na saída + massa de DBO adicionada − massa de DBO decomposta

onde:

Q = vazão;

L = concentração da DBO por unidade de volume;

M = massa de DBO adicionada por unidade de tempo por unidade de distância;

KL= massa decomposta por unidade de volume e por unidade de tempo;

K = coeficiente de decomposição.

Em condições estacionárias a equação 10 se reduz a:

$$\frac{dL}{dt} + \frac{vl}{Q}\frac{dQ}{dx} + (K_1 + K_3)\,L = \frac{M}{A} \qquad (11)$$

onde v é a velocidade da massa líquida, K_1 é o coeficiente de desoxigenação K_3 é a costante de sedimentação do DBO.

Definindo $K_d = \frac{v}{Q}\frac{dQ}{dx}$ como o coeficiente de diluição e identificando a massa de DBO adicionada, devida à contribuição bentônica (p_b) e à presença (a), com o termo $\frac{M}{A}$ resulta:

$$\frac{dL}{dt} + K_D L + K_1 L + K_3 L = P_b + a \qquad (12)$$

cuja solução, sujeita à condição inicial $L = L_0$, para $t = 0$, é:

$$L = \left(L_0 - \frac{Pb + a}{K_1+K_3+K_D}\right) e^{-(K_1+K_3+K_D)t} + \frac{Pb + a}{K_1+K_3+K_D} \qquad (13)$$

Agora, tendo em conta que:

$$K_D = \frac{v}{Q}\cdot\frac{dQ}{dx} = \frac{1}{Q}\cdot\frac{dQ}{dt} \approx \frac{1}{t}\ln\frac{Q}{Q_o} \qquad (14)$$

ou seja: $e^{-K_D T} = \frac{Qo}{Q}$ (15)

resulta, substituindo a equação 15 no expoente da equação 13:

$$L = \left(L_0 - \frac{Pb + a}{K_1+K_3+K_D}\right) \frac{Q_o}{Q} e^{-(K_1+K_3)t} + \frac{Pb + a}{K_1+K_3+K_D} \quad (16)$$

onde: Q_o e Q representam as vazões médias no intervalo de tempo t = 0 a t = t, respectivamente, do afluente e do efluente do trecho em consideração.

O valor do coeficiente a pode ser calculado em função das concentrações de clorofila-a (CL) observadas no final de cada trecho, pela seguinte expressão:

$$a = 5{,}1 \times 10^{-3} \, CL^{\,0{,}97202} \quad (17)$$

obtida por regressão linear, cujo coeficiente de correlação é r = 0,99.

b) Elaboração da equação empírica

O estabelecimento do modelo descrito a seguir foi empreendido, visando prever perfis da DBO no corpo central através de procedimentos de cálculo bastante simples.

O ponto de partida para a construção desse modelo foi a constatação de que as curvas da DBO, em função de tempos de trânsito, apresentam, no caso da represa em estudo, um nítido caráter hiperbólico (Figura 28). Chamando de Y a concentração de DBO e t ao tempo de trânsito, a equação para representar esse comportamento seria:

$$Y = a + \frac{b}{t} \quad (18)$$

onde a e b são constantes, e essa equação é semelhante à utilizada por Mánczak (4). No estudo desse autor, porém, as abscissas eram vazões de rios e as leituras de DBO eram efetuadas num único ponto, em várias épocas ao longo do ano. No caso da represa Billings, ao contrário, Y_0 para t = 0 (concentração de DBO em Pedreira) é justamente o principal dado de partida para a previsão de condições futuras da represa. A expressão 18 deve ser portanto modificada para incluir esse ponto inicial. A modificação óbvia consiste em se somar uma constante c aos tempos de trânsito, resultando a expressão abaixo:

$$Y = a + \frac{b}{c+t} \quad (19)$$

em que c é uma terceira constante, a ser determinada a partir dos dados experimentais. Com base nos dados levantados nos períodos de janeiro a julho de 1975 e de julho a dezembro de 1976, foi feito o cálculo de c por aproximações sucessivas, adotando-se para o valor de a a média dos valores obtidos no ponto R_{16} da represa Billings, equivalente a 5 mg/l. Dessa forma obteve-se 1,28 para o valor de c. Na aplicação prática

da expressao 19, o valor adequado do coeficiente b será determinado a partir do valor esperado de DBO em Pedreira (t = 0), utilizando-se a própria expressão 19, conjuntamente com a = 5 mg/l e c = 1,28. Embora o presente modelo não esteja estruturado para relacionar DBO com os fatores de temperatura, diluição, tempo de trânsito, etc., ele pode ser livremente utilizado para fins de previsão dentro da faixa de variação de concentrações de DBO utilizadas para a determinação do valor da constante c (DBO inicial entre 20 e 70 mg/l).

REPRODUTIBILIDADE DAS EQUAÇÕES ELABORADAS

A reprodutibilidade das equações teóricas elaboradas apresentou-se bastante satisfatória. Os valores dos coeficientes de variações dessas equações foram em média 19%.

Embora não se tenha atingido o mesmo nível de reprodutibilidade das equações teóricas, o valor do coeficiente de variação da equação empírica, estimado em torno de 25%, pode ainda ser aplicado com segurança, a fim de ter uma visão rápida e global sobre as variações das concentrações de DBO na represa.

São apresentados nas Figuras 29 e 30 os resultados comparativos entre as variações dos valores de DBO, calculados através de equação teórica e empírica respectivamente, e os valores observados em condição natural em função das concentrações de DBO na barragem de Pedreira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - Moore, E.W., Thomas, H.A. and Snow, W.B - Simplified method for analysis of BOD data. Sewage Industrial Wastes, 27, 1343-1455, 1950.

2 - Povinelli, Jurandyr - Sobre alguns processos para avaliação de constantes de desoxigenação e de demanda final de DBO. Escola de Engenharia de São Carlos. VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária - Bahia, 1973.

3 - Marais, G.V.R. - A dynamic theory for the design of oxidation ponds. Water Resources and Public Health Engineering, University of Cape Town, 1972.

4 - Mánczak, H. - Über die auswertung von gewässergüteuntersuchungen, in Von Wasser XXV. Band, 1968.

VARIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Entre os vários indicadores que se utilizam para a verificação do nível de poluição das águas de um rio, lago ou represa, o oxigênio dissolvido é considerado como um dos mais significativos.

A avaliação da variação longitudinal do OD em um curso de água pode ser feita através de modelos matemáticos bem conhecidos (1) nos quais se considera o balanço entre os fatores oxigenadores e desoxigenadores. A reareação e a ação fotossintética do fitoplâncton, e o consumo de O_2 através da degradação biológica são os termos principais

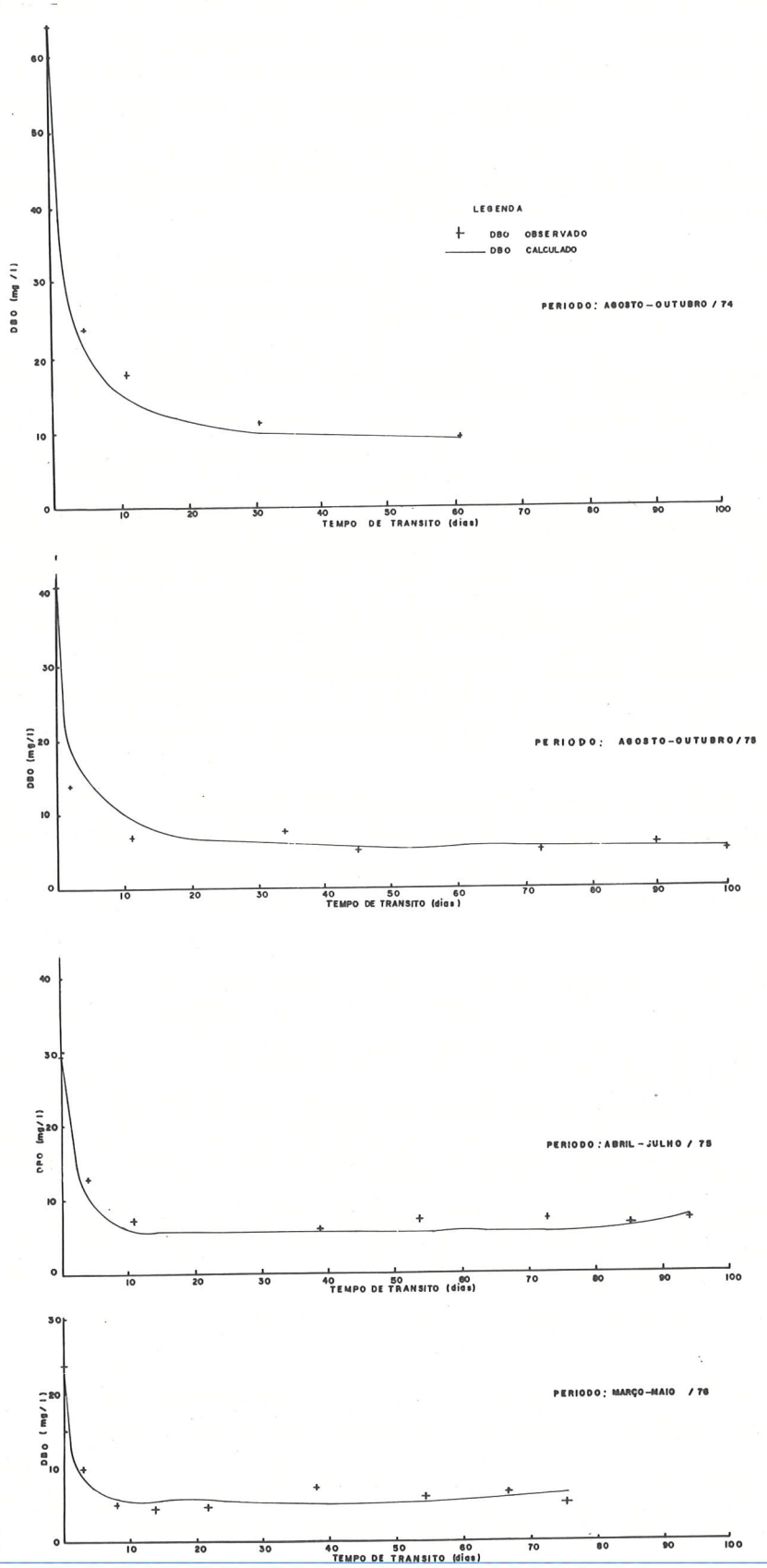


FIGURA 29 - Comparaçao entre os valores de DBO observados e calculados pelo método teórico com base nas diferentes concentrações de DBO obtidas na barragem de Pedreira

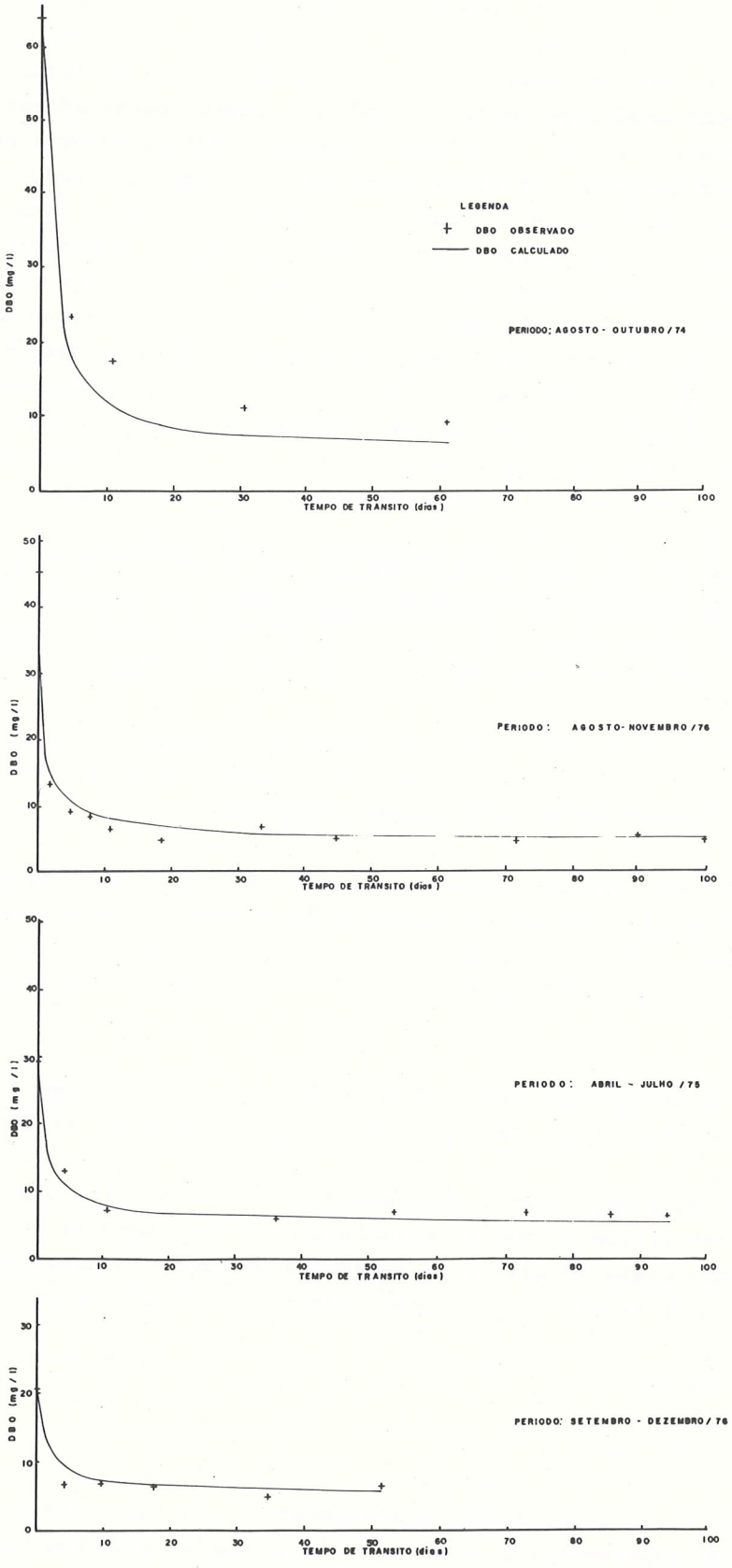


FIGURA 30 - Comparação entre valores de DBO observados e calculados pelo mod. e empírico com base nas diferentes concentrações de DBO obtidas na barragem de Pedreira

desse balanço. Estes, por sua vez, dependem da múltipla interação dos fatores climáticos e ambientais, o que em geral ocorre de forma bastante complexa. Além do mais essa interação não ocorre com igual intensidade da superfície ao fundo da massa líquida no caso de sistemas aquáticos lênticos, onde os fatores oxigenadores, em geral, são mais efetivos na camada superior (epilímnio), enquanto que os fatores desoxigenadores são mais efetivos nas camadas inferiores (hipolímnio). Como resultado, a distribuição vertical da concentração de oxigênio dissolvido não é uniforme em toda a coluna líquida, apresentando muitas vezes altas concentrações nas camadas superiores e, simultaneamente, condições de deficit nas camadas inferiores. Essa situação deixa de existir, contudo quando se apresentam condições que propiciam mistura vertical intensa da massa líquida. No caso da represa Billings tem-se observado, com maior freqüência no período compreendido entre o final da primavera e meados do outono, o aparecimento de estratificação térmica. A profundidade onde ocorre o máximo de estratificação térmica, conhecida como região da termoclina, caracteriza-se por alta estabilidade vertical, o que tende a impedir a circulação das camadas profundas e sua conseqüente oxigenação.

As condições climáticas, por outro lado, embora mais atuantes nas camadas superiores, podem modificar essa situação de estabilidade pela ação, por exemplo, da circulação e turbulência gerada pelos ventos, que promovem trocas entre as diversas camadas, propiciando uma maior ou menor homogeneização vertical da massa líquida.

Os modelos determinísticos atualmente utilizados na previsão da variação longitudinal do oxigênio dissolvido nas represas e lagos, consideram, em geral, que as concentrações do OD são constantes em uma dada secção vertical.

A introdução da variação vertical desse parâmetro implica na utilização de um modelo bidimensional, de solução bastante complexa. Além do mais, o fator de reareação, que para o caso dos rios pode ser estimado com relativa precisão(2), torna-se de difícil estimativa no caso dos lagos e represas onde a massa líquida se move de maneira bastante lenta.

Decidiu-se então, a obtenção de resultados práticos, pela aplicação de um modelo estatístico ao problema da previsão da qualidade da água da represa Billings.

O presente estudo foi dividido em duas etapas quanto à sua realização. Na primeira verificou-se a aplicabilidade do modelo estatístico na avaliação da variação vertical do OD, para uma segunda etapa aplicá-lo ao estudo da variação longitudinal, levando-se em consideração, ainda neste caso, a variação vertical desse parâmetro.

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

MODELO ESTATÍSTICO UTILIZADO

O modelo escolhido foi o da regressão multilinear (3 e 4) que consiste essencialmente no ajuste aos dados experimentais de uma função linear em cada uma das variáveis, pelo método dos mínimos quadrados.

Nesse modelo assume-se essencialmente que os valores das variáveis independentes são

exatos, e que o modelo é correto quando a avaliação da variável dependente deve ser feita através de medidas com os aparelhos de que se dispõe. As equações de regressão obtidas por esse método permitem determinar o valor mais provável da variável dependente, a partir do conhecimento dos valores das demais variáveis incluídas nas equações de regressão.

A aplicação do modelo é feita obedecendo-se as seguintes etapas:

- escolha do tipo de relação funcional entre a variável dependente e as variáveis independentes;

- processamento dos dados;

- estimativa dos parâmetros que medem o grau de correlação;

- teste de significância que confirma a seleção das variáveis independentes;

- escolha da melhor equação de regressão compatível com o grau de precisão que se quer atingir.

O problema consiste então, uma vez prefixada a precisão com que se deseja obter a estimativa do OD, em determinar empiricamente, através da análise de regressão, se o conjunto das variáveis independentes disponíveis é suficiente para explicar a variação observada dessa propriedade.

CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A COLETA DAS AMOSTRAS

VARIAÇÃO VERTICAL DO OD

A coleta dos dados foi orientada no sentido da obtenção de resultados representativos das condições existentes na maior parte do corpo central da represa Billings, sendo efetuada com base em levantamentos realizados preliminarmente. A localização dos pontos de coleta é vista na Figura 31.

Os dados experimentais foram coletados em três campanhas realizadas nos períodos de 24/11/76 a 10/01/77, 14/02/77 a 18/03/77 e 11/04/77 a 27/05/77, entre 9 e 15 horas de cada dia.

Nesses períodos amostraram-se sistematicamente da superfície ao fundo dos seguintes parâmatros físico-químicos: clorofila-a (CL), temperatura (T), pH, penetração da luz (L), velocidade da corrente (V) e oxigênio dissolvido (OD). As coletas foram complementadas com a medição das seguintes variáveis meteorológicas: velocidade e direção do vento, temperatura do ar e intensidade da radiação solar.

Na primeira campanha foram consideradas as profundidades de 0, 0,5, 1 m e até o fundo de metro em metro e nas 2ª. e 3ª. campanhas a 0, 0,5, 1 m e até o fundo de 2 em 2 metros, com o auxílio de guinchos hidrográficos. Foi utilizado um barco a motor como plataforma de observação.

A temperatura foi medida com termômetros de reversão Rigosha, montados em dispositivos que permitem a amostragem de toda a coluna de uma só vez. As amostras de água foram coletadas com garrafas Kenmerer. O oxigênio dissolvido foi determinado com um medidor de oxigênio YSI, modelo 54. O pH foi medido com um aparelho Methron Herisau E 448. A velocidade e a direção da corrente foi determinada com um correntômetro Hydro Products 505. A penetração da luz na água foi medida com um luxímetro Rigosha, que utiliza uma célula foto-sensora, lançada através de um cabo à profundidade desejada. Essas determinações foram efetuadas "in situ". Uma parte de cada amostra foi preservada para a determinação em laboratório da concentração de clorofila-a pelo método de Strickland e Parsons (5). A velocidade e a direção do vento foram calculadas a partir do registro de um anemógrafo Lambrecht, modelo 1482, instalado nas margens da represa. A radiação solar foi obtida com um actinógrafo Fuess, Robtzch Type, modelo 58 dc, instalado no posto meteorológico da Light. A partir dos valores totais diários da radiação solar pode-se, através do luxímetro acima descrito, determinar a fração dessa radiação que atingiu cada profundidade amostrada.

A utilização dos valores totais diários foi considerada conveniente, após a verificação de que nos horários de coleta, isto é, das 9 às 15 h, o total da radiação incidente ficou compreendido sistematicamente entre 41 e 45% daqueles totais.

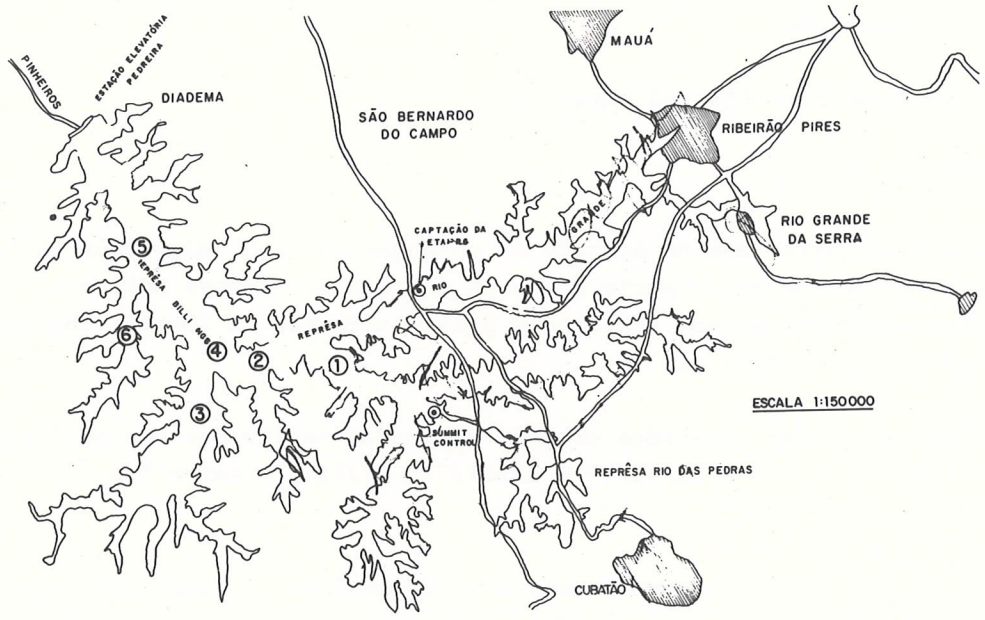


FIGURA 31 - Localização dos pontos de coleta

Nas Figuras 32 e 33 são apresentados alguns perfis dos diversos parâmetros levantados.

VARIAÇÃO LONGITUDINAL DO OD

As amostragens foram efetuadas ao longo do corpo central nos mesmos pontos de coleta estabelecidos para as determinações da DBO.

Os dados foram coletados no período de 25/03/77 a 11/08/77.

Além das variáveis independentes utilizadas na 1ª etapa deste estudo, foram acrescentadas a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e o tempo de trânsito (t), a partir do conhecimento prévio que se tem da influência destes parâmetros na variação longitudinal do OD. Foram introduzidos, também, como fatores de ajuste, a distância (X) medida ao longo do corpo central e a profundidade (Z).

O tempo de trânsito foi avaliado através do modelo hidráulico já apresentado.

PROCESSAMENTO DOS DADOS LEVANTADOS

a) Para a escolha das relações funcionais que foram utilizadas neste trabalho na aplicação da técnica de regressão multilinear, compararam-se os resultados obtidos através do uso de relações do tipo aditivo e multiplicativo. Para a equação que exprime a variação vertical do OD, a relação funcional multiplicativa propiciou um melhor ajuste aos dados experimentais, sendo, portanto, a escolhida, enquanto que para a equação que exprime a variação longitudinal-vertical foi dada preferência a uma relação aditiva, pois neste caso foi a que melhor ajuste apresentou.

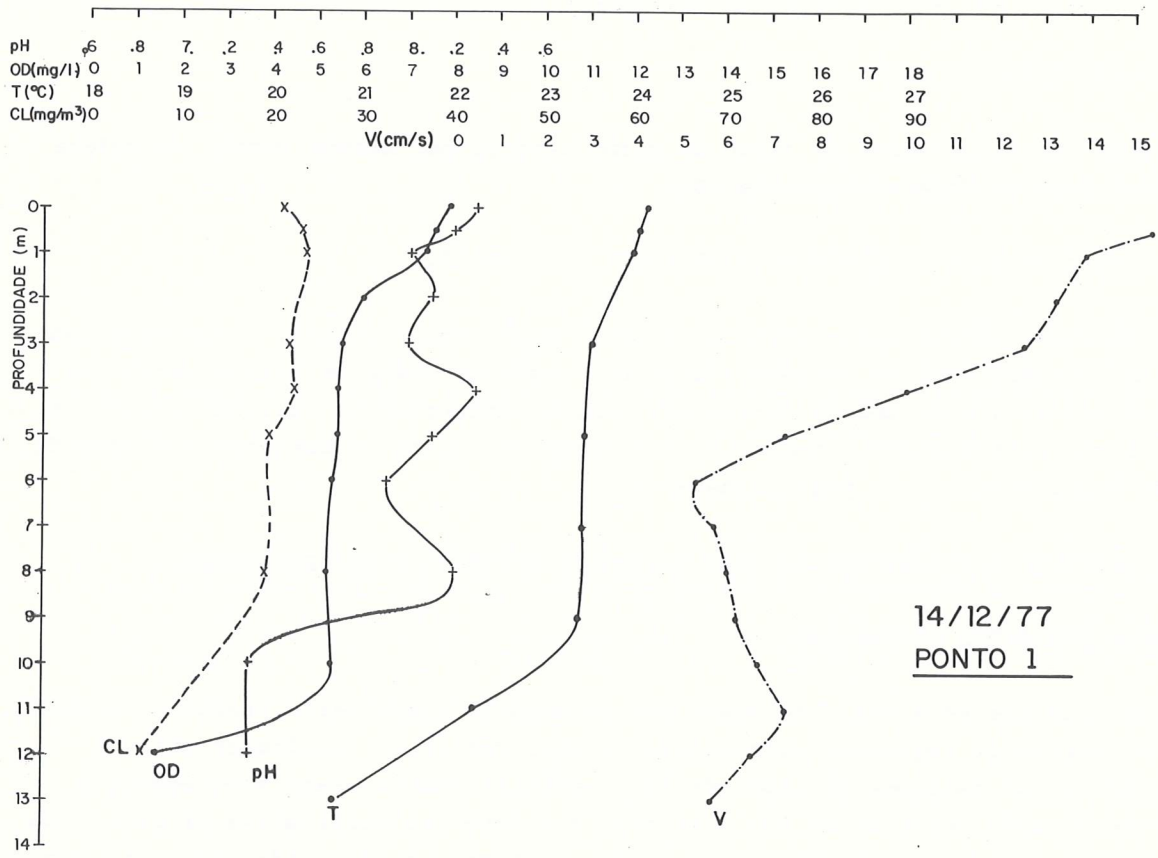
b) Uma vez que a utilização de um modelo multiplicativo recorre aos logaritmos das variáveis e como qualquer uma delas, com exceção da temperatura (no caso da represa Billings), pode apresentar valores nulos, somou-se previamente uma unidade às demais, quando da utilização desse modelo.

c) No caso da equação da variação vertical, determinou-se primeiramente a matriz de correlação com a utilização de parte do programa FACTOR ANALYSIS (6). Os elementos dessa matriz são os coeficientes de correlação simples (r) entre as diversas variáveis. Selecionou-se a variável com o maior coeficiente de correlação com o OD, como a primeira a entrar na equação. No caso da primeira campanha essa variável foi T, com r = 0,76. Procedeu-se então ao cálculo das regressões com o auxílio do programa REGRE (7) que foi modificado para que pudesse ser aplicada a equação do tipo multiplicativo. Esse programa foi denominado REGRE 2.

d) A partir da primeira regressão obtida, OD = f (T), introduziram-se sistematicamente as demais variáveis, verificando-se em cada passo a melhoria alcançada.

Foi selecionada a equação OD = f (CL, T, L, Z) por considerar-se que os parâmetros CL, T e L são os mais adequados para a finalidade de previsões futuras.

Os testes estatísticos que são fornecidos pelo programa de computador, mostraram que



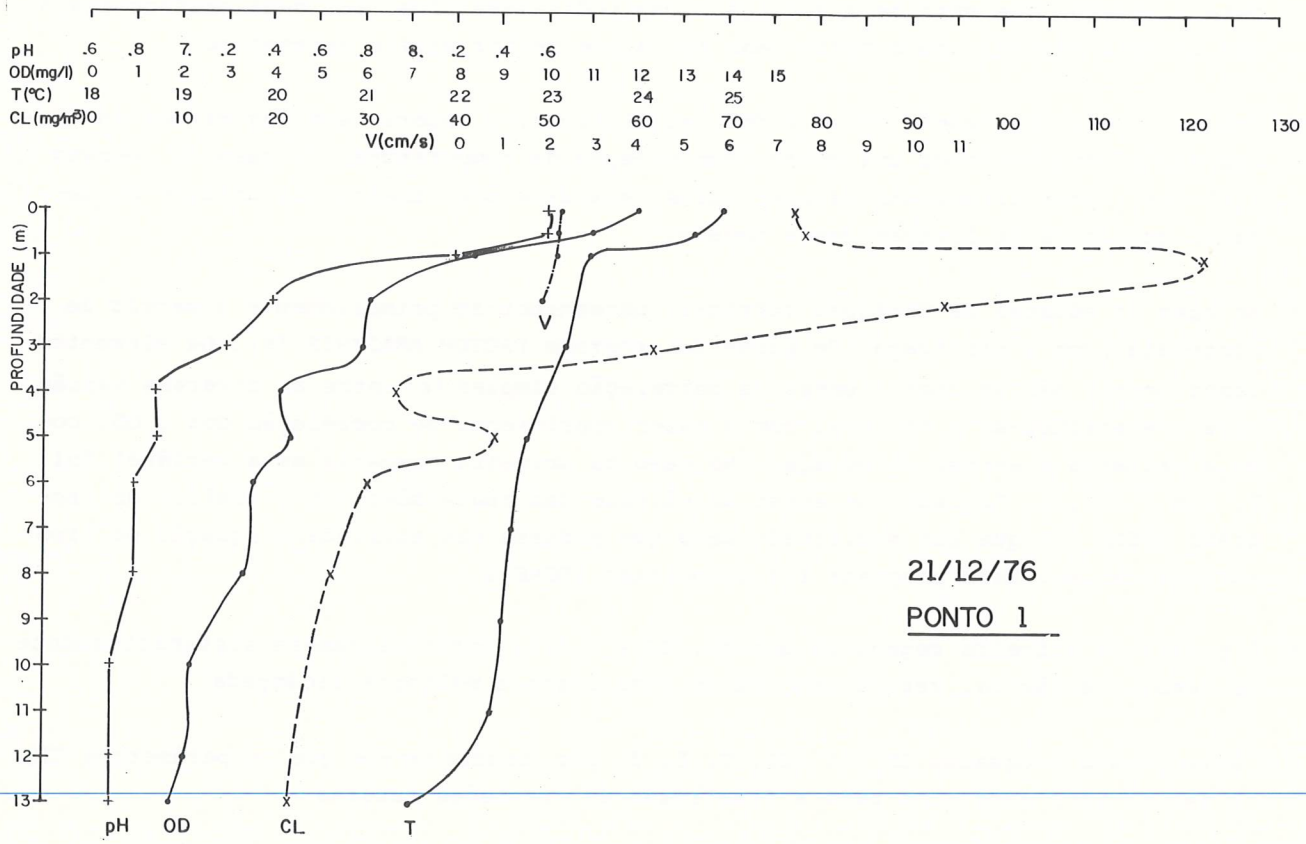


FIGURA 32 - Perfis dos diversos parâmetros físico-químicos 1ª campanha

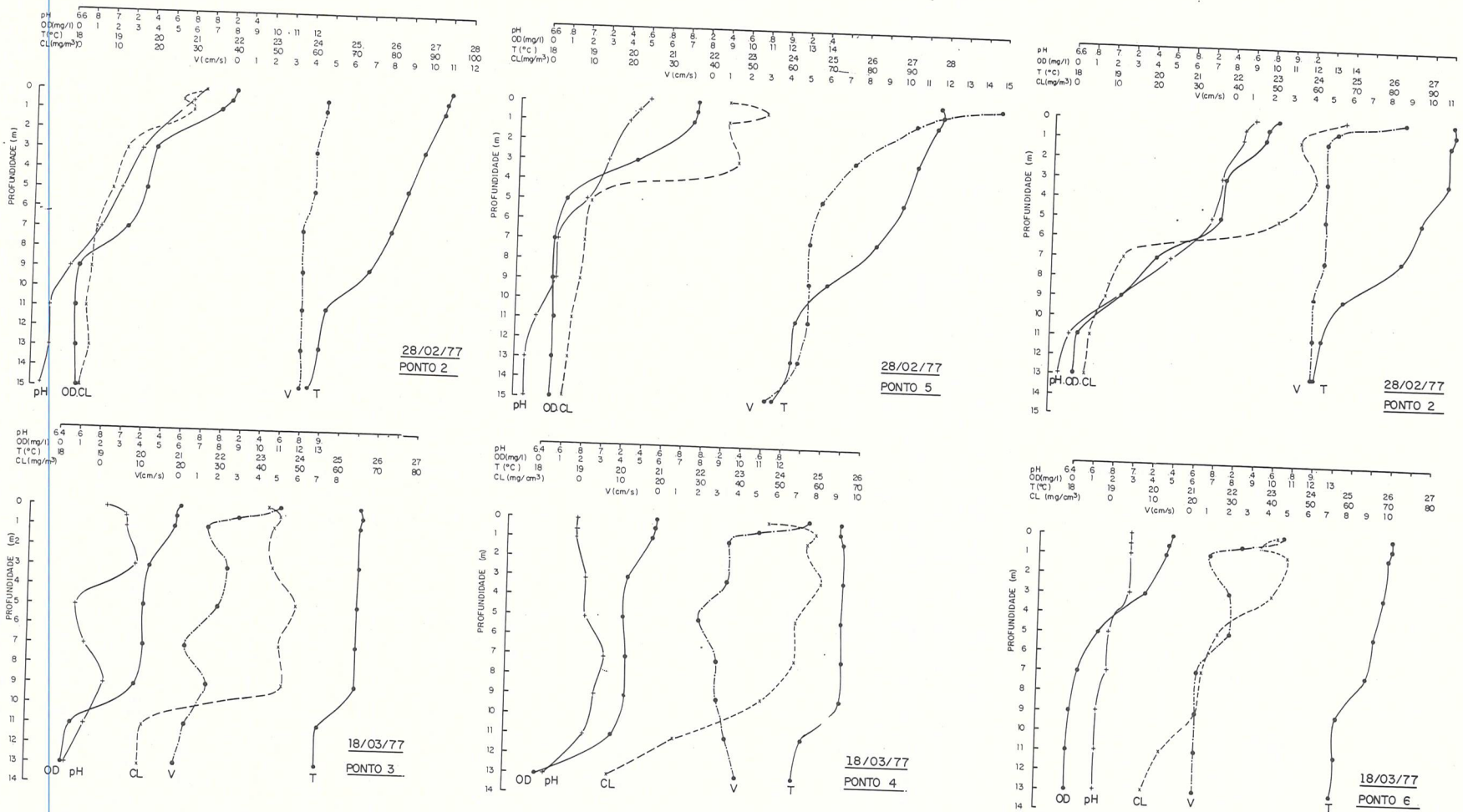


FIGURA 33 - Perfis dos diversos parâmetros físico-químicos - 2ª campanha

as equações obtidas são estatisticamente significativas a um nível de 0,001; pode-se afirmar, portanto, com um grau de confiança de 99,9%, que o conjunto das quatro variáveis selecionadas é estatisticamente significativo em relação à variação observada do OD.

No caso das equações que exprimem a variação longitudinal vertical do OD procedeu-se analogamente, determinando-se a equação OD = f (CL, T, L, X, t, DBO, Z), válida para profundidades da superfície a 5 m.

Devido à condição anaeróbia observada no trecho inicial da represa entre os pontos R_0 e R_4 durante grande parte dos períodos de observação, todos os cálculos das equações de regressão no caso da variação longitudinal foram efetuados com base nos dados amostrados no trecho R_4 - R_{16}.

Pelo mesmo motivo a profundidade máxima considerada nos cálculos foi de cinco metros. Quanto a essa profundidade, o Sub-Comitê de Qualidade das Águas pertencente ao Comitê Executivo do Acordo Ministério das Minas e Energias e Governo do Estado de São Paulo, sugeriu considerar como zona aeróbia o local da represa onde são observados valores de oxigênio dissolvido não inferiores a 0,5 mg/l em profundidade de cinco metros, de acordo com as condições sanitárias atuais da represa Billings.

RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

Foram obtidas as seguintes equações de regressão para a previsão das concentrações de oxigênio dissolvido na represa Billings.

a) Variação Vertical

Primeira campanha

$$OD = 4{,}12\times10^{-9}(CL+1)^{0{,}16194}\ T^{6{,}60420}(L+1)^{-0{,}00066}(Z+1)^{-0{,}16375}-1 \qquad (20)$$

R = 0,90 CV = 13% $0 \leq Z \leq 7m$

Segunda Campanha

$$OD = 1{,}11\times10^{-9}(CL+1)^{0{,}32872}\ T^{6{,}49874}(L+1)^{0{,}00793}(Z+1)^{-0{,}20645}-1 \qquad (21)$$

R = 0,91 CV = 31% $0 \leq Z \leq 7$ m

Terceira Campanha

$$OD = 1{,}82(CL+1)^{0{,}28336}\ T^{-0{,}05907}(L+1)^{-0{,}04488}(Z+1)^{-0{,}42841}-1 \qquad (22)$$

R = 0,64 CM = 46% $0 \leq Z \leq 7$ m

b) Variação longitudinal-vertical

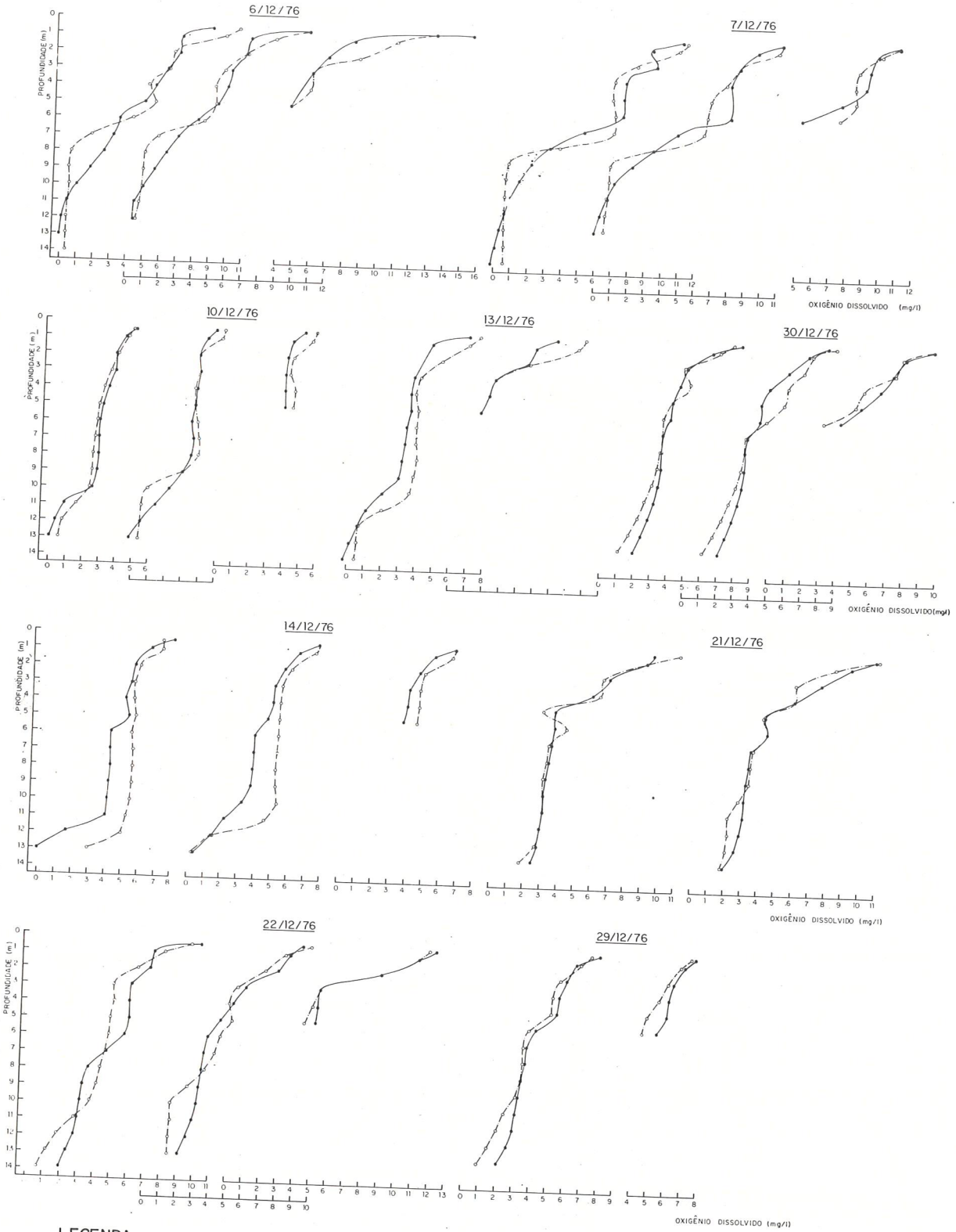


FIGURA 34 - Perfis verticais de oxigênio dissolvido calculado pelo modelo e determinado em condições reais no período de 6/12 a 29/12/76

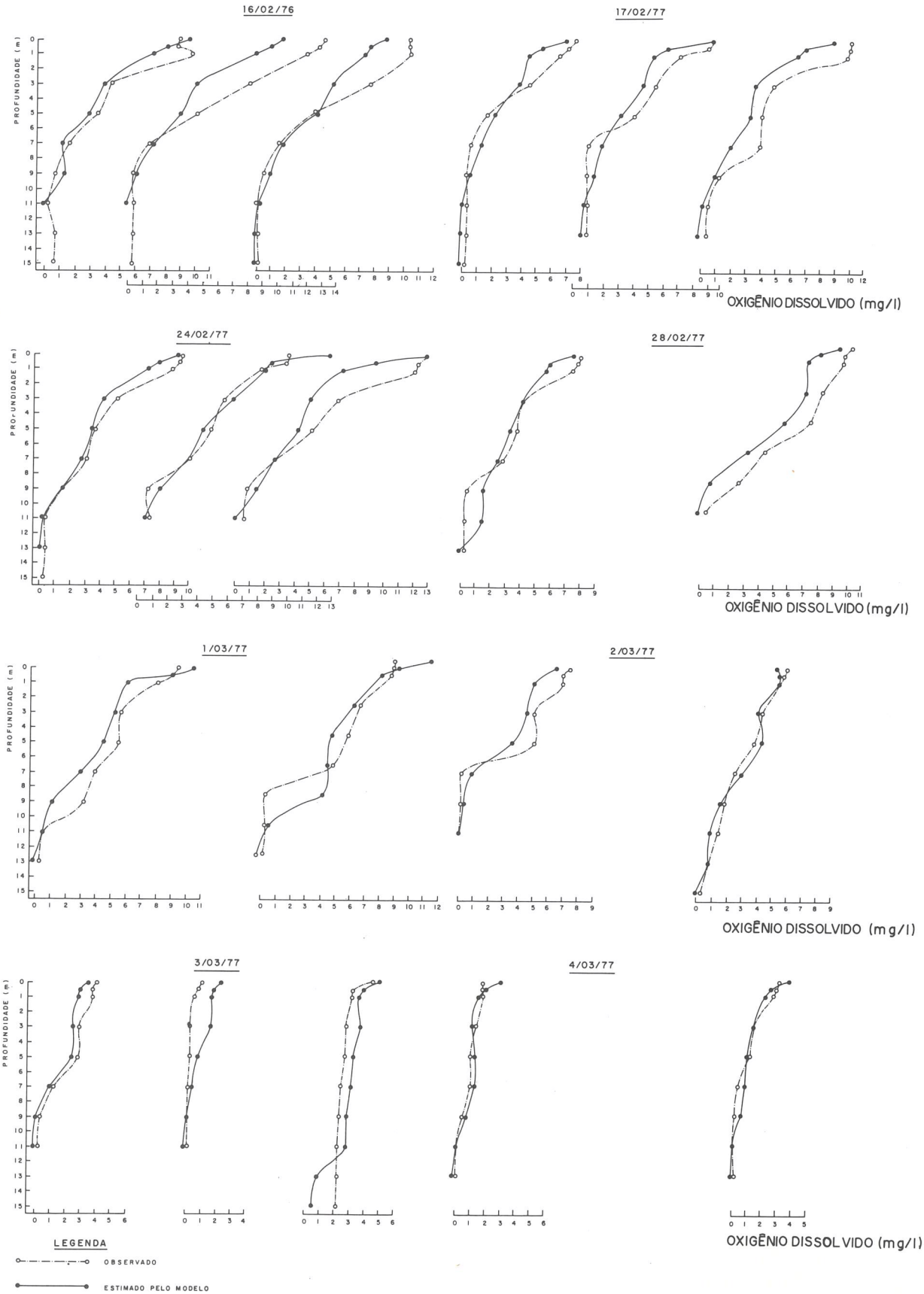


FIGURA 35 - Perfis verticais de oxigênio dissolvido calculado pelo modelo e determinado em condições reais no período de 16/2 a 4/3/77.

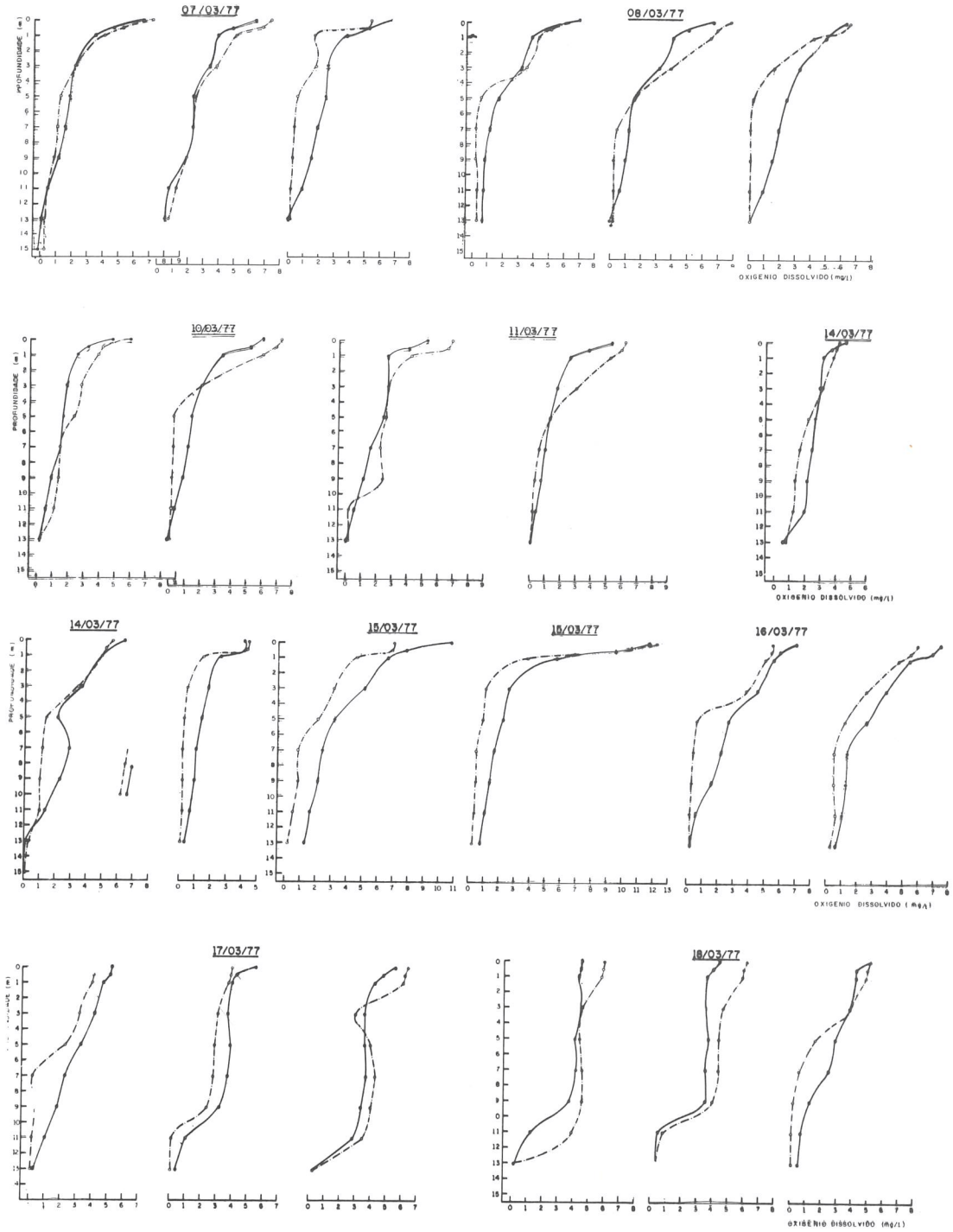


FIGURA 36 - Perfis verticais de oxigênio dissolvido calculado pelo modelo e determinado em condições reais no período de 07/03 a 18/03/77

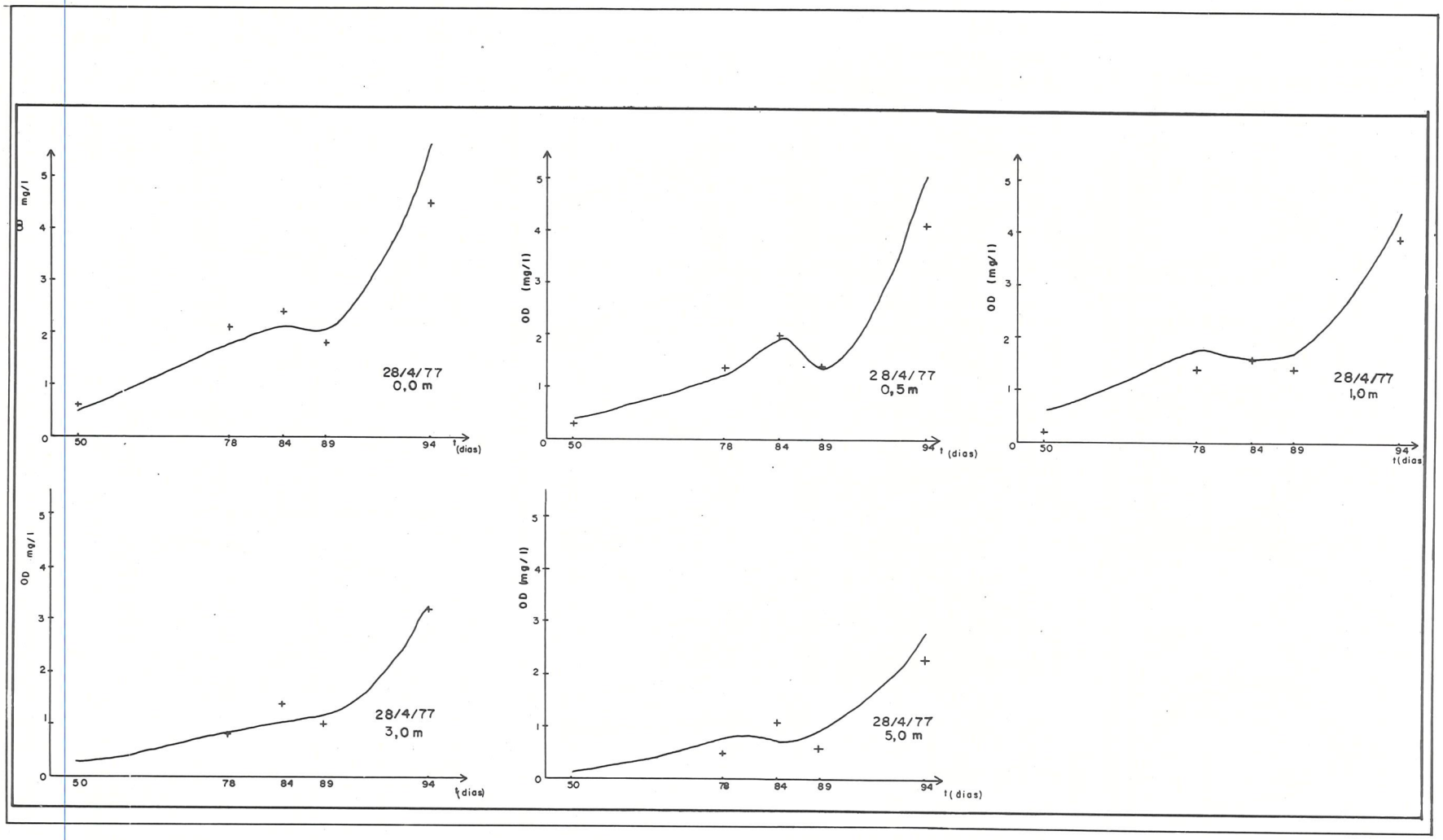


FIGURA 37 - OD em diferentes profundidades. Valores observados e calculados pelo modelo matemático em função do tempo de trânsito.

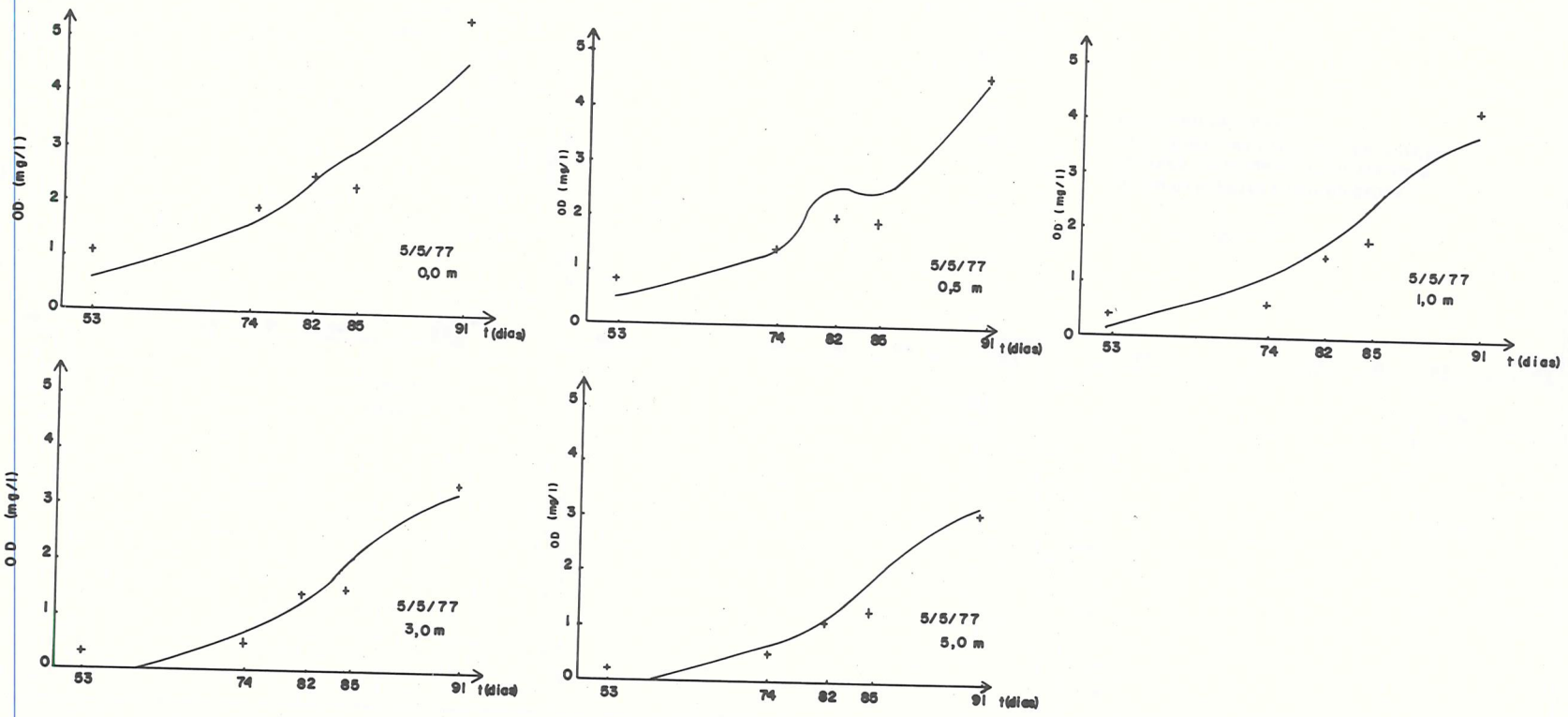


FIGURA 38 - OD em diferentes profundidades, valores observados e calculados pelo modelo matemático, em função do tempo de trânsito

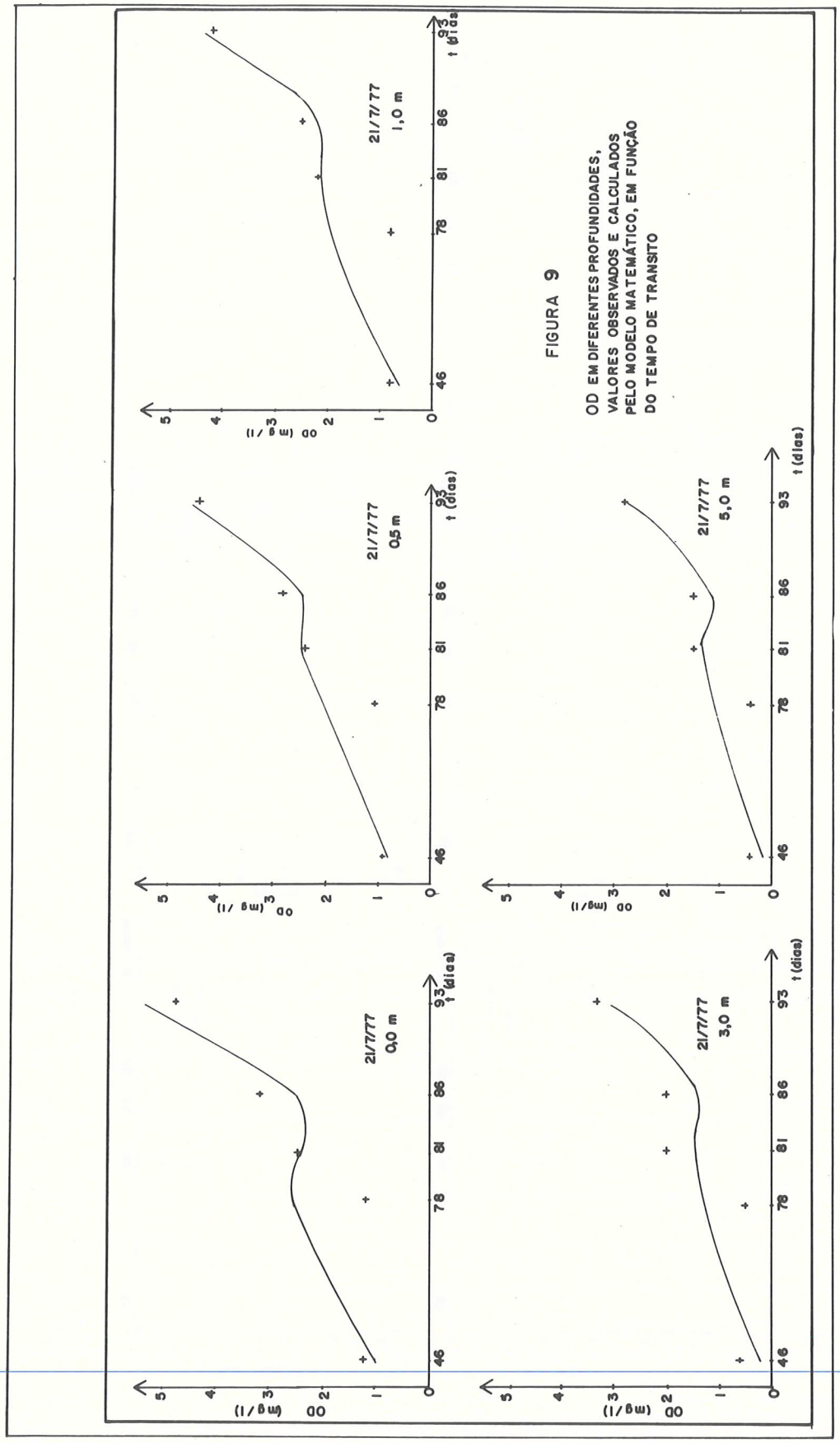


FIGURA 39 - OD em diferentes profundidades, valores observados e calculados pelo modelo matemático, em função do tempo de trânsito.

$$OD = -4.84499 + 0.05622\sqrt{CL} + 0.05442\ T + 0.00174\ L + 0.25979\ X + 0.03600\ t - 0.02051\ DBO - 0.49925\ Z \quad (23)$$

$R = 0,78$ $\quad CV \simeq 40\%$

onde OD: oxigênio dissolvido, em mg/l
CL: clorofila, em mg/m^3
T : temperatura, em ^oC
L : radiação solar, em Langley. d^{-1}
X : distância ao Ro, em km
t : tempo de trânsito, em dias
DBO: demanda bioquímica de oxigênio, (5d. 20°C, em mg/l)
Z : profundidade, em metros

O exame dos resultados permite concluir que os modelos utilizados são satisfatórios. Os coeficientes de correlação múltipla apresentaram valores consideravelmente altos e todos os parâmetros utilizados se mostraram estatisticamente significativos a um nível de 0,001.

Os coeficientes de variação calculados para as expressões estabelecidas oscilam em torno de 40%. Os coeficientes das diversas equações para previsão do OD apresentaram regularidade, com uma notável exceção para a temperatura no caso da 3ª. campanha, onde sua influência é excepcionalmente pequena na variação do OD. Tal fato deveu-se a inexistência de estratificação térmica nesse período de amostragem.

Nas Figuras 34, 35 e 36 são apresentados os diversos perfis do OD que são comparados com os resultados observados e calculados analiticamente e nas Figuras 37, 38 e 39 os perfis longitudinais de OD em várias profundidades calculados pelo modelo e valores observados. Verifica-se que os dois modelos prevêm satisfatoriamente as variações de oxigênio dissolvido da superfície ao fundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - Streeter, H.W. and E.B. Phelps - A study of the pollution and natural purification of the Ohio River. Bull. U.S. Publ. Hlth. Serv. Nº 146 (Reprinted 1958) (1925).

2 - Wilson, G.T. and. N. Macleod - A critical appraisal of empirical equations and models for the prediction of the coefficient of reaeration of deoxygenated water. Wat. Res. 8, 341-366 (1974).

3 - Draper, N.R. & H. Smith - Applied Regression Analysis. John Willey, New York (1966).

4 - Schneiderman, B. - Correlação e regressão. Estatística - 4ª. parte. Escola de Engenharia Mauá (1976).

5 - Strickland, J.D.H e T.R. Parsons - A manual of sea water analysis. Bull. Fish. Bd. Ca. (1925): 1-185 (1966).

6 - Dixon, W.J. - BMD computer Program Manual, UCLA, 1964.

7 - IBM - Regre, Multiple Linear Regression - IBM application Program, System/360 Scientific Subroutine Package (360 A - CM - 03 - X) Version III, Application Description, H20-0166-5 (1968).

DESENVOLVIMENTO DO FENÔMENO DE EUTROFIZAÇÃO NA REPRESA BILLINGS

Ao contrário do que ocorre com a matéria carbonácea e bactérias, o efeito dos nutrientes na deterioração da qualidade das águas persiste por longo tempo, pois os mesmos não sofrem decréscimo quantitativo, existindo, de alguma forma, acoplados à cadeia alimentar do sistema aquático.

Devido a essa caracterização dos nutrientes, a deterioração da qualidade das águas, decorrente do fenômeno de eutrofização, não se limitaria apenas à represa Billings. Através do sistema hídrico conjugado do Alto Tietê e Baixada Santista, a elevada quantidade de algas produzida na represa poderá se constituir numa fonte de nutrientes para provocar o desequilíbrio ecológico na baia de Santos.

A realização do presente estudo teve como objetivo, além da caracterização do desenvolvimento de tais fenômenos, obter também parâmetros básicos para a elaboração de modelos sobre as concentrações de oxigênio e matéria carbonácea, levando-se em consideração que o crescimento de algas interfere ativamente nas determinações desses parâmetros.

PROCEDIMENTOS EMPREGADOS PARA O LEVANTAMENTO DE DADOS

Todos os dados referentes às substâncias nitrogenadas na água e concentração de clorofila extraída das algas foram obtidos nas campanhas gerais de amostragem, realizadas durante o período de janeiro a abril de 1975, de julho a dezembro de 1976, e de janeiro a maio de 1977. Os pontos de amostragem são os mesmos àqueles estabelecidos para a coleta de amostras para DBO.

Os tempos de trânsito da massa líquida, em cada período de crescimento de algas, foram calculados analiticamente através de modelo hidráulico apresentado anteriormente.

Os dados relativos aos fluxos de nutrientes do lodo acumulado no fundo da represa para o corpo da água, foram obtidos com base nos resultados dos experimentos já citados.

A taxa de crescimento de Microcystis sp foi determinada em laboratório sob diferentes intensidades de luz artificial. O meio de cultura utilizado foi o de Chu 10 modificado (1) e a temperatura durante o ensaio foi mantida em $20^{o}C \pm 1$.

A relação entre a taxa de crescimento de Microsystis sp e a de absorção de nutrientes pelas mesmas lagas, em função de diferentes concentrações de nutrientes, foi avaliada sob condição de luz natural. Seis frascos de cultura (volume de 1 litro) com diferentes proporções de diluição de água coletada na barragem de Pedreira foram incubados em aquário, com termostato. Periodicamente foram coletadas amostras para análise de clorofila-a, nitrogênio e fósforo em forma inorgânica. As experiências tiveram duração de 21 dias, com temperatura média de $25^{o}C \pm 2$ e a intensidade de radição solar média

diária foi de 0,51 cal.min^{-1}. cm^{-2}. Estas experiências foram repetidas duas vezes.

A relação entre o valor do coeficiente de extinção da luz e a concentração de algas (Microcystis sp) foi medida experimentalmente em laboratório. Do "bloom" coletado na represa Billings, com predominância de Microcystis sp foram preparadas, através de diluição com água destilada, vinte diferentes concentrações de algas. Cada amostra com determinada concentração de algas foi colocada em cilindro de vidro (comprimento de 50 cm e diâmetro de 7 cm) e foi medida a transmitância de luz pelo iluminômetro "Rigosha", sob luz artificial (fluorescente 5 Klux), e ao mesmo tempo foram realizadas determinações das concentrações de clorofila-a a seston, contidas em cada amostra.

A taxa de ação fotossintética em diferentes intensidades de radiação solar foi avaliada através da medida da produção de oxigênio dissolvido, por determinada quantidade de clorofila-a, por unidade de tempo. As amostras coletadas na represa (Ponto R_4) foram transportadas até o local da barragem de "Summit Control" e imediatamente incubadas no aquário com termostato em seis frascos, dos quais cinco foram cobertos com várias espessuras de redes apropriadas para atenuação da luz, diferenciando-se a intensidade de luz no interior dos frascos. Um frasco foi coberto totalmente com folhas de alumínio e pano escuro, a fim de se efetuar a medida da taxa de respiração das algas. As concentrações de oxigênio dissolvido nos frascos foram medidas com analisador automático de oxigênio, (marca YSI). As experiências foram repetidas três vezes. De modo geral, as incubações foram iniciadas às 9:00 horas e tiveram duração de três horas. A temperatura durante as experiências foi mantida em 20°C.

CONDIÇÃO ATUAL DO DESENVOLVIMENTO DO FENÔMENO DE EUTROFIZAÇÃO

Como foi apresentado anteriormente, a variação sazonal das precipitações pluviométricas na bacia hidrográfica do Alto Tietê interfere consideravelmente na produtividade de algas na represa, constatando-se a menor concentração de clorofila na época da seca, notadamente no trecho inicial da represa, comparada com as concentrações obtidas na época de chuva (Figura 40).

Essa diferença pode ser resultante da baixa temperatura e da coloração negra da água proveniente da fermentação anaeróbia, o que dificulta a penetração da luz na água, além do efeito tóxico do gás sulfídrico liberado eventualmente na época de seca.

Na época de chuva (verão), por outro lado, a minimização desses fatores, devido à diluição de materiais poluentes, e a elevação da temperatura favorecem o crescimento de algas, embora as concentrações de nutrientes nesta época sejam menores das obtidas na época de seca.

É importante mencionar que, normalmente na época de altas temperaturas, observa-se apreciável variação vertical na concentração de algas, causada pela formação de estratificação térmica na represa, a qual se desenvolve principalmente nos dias quentes e calmos. Nessas condições ocorre a formação de "bloom" dessas algas nas camadas superiores das águas.

Ao contrário do que foi observado na época quente, verificou-se que, no período de inverno, a distribuição vertical de clorofila-a, é de modo geral, relativamente uniforme,

em conseqüência de maior circulação vertical da massa líquida, promovida principalmente pela baixa temperatura da água.

Entretanto, em qualquer época as concentrações médias de algas em todas as profundidades apresentam, geralmente, um crescimento de forma exponencial na fase inicial de desenvolvimento desses microrganismos e diminuem gradativamente suas taxas de crescimento à medida que se aumenta o tempo de trânsito da massa líquida (Figura 40).

Esse fato pode ser explicado em parte pelo fenômeno de auto-sombra, decorrente da própria produção de algas. Assim, um determinado trecho inicial da represa é pouco variável o calor do coeficiente da extinção da luz devido à diminuição gradativa de materiais particulados e coloidais provenientes do rio Pinheiros, pelos processos de sedimentação e degradação. Por outro lado há um aumento de partículas, decorrente da produção de algas, as quais mantêm praticamente constante o coeficiente de extinção da luz. Entretanto, após esse trecho, à medida que se acentua o crescimento das algas, limita-se cada vez mais a penetração da luz na água, diminuindo a profundidade da camada fótica e, conseqüentemente, reduzindo a taxa de produção de algas por unidade de volume da água.

Concomitantemente com a interferência do fator luz citado, a diminuição de nutrientes decorrente da assimilação pelas algas e precipitação dos mesmos por reações químicas poderiam restringir também a velocidade de crescimento de algas.

A figura 41 mostra o decrescimo das concentrações de nitrogênio inorgânico, obtidas em algumas épocas ao longo do corpo central da represa em função do tempo de trânsito.

MODELO MATEMÁTICO UTILIZADO PARA O CRESCIMENTO DE ALGAS NA REPRESA BILLINGS

O mecanismo da fotossíntese, realizado pelas algas em condição natural, é bastante complexo, dependendo do tipo de alga e do seu comportamento fisiológico perante as variações de radiação solar, temperatura, balanço de sais nutrientes, movimento de águas, etc.

As informações disponíveis até o presente momento não são suficientes para caracterizar satisfatoriamente o mecanismo envolvido nesse fenômeno que se processa no meio líquido, possibilitando apenas estimativas aproximadas quanto ao relacionamento entre a produção de algas e os fatores ambientais.

Com a finalidade de se estabelecer um modelo matemático de aplicação prática para a represa Billings, relacionando a produção de algas e os fatores ambientais, foram feitas modificações e adaptações em alguns modelos existentes que serão consideradas a seguir.

A taxa líquida de produção de algas num sistema aquático (GL) pode ser representada pela diferença entre a taxa de produção bruta (Gb) e a taxa de redução de algas (Gd).

$$GL = Gb - Gd \qquad (24)$$

Se o crescimento de algas ocorresse sempre obedecendo a uma cinética de primeira or-

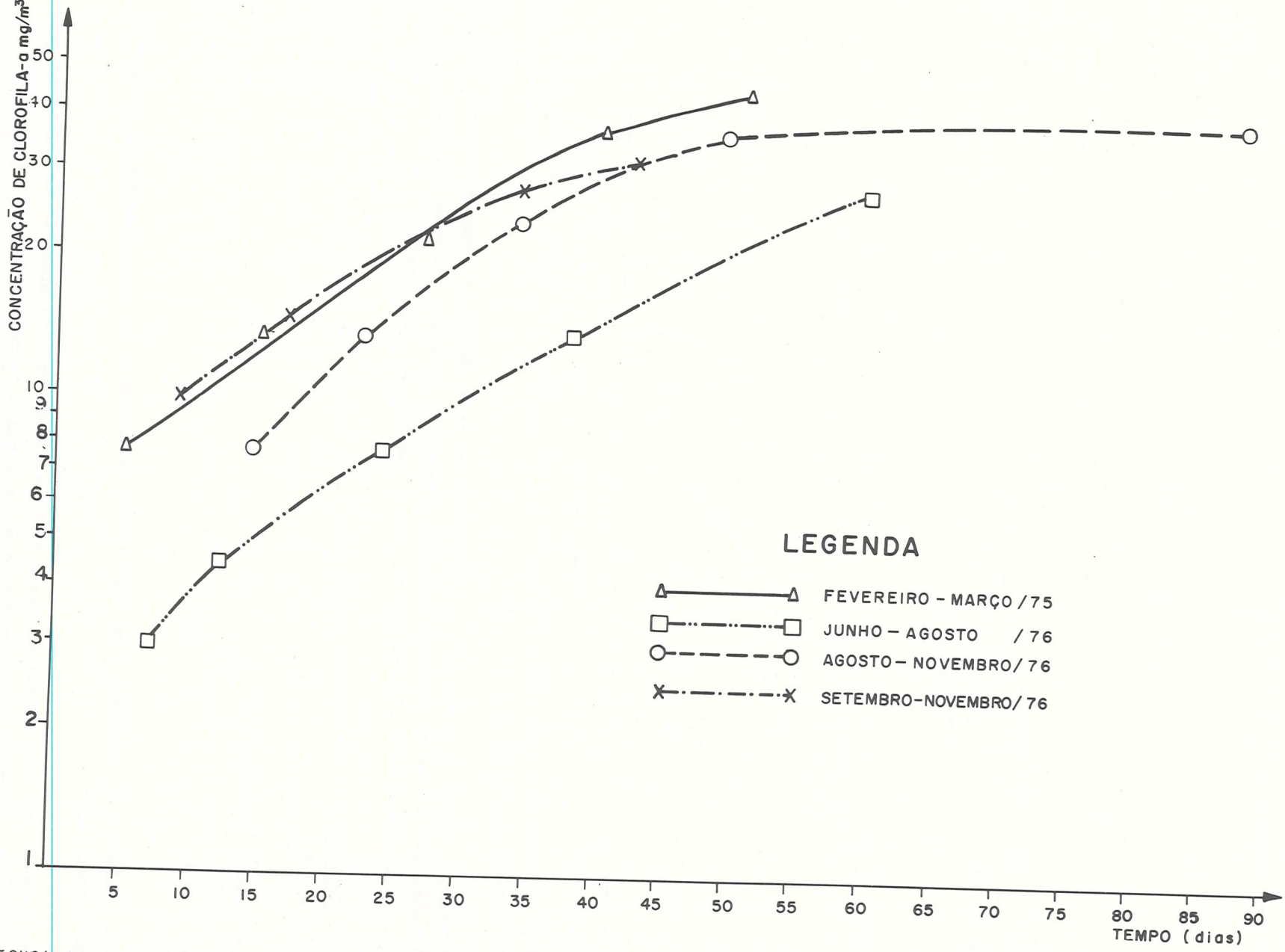


FIGURA 40 - Variações das concentrações de clorofila-a no corpo central da Represa Billings em períodos de 1975 a 1976

dem, as variações de biomassa de algas expressas em concentrações de clorofila-a, poderiam ser representadas pela fórmula:

$$\frac{dC}{dt} = (Gb - Gd)C \qquad (25)$$

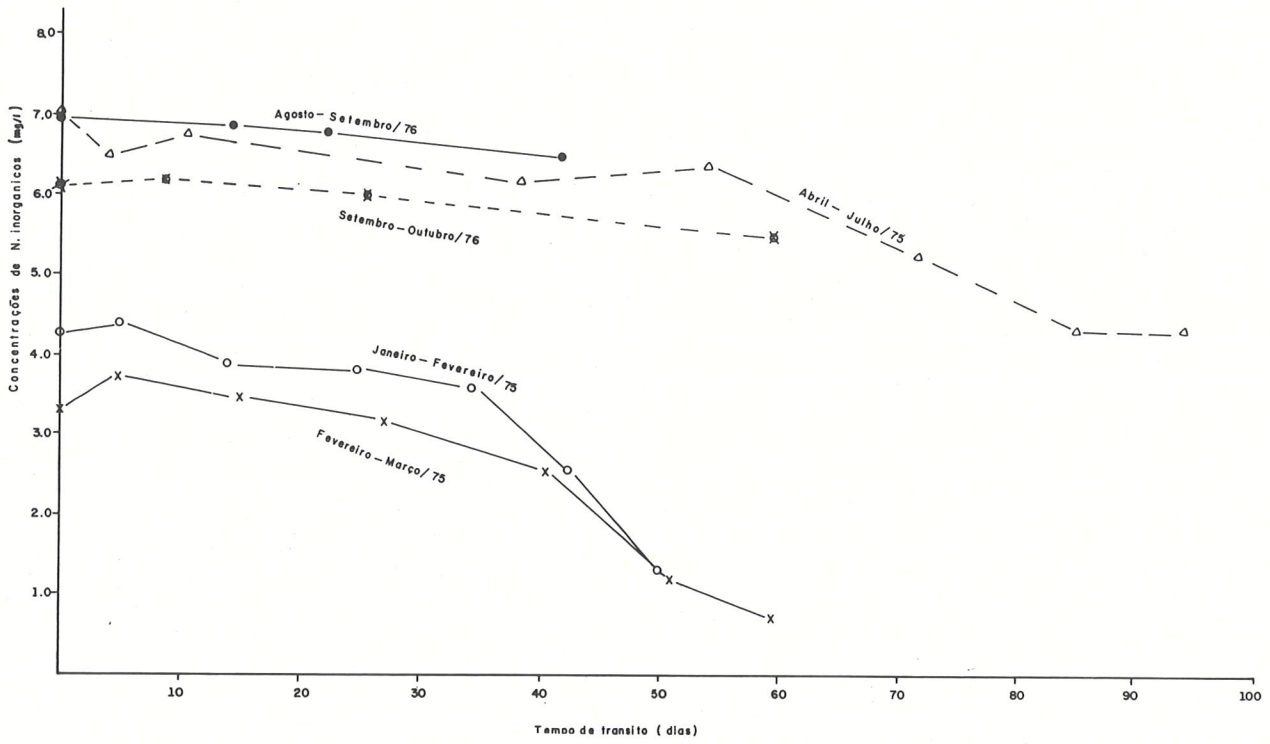


FIGURA 41 - Variações de concentrações em função de tempos de trânsito de N inorgânico determinadas em diferentes períodos do estudo

Entretanto, devido à característica observada no crescimento de algas na represa Billings, aplicou-se no presente trabalho a seguinte equação, que é um dos modelos mais utilizados quando a ordem diminui com o aumento da concentração:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{(Gb - Gd)C}{1 + K_1 C} \qquad (26)$$

A solução da equação 3 é:

$$\ln \frac{C}{C_o} + K_1 (C - C_o) = (Gb - Gd)t \qquad (26a)$$

Onde o símbolo K_1 representa um coeficiente de ajuste e tem as dimensões do inverso de uma concentração.

Verifica-se por essa expressão que o efetivo crescimento de algas é, no início de primeira ordem, quando a concentração de algas é baixa, aproximando-se a ordem zero à medida em que há o aumento de sua concentração.

As taxas representadas pelos símbolos Gb e Gd apresentam as relações descritas a seguir:

TAXA DE PRODUÇÃO BRUTA DE ALGAS (SÍMBOLO Gb)

Num sistema aquático em que se dispõe de quantidade suficiente de todos os elementos necessários para o crescimento de um determinado tipo de alga, esse organismo desenvolve o seu metabolismo em taxa máxima.

O valor desta taxa (K) varia, dependendo do tipo de algas.

Normalmente as algas pertecentes ao grupo das Diatomáceas e Clorofíceas apresentam maiores valores em relação às do grupo das Cianofíceas (2). O valor obtido experimentalmente em laboratório com Microcystis sp, proveniente da represa Billings, foi de $0,51d^{-1}$ em temperatura de $20^{o}C$.

Nas condições naturais essa taxa K é menor, devido às limitações de vários fatores ambientais disponíveis para a produção de algas, e entre os fatores que interferem direta ou indiretamente na taxa de crescimento das algas, consideram-se a luz, os nutrientes e a temperatura.

FATOR: LUZ

A relação entre a taxa de fotossíntese (F) e a intensidade de uma fonte luminosa qualquer (I) no meio aquático é expressa por uma curva que apresenta um valor máximo de intensidade de luz saturada (I_s). Esta relação pode ser representada pela seguinte expressão:

$$F = \frac{I}{I_s} \exp\left(1 - \frac{I}{I_s}\right) \qquad (27)$$

Num sistema aquático a intensidade de luz varia de acordo com a profundidade. A redução da intensidade da luz a partir da superfície da água (I_0) em função da profundidade (Z) depende do valor do coeficiente específico de extinção da luz (X). Assim ter-se-á:

$$I = I_o \exp(-Xz) \qquad (28)$$

Substituindo este valor de I na equação 27 resulta:

$$F = \frac{I_o \exp(-Xz)}{I_s} \exp\left(1 - \frac{I_o \exp(-Xz)}{I_s}\right) \qquad (29)$$

A equação 29 representa a taxa de redução do crescimento de algas, devida à condição de luz não saturada e para uma determinada profundidade. Como a produtividade de algas abrange toda a profundidade da camada fótica, integrou-se a equação 29 em função da profundidade da água e obteve-se:

$$\int_{o}^{z_{max}} Fdz = \frac{1}{X}\left\{\exp\left[1 - \frac{I_o}{I_s}\exp\left(-Xz_{max}\right)\right] - \exp\left(1 - \frac{I_o}{I_s}\right)\right\} \quad (30)$$

No cálculo prático, o valor de I_0 pode ser obtido como média por minutos ($ly.min^{-1}$) ou como média total diária ($ly.d^{-1}$). O valor de Is determinado experimentalmente no presente estudo foi de 0,21 ly min^{-1} em temperatura de 20°C.

A taxa de penetração de luz na água depende principalmente de materiais em suspensão e corantes existentes na água. Estes materiais podem ser provenientes de fontes poluidoras, mas também constituídos das próprias algas produzidas na represa. Assim, quando há produção significativa de algas, o coeficiente de extinção da luz aumenta em função da concentração das próprias algas, limitando-se a penetração da luz na água.

Encontrou-se a seguinte expressão, relacionando o coeficiente (X) e a concentração de clorofila-a (C) das algas (Microcystis sp), obtida na represa Billings:

$$X = 0,555\ C^{0,512} \quad (31)$$

Acrescentando-se nessa relação o valor do coeficiente de extinção da luz própria da água (X_1), o valor total desse coeficiente em qualquer ponto da represa será:

$$X = X_1 + 0,555\ C^{0,512} \quad (32)$$

Por outro lado, admitindo-se que haja ação fotossintética até a profundidade com 0,1% de luz em relação à superfície da água, haverá a seguinte relação entre o coeficiente de extinção e a profundidade da camada fótica:

$$0,001\ I_o = I_o \exp\left(-Xz_{max}\right) \quad (33)$$

$$X = \frac{\ln\ (0,001)}{-z_{max}} \quad (34)$$

Introduzindo o valor de X da equação 34 na equação 32 e rearranjando-se, obtém-se:

$$-z_{max} = \frac{\ln\ (0,001)}{X_1 + 0,555\ C^{0,512}} \quad (35)$$

Substituindo os valores de X e Zmax obtidos das equações 32 e 35 na equação 30 resulta:

$$\int_{o}^{z_{max}} Fdz = \frac{1}{X_1 + 0,555\ C^{0,512}}\left\{\exp\left(1 - \frac{I_o}{I_s}0,001\right) - \exp\left(1 - \frac{I_o}{I_s}\right)\right\} \quad (36)$$

A equação 36 representa a taxa de redução de crescimento de algas em função do coeficiente de extinção da luz, originado da própria água, condicionada às variações de concentração de clorofila proveniente de algas (Microcystis sp).

FATOR: NUTRIENTES

As algas que proliferam no meio aquático, como acontece igualmente com as plantas terrestres, possuem grande capacidade de absorção de nutrientes, dentro de limites relativamente amplos. Elas absorvem não só os nutrientes essenciais, como também os não essenciais, inclusive tóxicos.

Em consequência da lei de mínimo de Liebig, qualquer um dos elementos nutritivos pode ser limitante para a ação fotossintética, caso não exista no meio aquático a concentração mínima requerida.

Entretanto, segundo várias experiências realizadas no campo da agricultura e ecologia aquática, o nitrogênio e o fósforo são considerados como elementos que apresentam maior probabilidade de serem os fatores limitantes para a ação fotossintética.

Quanto à relação entre o crescimento de algas e as concentrações de nutrientes limitantes, vários trabalhos demonstram a complexidade dos processos fisiológicos envolvidos. Entretanto, os estudos recentes de Caperon, Dugdale e Thomas (3, 4 e 5) mostraram boa aplicabilidade da fórmula baseada na teoria da cinética enzimática de Michaelis Menton para o estabelecimento desta relação. Essa fórmula apresenta uma curva do tipo hiperbólico, tendo a seguinte expressão:

$$\mu = \mu_{max} \left(\frac{S}{K_s + S} \right) = \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \qquad (37)$$

onde μ é a taxa de crescimento específico de algas, μmax é a taxa de crescimento máximo obtido; S é a concentração de nutriente limitante; K_s é a concentração de nutriente limitante que corresponde a 1/2 do valor de μmax; e x é a massa biológica de algas.

Na realização do presente estudo, devido à insuficiência de resultados representativos referentes ao elemento fósforo, as interpretações quantitativas sobre os nutrientes foram baseadas somente no elemento nitrogênio.

O valor de K_s do nitrogênio obtido experimentalmente sob iluminação natural, utilizando-se Microcystis sp originadas na represa Billings, foi de 0,512 mg/l com a temperatura de 25°C. Corrigindo-se a temperatura para 20°C, com base no Q_{10} igual a 2, o valor de K_s estimado foi de 0,36 mg/l, o qual é comparável com a concentração mínima requerida (0,3 mg/l de N) para o início da proliferação exagerada de algas pertencentes ao grupo das Cianofíceas no sistema aquático (6).

A taxa de consumo de nitrogênio em função do crescimento de algas foi calculada com base nas variações da concentração de nitrogênio inorgânico e nos valores de produção de algas obtidos durante o levantamento de dados realizados nos anos de 1975 e 1976. A fórmula utilizada para esta avaliação foi:

$$An = \int_{o}^{t} Cq_N \, dt \qquad (38)$$

onde An significa a quantidade total de nitrogênio inorgânico consumido; C é dado, implicitamente, pela equação 3, e q_N é a taxa de consumo de nitrogênio por unidade de clorofila. A avaliação dessa integral foi obtida através da aproximação numérica:

$$\int_0^t Cq_N \, dt \cong q_N \, \Sigma \bar{C}_i \, \Delta t_i \qquad (39)$$

Pela aplicação da regra de Simpson.

O valor de q_N estimado nesta investigação foi de 1,45mg Nd^{-1}/mg de clorofila.

FATOR: TEMPERATURA

Os efeitos da temperatura no crescimento de algas são muito variáveis, dependendo do tipo de alga e dos vários fatores presentes nas condições ambientais.

Entretanto, trabalhos realizados por vários pesquisadores, tais como Fogg e seus colaboradores (7), Sorokin (8, 9), Person (10), Tamiya (11) e Spencer (12) demonstraram que a temperatura ótima para o crescimento da maioria das algas encontra-se na faixa de 20°C a 25°C, exceto para algumas algas termófilas, as quais exigem temperaturas mais altas.

Os valores de Q_{10} em relação à taxa de crescimento para vários tipos de algas em diferentes condições ambientais, oscilam de 1,5 a 2,5 dentro da faixa de temperatura adequada para atividades normais desses organismos.

Tomando-se por base o valor médio de Q_{10} igual a 2 (dois) dentro da faixa de temperatura de 15 a 30°C e aplicando-se a quação de Vant'Hoff Arrhenius, simplificada, a taxa de crescimento de algas em função da temperatura pode ser expressa por:

$$K_T = K_{T_o} \, 1{,}072^{-(T_o - T)} \qquad (40)$$

onde Kt e Kto representam as constantes de velocidade de crescimento de algas na temperatura de T e To respectivamente.

EQUAÇÃO FINAL PARA AVALIAÇÃO DA TAXA DE PRODUÇÃO BRUTA DE ALGAS: (Gb)

Resultante das investigações apresentadas anteriormente, a equação final para a avaliação da taxa de produção bruta de algas seria dada por:

$$Gb = \frac{K_T}{X_1 + 0{,}555\, C^{0{,}512}} \left\{ \exp\left(1 - \frac{I_o}{I_s}\, 0{,}001\right) - \exp\left(1 - \frac{I_o}{I_s}\right) \right\} \frac{S}{K_s + S} \qquad (41)$$

Os valores dos símbolos K e Ks podem ser corrigidos pela equação 40, apresentada anteriormente, em função da temperatura.

TAXA DE PERDA DE ALGAS (SÍMBOLO Gd)

A taxa de perda de algas no meio líquido pode ser representada pela soma dos processos de respiração endógena, sedimentação e predação dos animais aquáticos.

Em condição de luz saturada, a relação de produção e respiração de algas varia, dependendo do estado de nutrição desses organismos. Kok (13) determinou a referida relação como sendo de 20:1 em condição ótima de nutrientes e 4:1 em condição precária para Chlorella. Ryther (14) considerou a relação de 10:1 e 15:1 como uma faixa mais aceitável para a maioria das algas em condições de luz saturada.

A relação de produção e respiração de Microcystis sp, determinada "in vitro" no presente trabalho através da produtividade de oxigênio, foi em torno de 10:1.

Com referência à perda de Microcystis pelo processo de sedimentação, a mesma deve ser limitada devido ao mecanismo de flotação com bolha que se forma na célula dessa alga. Richerson (15) estimou em 0,015 d^{-1} o valor da taxa de perda desta alga pela sedimentação.

Por outro lado, a população de Microcystis sp na represa provavelmente não deve ser afetada pelo processo de predação por animais aquáticos devido à grande dimensão desta alga, que a impede de servir de alimentos para o zooplâncton. Apenas alguns tipos de peixes (Saguiru por exemplo) poderiam se alimentar desta alga.

Em resumo, a taxa global da perda de Microcystis sp, provocada pelos processos de respiração, sedimentação e predação, não deverá ultrapassar 15% da taxa máxima de crescimento desta alga na represa Billings.

ESTABELECIMENTO DA RELAÇÃO ENTRE PRODUÇÃO DE ALGAS NA CAMADA FÓTICA E O VOLUME TOTAL DA REPRESA

As concentrações de algas (em pigmento clorofilado) avaliadas através da equação 26, num determinado trecho da represa, representam os valores médios e restritos somente à profundidade da camada fótica. Em condição natural há permanente propagação das algas produzidas na camada fótica para as camadas inferiores, de acordo com o grau de circulação vertical da massa líquida.

Na represa Billings nota-se uma distribuição de algas em todo o volume da água, em qualquer estação do ano, embora exista variação vertical da concentração dessas algas, dependendo das variações das condições climatológicas e hidráulicas na represa.

A fim de simplificar o processo de cálculo da relação proposta, admitiu-se que todas as algas produzidas na camada fótica se misturassem, durante o período de 24 horas, em toda a coluna de água, estabelecendo assim a seguinte relação:

$$Cmt = \frac{(H - 1)\ C_c + C_t}{H} \qquad (42)$$

onde Cmt e C_t representam as concentrações médias de clorofila em toda a coluna de água e na camada fótica respectivamente, após um tempo de trânsito (t) da massa líquida; H representa o fator de profundidade expresso pela relação entre o volume total e o volume da camada fótica em estudo; e C_0 concentração média de clorofila em todas as profundidades do ponto inicial.

Para estimar a distribuição vertical das concentrações de clorofila, foi estabelecida uma correlação múltipla (equação 43 citada abaixo) com base nos dados levantados no período de dezembro de 1976 a maio de 1977, cuja época apresenta maior freqüência de estratificação térmica, devido às elevadas temperaturas presentes no meio aquático.

$$CL = 52,0539\ T^{0,16879}\ (L+1)^{-0,15812}\ (z+1)^{-0,84136} \qquad (43)$$

onde:

CL = concentração de clorofila (mg/l)
T = temperatura (^oC)
L = radiação solar (cal. cm^{-2}. d^{-1})
Z = profundidade (m)

O valor do coeficiente de variação desta equação foi avaliado em torno de 58%.

No período de inverno o crescimento de algas, observado no corpo central da represa, pode ser considerado homogêneo em toda a coluna da água, pois não se verificou praticamente variação vertical de clorofila, em consequência de um maior movimento circular da massa líquida.

VERIFICAÇÃO DA APLICABILIDADE DO MODELO

A fim de verificar a aplicabilidade do modelo matemático elaborado no presente trabalho, foi realizado o ajuste do valor de K_1 da equação 26 através da técnica de regressão teórica por aproximações sucessivas com base nos dados levantados em diferentes trechos do corpo central da represa nos períodos de fevereiro e março de 1975 e de julho a dezembro de 1976.

Todos os dados utilizados contam do Quadro 9. O valor de K_1 ajustado por esse procedimento foi de 0,025545 com coeficiente de variação 24%

Na Figura 42 são plotadas, comparativamente, as curvas de crescimento de algas, obtidas em condição real e calculadas analiticamente pelo modelo construído no presente trabalho.

QUADRO 9 - DADOS RELATIVOS AO CRESCIMENTO DE ALGAS, LEVANTADOS EM DIFERENTES TRECHOS DO CORPO CENTRAL DA REPRESA NOS DIFERENTES PERÍODOS DE ESTUDO

Parâmetro \ Período / trecho	Fev-Mar/1975				Jul-Set/1976		Ago-Nov/1976				Set-Dez/1976		
	R_2-R_3	R_3-R_4	R_4-R_5	R_5-R_{15}	R_2-R_3	R_3-R_4	R_2-R_{2-1}	$R_{2-1}-R_3$	R_3-R_4	R_4-R_{15}	R_2-R_{2-1}	$R_{2-1}-R_3$	R_3-R_4
C_0 (mg/l)	8,0	13,5	21,0	38,5	3,0	7,8	7,8	13,8	24,1	41,6	10,3	15,0	28,0
C_t (mg/l)	48,5	70,0	146,6	99,4	38,3	53,6	45,7	77,2	117,2	70,6	40,0	111,1	65,2
X (m^{-1})	3,5	3,0	3,0	3,5	3,5	3,0	3,0	2,5	3,0	3,5	3,0	3,0	4,0
I_s (ly $.min^{-1}$)	0,27	0,27	0,26	0,26	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,2	0,18	0,19	0,21
I_0 (ly$.min^{-1}$)	0,37	0,37	0,41	0,41	0,32	0,35	0,28	0,31	0,29	0,45	0,39	0,44	0,53
$\frac{S_N}{Ks + SN}$	0,89	0,88	0,88	0,86	0,94	0,94	0,96	0,95	0,95	0,88	0,95	0,94	0,90
t (dia)	10	12	13	11	17	14	8	11,5	15,5	38,5	8,5	17,0	17,0
K (dia^{-1})	0,64	0,64	0,62	0,62	0,43	0,41	0,40	0,40	0,41	0,47	0,43	0,46	0,50
Gd (dia^{-1})	0,096	0,096	0,093	0,093	0,065	0,062	0,06	0,062	0,062	0,071	0,065	0,070	0,075
T (ºC)	23,3	23,3	22,8	22,8	17,7	16,8	16,5	16,6	17,0	18,9	17,7	18,5	19,6
Prof. (m)	14,5	17,0	16,5	16,0	14,5	17,0	14,5	17,0	16,0	16,0	14,5	17,0	16,0

CETESB

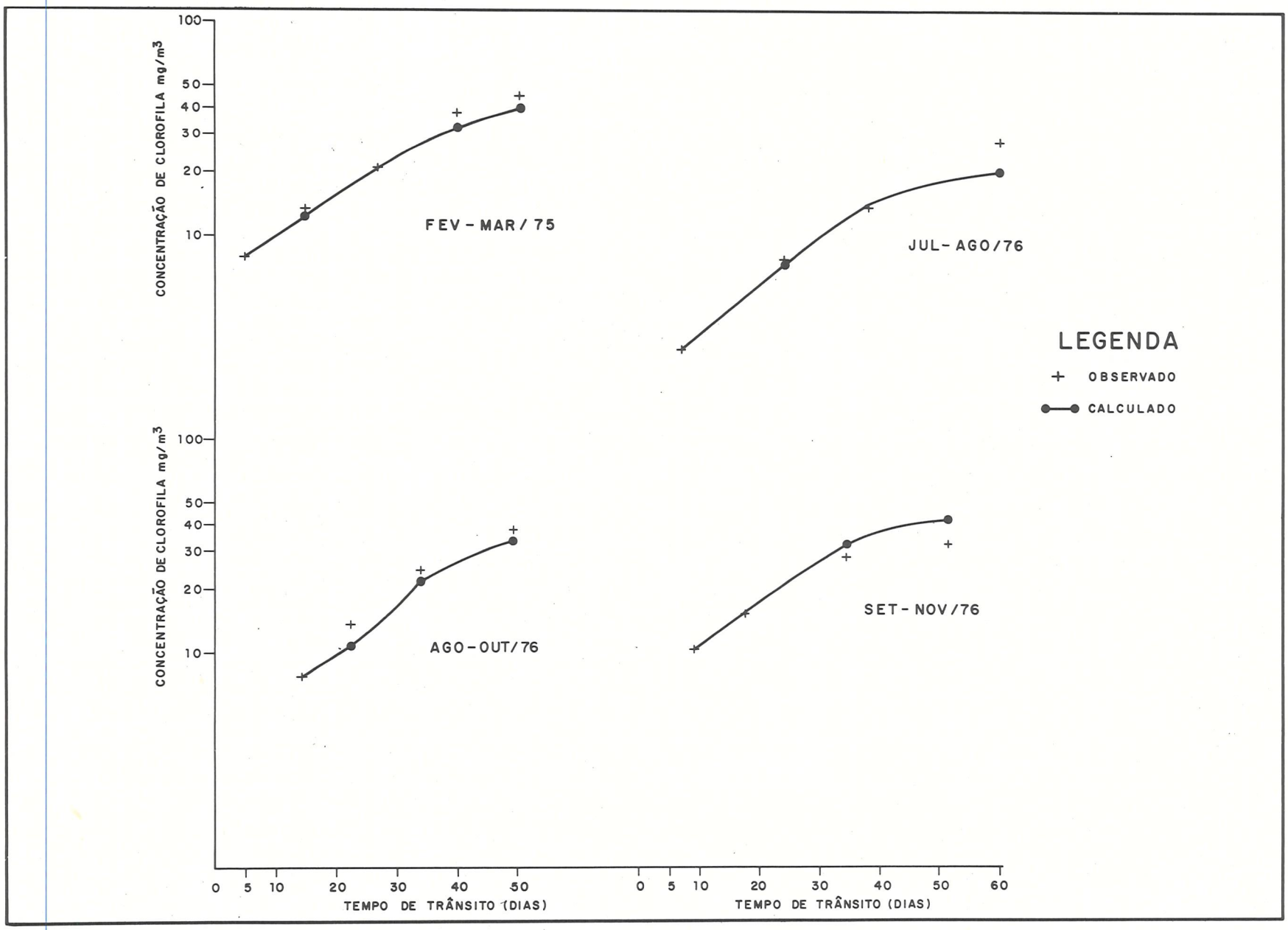


FIGURA 42 - Comparação entre crescimentos de algas calculado analiticamente e observado em condição real

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - Tamiya, H and T. Watanabe - Experimental method for algae culture. Namcodo Tokyo, 1965.

2 - Biermann, Jr. V.J. - Mathematical Model of the selective enhancement of blue-green algae by nutrient enrichment. Modeling biochemical processes in quatic ecosystems.

3 - Caperon, J. - Population growth in microrganisms limited by food supply. Ecology .48: 715-722, 1967.

4 - Dugdale, R.C. - Nutrient limitation in the sea: dynamics, identification and significance. Limnol. Oceanogr. 12: 685-695, 1967.

5 - Thomas, H.W. - Effect of ammonium and nitrate concentration on chlorophyll increases in natural tropical pacific phytoplankton population. Limnol. Oceanogr. 15: 386-94, 1970.

6 - Sawayer, C.N. - Fertilization of lakes by agricultural and urban drainage. Journal of the New England Water Works Association, 61:925.

7 - Fogg, G.E. et al - Nitrogen nutrition and metabolic patterns in algae. Symp. Soc. Exp. Biol., 13:108-175, 1959.

8 - Sorokin, C. - Change in photosynthetic activity in the course of cell development in Chlorella. Physiol. Plant. 10: 659-666, 1959.

9 - Sorokin, C. and Krauss, R.W. - Effects of temperature and iluminance on Chlorella growth uncoupled from cell division. Plant Physiol., 37: 37-42, 1962.

10- Person, R.R. - On the chemical composition of eleven species of marine phytoplanktons. J. Fish. Res. Bd. Ca., 18: 1001-1016, 1961.

11- Tamiya, H. - Algae culture from laboratory to pilot plant. Kinetics of growth of chlorella with special reference to its dependance on quatity of available light and on temperature. J.S. Burlew, Ed. Publ. Carnegie, Inst. of Washington D.C., 204-234, 1964.

12- Spencer, C.P. - Studies on the culture of a marine diatom. J. Marine Biol. Assoc. U.K., 1954.

13- Kok, B. - Photo- induced interaction in metabolism of green plant cells. Symp. Soc. Exp. Biol. nº 5, carbon dioxide fixation and photosynthesis. Academic Press, Inc. N.Y., 1951.

14- Ryther, J.H. - Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. Limnol. Oceanogr. 61-70, 1964.

15 - Richerson, P.J. - The role of zooplankton in the process of eutrophication. In Proceedings of Seminar on eutrophication and bioestimulation. Clear lake, California, California Department of Water Resources, 19-21, October 1971.

INVESTIGAÇÃO SOBRE O DECRÉSCIMO DE BACTÉRIAS PATOGÊNICAS NA REPRESA BILLINGS

A presente investigação foi efetuada com a finalidade de verificar o decréscimo de contaminação por bactérias patogênicas ao longo do corpo central da represa, em vista da eventual utilização de suas águas para balneabilidade e abastecimento público.

A pesquisa completa visando determinar as doenças provocadas pelos microrganimos presentes na água exigirá a realização de análise qualitativa e quantitativa não só bacteriológica, mas também as relacionadas a vírus, protozoários, nematóides, fungos, etc., cujos procedimentos de investigação são complexos e demorados.

Para atingir o objetivo citado e simplificar a metologia desta investigação foi selecionada a bactéria do tipo coliforme, que desde 1880 vem sendo utilizada como indicador de contaminação fecal (1).

Embora o índice de coliforme total tenha sido adotado como indicador de contaminação fecal em inúmeros estudos efetuados em rios, os resultados obtidos até o momento têm demonstrado uma relação restrita entre este indicador e a matéria fecal, principalmente porque várias bactérias de origem não fecal tais como Aerobater, Pseudomonas, etc. são determinadas pelo mesmo procedimento usado para a detecção de coliforme total. (2 e 3).

Assim o indicador mais adequado para estudos sobre contaminação das águas, causada por animais de sangue quente, é, atualmente, o índice de coliforme fecal e várias pesquisas realizadas nesse sentido (4, 5, 6) demonstraram correlação significativa entre o índice de coliforme fecal e a presença de Salmonella, poliovirus e echovirus em corpos d'água.

Por esses motivos, nesta investigação foi utilizado o índice de coliforme fecal como único indicador de contaminação.

PROCEDIMENTOS UTILIZADOS

Todos os dados de coliforme fecal foram obtidos através da campanha geral de amostragem, realizada nos períodos de janeiro a junho de 1975 e de julho a dezembro de 1976, já citadas anteriormente.

Os dados relativos ao tempo de trânsito foram calculados analiticamente, de acordo com modelos hidráulicos estabelecidos para a represa Billings.

RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÃO

Ao interpretar os dados obtidos, verificou-se inicialmente uma eventual variação vertical da densidade de coliforme fecal, em consequência dos fatores hidráulicos e

outros fatores ambientais, tais como: radiação solar, temperatura, etc.

Submetendo-os a tratamento estatístico, não foram encontradas variações significativas em consequência destes fatores e assim os dados bacteriológicos em cada ponto de coleta foram interpretados com base nos valores médios de coliforme fecal, obtidos nas profundidades amostradas.

Na Figura 43 são plotados os perfis de densidade de coliforme fecal, em diferentes épocas do ano, em função do tempo de trânsito ao longo do corpo central da represa. As retas traçadas foram ajustadas utilizando-se a técnica dos mínimos quadrados.

Em qualquer época do ano ocorreu o decréscimo dessas bactérias de forma exponencial, em toda a extensão do corpo central da represa. Este fenômeno pode ser representado pela Lei de Chik, que representa o decréscimo de bactérias no ambiente aquático através da seguinte expressão:

$$\frac{Nt}{No} = \exp\ (-K_b t) \qquad (44)$$

Os símbolos No e Nt representam respectivamente o número inicial e final de bactérias no trecho, com tempo de trânsito t, e K_b representa a constante de decréscimo de bactérias.

A constante K_b e a temperatura podem ser relacionadas por:

$$K_T = K_{20}\theta^{(T-20)} \qquad (45)$$

onde K_T e K_{20} são as constantes de decréscimo de bactérias em temperatura de T°C e 20°C, respectivamente, e o valor da constante θ adotado foi de 1,072.

Como no caso da investigação da DBO, a vazão contribuinte das sub-bacias ao longo do corpo central da represa constitui fator importante para variação da densidade de bactérias, dependendo ainda das condições hidráulicas reinantes. Introduzindo o fator deste "input" na equação 44 obtém-se:

$$N = \frac{N_0 Q_0}{Q} \exp\ (-K_b t) \qquad (46)$$

onde Q_0 e Q significam as vazões inicial e final em qualquer trecho do corpo central, selecionado para essa investigação.

Aplicando-se a equação (46) para os dados inseridos na Figura 43 e introduzindo dados hidráulicos levantados durante o período do estudo, foi calculado o coeficiente kb em diferentes épocas do ano, cujos resultados são apresentados no Quadro 10.

Para efeito de comparação, os valores de K_1 foram ajustados para a temperatura de 20°C segundo a equação 45.

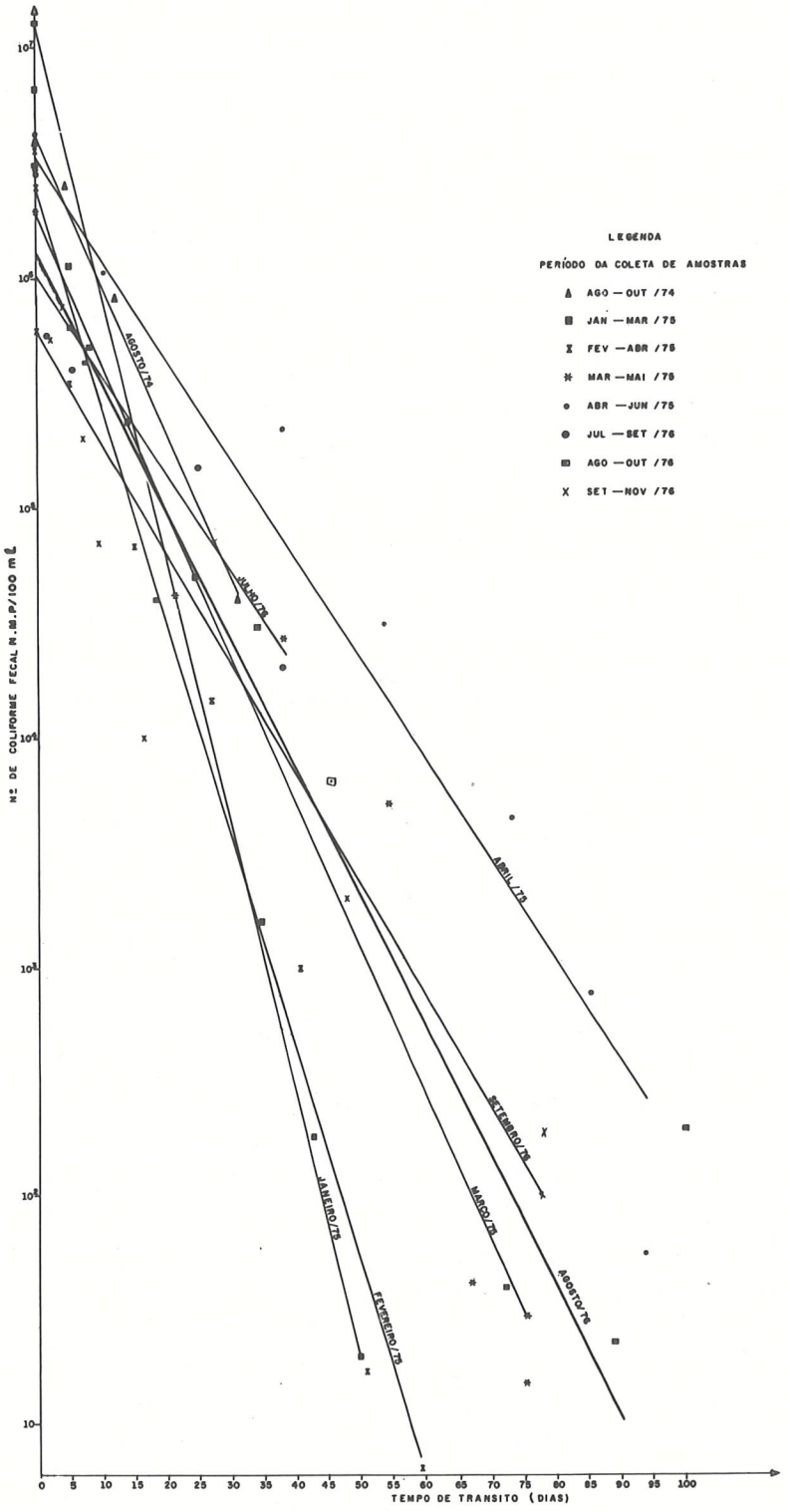


FIGURA 43 - Redução de coliforme fecal ao longo do corpo central da Represa Billings

Observa-se, por estes resultados de cálculo, apreciável diferença entre os valores de Kb obtidos na época de chuva e na seca. Entre as várias hipóteses para a explicação dessa diferença, o efeito germicida do oxigênio pode ser considerado como a causa mais provável.

QUADRO 10 - VALORES DE Kb OBTIDOS EM DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO

PERÍODOS DE LEVANTAMENTOS	VALOR DE K_b CORRIGIDO PARA 20°C
3/ago - 7/nov/74	0,126
3/jan - 13/mar/75	0,220
2/fev - 1/mai/75	0,190
4/mar - 8/jul/75	0,148
5/abr - 12/jun/75	0,111
5/jul - 16/set/76	0,126
2/ago - 17/nov/76	0,156
1/set - 2/dez/76	0,124

Como já mencionado anteriormente neste mesmo capítulo, o corpo central da represa Billings apresentou predominantemente condição anaeróbia na época de seca e condição aeróbia na época de chuva. Segundo vários trabalhos realizados em lagoas de estabilização, constatou-se que há nítida diferença nas taxas de decréscimo de bactérias patogênicas verificadas nas condições aeróbia e anaeróbia (7). Em termos práticos, na avaliação do decréscimo de coliforme fecal na represa Billings, poderá ser adotado o valor médio de Kb obtido na época de chuva (de janeiro a abril) em condição aeróbia, e aquele obtido na época de seca (de julho a novembro) em condição anaeróbia.

Deve-se mencionar, entretanto, que os valores do coeficiente de variação de K_b oscilam em torno de 110 a 280% o que limita sua aplicação na previsão da densidade bacteriana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - The Environmental Protection agency - Water Quality Criteria, Washington D.C., 1972.

2 - Taylor, C.B. - Coli aerogenes bacteria in soils Jour. Hyg. 49: 162-168 - 1951.

3 - Fraser, M.H.; N.B. Reid and J.F. Malcolm - The occurence and coli aerogenes organisms on plants. J. Appl. Bacteriol. 19(2): 301-309, 1956.

4 - Goldreich, E.E.; R.H. Bouduer; C.B. Huff, H.F. Clark and P.W. Klaber - Type distribution of coliform bacteria in the feces of warm blooded animals. J.Water Pollut. Cont. Fed. 34: 295-301, 1962.

5 - Geldreich, E.E. - Applying bacteriological parameters to recreation water quality J. Amer. Water Works. Ass. 62 (2) : 113-120, 1964.

6 - Environmental Protection Agency. Office of Water Quality, Region VII - Report on Missouri River Water Quality Studies, Kansas City, Missouri, 1971.

7 - Marais, G.R. Farcal Bacterial Kinectics in stabilization ponds. J. Env. Eng. Div.

ASCE V 100 nº EEI 119-139, 1974.

SUBSTÂNCIAS TÓXICAS NA REPRESA BILLINGS

Os efeitos nocivos das substâncias tóxicas para a saúde humana e ecologia aquática vêm sendo observados com bastante frequência, principalmente nos países industrializados. O episódio ocorrido na baia de Minamata no Japão, devido ao envenenamento por mercúrio, e mais recentemente o acidente no município de Seveso na Itália, provocado pela dioxina, são exemplos clássicos que atestam os riscos dos lançamentos industriais para a saúde pública e o meio ambiente em geral.

A poluição aquática causada pelos íons metálicos atingiu a maioria das regiões terrestres, como se pode observar na Figura 44, onde no decorrer dos anos há o aumento das concentrações de mercúrio nas geleiras da Groenlândia,à medida que se eleva a produção mundial deste elemento (1).

Como a represa Billings recebe despejos líquidos de uma área altamente industrializada, foram realizadas investigações com o objetivo de avaliar as concentrações de alguns íons metálicos, tendo em vista os múltiplos usos de suas águas.

PROCEDIMENTOS UTILIZADOS

Nos pontos de amostragem demarcados para as demais investigações foram analisados os tóxicos: cobre, chumbo, zinco, mercúrio, cádmio, cianeto, níquel e cobalto, selecionados como sendo os mais significativos no presente levantamento.

A frequência de determinações para cada parâmetro, durante o ano de 1975, variou de quadro a oito determinações, compreendendo as épocas de chuva e seca.

Para a amostragem de água na represa foram utilizados: garrafa do tipo "van Dorn" e balde inox, sendo que as amostras neste último caso foram acondicionadas imediatamente em garrafões apropriados.

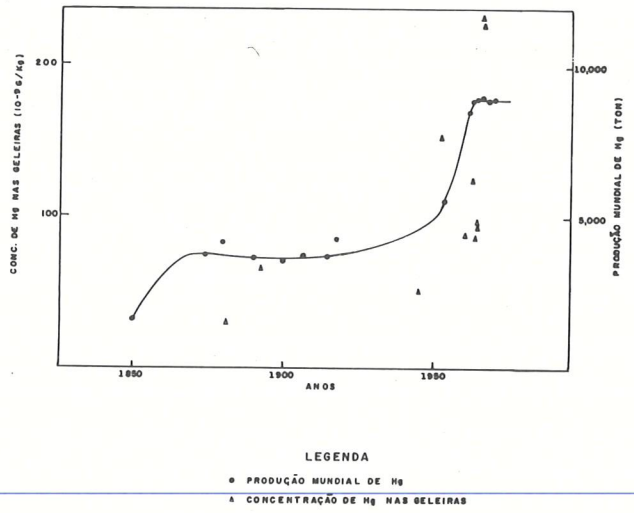


FIGURA - 44 - Produção mundial de mercúrio - concentrações de mercúrio nas geleiras de "Greenland"

QUADRO 11 - CONCENTRAÇÕES DE ÍONS METÁLICOS DETERMINADOS NA REPRESA BILLINGS

Parâmetro / Pontos		R_0 mínimo	R_0 máximo	R_1 mínimo	R_1 máximo	R_2 mínimo	R_2 máximo	R_3 mínimo	R_3 máximo	R_4 mínimo	R_4 máximo
Cobre	(mg/l)	0,03	0,13	0,02	0,04	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01
Chumbo	(mg/l)	0,01	0,012	*	0,04	*	0,02	*	*	*	0,06
Zinco	(mg/l)	0,02	0,48	0,06	0,011	0,02	0,08	0,01	0,04	0,01	0,04
Mercúrio	(µg/l)	0,35	1,05	*	0,30	*	0,10	0,10	0,15	*	0,35
Cádmio	(mg/l)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cromo^{+6}	(mg/l)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cromo^{+3}	(mg/l)	0,002	0,062	0,003	0,022	0,006	0,009	0,003	0,021	0,001	0,014
Cianeto	(mg/l)	*	0,012	-	-	-	-	-	-	-	-
Níquel	(mg/l)	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	*	0,01	*	0,01
Cobalto	(mg/l)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Parâmetro / Pontos		R_5 mínimo	R_5 máximo	Captação-SABESP mínimo	Captação-SABESP máximo	R_{15} mínimo	R_{15} máximo	R_{16} mínimo	R_{16} máximo
Cobre	(mg/l)	0,01	0,01	0,02	0,52	*	0,01	*	0,01
Chumbo	(mg/l	*	*	*	0,02	*	*	*	*
Zinco	(mg/l)	0,01	0,01	0,01	0,01	*	0,01	*	0,01
Mercúrio	(µg/l)	*	0,15	*	0,15	*	0,20	-	-
Cádmio	(mg/l)	*	*	-	-	-	-	-	-
Cromo^{+6}	(mg/l)	*	*	*	*	*	*	-	-
Cromo^{+3}	(mg/l)	*	*	*	*	*	*	-	-
Cianeto	(mg/l)	*	*	-	-	-	-	-	-
Níquel	(mg/l)	*	0,01	*	*	*	*	-	-
Cobalto	(mg/l)	*	*	*	*	*	*	-	-

* Valores não detectáveis pelos métodos de análise utilizados

\- Não determinado

O lodo da represa foi coletado através do uso da draga de "Eckman" e acondicionado em sacos plásticos. As determinações dos citados elementos tóxicos foram realizadas pelo espectrofotômetro de absorção atômica (Perking Elmer), sendo que a sensibilidade mínima dectável é a seguinte:

Cádmio 0,002 mg/l
Cobalto 0,15 mg/l
Chumbo 0,002 mg/l
Cromo (total) 0,017 mg/l
Cromo (hexa) 0,010 mg/l
Mercúrio 0,2 µg/l
Zinco 0,002 mg/l

RESULTADOS OBTIDOS E INTERPRETAÇÃO

São apresentados no Quadro 11 os valores máximos e mínimos dos tóxicos analisados no corpo de água.

Verifica-se que os resultados dos tóxicos analisados em todos os pontos de amostragem podem ser considerados baixos, tendo em vista que os mesmos não ultrapassam os teores máximos permitidos pela Lei nº 997, de 31/05/76, relativa à classificação e padrões de qualidade das águas do Estado de São Paulo (Quadro 12).

QUADRO 12 - LIMITES MÁXIMOS DE ALGUNS ÍONS METÁLICOS PERMITIDOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

SUBSTÂNCIAS TÓXICAS	TEORES MÁXIMOS PERMITIDOS (mg/l)
Cobre	1,0
Chumbo	0,1
Zinco	5,0
Mercúrio	0,002
Cádmio	0,01
Cromo (total)	0,05
Cianeto	0,2

QUADRO - 13 - CONCENTRAÇÕES DE ÍONS METÁLICOS (MG/Kg DO LODO SECO) ENCONTRADAS NO LODO EM DIFERENTES PONTOS NO CORPO CENTRAL DA REPRESA BILLINGS.

Íons metálicos \ Pontos de coleta	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_{15}	R_{16}	Captação
Cobre	180	300	210	290	60	140	100	70
Chumbo	240	200	180	210	50	130	100	70
Zinco	920	1300	930	1390	100	480	440	150
Mercúrio	0,653	0,485	0,298	0,306	0,046	0,084	0,047	-
Cromo	**392**	**485**	**372**	**283**	**234**	**122**	**86**	**223**
Cadmio	5,5	8,0	6,5	8,8	2,04	4,5	4,2	2,0

Os resultados de íons metálicos no lodo, obtidos na represa, figuram no Quadro 13.

Tendo em vista a inexistência de critérios que estabeleçam os teores mínimos e máximos permitidos no lodo, de acordo com os vários usos da água, os resultados de análises de íons metálicos no lodo da represa foram comparados com as concentrações médias dos íons metálicos avaliados em solos isentos de contaminação de várias regiões do mundo (Quadro 14) (1).

QUADRO 14 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE ÍONS METÁLICOS EM SOLOS DE VÁRIAS REGIÕES DO MUNDO

Íons Metálicos	Concentrações médias encontradas em solos (mg/kg)
Cobre	30
Chumbo	15
Zinco	60
Mercúrio	0,03-0,3
Cromo	70
Cádmio	0,1 - 0,5

Verifica-se que as concentrações de todos os íons metálicos, encontrados no lodo da represa Billings, estão bastante acima dos valores constantes na bibliografia citada, embora se observe uma tendência de diminuição em suas concentrações nos locais afastados da Barragem de Pedreira (pontos R_5, R_{15}, R_{16} e captação da SABESP).

Apesar de não estarem esclarecidas totalmente as relações de trocas de tais íons entre as fases lodo e líquido, em termos de fluxo, sabe-se que alguns íons metálicos contidos no sedimento causam sérios problemas ao ambiente aquático.

Destaca-se entre eles o sensível aumento de toxidez de mercúrio, devido à conversão

de mercúrio inorgânico para orgânico, através do processo de metilação.

O mercúrio inorgânico, sedimentado no fundo da represa, sofre a ação enzimática de microrganismos presentes no lodo, retornando ao corpo d'água em forma de metilmercúrio, cuja toxidez é muito mais elevada do que a do mercúrio inorgânico (2)

É ainda pouco conhecido o mecanismo biológico das várias formas de mercúrio nos organismos aquáticos. Entretanto, foi demonstrado que os organismos são capazes de concentrar alkil-mercúrio no seu corpo, absorvido da água através de cadeia alimentar, de forma mais efetiva em relação ao mercúrio em forma inorgânica.

Como se verifica no Quadro 15, a capacidade de absorção e de acúmulos de íons metálicos dos organismos aquáticos é considerável atingindo-se concentrações nos organismos mais de 100.000 vezes maiores do que as existentes no meio aquático (1 e 5).

Essas considerações sugerem a possibilidade de os peixes da represa Billings concentrarem, através da cadeia alimentar, altos teores de íons metálicos, tornando-se uma série ameaça à saúde pública, se tais peixes forem utilizados para alimentação.

QUADRO 15 - FATOR DE CONCENTRAÇÃO DE VÁRIOS ÍONS METÁLICOS POR ORGANISMOS AQUÁTICOS

ELEMENTO TÓXICO	FATOR DE CONCENTRAÇÃO NOS ORGANISMOS AQUÁTICOS
Níquel	2.500
Cobre	5.000
Zinco	25.000
Cádmio	100.000
Chumbo	167.000
Mercúrio	100.000

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 - Koizumi, A. N. Okada and T. Tanaka - Environmental Science. Koonan edt., 1975.

2 - Jensen, S. and A. Jernelov - Biological Methylation of mercury in aquatic organisms Nature 223, p. 753, 1969.

3 - Van Horn, W.M. and M. Katz - Pyridylmercuric acetate as a prophylactic in fisheries management. Science 104, p. 559, 1946.

4 - Rucker, R.R. and D.F. Amend - Prog. Fish Cult., 31:197, Biol. Abstr., 51, 298800, 1969.

5 - Chapman, W.M.; Fisher and M.W. Pratt - UCRL-50564 Lawrence Radiation Laboratory, Univ. Calif., Livermore, Calif., 1968.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

INVESTIGAÇÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DO MATERIAL BENTÔNICO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA REPRESA BILLINGS

INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas a descarga de materiais poluentes na represa Billings ocasionou, notadamente no corpo principal dessa represa, um apreciável acúmulo de material bentônico.

Sabe-se que esse material pode liberar para o corpo d'água inúmeras substâncias orgânicas e inorgânicas que, dependendo de condições físicas e químicas presentes na interface entre o lodo e a água, podem constituir uma fonte importante para a deterioração da qualidade das águas.

Tendo em vista caracterizar essas condições, foi efetuado um levantamento da qualidade de sedimento acumulado no trecho principal da represa e foram realizadas investigações sobre a influência dos sedimentos acumulados na qualidade das águas, enfatizando-se principalmente o consumo de oxigênio e o fluxo de nutrientes (nitrogênio e fósforo) dos sedimentos para o corpo de água.

PROCEDIMENTOS UTILIZADOS

LEVANTAMENTO DA QUALIDADE DE ACÚMULO DE SEDIMENTOS

O assoreamento foi medido através de uma jornada batimétrica no reservatório Billings, ao longo do seu corpo principal, utilizando-se ecobatímetro de marca BEN ECHOLOT, com escala de precisão 1:100, cedido pelo Centro Tecnológico de Hidráulica, do Departamento de Águas e Energia Elétrica (CIH.DAEE).

Foram levantadas dezessete secções transversais conforme indicado na Figura 45.

Para o traçado do perfil original foram utilizadas plantas topográficas, elaboradas em 1927 (antes da construção das barragens), e cedidas pela LIGHT.

Nos dois dias em que se efetuaram as batimetrias, foram analisados os diagramas dos linígrafos instalados em Pedreira e Summit Control, tendo sido verificado que o nível d'água da represa Billings não sofreu variações significativas nesses dias.

VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL BENTÔNICO NA QUALIDADE DE ÁGUAS (CONSUMO DE O_2 E FLUXO DE N E P)

A taxa de dissolução de substâncias do material depositado depende não só do processo bioquímico que aí ocorre, como também do processo físico relativo à formação e estrutura da camada de lodo no fundo da represa.

À medida que se aumenta a quantidade de material sedimentado, há a consolidação contínua desse material, dando origem a várias micro-camadas com diferentes densidades. Este processo de consolidação resulta do deslocamento de substâncias solubilizadas atra-

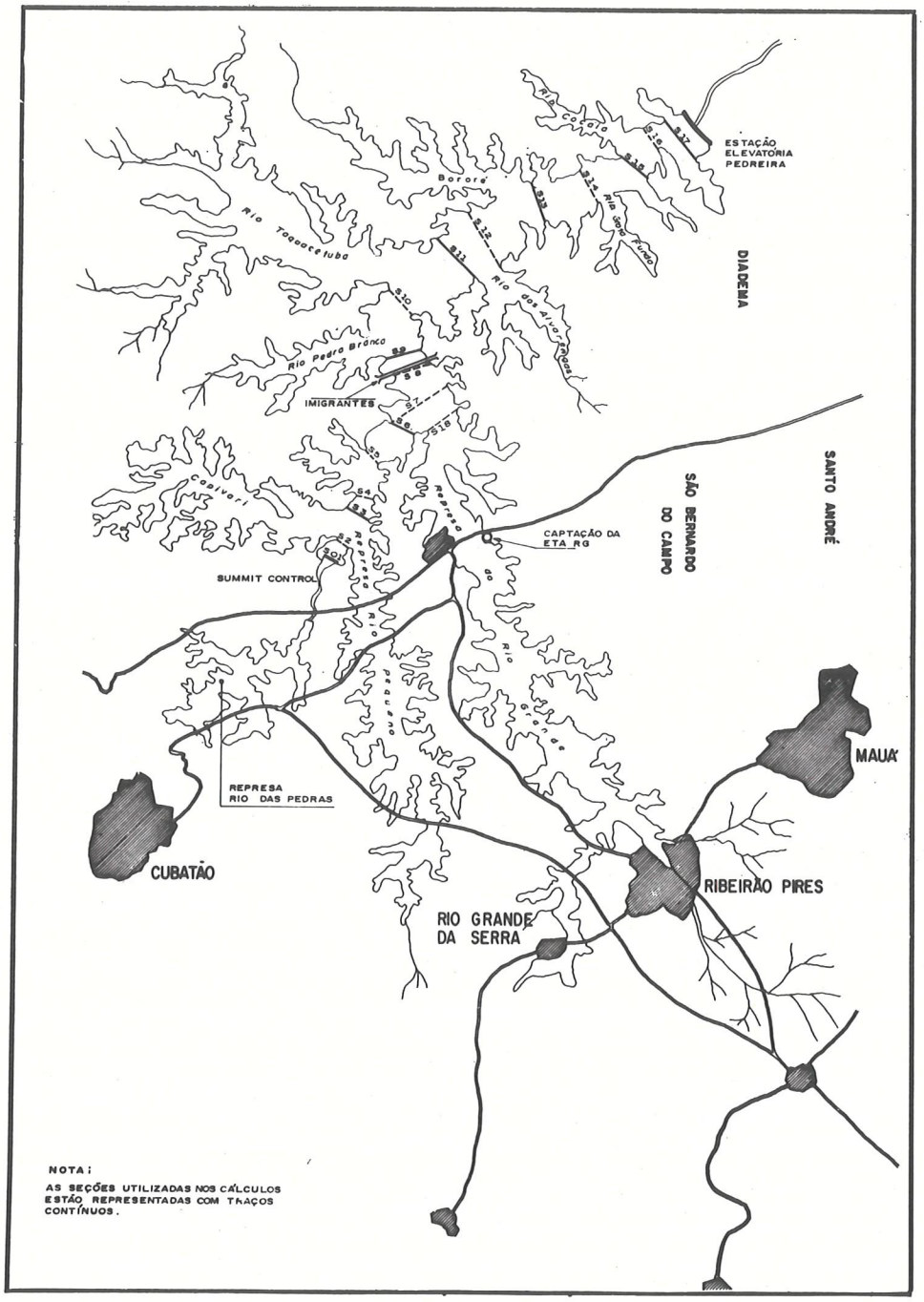


FIGURA 45 - Localização das seções batimétricas ao longo da represa Billings

vés da fermentação anaeróbia, da camada inferior para a superior, através da interface dessas camadas. Além do processo de consolidação, a direrença de concentrações das substâncias existentes entre as camadas promove seus deslocamentos para as superiores conforme será discutido adiante.

Phelps (1) denominou decomposição bentônica o processo de degradação material do lodo,

devido a tais particularidades de mecanismos físicos e bioquímicos que ocorrem nesse ambiente.

A discussão apresentada acima sugere que, em estudos dessa natureza, é importante realizá-los em condição tal, que não se altere o lodo formado em condições naturais.

A fim de atender essa condição, foi projetado um dispositivo especial para a investigação bentônica "in situ" que foi instalado nas proximidades de barragem de Pedreira; contudo, em virtude da dificuldade de fornecimento contínuo de água para a alimentação do sistema, a investigação se desenvolveu através da aplicação do sistema descontínuo.

Para a complementação da investigação "in situ" foram efetuados também ensaios em escala de laboratório com sistema contínuo.

ESTUDO DO MATERIAL BENTÔNICO ATRAVÉS DE SISTEMA DESCONTÍNUO "IN SITU"

De acordo com os objetivos preconizados no item anterior, próximo à barragem de Pedreira, onde a quantidade de lodo acumulado é apreciável, construiu-se uma plataforma de madeira, onde foi instalado um cilindro de fibra de vidro com 0,25 m de diâmetro e 3 m de comprimento (Figura 46)

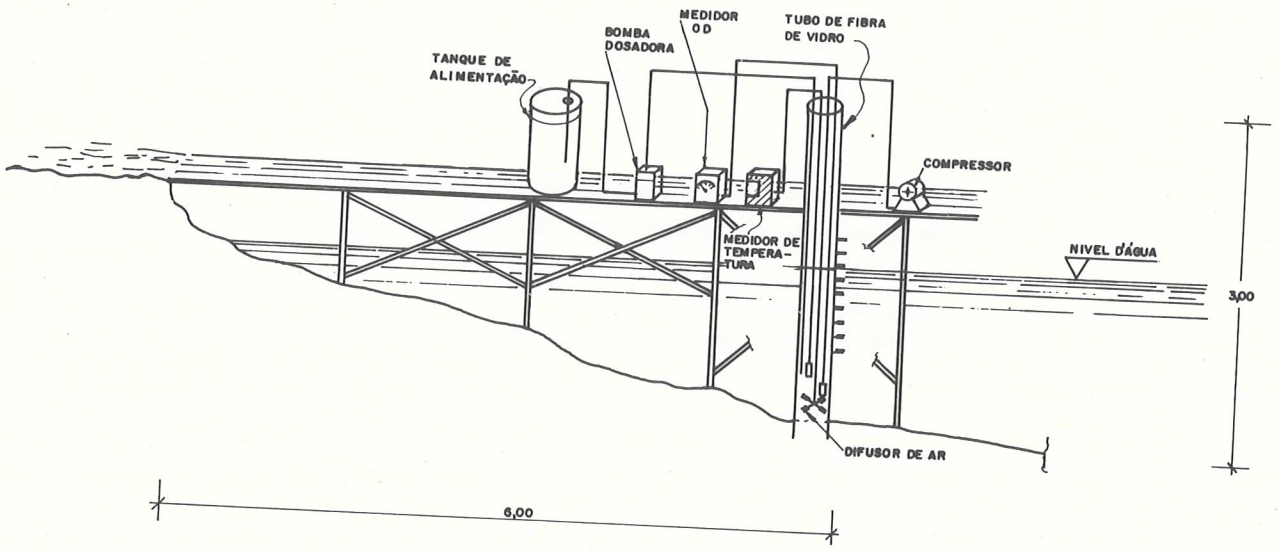


FIGURA 46 - Esquema demonstrativo do cilindro instalado na margem da barragem de Pedreira

O cilindro, colocado verticalmente, foi enterrado no lodo até cerca de 20 cm de profundidade. Após a instalação do cilindro, este ficou em repouso durante vinte e quatro horas para que o material suspenso, proveniente da agitação do lodo na ocasião da instalação do cilindro, sofresse decantação. A seguir, essa água da represa foi paulatinamente sendo substituida no interior do cilindro por água de torneira sem cloro (eliminado por tiossulfito de sódio) e conservada em tanque de PVC, através do uso de bomba peristáltica.

A água de alimentação do cilindro foi introduzida próximo à superfície do lodo através

de um tubo de borracha com 10mm de diâmetro e a água contida no cilindro foi eliminada proporcionalmente através de orifícios situados no corpo do cilindro em vários níveis de altura, mantendo-se praticamente o mesmo nível de água no cilindro que o da represa, o qual, variou de 150 a 170 cm durante a realização da investigação.

As coletas de amostras tiveram início 24 horas após a substituição da água no cilindro; antes das coletas procedeu-se manualmente à homogeneização do líquido por meio de um disco fixado num cabo de plástico.

As amostras foram retiradas do fundo do cilindro e das proximidades da superfície d'água com o emprego de um coletor do tipo batiscafo. Para a interpretação dos dados foram utilizados os valores médios obtidos dessas duas amostras.

A frequência das coletas foi de duas vezes ao dia (10 horas e 16 horas) com intervalo de dois ou três dias, durante aproximadamente trinta dias para cada investigação.

Em cada amostragem, a mesma quantidade da água coletada foi substituida por água do tanque de reserva através do sistema de alimentação já mencionado anteriormente.

Foram realizadas duas determinações, sendo uma para a condição anaeróbia e outra para a aeróbia, deslocando-se o cilindro para cada determinação em torno da plataforma construída.

Para a investigação em condição anaeróbia eliminou-se o oxigênio dissolvido da água de alimentação no tanque de reserva, utilizando-se sulfito de sódio e cloreto de cobalto.

Para a manutenção da condição aeróbia no líquido do interior do cilindro, injetou-se ar comprimido através de difusores instalados aproximadamente 10 cm da superfície do lodo.

A concentração de oxigênio dissolvido em diferentes profundidades da água do cilindro foi medida pelo analisador automático de oxigênio.

As amostras coletadas foram preservadas adequadamente e enviadas ao laboratório para a realização de análise de nitrogênio nítrico, N. nitrato, N. amoniacal e fosfato solúvel, além de ferro total e outro íons metálicos, tais como: mercúrio, cádmio, chumbo e zinco.

As medições de temperatura foram efetuadas por um medidor automático de temperatura Rigosha.

A composição química do material bentônico, localizado em torno da plataforma experimental, é apresentada no Quadro 16.

QUADRO 16 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO MATERIAL BENTÔNICO

Sólidos totais	29,5%
Sólidos voláteis	7,4%
Unidade	70,5%
N. Total	1,88 mg/g
P. Total	0,68 mg/g

INVESTIGAÇÃO EM ESCALA DE LABORATÓRIO

Para o estudo do material bentônico em escala de laboratório com sistema contínuo, foi construído um aparelho que consiste essencialmente de: um tanque de acondicionamento e posterior alimentação de água com capacidade para 200 litros; um reator constituído por frascos de vidro com capacidade para 20 litros e frasco para armazenamento de amostras com volume de dois litros (Figura 47).

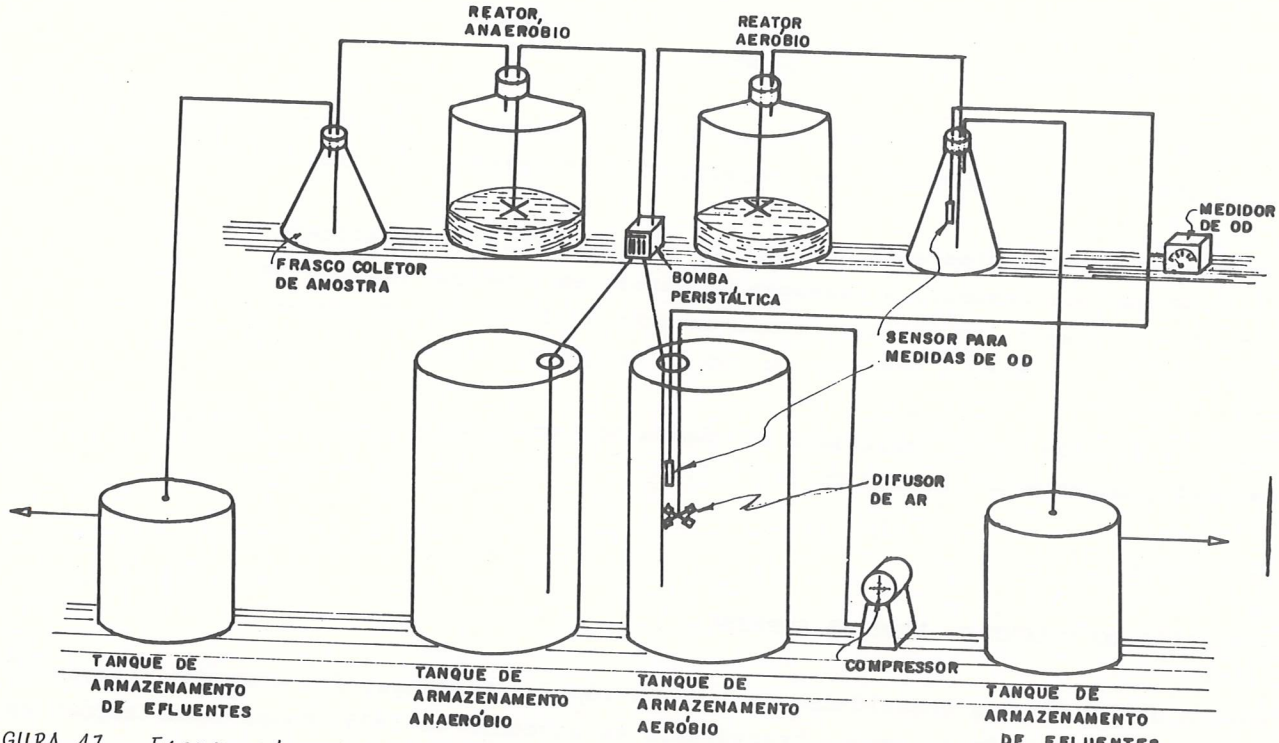


FIGURA 47 - Esquema demonstrativo do sistema experimental para determinação do fluxo de nutrientes e consumo de oxigênio do lodo, montado na câmara de temperatura constante

O reator e o frasco para coleta de amostras foram operados em sistema fechado.

A água de alimentação contida no tanque de 200 litros foi previamente tratada para retirada de cloro e lançada para o sistema através de bomba peristáltica. Foram construídas duas unidades do referido aparelho, visando determinações experimentais em condições aeróbia e anaeróbia simultaneamente.

O lodo utilizado nos ensaios foi coletado nas proximidades da barragem de Pedreira através do coletor "Ecknann" e acondicionado nos reatores das unidades aeróbia e anaeróbia, de modo tal que o lodo mantivesse uma espessura de aproximadamente 10 cm.

Essa espessura foi adotada com base em resultados experimentais (2) que demonstraram sua aplicabilidade em ensaios de laboratório, onde tornou-se praticamente constante a taxa de fluxo de matéria orgânica do lodo para a água. Após a colocação do lodo, foi introduzida a água de alimentação de modo a escoar lentamente na parede do interior do reator.

As coletas de amostras tiveram início 48 horas após a alimentação de água no reator, sendo o tempo de permanência desta água mantido em torno de vinte e quatro horas.

No sistema experimental usado em condição aeróbia o consumo de oxigênio foi calculado pela diferença entre a concentração de oxigênio dissolvido no tanque de depósito, onde se manteve este gás em nível de saturação através de aeração, e as concentrações encontradas no frasco de amostragem medidas pelo analisador automático de oxigênio.

As amostragens para determinação de nitrogênio e fósforo foram coletadas no tanque de depósito e no efluente do frasco de amostras.

No sistema experimental em condição anaeróbia a remoção de oxigênio na água de alimentação foi efetuada obedecendo os procedimentos utilizados nas determinações "in situ".

Decorridos dezoito dias após o início do experimento, foi modificado o sistema de operação no que diz respeito à passagem do ensaio em condição aeróbia para anaeróbia e vice-versa, visando verificar o comportamento do fluxo de nutrientes em função da brusca mudança quanto à presença ou não de oxigênio dissolvido na água.

Todos os ensaios foram realizados em câmara de temperatura constante, mantendo-se este parâmetro durante os ensaios em 21º $\pm$ 1.

RESULTADOS

AVALIAÇÃO DO VOLUME DE LODO NA REPRESA

Para a avaliação das quantidades de lodo na represa Billings, foi efetuado o levantamento batimétrico de 17 seções tranversais em novembro de 1975, cujas localizações estão mostradas em planta nas Figuras 48A até 48H. As características primitivas das mesmas seções, foram estabelecidas com base nas plantas em escala de 1:5.000 elaboradas pela LIGHT por volta de 1925. Nas Figuras de 48A a 48G estão mostrados os perfis batimétricos das seções mencionadas respectivamente para as condições primitivas e atuais.

Em algumas seções notam-se alterações bastente profundas de configuração, provavelmente devido às condições de escoamento que foram bastante alteradas, tanto em termos de sentido de escoamento como de magnitude de descarga.

- O Quadro 17 indica os cálculos para determinação da camada de lodo.

- As Figuras de 48A a 48H, mostram o efeito do assoreamento em algumas seções batimétricas.

QUADRO 17 - DETERMINAÇÃO DA CAMADA DE LODO NO CORPO PRINCIPAL DA REPRESA BILLINGS

SECÇÃO	DISTÂNCIA		ÁREA DO LODO NA SECÇÃO CONSIDERADA (m^3/m)	LARGURA		COTA MÉDIA		ESPESSURA DA CAMADA DE LODO	VOLUME DO LODO	
	ENTRE SECÇÕES (m)	ACUMULADA (m)		CAMADA DE LODO (m)	SECÇÃO (m)	CAMADA DE LODO (m)	LEITO ANTIGO (m)	ÁREA DO LODO / LARGURA DA CAMADA DE LODO	ENTRE SECÇÕES (m^3)	ACUMULADO (m^3)
Pedreira	-	0	-	-	-	-	-	-	-	0
S17	575	575	10 685,0	1 640	1 740	735,60	723,00	6,52	$3,07 \times 10^6$	$3,07 \times 10^6$
S16	790	1 365	5 750,0	938	974	731,50	724,00	6,13	$6,49 \times 10^6$	$9,56 \times 10^6$
S15	1 280	2 645	4 040,0	1 167	1 220	728,80	725,50	3,46	$6,27 \times 10^6$	$1,58 \times 10^7$
S14	1 500	4 145	2 425,0	1 085	1 285	728,20	726,00	2,24	$4,85 \times 10^6$	$2,07 \times 10^7$
S13	2 042	6 187	4 860,0	1 516	1 576	730,00	727,50	3,21	$7,44 \times 10^6$	$2,81 \times 10^7$
S12	2 080	8 267	3 360,0	1 743	1 915	729,30	727,50	1,93	$8,55 \times 10^6$	$3,67 \times 10^7$
S11	1 340	9 607	1 650,0	1 164	1 340	729,00	727,50	1,42	$3,36 \times 10^6$	$4,00 \times 10^7$
S10	2 390	11 997	1 210,0	935	1 203	730,20	728,50	1,29	$3,42 \times 10^6$	$4,34 \times 10^7$
S09	1 510	13 507	1 020,0	718	975	730,80	729,00	1,42	$1,68 \times 10^6$	$4,51 \times 10^7$
S08	620	14 127								
S07	1 470	15 597	1 410,0	1 250	1 367	730,70	729,50	1,13	$2,54 \times 10^6$	$4,77 \times 10^7$
S06	1 245	16 842	710,0	642	1 102	731,10	730,00	1,11	$1,32 \times 10^6$	$4,90 \times 10^7$
S05	2 095	18 937	340,0	300	440	731,80	731,00	1,13	$1,10 \times 10^6$	$5,01 \times 10^7$
S04	1 190	20 127	126,7	214	356	732,80	731,80	0,59	$2,78 \times 10^5$	$5,04 \times 10^7$
S03	855	20 982	700,0	518	658	732,70	731,50	1,35	$3,53 \times 10^5$	$5,07 \times 10^7$
S02	1 032	22 014	423,3	364	544	733,90	733,00	1,16	$5,80 \times 10^5$	$5,13 \times 10^7$
S01	887	22 901	203,3	198	446	736,20	734,00	1,03	$2,78 \times 10^5$	$5,16 \times 10^7$
S.Control	204	23 105	-	-	-	-	-	-	-	-

CETESB

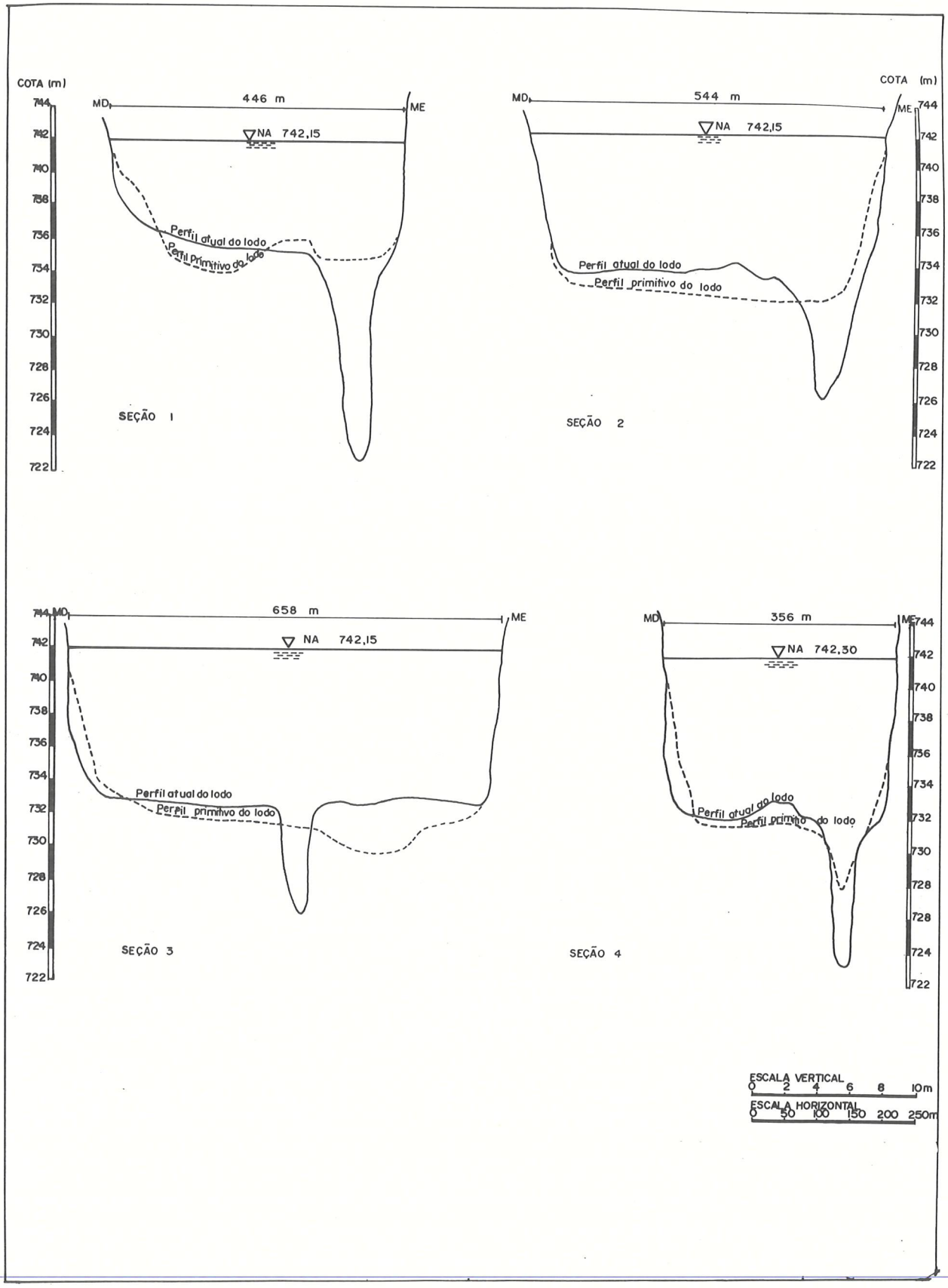


FIGURA 48A - Seções batimétricas do corpo central da represa Billings para as condições atuais e originais

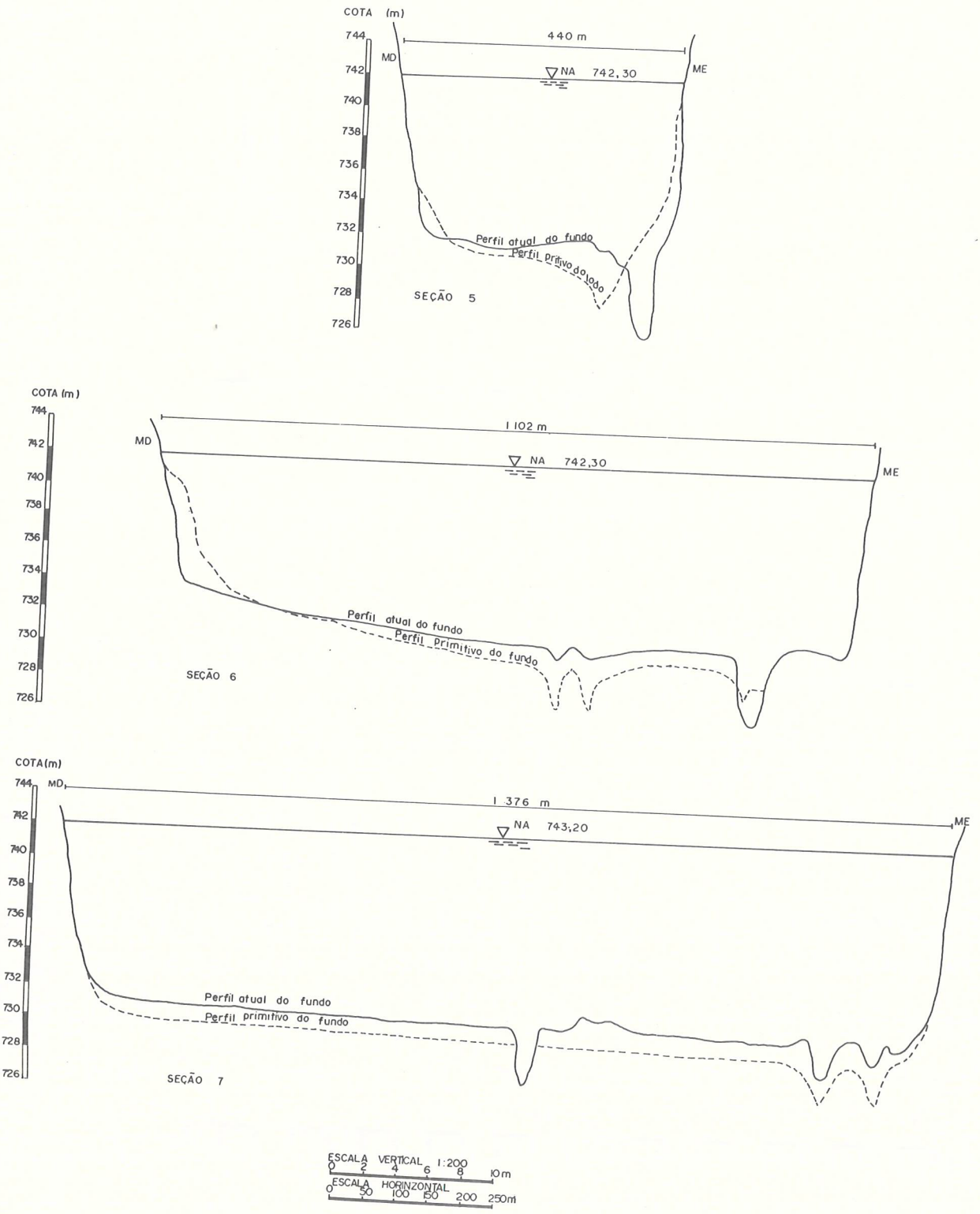


FIGURA 48B - Seções batimétricas do corpo central da represa Billings para as condições atuais e originais

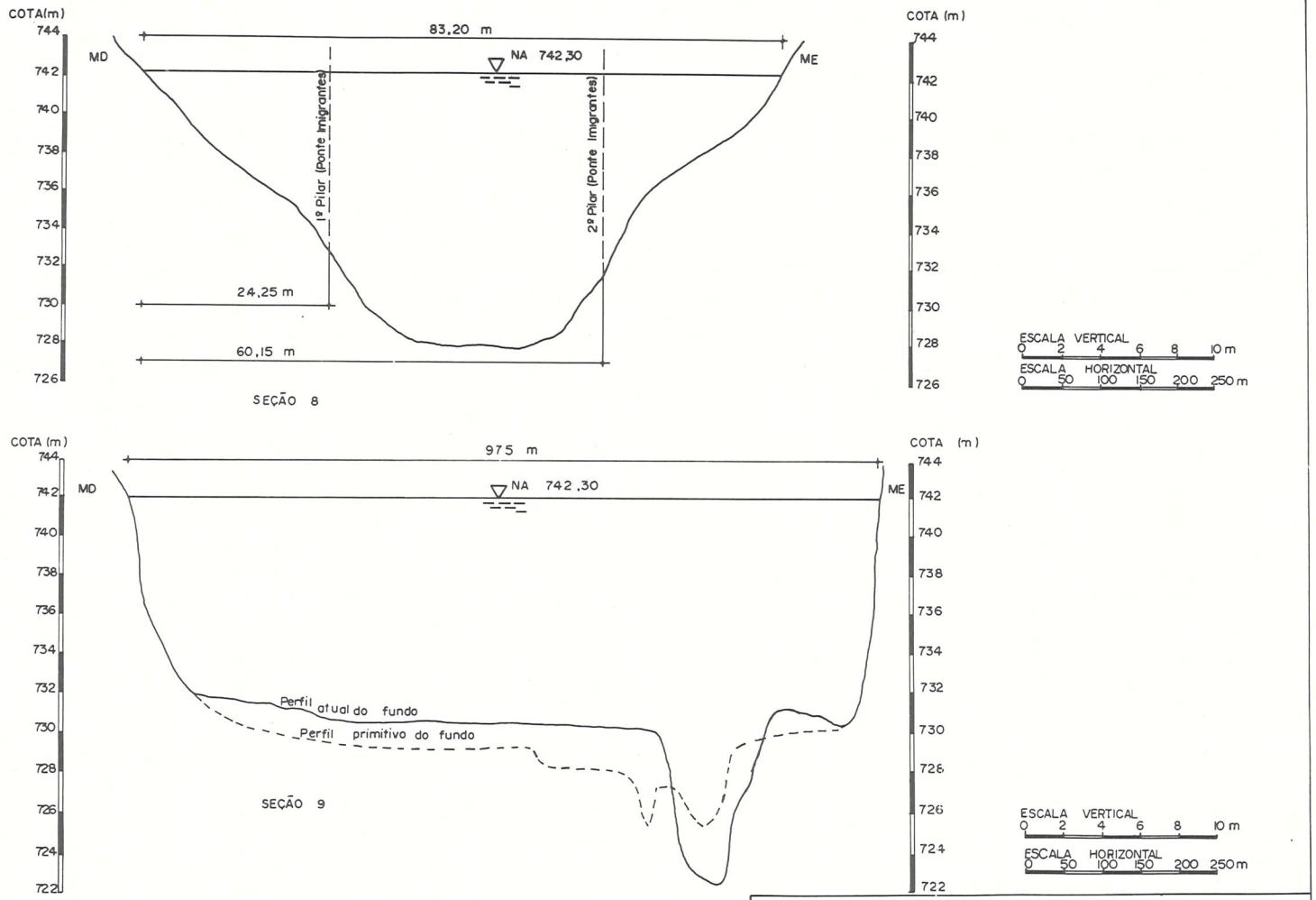
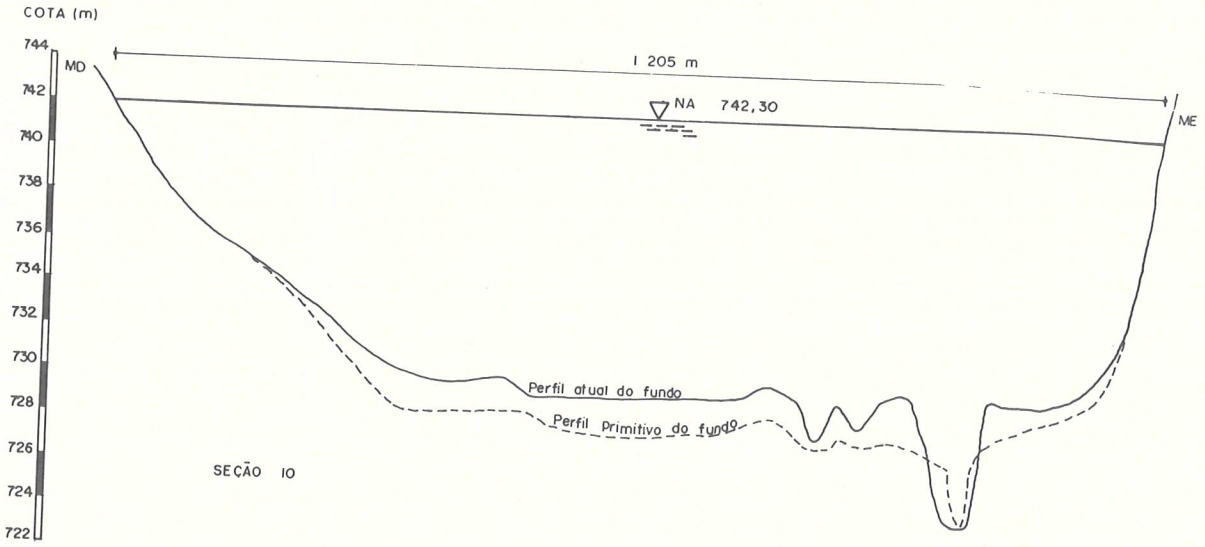
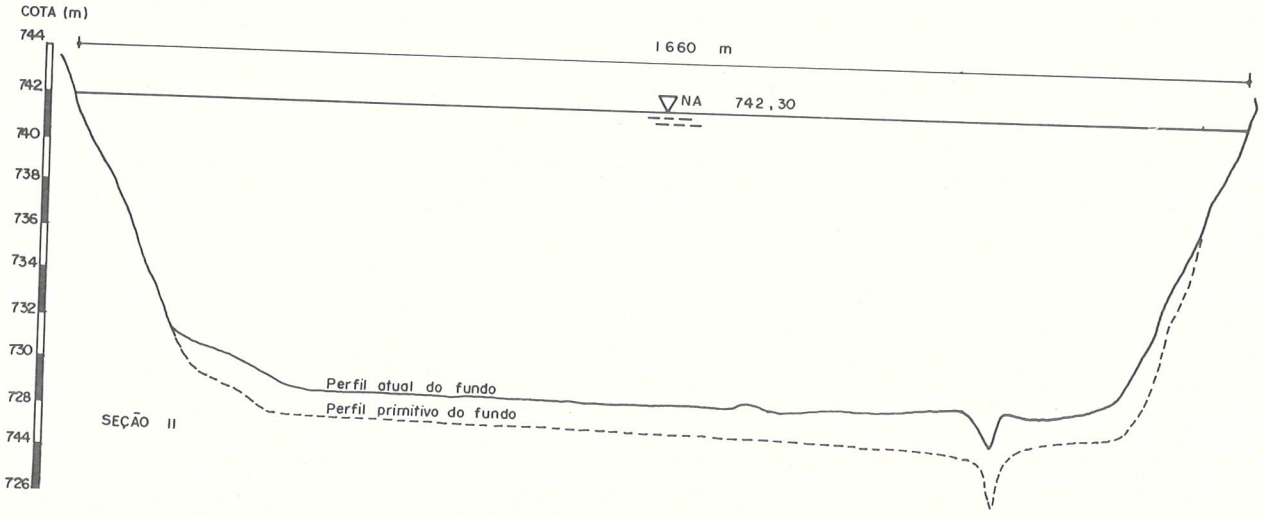


FIGURA 48C - Seções batimétricas do corpo central da represa Billings para as condições atuais e originais





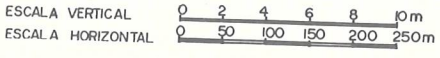


FIGURA 48D - Seçoes batimētricas do corpo central da represa Billings para as condições atuais e originais

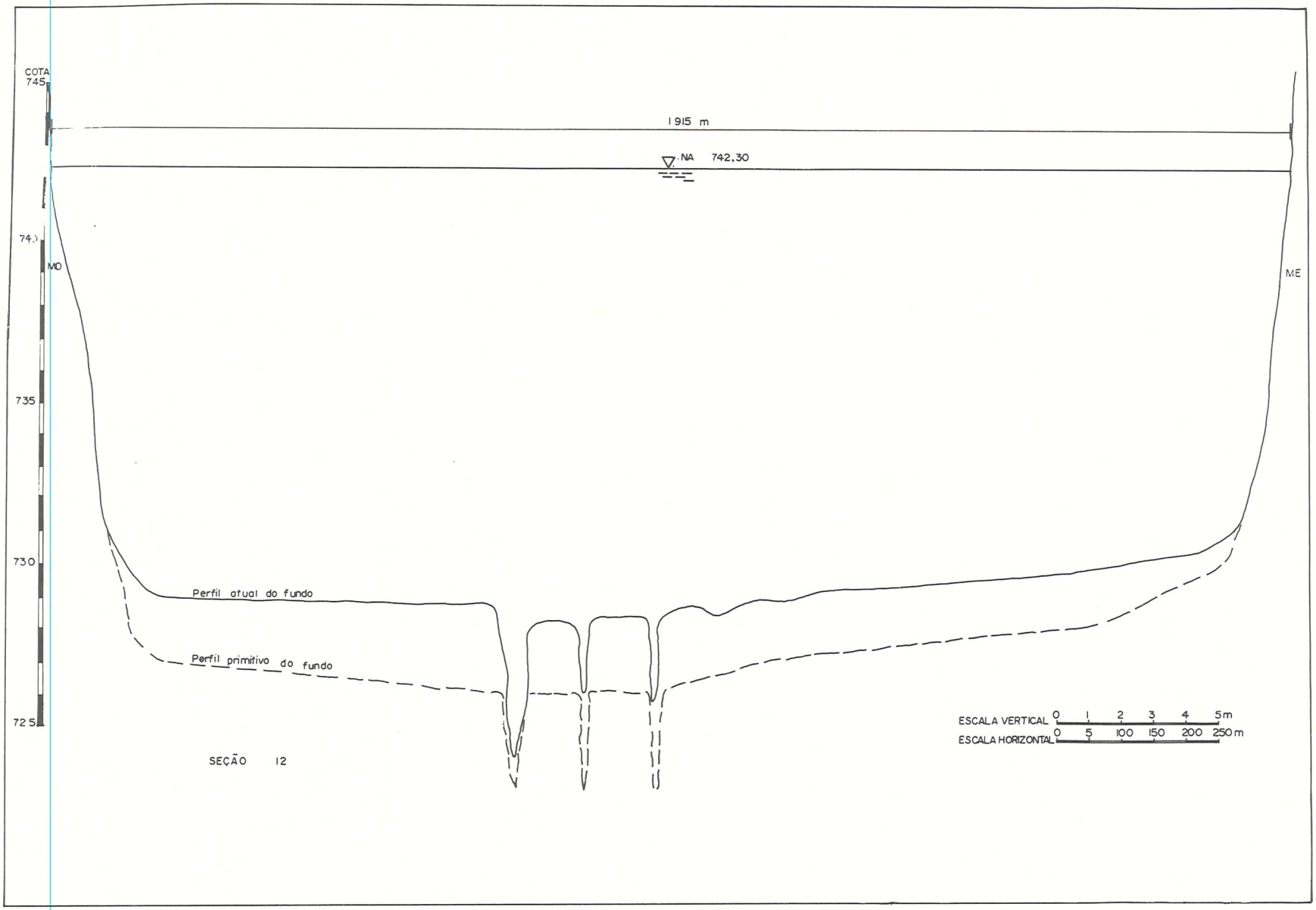


FIGURA 48E - Seções batimétricas do corpo central da represa Billings para as condições atuais e originais

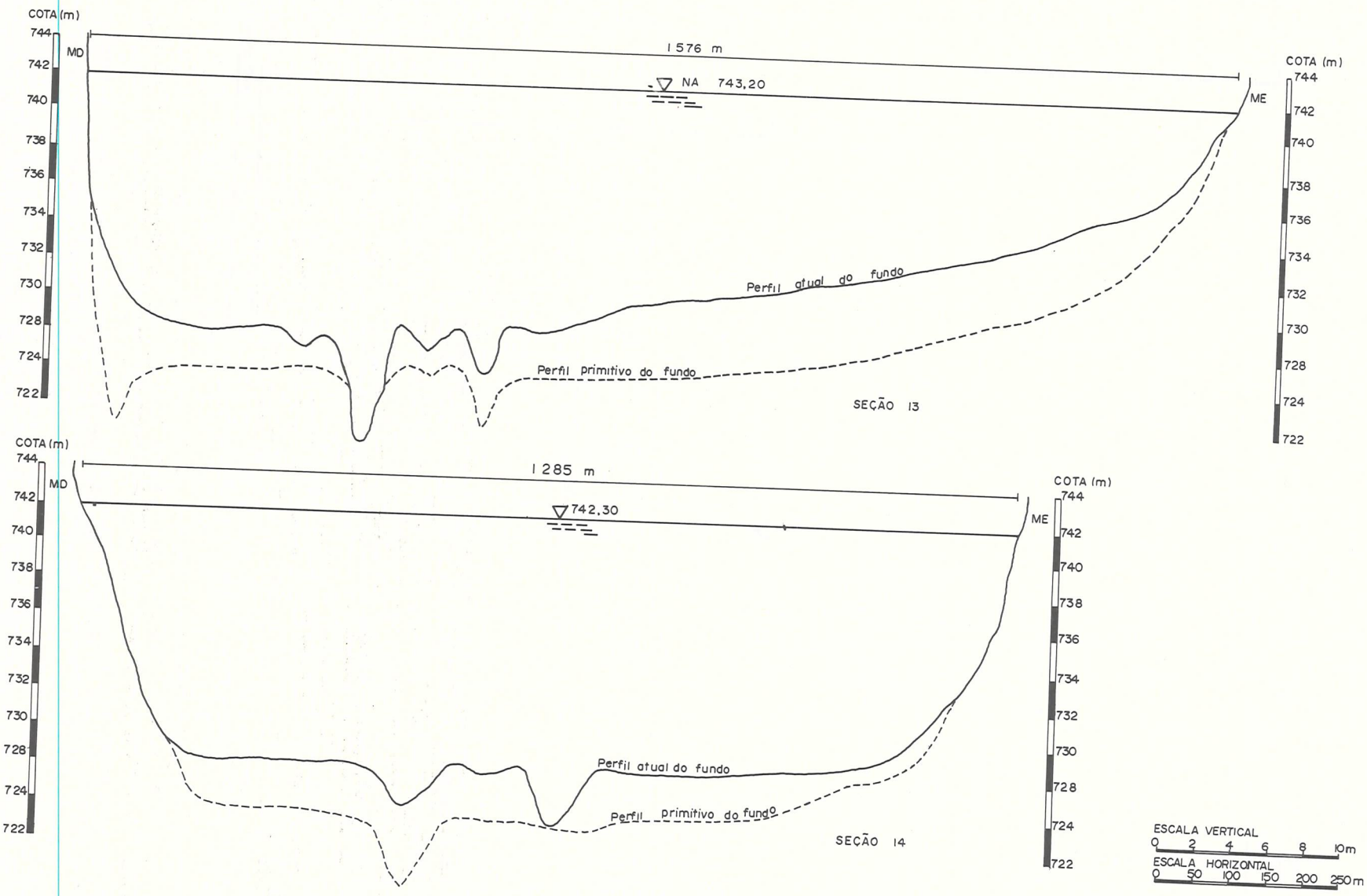


FIGURA 48F - Seções batimétricas do corpo central da represa Billings para as condições atuais e originais.

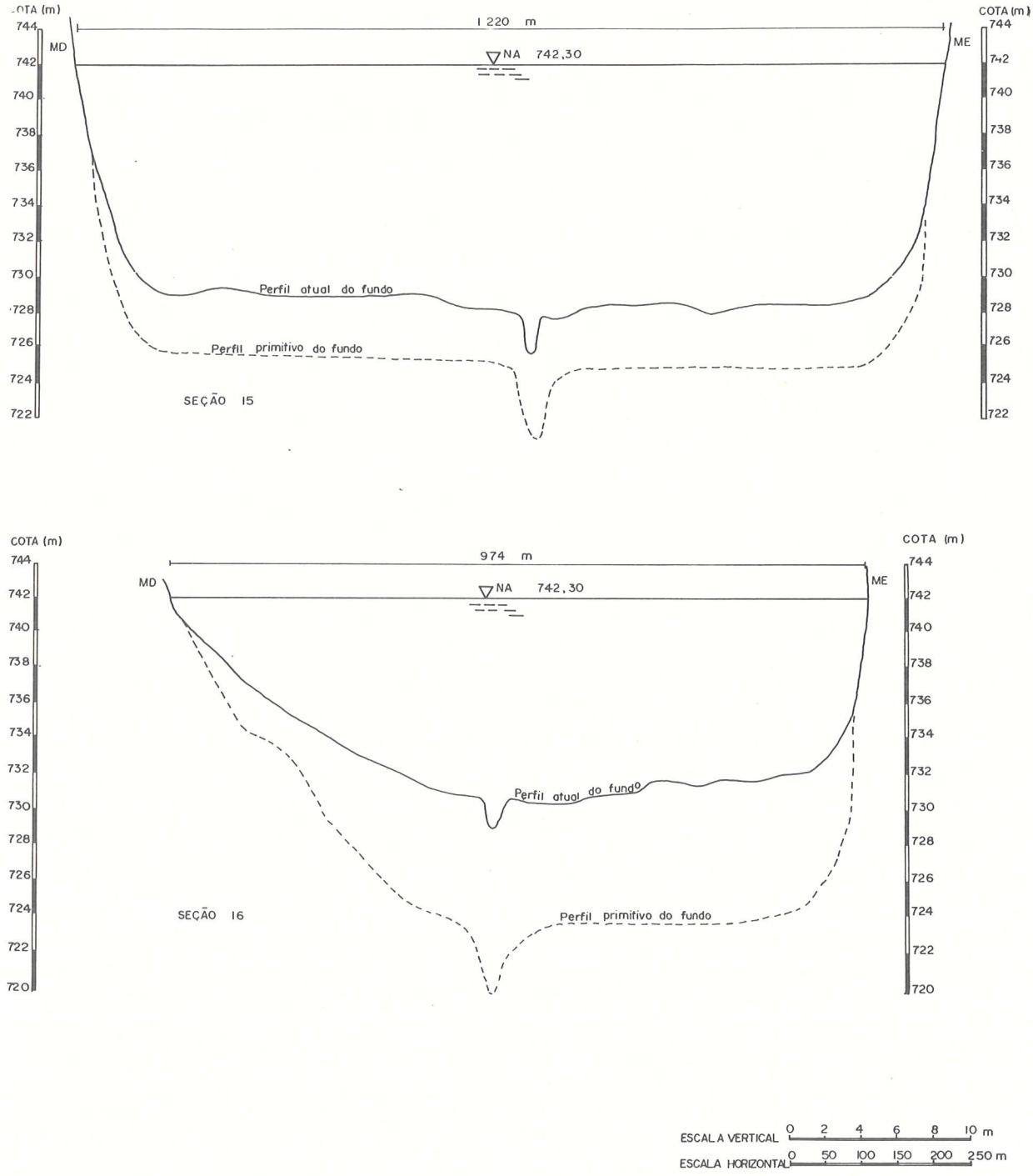


FIGURA 48G - Seções batimétricas do corpo central da represa Billings para as condições atuais e originais

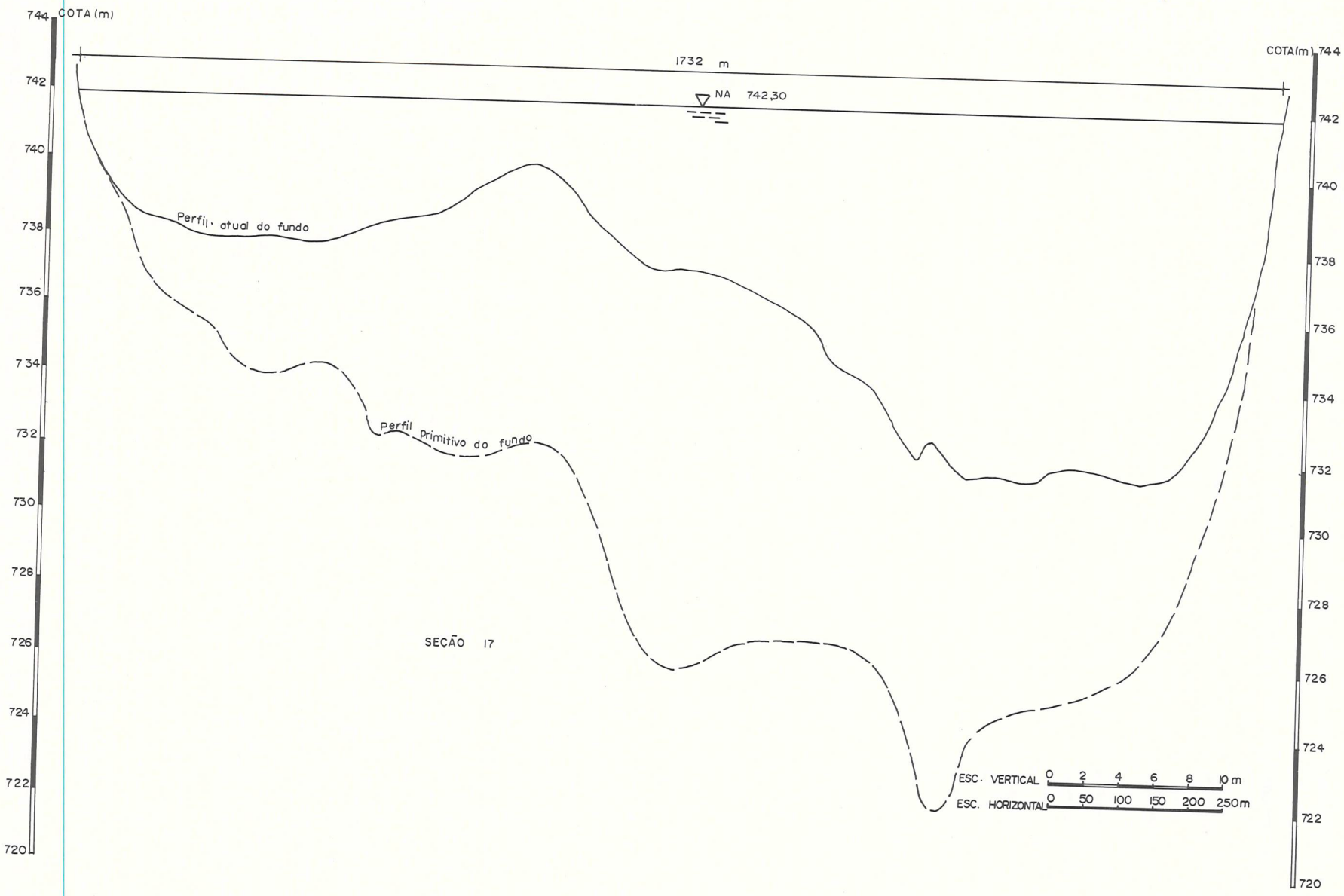


FIGURA 48H - Seção batimétrica do corpo central da represa Billings para as condições atuais e originais

- A Figura 49A mostra o volume de lodo acumulado no corpo principal da represa Billings, desde a barragem de Pedreira até o Summit Control, para cada um dos trechos do corpo principal da represa constantes da Figura 45.

- A Figura 49B mostra a área ocupada em cada seção ao longo do eixo da represa.

- A Figura 49C mostra a espessura média da camada de lodo em cada trecho estudado.

- A Figura 49D mostra os perfis de fundo, atual e original ao longo do corpo principal da represa Billings.

Através dos resultados apresentados no Quadro 17, verifica-se que o volume total do lodo acumulado foi de $5,16 \times 10^7 m^3$ e que correspondeu a 4,3% do volume total do reservatório. A porcentagem de lodo acumulado desde a barragem de Pedreira até a secção batimétrica nº 13, correspondente ao braço Bororé, representa 54,0% do volume total do o lodo contido no reservatório.

A porcentagem de lodo acumulado da secção nº 13 até a secção nº 9, correspondente ço do Rio Pedra Branca, representa 34% do volume total do lodo e deste ponto até o Summit Control a porcentagem de volume é de 12,0% do total.

Pela Figura 49C, relativa à espessura média da camada do lodo, verifica-se uma tendência da espessura da camada do lodo decrescer ao longo da represa segundo uma lei exponencial, exceto nas secções nº 13 e nº 3, onde ocorre um acréscimo na camada de lodo.

O acréscimo na secção nº 13 deve-se, provavelmente, ao transporte de sedimentos ocasionado pelo ribeirão Bororé, associado com as movimentações das águas na represa.

O mesmo ocorre na secção nº 3, localizada no braço do rio Pequeno, porém em proporções mais reduzidas.

Na Figura 49D mostra-se o perfil primitivo do fundo da represa obtido através de plantas da LIGHT, o perfil atual de fundo com assoreamento, e o perfil do fundo da represa estimado com base nas medidas da espessura de camada de lodo efetuadas.
A precisão da presente estimativa está vinculada ao levantamento topográfico efetuado pela LIGHT. Para os fins do presente estudo os resultados obtidos são plenamente satisfatórios; entretanto caso seja necessária uma avaliação mais precisa da quantidade de lodo existente na represa, é recomendável efetuar um novo levantamento batimétrico, utilizando um equipamento que permita estimar diretamente as expessuras da camada de lodo, independentemente do conhecimento das características topográficas originais da represa.

VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL BENTÔNICO NA QUALIDADE DA ÁGUA

DETERMINAÇÕES "IN SITU"

As Figuras de números 50 e 51 apresentam os resultados obtidos quanto aos fluxos de fósforo solúvel e nitrogênio amoniacal, determinados no material bentônico do sistema

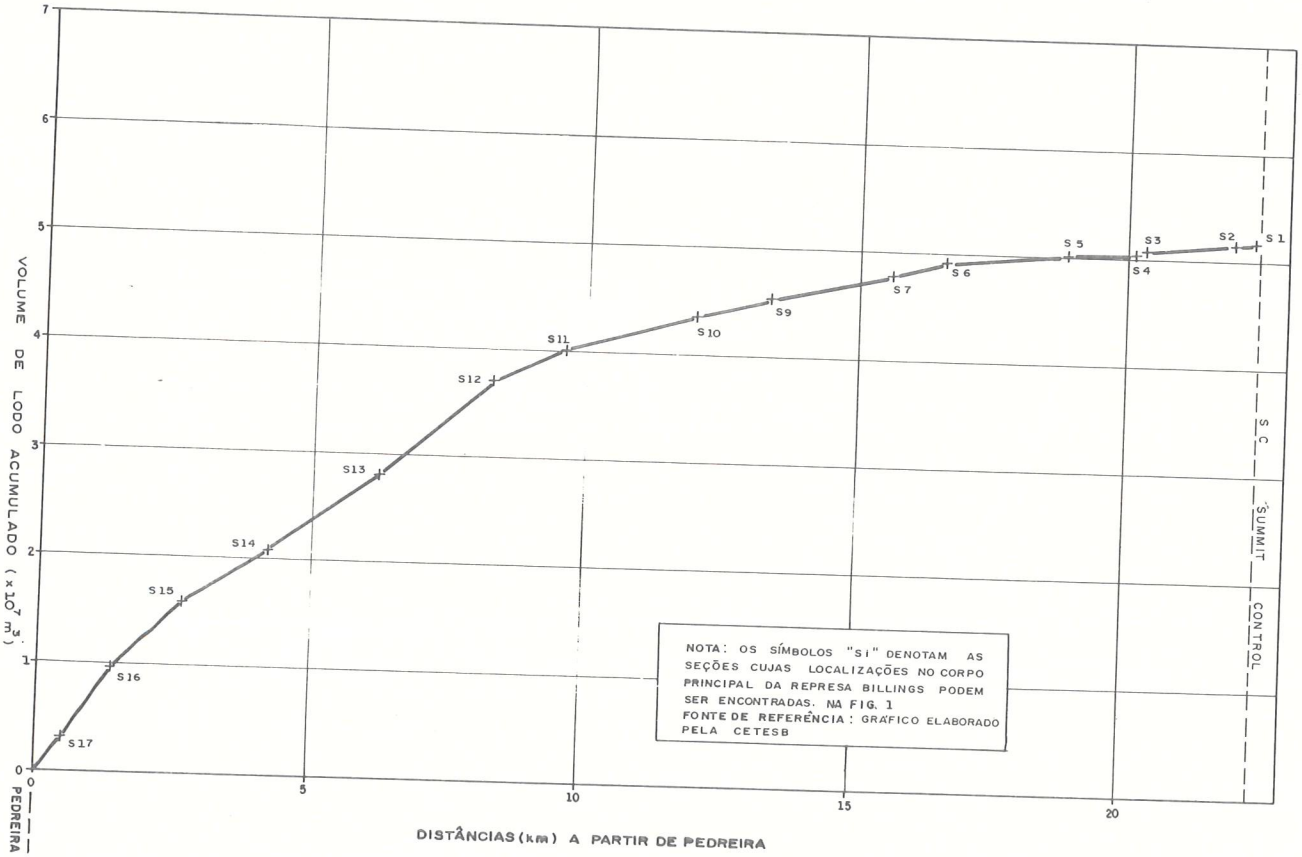


FIGURA 49A - Volume de lodo acumulado no corpo principal da represa Billings

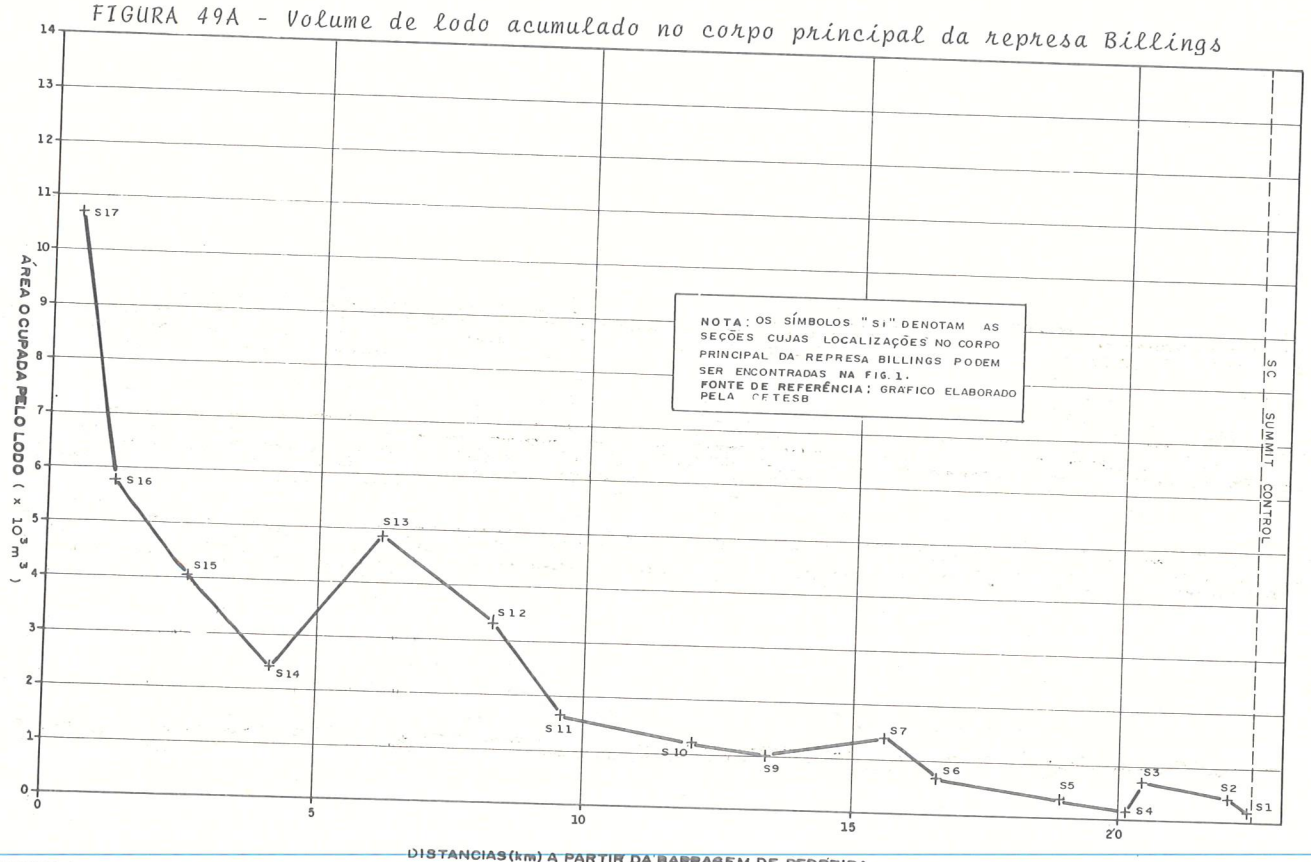


FIGURA 49B - Área ocupada pelo lodo acumulado em cada seção, ao longo do eixo da represa Billings

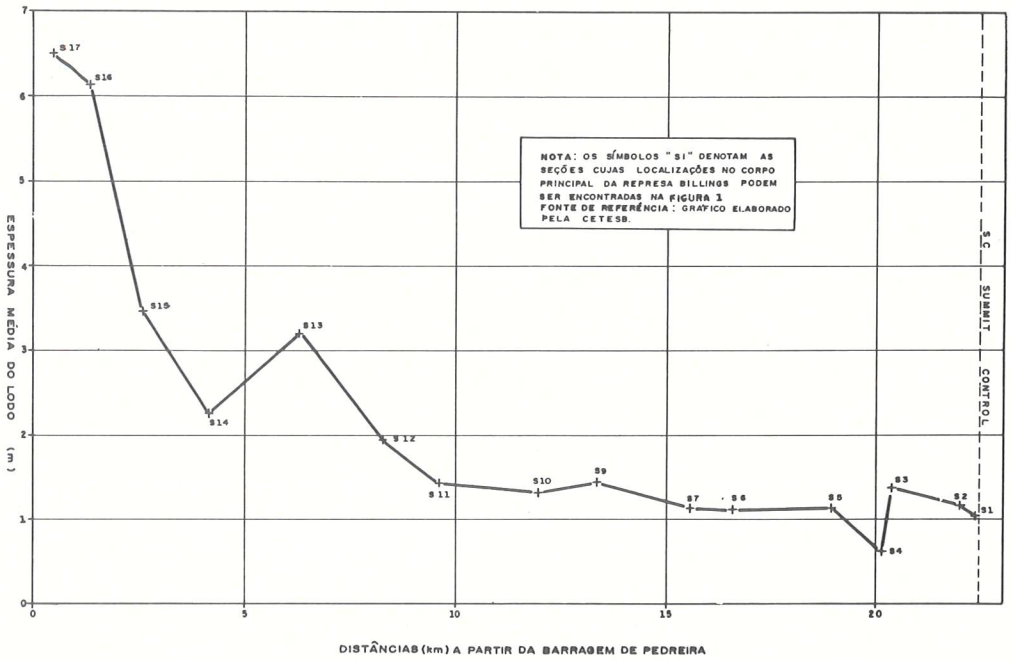


FIGURA 49C - Espessura média da camada de lodo em cada trecho estudado da represa Billings

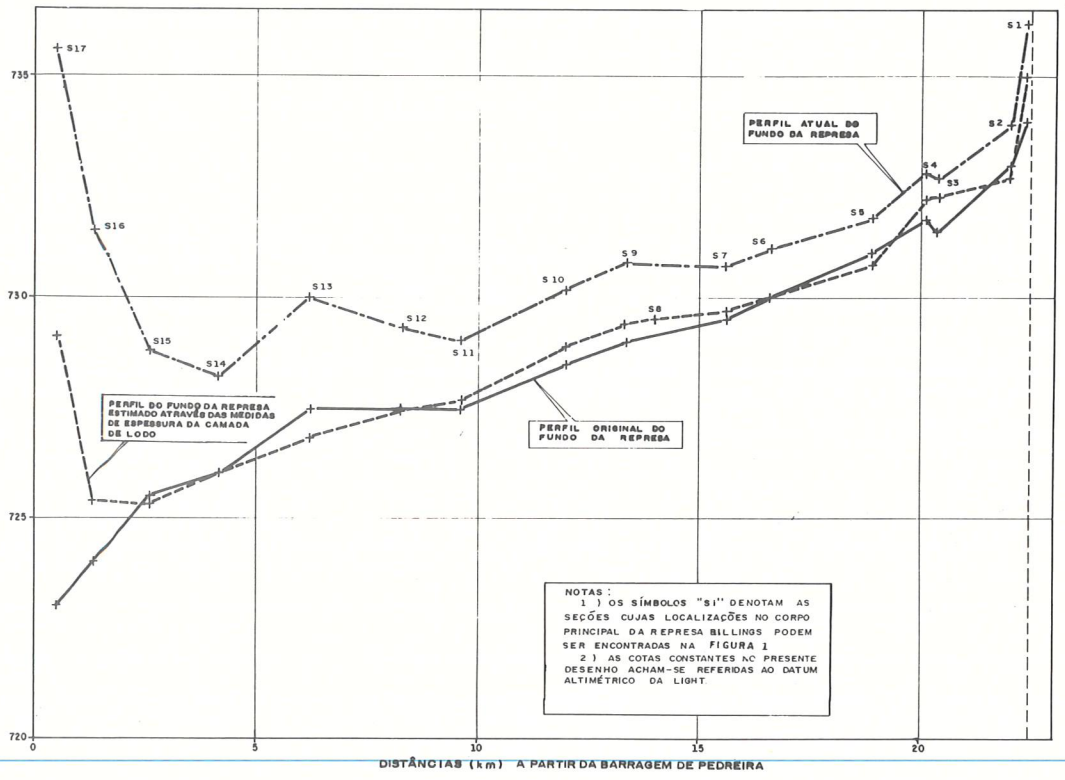


FIGURA 49D - Perfis de fundo, atual e original, ao longo do corpo central da represa Billings

experimental, instalado nas proximidades da barragem de Pedreira.

Nas determinações em condição anaeróbia, verificou-se que a concentração de fósforo solúvel na água do cilindro aumentou de forma linear em relação ao tempo, tendo atingido em 22 dias de ensaio a concentração de 0,289 mg/l, sendo que a concentração inicial foi de 0,015 mg/l.

Os resultados obtidos do fluxo de nitrogênio amoniacal apresentaram comportamento semelhante ao do fósforo solúvel. Cinco dias após o início do ensaio, a concentração de N. amoniacal aumentou de forma linear de 0,25 mg/l a 1,87 mg/l.

Os fluxos de fosfato (PO_4 - P) e amônia (NH_4-N) por metro quadrado de lodo por dia, estimados por ajuste estatístico nas fases de aumento linear, foram 0,023 g e 0,17 g, respectivamente.

Os resultados registrados nos ensaios em condição aeróbia diferiram muito do citado anteriormente, observando-se apreciável variação nas concentrações de PO_4-P e NH_4-N, em consequência da presença ou não de oxigênio na água. Na fase inicial do ensaio, com a concentração de oxigênio na água ao redor de 3 mg/l, não foi observado aumento na concentração desse nutrientes. Sensíveis aumentos na concentração de nutrientes, con-

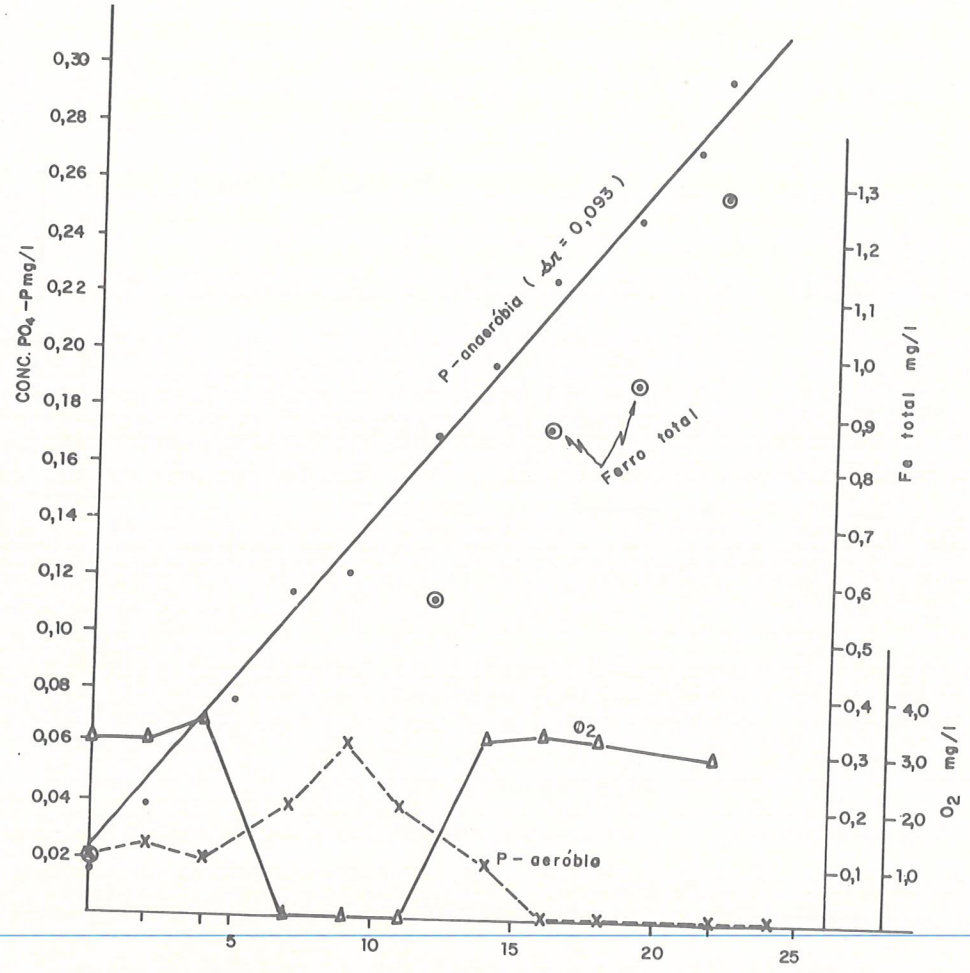


FIGURA 50 - Fluxo de fosfato solúvel e ferro (total) de lodo determinado "in situ"

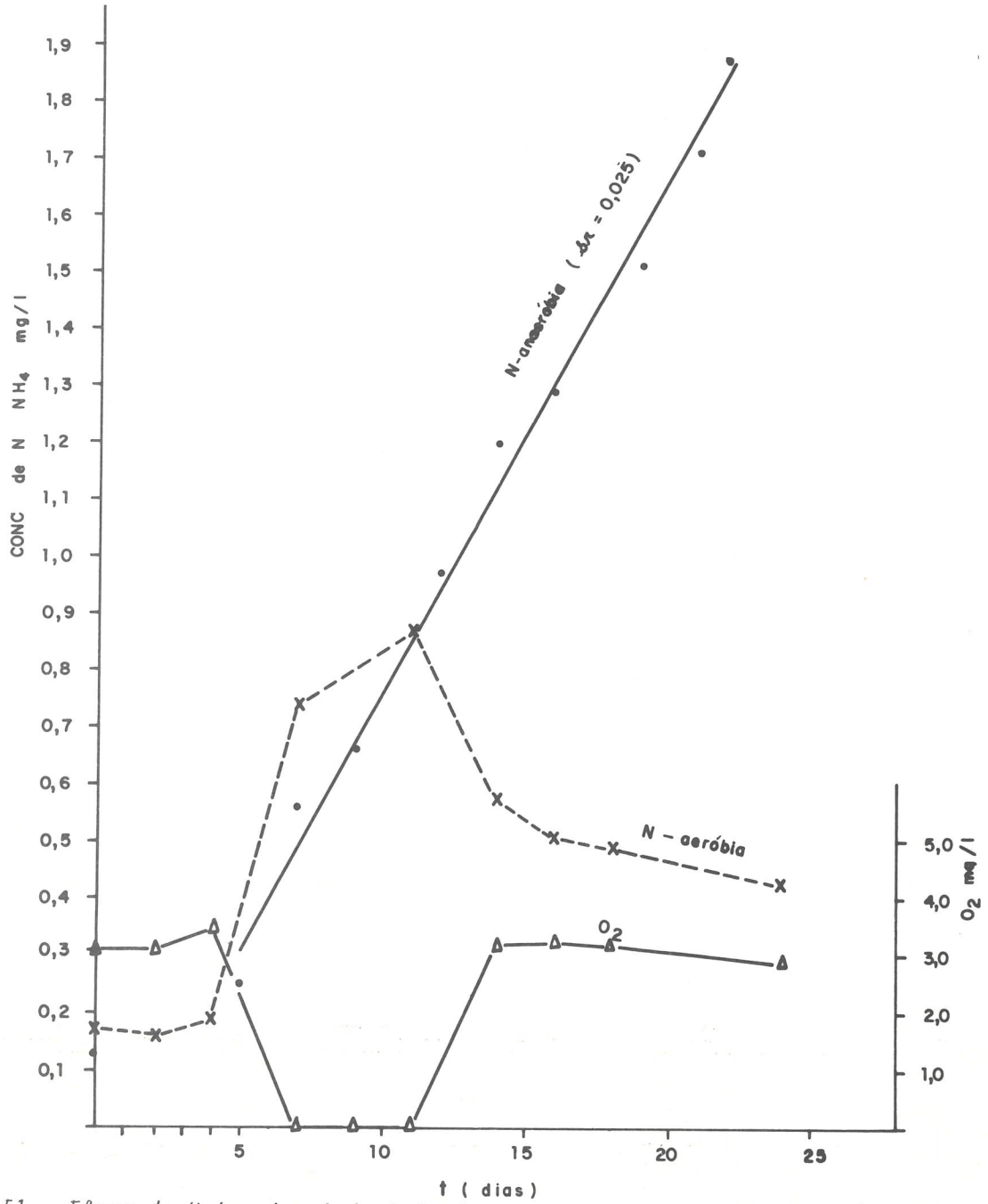


FIGURA 51 - Fluxo de N.Amoniacal do lodo determinado "in situ"

tudo, foram observados quando da eliminação total do oxigênio.

Após sete dias de operação em condição anaeróbia, quando houve mudança para condição aeróbia, a concentração de fosfato diminuiu rapidamente, atingindo o valor nulo, e se manteve nesse nível até o final das determinações. O mesmo comportamento verificou-se com as concentrações de N amoniacal, porém com decréscimo menos pronunciado.

Com relação ao fluxo de íons metálicos, notou-se um aumento considerável de ferro total em condição anaeróbia, semelhante ao fluxo de fosfato solúvel (Figura 50), enquanto que para os demais íons como mercúrio, cádmio e cobre não se constataram variações significativas, dentro da precisão da metodologia utilizada em suas determinações.

As temperaturas médias registradas durante as experiências, em condições anaeróbia e aeróbia, foram de 22º e 23ºC, respectivamente.

DETERMINAÇÃO EM LABORATÓRIO

Através da Figura 52 verifica-se que, durante os dezessete dias de ensaio, os valores de fluxo de nitrogênio amoniacal do material bentônico, em condição anaeróbia, foram mais elevados do que em condição aeróbia. Nesse período o fluxo médio desse nutriente em condição anaeróbia foi estimado em 0,278 g $m^{-2}d^{-1}$, enquanto que em condição aeróbia foi de 0,169 g $m^{-2}d^{-1}$.

Entretanto, com a alteração de operação no reator anaeróbio para aeróbio, a partir do décimo oitavo dia de ensaio (2ª fase), verificou-se a diminuição do fluxo de nitrogênio amoniacal, obtendo-se valores semelhantes àqueles determinados no reator em regime aeróbia até o 17º dia (1ª fase). Adotando-se o mesmo procedimento no reator aeróbio, houve sensível aumento do fluxo de nitrogênio amoniacal, logo após a mudança do regime de operação (2ª fase).

A diferença de fluxo de fosfato solúvel, determinada entre os reatores em condições aeróbia e anaeróbia, foi bastante elevada (Figura 53). Este nutriente no reator anaeróbio (1ª fase - 17 dias) variou na faixa de 32 a 70 mg $m^{2}d^{-1}$, enquanto que no reator aeróbio foi obtido um valor máximo de aproximadamente 20 mg $m^{-2}d^{-1}$ e vários resultados de fluxos nulos. Os valores médios aritméticos de fluxos deste nutriente no reator anaeróbio e aeróbio foram de 54 mg $m^{-2}d^{-1}$ e 9 mg $m^{-2}d^{-1}$, respectivamente.

Semelhante aos resultados conseguidos com nitrogênio amoniacal, quando das modificações introduzidas no regime de operação dos reatores, houve sensíveis variações na solubilização de fosfato do material bentônico para a água.

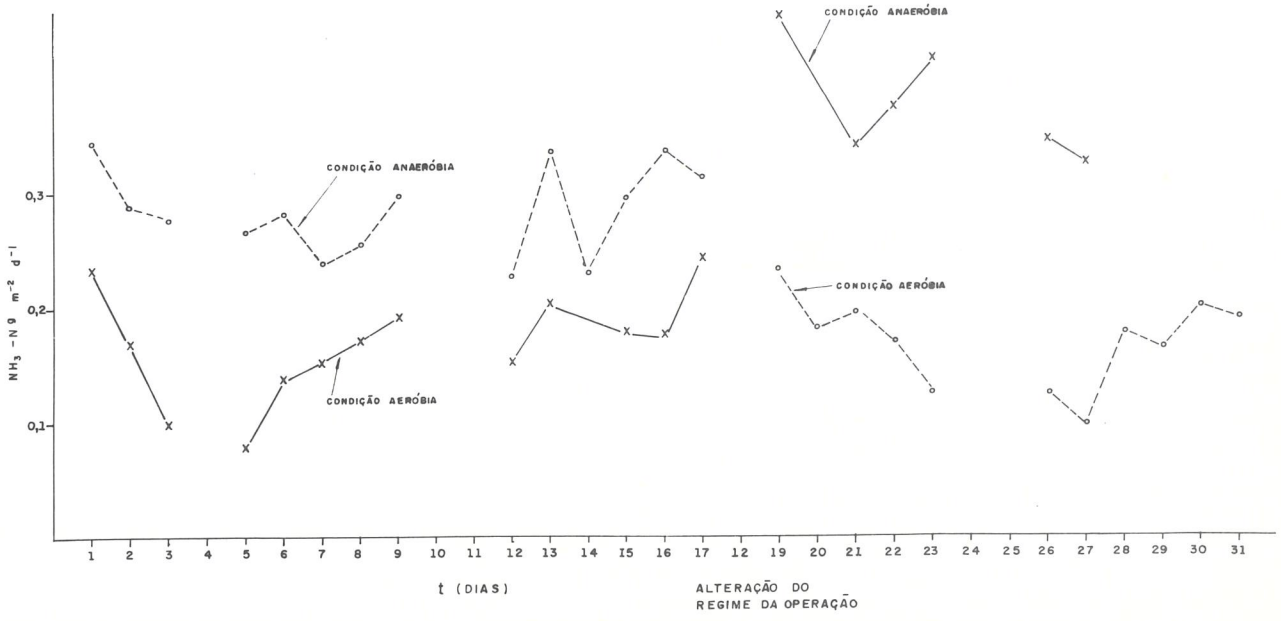


FIGURA 52 - Fluxo de N amoniacal do lodo determinado em escala de laboratório

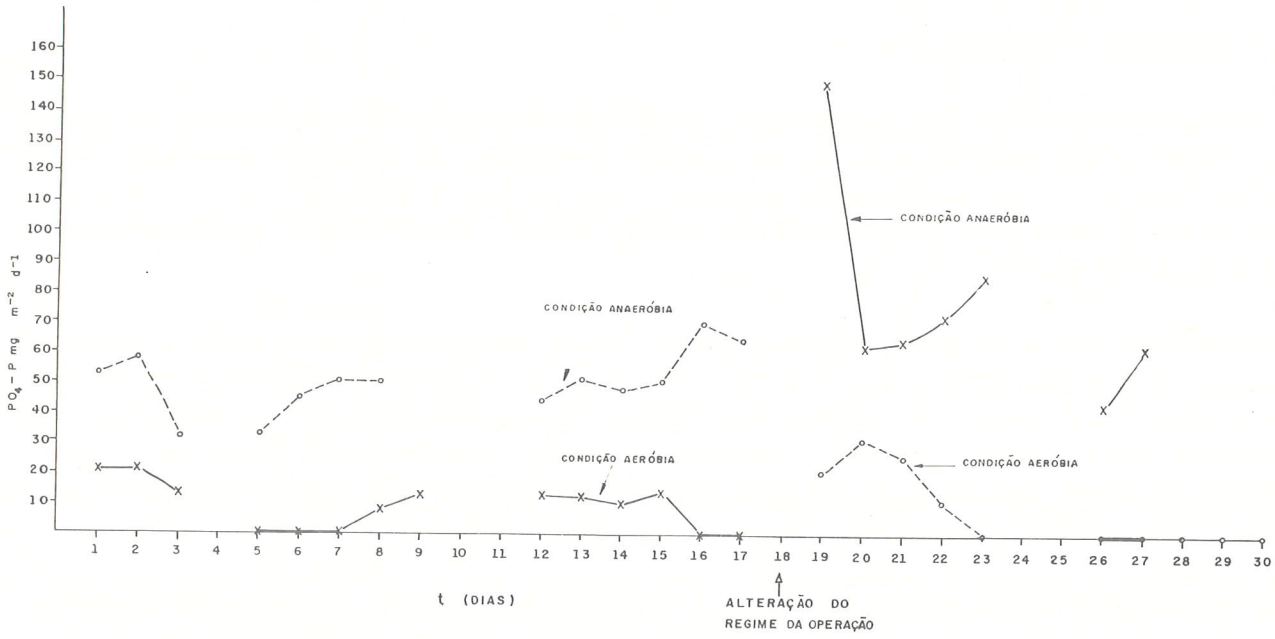


FIGURA 53 - Fluxo de fosfato solúvel do lodo determinado em escala de laboratório

O consumo de oxigênio do lodo, medido no reator aeróbio durante os primeiros dezessete dias da experiência, foi relativamente constante, variando na faixa de 2,8 a 4,0 g de O_2 $m^{-2}d^{-1}$ (Figura 54). Durante o período da determinação, foram mantidas as concentrações de oxigênio de 2,5 a 9,5 mg/l no líquido sobrenadante.

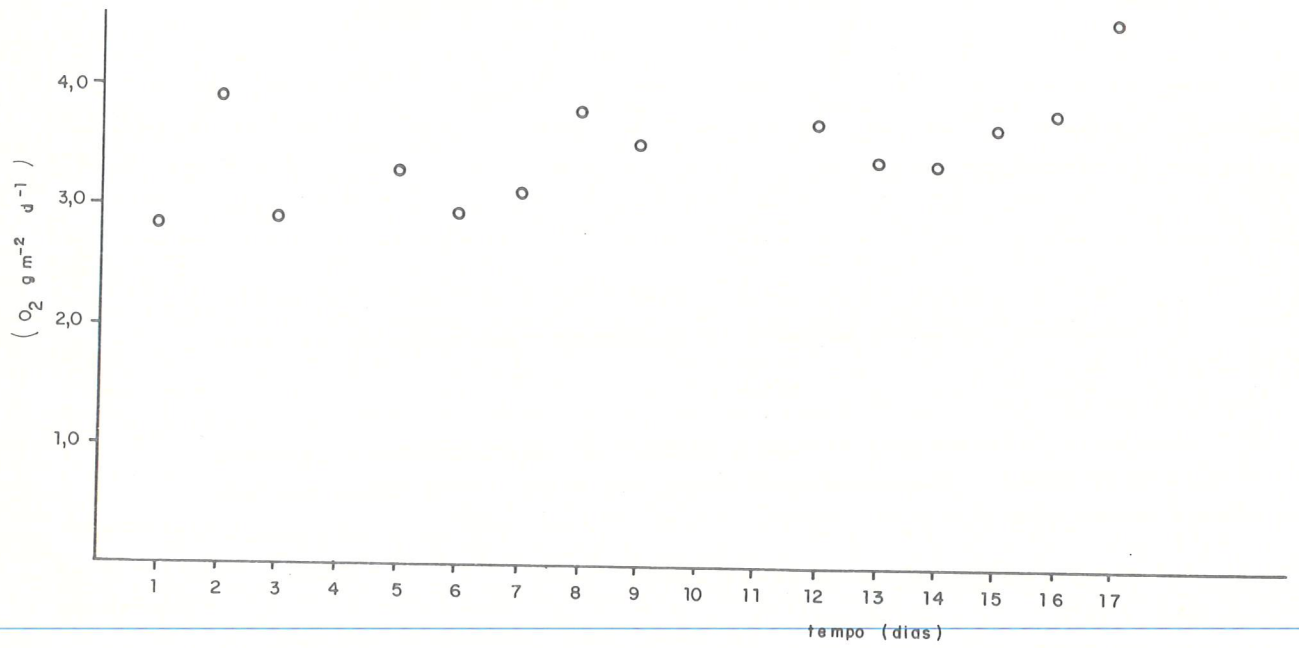


FIGURA 54 - Consumo de oxigênio pelo material bentonico

INTERPRETAÇAO DOS RESULTADOS E DISCUSSAO

TEORIA BÁSICA

A estabilização do material bentônico está subordinada aos processos aeróbio e anaeróbio, em operação na massa líquida, próximos ao lodo. Os resultados da medição do potencial "redox" efetuada nas camadas do material bentônico mostram que a camada aeróbia se restringe a alguns milímetros de espessura na superfície do lodo (3).

Portanto, a maior porcentagem de estabilização do material sedimentado se realiza nas camadas inferiores do lodo, em condição anaeróbia, havendo posteriormente o transporte desse material à superfície do lodo. Neste sentido, como já foi mencionado, a distribuição dos orifícios formados no interior do lodo e o processo de consolidação do lodo constituem fatores importantes para o transporte das substâncias solubilizadas da camada inferior para a camada superior.

A espessura do lodo em que se realiza a estabilização do material bentônico é relativamente limitada, segundo alguns trabalhos realizados neste sentido. Zobell (4) observou que a velocidade de estabilização do lodo é maior na camada cerca de 5 cm abaixo da superfície do lodo e diminui com o afastamento desse ponto.

Por outro lado, investigações realizadas sobre a distribuição vertical de bactérias no lodo indicam que não há declínio significativo desses microorganismos até cerca de 10 cm de espessura abaixo da superfície do lodo. A partir desse ponto, a densidade bacteriana diminui exponencialmente (5).

Foi observado também o declínio da atividade de enxima hidrogenase, com o distanciamento da superfície do lodo (6)

Fair et al (7) efetuaram experiências onde notaram claramente a relação entre a espessura da camada de lodo e estabilização das substâncias sedimentadas. Esses pesquisadores determinaram o volume de gaś liberado pelo material sedimentado coletado nas profundidades de 1,42 a 10,20 cm. Os resultados obtidos mostraram a elevação da produção de gás com o aumento da profundidade até 4,75 cm. À profundidade de 10,20 cm, as amostras colhidas apresentaram resultados inferiores a essas em relação à liberação de gás.

As observações relatadas anteriormente indicam que as contribuições do material bentônico para o corpo d'água provêm de uma camada superficial de pequena espessura e portanto o efeito poluidor do lodo para o corpo d'água não é proporcional à espessura do material acumulado no fundo de sistemas aquáticos.

CONSUMO DE OXIGÊNIO

Pelas discussões apresentadas anteriormente, o processo do consumo de oxigênio pelo lodo pode ser explicado como sendo resultante da respiração endógena de bactérias na camada aeróbia do lodo e da oxidação de substâncias redutoras provenientes das camadas inferiores do lodo.

Os resultados da demanda bentônica de oxigênio, obtidos no sistema experimental em laboratório, utilizando-se lodo da represa Billings, apresentaram uma variação de 2,8 a 4,0 g de $O_2 m^{-2} d^{-1}$, com média de 3,5 g de $O_2 m^{-2} d^{-1}$.

Esses valores se aproximam dos resultados obtidos em lodos provenientes de vários sistemas hídricos poluidos, como se verifica nas referências bibliográficas apresentadas no Quadro 18.

No presente estudo não foi determinado o fluxo de matéria carbonácea, em termos de DBO, em vista das dificuldades encontradas na determinação desse parâmetro com precisão satisfatória.

Investigações realizadas por Fillos e Molof (2) em sistema experimental, em escala de laboratório, utilizando depósito acumulado em tanque de sedimentação primária, apresentaram um resultado de 4,8 g de DBO $m^{-2} d^{-1}$, observando-se um apreciável aumento deste valor quando a concentração de oxigênio dissolvido na água foi inferior a 1,5 mg/l.

Este fato indica que em sistemas aquáticos que apresentam reduzidas concentrações de oxigênio dissolvido nas camadas inferiores da água, como no caso da represa Billings, poderá haver maior contribuição de DBO bentônica em relação a sistemas aquáticos em condição aeróbia.

FÓSFORO E NITROGÊNIO

Na dissolução de fósforo solúvel do material sedimentado, as condições aeróbia ou anaeróbia presentes na camada superficial do lodo afetam consideravelmente o processo.

No sedimento, o elemento fósforo pode estar presente em forma de fosfato de cálcio, fósforo orgânico, sais complexos e fosfato de alumínio e ferro, além de ortofosfato dissolvido na interface entre água e lodo, etc. No processo de estabilização do material sedimentado, ocorre a mineralização de fósforo orgânico, através de desfosforização pela enzima fosfatase presente em vários tipos de microorganismos.

Os inúmeros ácidos orgânicos produzidos no processo de estabilização anaeróbia agem como agente quelante, facilitando a solubilização de sais complexos de fósforo ligados com íons de cálcio, ferro, magnésio e alumínio (12). Esses sais complexos de fósforo solubilizados na camada inferior do lodo se difundem à superfície do mesmo, onde podem ficar retidos ou se dispersam no corpo da água, dependendo da presença ou não de oxigênio dissolvido neste local. Quando existe condição aeróbia na interface entre lodo e água, o fósforo, em forma solúvel, torna-se insolúvel pela associação com ferro oxidado, permanecendo na superfície do lodo. Em condição anaeróbia, porém, os íons de ferro oxidado sofrem o processo de redução, liberando o fosfato, em forma solúvel, ao corpo da água.

Os resultados obtidos na presente investigação, tanto no sistema "in situ" como em escala de laboratório, podem ser explicados claramente pela teoria apresentada anteriormente, verificando-se uma nítida diferença de fluxos de fósforo solúvel do material sedimentado entre a condição anaeróbia e aeróbia na água sobrenadante do lodo em ambos

QUADRO 18 - DEMANDA BENTÔNICA DE OXIGÊNIO - MÉDIAS OBTIDAS EM VÁRIOS ESTUDOS

INVESTIGADOR	MATERIAL BENTÔNICO	g $O_2.m^{-2}.d^{-1}$
Fair et al (7)	Lodo simulado com espessura de:	
	1,42 cm	1,1
	10,2 cm	4,7
Baity (8)	Lodo de esgoto com espessura de:	
	1,0 cm	0,6
	4 cm	5,2
McDonald and Hall (9)	Lodo proveniente de rio com espessura de:	
	2,0 cm	3,4
	25,0 cm	6,2
Edwards and Rolley (10)	Lodo proveniente de rio	4,8
O'Connel and Weeks (11)	Lodo no estuário de Potomas	
	Determinação "in situ"	
	Médio	2,5
	Máximo	8,5
Fillos and Molof (2)	Lodo proveniente de tanque de sedimentação primária com espessura de:	
	2,5 cm	4,6
	7,5 cm	7,4
	12,5 cm	7,4
presente estudo	Lodo proveniente da represa Billings com espessura de 10,0 cm	3,5

os ensaios.

O ferro, como elemento regulador da capacidade de obsorção do lodo, apresentou comportamento semelhante ao fosfato, constatando-se liberação de grande quantidade daquele elemento no lodo em condição anaeróbia.

Quanto ao fluxo de fosfato no lodo, foram obtidos valores relativamente altos no sistema experimental em laboratório, comparados com os resultados "in situ", observando-se a mesma tendência no caso de fluxo de nitrogênio amoniacal, como se relatará posteriormente. Essa discrepância, observada entre os dois sistemas, poderia ser atribuída aos seguintes fatores:

Primeiramente, em sistema descontínuo, as concentrações destes sais são cumulativas, o que impede a dissolução de nutrientes do material bentônico, devido ao efeito de

equilíbrio de saturação entre fase líquida e o lodo. No sistema contínuo, ao contrário, esse efeito de equilíbrio é muito restrito, já que existe sempre renovação de águas.

Em segundo lugar, a destruição da micro-camada do lodo, formada em condição natural, inclusive a sua mistura com as águas da represa durante o procedimento da coleta e colocação do lodo em frascos experimentais, poderiam provocar maior elevação quanto aos fluxos de nitrogênio e fósforo em sistema experimental de laboratório em relação ao "in situ".

Não foi efetuado, no presente estudo, a verificação das taxas do fluxo de fosfato do material bentônico, em diferentes concentrações de oxigênio.

Segundo Fillos e Swanson (13) foi determinada a concentração mínima de 1,5 mg/l de oxigênio na água, para que haja a minimização do fluxo de fosfato do material bentônico. Abaixo dessa concentração observou-se significativo aumento do fluxo de fosfato. Este aspecto é importante quando se considera o balanço de oxigênio na represa Billings.

Para efeito comparativo são apresentados no Quadro 19 os valores dos fluxos de fosfato do lodo, encontrados na bibliografia consultada. Os resultados obtidos nessa investigação correspondem aproximadamente aos valores determinados nos lodos acumulados em rios poluídos.

Com relação ao fluxo de N amoniacal no lodo, não se verificaram nas experiências efetuadas diferenças significativas do fluxo desse nutriente em condições aeróbia ou anaeróbia.

O fluxo de nitrogênio amoniacal, em condição anaeróbia, determinado em sistema contínuo, foi estimado em média de 1,28 g de N $m^{-2}.d^{-1}$, cujo valor foi de 40% maior que o obtido em condição aeróbia (Figura 8). Comportamento semelhante a esses foi encontrado na investigação realizada por Fillos e Swanson (13).

A diminuição do fluxo de nitrogênio amoniacal do lodo, em condição aeróbia, pode ser atribuída ao efeito do processo de absorção na camada aeróbia do lodo cujo mecanismo, entretanto, não está bem esclarecido.

AVALIAÇÃO DO EFEITO POLUIDOR DO LODO SOBRE A QUALIDADE DAS ÁGUAS DA REPRESA

Com base nos resultados obtidos experimentalmente, tentou-se avaliar o efeito poluidor do lodo acumulado no fundo sobre a qualidade das águas da represa Billings.

Admitiu-se nessa avaliação que as taxas de dissolução de N e P e do consumo de oxigênio são iguais aos valores determinados em escala de laboratório, em todos os trechos do corpo central da represa e que os materiais dissolvidos do lodo são homogeneizados imediatamente com toda a massa líquida daquele trecho.

Nessas condições deve ocorrer um acúmulo das concentrações de N e P na água diariamente, da ordem de 0,018 mg/l e 0,036 mg/l respectivamente, em condição anaeróbia, quando

QUADRO 19 - FLUXO DE FOSFATO DO MATERIAL BENTÔNICO

INVESTIGADOR	MATERIAL BENTÔNICO	mg P $m^{-2}d^{-1}$	
Fillos and Molof (2)	Lodo acumulado no tanque de sedimentação primário	Máximo anaeróbia	154
Fillos and Swanson (13)	Lodo proveniente de rio poluido	Máximo anaeróbia	96
		Médio anaeróbia	9,6
Capaccio (14)	Lodo proveniente de rio poluido	Máximo. anaeróbia	91
		Médio aeróbia	3
Vollenweider (15)	Lodo proveniente do lago Baldeggersee	Médio anaeróbia	9-10
Observações na represa Billings	Determinação "in situ" - descontínua	Médio anaeróbia	19
	Laboratório - contínua	Médio anaeróbia	57,7

o corpo central da represa estiver com 80% de seu volume total.

Estimando-se em sessenta dias o tempo de trânsito para a passagem da massa líquida no corpo central, estas concentrações de N e P atingiram 1,08 mg/l e 0,22 mg/l respectivamente, no seu trecho final, cujos valores são significativos para o desenvolvimento de apreciável nível de eutrofização.

Caso seja mantida, porém, a condição aeróbia com a concentração de oxigênio acima de 1,5 mg/l na camada inferior da represa, o acúmulo da concentração de fósforo ficará restrito a menos de um quinto do valor citado e a concentração de nitrogênio diminuirá cerca de 40% em relação à condição citada anteriormente, contribuindo consideravelmente para minimizar a proliferação de microorganismos clorofilados.

Quanto ao consumo de oxigênio dissolvido, o mesmo é estimado em cerca de 0,3 mg/l diariamente. Essa taxa de consumo pode ser compensada satisfatoriamente pelo oxigênio produzido pela ação fotossintética e pela reareação na época fria, em que ocorre intensa circulação da massa líquida. Entretanto, na época em que predomina a estagnação da água, a demanda de oxigênio do lodo torna-se suficientemente grande para criar ambiente anaeróbio na camada inferior da represa.

Deve-se lembrar ainda que em condição anaeróbia, além dos elementos nutritivos, há maior dissolução da matéria carbonácea do lodo.

A estabilização do lodo é bastante lenta, estimando-se um tempo médio de cerca de 1,5 anos para atingi-la em 90% (16).

Segundo os resultados das análises realizadas no corpo central da represa Billings (Quadro 20) o lodo contém, em média, 3,4 mg de nitrogênio e 1,2 mg de fósforo por grama de lodo, peso seco. Admitindo-se que ocorra solubilização ativa dos nutrientes acima de 15 cm de espessura da camada de lodo, estima-se que haja cerca de 150 g de nitrogênio e 54 g de fósforo disponíveis por metro quadrado de lodo. Essas concentrações correspondem aproximadamente a 530 vezes o fluxo diário de N amoniacal e a 1000 vezes o fluxo de fosfato do lodo em condição anaeróbia. Nesse sentido prevê-se para 2 anos o esgotamento total do N contido no lodo e em 3 anos o de fósforo, se não houver nenhum acréscimo de materiais sedimentados.

Em condições naturais entretanto, a represa recebe constantemente material sedimentável oriundo de sua própria bacia de drenagem. Mesmo que seja eliminada a afluência de material bentônico aloctone na mesma, haverá um aumento gradativo da concentração de nutrientes provenientes do lodo, que por sua vez criará condições para produção de matéria orgânica; esta por outro lado constituirá uma nova fonte de material bentônico.

Nessas condições, será atingida uma situação de equilíbrio ecológico favorável ao desenvolvimento do fenômeno de eutrofização, certamente por um longo período de tempo.

Para minimizar tais efeitos do lodo, uma das soluções seria a manutenção constante da condição aeróbia na camada inferior da represa, principalmente na época quente (17). Outra solução seria a de agir sobre o ciclo ecológico, por meio da remoção de algas ou lavagem de nutrientes através da introdução de grande quantidade de água limpa no meio aquático (18). A remoção do material sedimentado seria a solução definitiva, embora economicamente bastante dispendiosa.

QUADRO 20 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO DEPÓSITO BENTÔNICO EM DIFERENTES PONTOS DA REPRESA BILLINGS

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_{15}	R_{16}
Sólido volátil %	11,9	15,0	14,6	-	19,8	11,7
N total mg/g (peso seco)	5,8	4,6	3,3	4,8	0,81	1,2
P total mg/g (peso seco)	1,6	1,1	-	1,8	-	0,4
C total mg/g (peso seco)	72,3	48,0	41,7	73,7	55,7	50,2

Além da substância carbonácea biodegradável e dos nutrientes, resultados de análises demonstram a existência de vários tipos de íons metálicos no lodo da represa Billings (vide CARACTERIZAÇÃO SANITÁRIA E ECOLÓGICA DA REPRESA BILLINGS). Encontram-se poucos trabalhos relativos à ação dos íons metálicos no lodo e suas consequências em relação ao meio ambiente. Todavia, a utilização da água deste manancial para abastecimento público e como reservatório da fauna ictiológica para posterior alimentação do homen, sugere a necessidade de profundas investigações sobre a atuação dos íons metálicos e

de substâncias orgânicas de origem não vegetal ou animal.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. PHELPS, E.B. - Stream sanitation. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1974.

2. FILLOS, J. and MOLOF, A.H. - Effect of benthal deposits on oxigen and nutrient economy of flowing waters. J.W.P.C.F., vol. 44, nº 4, 1972.

3. MORTIMER, C.H. - The exchange of dissolved substances between mud and water in lakes. Journ. Ecol. 29, 280, 1941; 30, 147, 1942.

4. ZOBELL, C.E. - Studies on redoz potencial of marine sediments. Vull. Amer. Assn. Petrol. Geol. 30, 477, 1946.

5- HENRICI, A.T. and McCOY, E. - The distribution of heterotrophic bacteria in the battom deposits of some lakes. Wis. Acad. Sci., Arts 'Letters, 31, 323, 1938.

6. LENHARD, G. et al - A study of method for the classification of battom deposits of natural water. Hydrobiologie, 20, 223, 1962.

7. FAIR, G. M. et al - The natural purification of river muds and pollutional sediments. Sew. Works Jour., 13, 270, 756 e 1209, 1941.

8- BAITY, H-G. - Some factors affecting the aerobic decompositions of sewage sludge deposits. Sew. Works Jour. 10, 539, 1938.

9. MACDONALD, A.J. and HALL, S.D. - Effect of environmental factors on benthal oxigen uptake. Proc. 22nd. Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Est. Ser. 129, 414, 1967.

10. EDWARDS, R.W. and ROLLEY, H.L. - Oxigen consumption of river muds. Journ. Ecol. 53, 1, 1965.

11. O'CONNEL and WEEKS - An "in situ" 2 benthic respirameter - CB-SRBP- Tech. Paper 6, FNPCA. 1965.

12. BALLEY, G.W. - Role of soils and sediment in water pollution control. Part I - US Department of Inst. FWPCA - 1968

13. FILLOS, J. and W.R. SWANSON - The release rate of nutrients from river and lakes sediments. J.W.P.C.F., 47, 5, 1975.

14. CAPACCIO, R.S. - The rate of release of phosphorus from natural benthal deposits - M.S. thesis - Northeastern Univ. Boston - 1971

15. VOLLENWEIDER, R.A. - Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and following water with particular reference to nitrogen and phosphorus as a factor

in eutrophication, DAS/C15/ 1968.

16. CAMP, R.T. - Water and its impurities. Reinhold Book Corporation, New York, 1968.

17. LACKEY, R.T. - Artificial reservoir distratification effects on phytoplancton. Journal WPCF. 45 nº 4 - 1973.

18. OGLESBY, R.T. - Effects of controlled nutrient dilution in a eutrophic lake. Advances in water pollution research. Proceedings of the 4 th Internacional Conference, Prague, 1969

UTILIZAÇÃO DE MODELOS MATEMATICOS

INTRODUÇÃO

Neste Capítulo serão apresentados os procedimentos para aplicação prática dos modelos elaborados no presente estudo, com a finalidade de utilizá-los como instrumento na avaliação da qualidade das águas da represa Billings, em diferentes condições do sistema LIGHT.

Os modelos estudados possuem flexibilidade de aplicação, possibilitando realizar a avaliação da qualidade das águas da represa a partir de condições pré-estabelecidas na barragem de Pedreira. Permitem também estabelecer limites máximos de concentração de materiais poluentes e descarga recalcada em Pedreira, a partir de características desejáveis de qualidade de água em pontos previamente selecionados na represa; além disso possibilitam selecionar as melhores combinações entre níveis de água na represa e descarga recalcada em Pedreira, do ponto de vista sanitário, visando oferecer subsídios básicos para estabelecer as regras de operação do sistema LIGHT.

Quanto à precisão dos modelos elaborados, salienta-se que os valores dos coeficientes de variação oscilam em torno de 15 a 40% dependendo dos parâmetros a serem previstos, com exceção do correspondente ao coli fecal que foi bem maior do que a porcentagem máxima citada, conforme discutido em capítulos anteriores.

Caso se apliquem os modelos propostos para o estudo das condições atuais da represa, utilizar-se-ão as concentrações iniciais de materiais poluentes presentes em Pedreira, cujos valores apresentam também probabilidade de erro em torno de 10 a 15%, de acordo com a época do ano a ser estudada.

Quando os valores dos parâmetros previstos forem críticos em relação à qualidade das águas, sugere-se adotar uma margem de segurança adicional (por exemplo o valor correspondente ao desvio padrão) na execução dos cálculos, para compensar um eventual erro decorrente da variabilidade residual.

Com relação à limitação de aplicação dos modelos estudados, verifica-se que o modelo usado na avaliação do parâmetro O.D., por ser de caráter empírico, não é recomendável quando houver extrapolação para valores acima de 10 a 20% fora da faixa dos dados que forem utilizados para cálculo dos coeficientes numéricos. Relaciona-se abaixo a faixa de valores usados para cálculo dos coeficientes relativos aos parâmetros O.D. (Quadro 21).

QUADRO 21

parametros	faixa de variação
O.D.	de 0 a 17 mg/l
D.B.O.	de 3 a 30 mg/l
clorofila	de a 190 mg/m^3
temperatura da água	de a 30 ^oC
radiação solar	de a 700 ly/d

Quanto à aplicaçao dos modelos para os outros parâmetros (D.B.O clorofila e coliformes fecais), os mesmos podem ser utilizados livremente além dos limites de valores de dados levantados, por possuírem justificativas teóricas. Assim, mesmo, podem sofrer alterações nos valores extremos e portanto recomenda-se proceder a ajustes de tais coeficientes através de levantamentos de parâmetros "in loco", nas condições citadas.

Deve-se esclarecer também que os modelos foram elaborados com base nos dados levantados em condições lêntica. Portanto, esses modelos não são aplicáveis fora da condição normal da represa, ou seja, em condição lótica, a qual pode ser provocada eventualmente através do excessivo baixo nível da água e da alta vazão recalcada na barragem de Pedreira. Nesse sentido, estabeleceu-se o limite da velocidade máxima de escoamento da água no corpo central da represa, para aplicação dos modelos, como sendo de 0,15 m/s. Este valor foi baseado na velocidade média observada no corpo central durante o estudo.

Por outro lado, embora a cota mínima da represa Billings seja de 728m, o volume efetivo da represa situa-se na faixa de 736 a 746 m. Deste modo não é aconselhável utilizar nos modelos cotas abaixo de 736m.

Não foi introduzido nos modelos elaborados os fatores relacionados com as substâncias tóxicas que interferem nas reações bioquímicas e biológicas. Isso se deve aos resultados de análises dos íons metálicos e pesticidas obtidos durante a presente investigação e também nos estudos da CERORB (1), os quais apresentaram sempre baixas concentrações comparadas com os padrões estabelecidos (2).

Quanto ao gás sulfídrico, observou-se um certo período (principalmente na época da seca) relativas concentrações deste gás na água, em local próximo à barragem de Pedreira. Entretanto, não se dispõe até o presente momento de um acervo de dados suficientes para permitir a inclusão desse fator nos modelos. Mesmo assim, verifica-se, pela aderência satisfatória dos modelos elaborados através dos dados levantados em condições naturais, que esse último parâmetro não deve exercer uma influência preponderante no modelo.

DADOS UTILIZADOS

DADOS DE TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR

Nos Quadros 22 e 23 são inseridos os valores de temperatura e radiação solar (médias mensais) a serem utilizadas na previsão.

QUADRO 22 - TEMPERATURA MÉDIAS MENSAIS DO AR (^{o}C) MEDIDOS NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA BARRAGEM DE PEDREIRA - PERÍODO 1937 - 1977

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun
Temp. média ^{o}C	22,4	22,3	21,7	19,5	17,7	16,6
Desvio padrão	1,3	1,2	1,2	1,1	0,9	1,1

QUADRO 22 - (Continuação).

Mês	jul	ago	set	out	nov	dez
Temp. média °C	15,8	17,5	17,7	18,7	19,7	21,1
Desvio padrão	1,2	1,0	0,8	1,1	1,0	1,1

QUADRO 23 - INTENSIDADE DE RADIAÇÃO/SOLAR, MÉDIAS MENSAIS MEDIDAS NO INSTITUTO ASTRONÔMICO E GEOFÍSICO, LOCALIZADO NO BAIRRO DE ÁGUA FUNDA - SÃO PAULO-PERÍODO: 1975 - 1977.

Mês	jan	fev	marc	abr	mai	jun
Int. radiação solar média $ly.d^{-1}$	361,8	371,8	342,7	276,0	233,3	213,3

Mês	jul	ago	set	out	nov	dez
Int. radiação solar média $ly.d^{-1}$	232,1	269,1	270,0	302,4	316,1	331,5

Os valores de temperatura foram estabelecidos com base nos dados observados na barragem de Pedreira durante os últimos quarenta anos. Observa-se que a variação da temperatura, em termos de média mensal, é relativamente pequena, oscilando os valores de desvio padrão de 0,8°C a 1,3°C.

Para as intensidades de radiação solar foram utilizados os dados observados nos últimos três anos (1975, 1976, 1977), no Instituto Astronômico e Geofísico, localizado no bairro da Água Funda, cidade de São Paulo. Os dados relativos aos anos anteriores estão atualmente sendo processados no mesmo Instituto.

ESTABELECIMENTO DE ÉPOCAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DA REPRESA

Para condições operativas normais da represa, os tempos de trânsito da massa líquida para a extensão total do seu corpo central variam em torno de 50 a 100 dias. Em vista desse tempo de trânsito relativamente prolongado e levando-se também em consideração a interferência sensível da variação sazonal das condições climatológicas na qualidade das águas, tanto no rio Tietê como na represa Billings, sugere-se que seja efetuada a referida avaliação em três épocas diferentes do ano a saber:

- época de chuva — meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março
- época de seca — meses de junho, julho, agosto e setembro
- épocas intermediárias — meses de abril, maio, outubro e novembro

ESTABELECIMENTO DE CONCENTRAÇÕES DE MATERIAIS POLUENTES NAS PROXIMIDADES DA BARRAGEM DE PEDREIRA

De acordo com o critério estabelecido no item anterior, foram determinadas as concetrações iniciais de DBO, nitrogênio amoniacal, clorofila e coli fecal, a fim de serem utilizadas na avaliação da qualidade das águas da represa nas condicões atuais conforme a época do ano.

São apresentados no Quadro 24 os valores médios de cada parâmetro, obtidos com base nos levantamentos efetuados no presente estudo e os respectivos valores do desvio padrão.

QUADRO 24 - CONCENTRAÇÕES INICIAIS de DBO, N. AMONIACAL, CLOROFILA e COLIFORME FECAL, A SEREM UTILIZADAS PARA PREVISÃO EM DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO

Época / Valores / Parâmetro	seca		chuva		intermediário	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
DBO (mg/l)	69,0	4,5	26,1	5,9	40,3	6,4
N. inorgânico (mg/l)	9,7	0,8	4,0	0,25	7,6	0,9
Clorofila (mg/m^3)	3,0	-	7,0	-	5,0	-
Coli fecal NMP/100 ml	$6,9x10^6$	$0,6x10^6$	$3,3x10^6$	$0,52x10^6$	$3,6x10^6$	$0,57x10^6$

CONSIDERAÇÕES SOBRE PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUAS

Como foi relatado anteriormente ocorre maior probabilidade de erro nas medidas do parâmetro coli-fecal. Assim, sugere-se a utilização dos parâmetros OD, DBO e clorofila, quando se trata de estabelecer padrões de qualidade das águas, tendo em vista seus usos benéficos. O Quadro 25 indica o padrão de qualidade de águas, adotado no estudo de controle da poluição da água no "Bow Valley" - Estados Unidos com base somente nas concentrações de OD (3).

QUADRO 25 - PADRÃO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS ADOTADO PELO "BOW VALLEY POLLUTION CONTROL COMISSION", ADAPTADO DO PADRÃO DO ESTADO DE MASSACHUSETTS-ESTADOS UNIDOS -

Classificação	Concentração mínima de oxigênio (mg/l)	Descrição
A abastecimento público	7,0	Ótimo para todos os fins
B utilização para balneabilidade	5,0	Adequado para esportes de contato com a água. Aceitável para abastecimento público com tratamento apropriado. Adequado para agricultura e algumas indústrias com a finalidade de refrigeração. Ótimo para pesca.
C utilização para recreação com barco, sem contato direto com a água	3,5	Aceitável para animais silvestres e pesca, mas não comestível. Adequado para algumas indústrias de refrigeração e em alguns processos industriais. Aceitável para abastecimento público com tratamento apropriado. Adequado para irrigação e colheita de produtos para alimentação com posterior cozimento.

QUADRO 25 (Continuação)

D condição mínima aceitável	2,0	Adequado para produção de energia, navegação e para algumas indústrias como refrigeração e processos industriais.
E não aceitável	<2,0	Inadequado para a maioria dos tipos de recreação e ofensivo devido ao cheiro, gosto e aspecto da água

Esse critério pode, eventualmente, ser aplicado na represa Billings, enquadrando os vários trechos do seu corpo central, de acordo com a melhoria da qualidade das águas em função da distância no sentido da barragem de Pedreira para o "Summit Control".

PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO

Com a finalidade da aplicação prática dos modelos apresentados no presente trabalho, foi desenvolvido um programa de computação denominada "QUABIL" (Qualidade da água na Represa Billings). Esse programa, implantado em linguagem FORTRAN IV para o computador IBM/370 e posteriormente convertido para o computador VARIAN, encontra-se gravado em fita magnética na Divisão de Operação de Processamento de Dados da CETESB. No anexo A é apresentada uma listagem do programa.

UNIDADES DOS PARÂMETROS UTILIZADOS NO PROCESSAMENTO DO PROGRAMA

$t\ (x_i)$ - dias
$Cmt\ (x_i)$ - mg/m^3
$DBO\ (x_i)$ - mg/l
$N\ \ (x_i)$ - NMP/100 ml
$OD\ (x_i,z)$ - mg/l
T - ^oC
L - ly/dia
SN_o - mg/l
Xl - m^{-1}
FUNDO - m
NA - m
QP - m^3/s
QN - m^3/s
z - m

MODOS DE OPERAÇÃO

O programa foi desenvolvido para a operação em dois modos básicos:

Modo 1. Neste modo de operação o programa calcula em 22 secções do corpo central da Represa (1 a 22 km a partir de Pedreira) os valores dos seguintes parâmetros:

t (x_i) - tempo de trânsito da massa líquida
Cmt (x_i) - concentração de clorofila
DBO (x_i) - demanda bioquímica de oxigênio
N (x_i) - concentração de coliformes fecais
OD (x_i,z) - concentração de oxigênio dissolvido na profundidade z (z = 0,1.....5m)
Sendo para tanto fornecidos os seguintes dados.

T - temperatura da água
L - radiação solar
Cmt (x_o) - concentração inicial de clorofila (em Pedreira)
DBO (x_o) - concentração inicial de DBO (em Pedreira)
N (x_o) - concentração inicial de coliformes fecais (em Pedreira)
NA - nível do reservatório
QP - vazão em Pedreira
QN - vazão natural
SN_o - concentração do nitrogênio
I_s - valor de saturação da luz
Xl - coeficiente de extinção
ITEST - identificação do modo de operação

Os resultados serão impressos para todas as vinte e duas secções da represa.

Modo 2. Neste modo de operação, o programa calcula os parâmetros acima mencionados, sendo, porém impostas certas condições críticas aos mesmos a serem observadas em pontos pré-determinados da represa. Dessa forma, o programa permitirá avaliar tanto em condições atuais como em condições futuras. quais as regras de operação do reservatório e quais as concentrações máximas de poluentes em Pedreira que satisfazem as condições críticas impostas, imprimindo como resultado somente os valores permitidos.

A opção de operação dos dois modos é feita através da variável ITEST, impondo-se à mesma o valor de 0 no modo 1 e o valor 1 no modo 2.

SUBPROGRAMAS

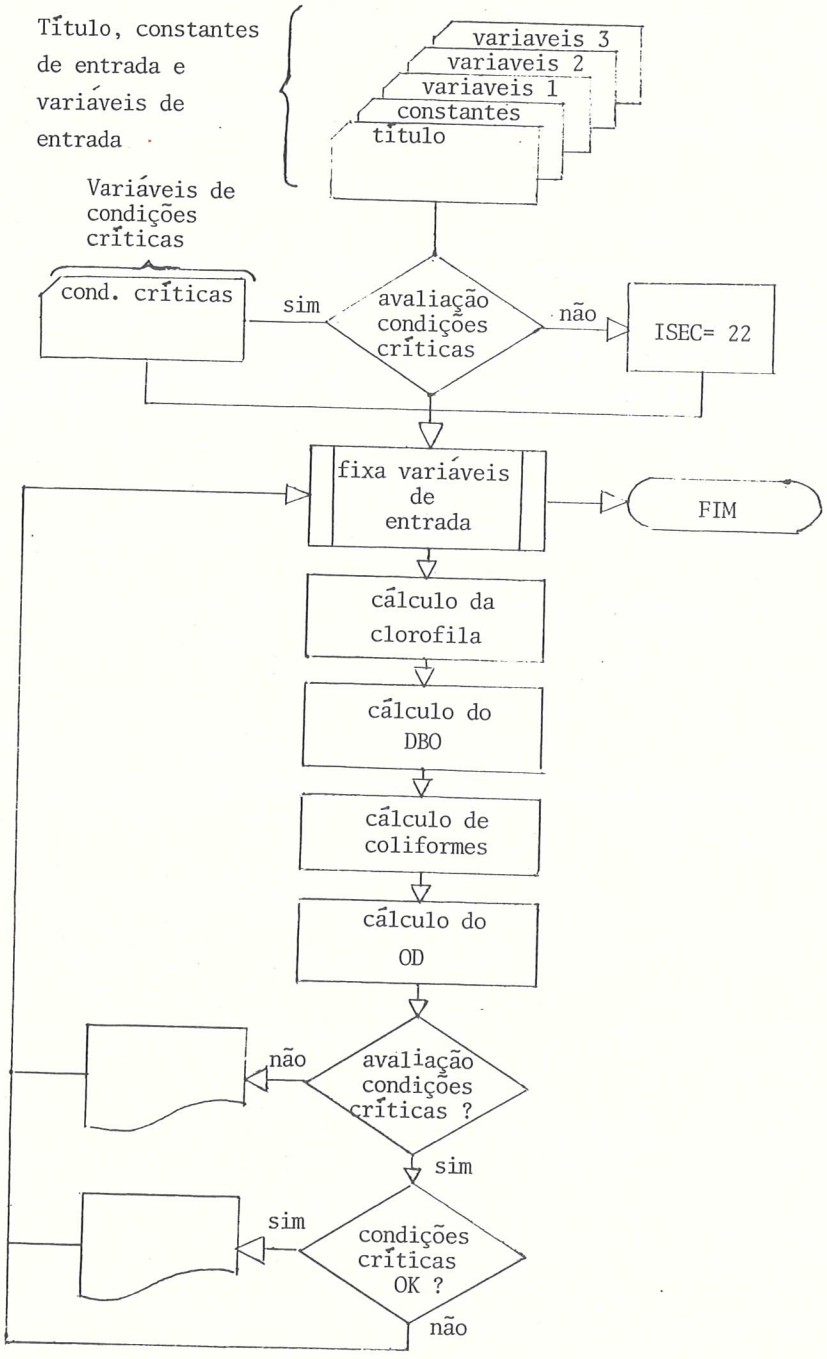
O programa é constituído dos seguintes subprogramas:

Tempo de trânsito	Subprograma 1
Crescimento de algas	Subprograma 2
Degradação da matéria carbonácea	Subprograma 3
Decréscimo de coliformes fecais	Subprograma 4
Variação vertical-longitudinal de oxigênio dissolvido	Subprograma 5

A operação em separado de cada subprograma é possível, embora não tenha sido implantada. Neste caso, os seguintes conjuntos de subprogramas poderiam ser utilizados em separado, bastando para isso uma adequada modificação nos comandos internos do programa:

Tempo de trânsito	Subprograma 1
Crescimento de algas	Subpr.2+Subpr. 1
Degradação de matéria carbonácea	Subpr.3+Subpr.2+Subpr. 1
Decréscimo de coliformes fecais	Subpr.4+Subpr. 1

DIAGRAMA GERAL DO PROGRAMA



PARÂMETROS DE EXECUÇÃO E COMPUTAÇÃO

a) Constantes pré-definidas

QA (X_i,NA)

Os valores adotados destas constantes encontram-se no Quadro 2.6.

QA1, QA3 e APB

Os valores destas constantes encontram-se no Quadro 1, do Capítulo III.

b) Constantes de entrada

São valores que permanecem constantes em cada execução do programa,

Os símbolos adotados para as mesmas são:

TT - título que será impresso no cabeçalho
T - temperatura da água
GBIS - valor de saturação da luz para o crescimento de algas
FUNDO - nível de referência do fundo da represa
ELE - radiação solar
Xl - coeficiente de extinção da luz.

c) Variáveis de entrada

As variáveis de entrada são os valores dos diversos parâmetros utilizados nos modelos, definidos para cada execução do programa através de um valor máximo, um valor mínimo e um incremento.

Na execução do programa serão efetuados os cálculos para todas as combinações dessas variáveis, que são as seguintes:

NA - nível do reservatório
QP - vazão em Pedreira
QN - vazão natural
SN_o - concentração de nitrogênio
$Cmt(x_o)$ - concentração de clorofila
$DBO(x_o)$ - concentração de DBO
$N(x_o)$ - concentração de coli-fecais

} condições iniciais em Pedreira

As denominações das variáveis no programa estão descritas no item seguinte.

d) Variáveis de avaliação de condições críticas

As variáveis de avaliação de condições críticas são utilizadas somente no modo 2 da operação do programa.

QUADRO 26 - COEFICIENTES PORCENTUAIS PARA O CÁLCULO DOS TEMPOS DE TRÂNSITO PARCIAIS NO CORPO CENTRAL DA REPRESA BILLINGS

Dist (km) x_i \ NA (m)	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	4	4	4
2	1	1	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6	6	6	7	7	7
3	1	2	1	3	5	6	7	8	8	8	8	8	8	8	10	11	12	13
4	5	6	5	8	10	11	12	13	13	14	14	15	15	15	15	16	16	16
5	13	12	13	11	18	19	20	21	21	22	22	23	23	23	24	24	24	25
6	25	25	24	25	26	26	25	26	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30
7	37	36	37	36	36	37	38	39	40	41	42	43	43	43	44	45	45	45
8	46	45	45	44	44	44	44	45	45	46	46	47	48	47	48	49	50	51
9	53	52	52	52	52	52	52	53	53	54	51	55	56	55	56	57	57	57
10	60	59	60	58	55	56	56	57	58	59	60	60	60	60	62	63	63	63
11	70	67	70	66	62	62	62	63	64	65	66	65	64	65	65	65	65	66
12	75	73	75	71	68	68	68	69	70	71	72	73	73	73	74	74	74	75
13	85	82	85	79	72	71	70	72	74	75	75	75	75	75	76	77	77	77
14	88	84	88	82	76	75	74	76	77	78	78	78	77	78	78	79	80	81
15	91	87	91	86	80	80	80	81	82	83	84	84	83	84	84	84	84	84
16	92	90	92	88	84	83	82	85	87	87	87	87	87	87	88	89	89	89
17	93	91	93	90	86	86	86	88	90	90	90	90	90	90	90	91	92	95
18	96	94	96	93	89	90	90	91	92	92	91	91	91	91	91	93	94	96
19	97	94	97	94	92	92	92	93	94	94	93	94	94	94	92	94	95	97
20	98	97	98	97	95	96	96	96	96	96	95	96	96	96	95	97	98	99
21	99	98	99	98	98	98	98	98	98	98	97	98	98	98	97	98	99	99
22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

A avaliação das condições críticas em um determinado ponto do reservatório será feita, impondo-se a essas variáveis faixas de validade, definidas por um valor máximo e um valor mínimo.

ISEC - ponto do reservatório onde será feita a avaliação
OD - faixa de valores permitidos para o oxigênio dissolvido
z - profundidade em que é feita a avaliação
DBO - faixa de valores permitidos para a DBO
Cmt - faixa de valores permitidos para a clorofila
N - faixa de valores permitidos para o coli-fecal.

Os nomes destas variáveis no programa estão descritos no próximo item.

EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO PROGRAMA "QUABIL"

São apresentados a seguir três exemplos típicos de aplicação do programa "QUABIL" na avaliação da qualidade das águas da represa Billings.

ESPECIFICAÇÕES DE ENTRADA

Sequência	CAMPO						
	Posições		Nº de carac.	A	N	Formato	Identificação do campo
	de	a					
1. Título							
1	01	18	08	A	N	20A4	TIT - Título impresso no cabeçalho
2. Constantes							
1	01	10	01	0	N	F10.0	T - Temperatura
2	11	20	01	0		10X	ØØØ ... ØØØ
3	21	30	01	0	N	F10.0	GBIS - Variável I_s
4	31	40	01	0	N	F10.0	FUNDO - Nível de referência
5	41	50	01	0	N	F10.0	ELE - Variável L
6	51	60	01	0	N	F10.0	X1 - Coeficiente de extinção
3. Variaveis 1							
1	01	08	08	A	-	8X	Identificação - NA , QP , QN
2	09	16	08		N	I8	NAMX - máximo — Variação do nível NA
3	19	24	08		N	I8	NAMN - mínimo
4	25	32	08		N	I8	DNA - incremento
5	33	40	08		N	I8	QPMX - máximo — Variação da vazão QP
6	41	48	08		N	I8	QPMN - mínimo
7	49	56	08		N	I8	DQP - incremento
8	57	64	08		N	I8	QNMX - máximo — Variação da vazão QN
9	65	72	08		N	I8	QNMN - mínimo
10	73	80	08		N	I8	DQN - incremento
4. Variaveis 2							
1	01	08	08	A		8X	Identificação - CO, DBO , N
2	09	16	08		N	F8.0	CM1 - máximo — Variação da clorofila inicial
3	17	24	08		N	F8.0	CM2 - mínimo
4	25	32	08		N	F8.0	DCM - incremento
5	33	40	08		N	I8	DBZX - máximo — Variação da DBO inicial
6	41	48	08		N	I8	DBZM - mínimo
7	49	56	08		N	I8	DDBZ - incremento
8	57	64	08		N	I8	NZMX - máximo — Variação de coliformes inicial
9	65	72	08		N	I8	NZNM - mínimo
10	73	80	08		N	I8	DNZ - incremento
5. Variáveis 3							
1	01	08	08		N	8X	Identificação - SNO , TESTE
2	09	16	08		N	F8.0	SN1 - máximo — Variação de SNO
3	17	24	08		N	F8.0	SN2 - mínimo
4	25	32	08		N	F8.0	DSN - incremento
							ITEST - variaveis críticas ?
5	33	33	35	0	3		N I3 — 0 ou Ø não; 1 — 999 sim

ESPECIFICAÇÃO DE ENTRADA (continuação)

Sequência	CAMPO						
	Posições		Nº	A	N	Formato	Identificação do campo
	de	a	de carac.				

6. Condições críticas

1	0	1	0	8	0	8		N	I8	ISEC - Ponto da represa para avaliação
2	0	9	1	6	0	8		N	F8.0	ODMX - máximo
3	1	7	2	4	0	8		N	F8.0	ODMN - mínimo
4	2	5	3	2	0	8		N	I8	Z - profundidade de avaliação
5	3	3	4	0	0	8		N	F8.0	DBOX - máximo
6	4	1	4	8	0	8		N	F8.0	DBON - mínimo
7	4	9	5	6	0	8		N	F8.0	CMMX - máximo
8	5	7	6	9	0	8		N	F8.0	CMMN - mínimo
9	6	5	7	2	0	8		N	F8.0	NMXI - máximo
10	7	3	8	0	0	8		N	F8.0	NMNI - mínimo

Condições de OD

Condições de DBO

Condições de clorofila

Condições de coliformes

EXEMPLO 1

Avaliação da qualidade das águas do corpo central da represa em condições atuais, a partir de vazões de recalque em Pedreira e níveis do reservatório pré-fixados.

a) Procedimentos de cálculo

- Escolha da época do ano.
- Seleção de faixas de vazão em Pedreira e níveis do reservatório compatíveis com a época escolhida.
- Seleção dos parâmetros climatológicos e dos parâmetros sanitários compatíveis com a época escolhida.

b) Exemplo numérico

Avaliar a qualidade das águas na represa em condições atuais de época seca, para as vazões de 10 a 50 m^3/s, variando em incrementos de 10 m^3/s para os níveis da água de 736, 741 e 746m.

Através dos procedimentos descritos no item anterior selecionaram-se os valores dos diversos parâmetros correspondentes à época seca (Quadros 22, 23 e 24) que foram a s guir processados pelo programa. Para este tipo de problema o programa opera no modo como referido anteriormente.

No anexo B é apresentada uma listagem integral dos resultados dos cálculos, bem como os valores adotados para os parâmetros de entrada.

Em relação às variações das concentrações dos parâmetros da qualidade da água ao

longo do corpo central observa-se o seguinte: as concentrações de oxigênio dissolvido aumentam com o aumento do nível do reservatório e diminuem à medida que a vazão na Barragem de Pedreira (Qp) aumenta; as concentrações de clorofila apresentam comportamento análogo ao do OD; as concentrações de coli-fecal e DBO diminuem com o aumento do nível e aumentam com a vazão. Este último parâmetro, nos trechos finais do reservatório, em virtude da parcela de contribuição das algas, mostra ligeira diminuição com o aumento da vazão.

EXEMPLO 2

Estabelecimento da vazão recalcada em Pedreira para satisfazer um determinado nível de qualidade das águas em uma dada secção da represa, em condições atuais.

a) Procedimentos de cálculo

- Seguem-se os mesmos procedimentos do item 4.1.1.
- Escolha do ponto do reservatório onde devem ser observadas as condições críticas.
- Imposição das condições críticas a serem observadas no ponto escolhido.

b) Exemplo numérico

Estabelecer a vazão de recalque em Pedreira para que se mantenham as concentrações de OD acima de 2 mg/l e as concentrações de DBO abaixo de 5 mg/litro em um ponto a 10 km da barragem de Pedreira, nas condições atuais em época de chuva.

Para solução deste exemplo foram simulados os níveis de águas de 736, 747 e 746 m e as vazões na barragem de Pedreira (Qp) de 10 a 70 m^3/s em incrementos de 10 m^3/s.

No anexo C encontra-se uma listagem integral dos resultados dos cálculos.

No Quadro 27, elaborado a partir dos resultados do presente exemplo, são apresentados os valores críticos permissíveis para satisfazer as condições de qualidade de água na secção a 10 km da barragem de Pedreira

QUADRO 27

Nível	Qp máximo	OD (X_{10})	DBO (X_{10})
736	20	2,0	3,5
741	40	2,1	3,6
746	60	2,1	3,6

Nesse Quadro observa-se que as vazões máximas são de 20, 40 e 60 m^3/s respectivamente para os níveis de 736, 741 e 746 m.

EXEMPLO 3

Avaliação das concentrações máximas permissíveis de materiais poluentes na Barragem de Pedreira para a obtenção de determinada qualidade das águas em um ponto previamente selecionado da represa, em condições futuras e em diferentes condições futuras e em diferentes condições de recalque em Pedreira.

a) Exemplo numérico

Avaliar as concentrações máximas permissíveis de materiais poluentes e vazões de recalque em Pedreira para que se mantenham as concentrações de OD acima de 3 mg/l e DBO abaixo de 5 mg/l com um nível de 743 m em um ponto distante de 10 km da barragem de Pedreira, em época intermediária.

Para este exemplo procedeu-se como indicado no Exemplo 2, utilizando os dados dos Quadros 22, 23 e 24. Foram simulados: Concentrações de nitrogênio (SN_o) 4, 8 e 12 mg/l; vazões Qp: 5 a 55 m^3/s em incrementos de 5 m^3/s; concentrações iniciais de DBO 20, 40 e 60 mg/l.

A listagem dos resultados deste exemplo é apresentado no Anexo D. Os resultados estão sintetizados no Quadro 28.

QUADRO 28

Nível	Qp máximo	DBO máximo	SN_o máximo	OD (X10) máximo	DBO (X10)
743	25	60	12	3,2	4,6

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Comissão de Estudos de regras de operação do reservatório Billings (CERORB) - Relatório de atividades - 1978.

2. Ministério do Interior - SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente. Classificação das Águas Interiores do Território Nacional. Portaria G.M./0013/15/Jan/1976.

3. Dorfman, R. and H.D. Jacoby - An illustrative model of river basin pollution control - by Models for managing regional water quality. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, p. 99,1972.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1) As variações nas condições sanitárias e ecológicas da represa Billings, dependem, essencialmente, da carga aloctone proveniente do rio Pinheiros, e da carga autoctone resultante do material acumulado na própria represa.

2) Os modelos matemáticos elaborados, relativos a DBO, OD, algas e coliformes fecais,

permitem avaliar, satisfatoriamente, estas variações na qualidade das águas da represa, podendo, consequentemente, ser utilizados como instrumentos auxiliares na elaboração de planos, visando a implantação de tratamentos necessários, bem como, no estabelecimento de regras operativas do sistema hídrico em estudo, com o objetivo de manter determinado nível de qualidade nas águas da represa.

3) O controle de qualidade das águas nesta represa, notadamente no corpo central, é importante não só do ponto de vista de eventuais utilizações múltiplas deste trecho, bem como de proteção da qualidade das águas da baía de Santos.

4) Para se obter a melhoria da qualidade das águas na represa Billings é necessário , antes da remoção das cargas autoctones, minimizar o lançamento das cargas aloctones, que são as responsáveis pelas primeiras.

5) Recomenda-se também um levantamento das demais cargas dirigidas à represa tando no que se refere aos demais afluentes à Billings como as cargas oriundas das áreas urbanas adjacentes ao Reservatório.

6) Como os materiais poluidores, oriundos da Região Metropolitana de São Paulo, afetam não apenas a qualidade das águas da represa Billings, recomenda-se a realização de estudos semelhantes aos desenvolvidos para esta represa, também aos sistemas hídricos da Baixada Santista e da Bacia do Médio e Baixo Tietê.

ANEXO A

LISTAGEM DO PROGRAMA "QUABIL"

```
PAGE     1. 13/07/78  GPH        VORTEX  FTN IV                1359 HOURS

      1  C
      2  C
      3         DIMENSION MAT(4),QA(22,18),APB(22),QA1(22),QA3(22),CMT(23),
      4        *          DBO(23),ENE(23),DD(6),TIT(20),TTRAN(22),V(22)
      5         DIMENSION AUX(22,4)
      6         EQUIVALENCE(AUX(1),QA(1,15))
      7         INTEGER DNA,QPMX,QPMN,DQP,QNMX,QNMN,DQN,CMZX,CMZN,DCMZ,DBZX,DBZN,
      8        *        DOBZ,DNZ,SNOX,SNON,DSNO,QP,QN,CMZ,DBZ,SNO,Z
      9         REAL NMXI,NMNI
     10         DATA QA/3*.01,.05,.13,.25,.37,.46,.53,.60,.70,.75,.85,.88,.91,.92,
     11        *        .93,.96,.97,.98,.99,1.,2*.01,.02,.06,.12,.25,.36,.45,.52,
     12        *        .59,.67,.73,.82,.84,.87,.90,.91,2*.94,.97,.98,1.,3*.01,.05,
     13        *        .13,.24,.37,.45,.52,.60,.70,.75,.85,.88,.91,.92,.93,.96,.97
     14        *,.98,.99,1.,2*.01,.03,.08,.11,.25,.36,.44,.52,.58,.66,.71,.79,.82,
     15        *.86,.88,.90,.93,.94,.97,.98,1.,.01,.02,.05,.1,.18,.26,.36,.44,.52,
     16        *.55,.62,.68,.72,.76,.80,.84,.86,.89,.92,.95,.98,1.,.01,.03,.06,.11
     17        *,.19,.26,.37,.44,.52,.56,.62,.68,.71,.75,.80,.83,.86,.90,.92,.96,
     18        *.98,1.,.01,.03,.07,.12,.2,.25,.38,.44,.52,.56,.62,.68,.7,.74,.8,
     19        *.82,.86,.9,.92,.96,.98,1.,.01,.04,.08,.13,.21,.26,.39,.45,.53,.57,
     20        *.63,.69,.72,.76,.81,.85,.88,.91,.93,.96,.98,1.,.01,.04,.08,.13,.21
     21        *,.27,.4,.45,.53,.58,.64,.7,.74,.77,.82,.87,.9,.92,.94,.96,.98,1.,
     22        *.02,.05,.08,.14,.22,.28,.41,.46,.54,.59,.65,.71,.75,.78,.83,.87,.9
     23        *,.92,.94,.96,.98,1.,.02,.05,.08,.14,.22,.28,.42,.46,.51,.60,.66,
     24        *.72,.75,.78,.84,.87,.9,.91,.93,.95,.97,1.,.02,.06,.08,.15,.23,.29,
     25        *.43,.47,.55,.60,.65,.73,.75,.78,.84,.87,.90,.91,.94,.96,.98,1.,.02
     26        *,.06,.08,.15,.23,.29,.43,.48,.56,.6,.64,.73,.75,.77,.83,.87,.9,.91
     27        *,.94,.96,.98,1.,.02,.06,.08,.15,.23,.29,.43,.47,.55,.60,.65,.73,.7
     28        *5,.78,.84,.87,.90,.91,.94,.96,.98,1.,88*0./
     29         DATA AUX/.03,.06,.1,.15,.24,.29,.44,.48,.56,.62,.65,.74,.76,.78,
     30        *.84,.88,.90,.91,.92,.95,.97,1.,.04,.07,.11,.16,.24,.3,.45,.49,.57,
     31        *.63,.65,.74,.77,.79,.84,.89,.91,.93,.94,.97,.98,1.,.04,.07,.12,.16
     32        *,.24,.30,.45,.5,.57,.63,.65,.74,.77,.80,.84,.89,.92,.94,.95,.98,
     33        *.99,1.,.04,.07,.13,.16,.25,.30,.45,.51,.57,.63,.66,.75,.77,.81,.84
     34        *,.89,.95,.96,.97,2*.99,1./
     35         DATA QA1/5*.1, 8*.19,9*.16/,QA3/5*.066, 8*.025,9*.01/,
     36        *          APB/5*1.34,2*.98,6*.80,9*.77/
     37         CALL DATE(MAT)
     38  C
     39  C      CONSTANTES DE ENTRADA
     40  C         TIT  =TITULO QUE SERA IMPRESSO NO CABECARIO
     41  C         T    =TEMPERATURA EM GRAUS CENTIGRADOS
     42  C         GBI  =VARIAVEL I USADA NO CALCULO DE GB
     43  C         GBIS =VARIAVEL IS USADA NO CALCULO DE GB
     44  C         FUNDO=NIVEL DE REFERENCIA DO FUNDO DA REPRESA
     45  C         ELE  =VARIAVEL L USADA NO CALCULO DE DD
     46        READ(13,1)TIT,T,GBIS,FUNDO,ELE,X8
     47  1     FORMAT(20A4/,F10.0,10X,4F10.0)
     48        GBI=ELE/720.
     49        GB=(EXP(1.-.0010*GBI/GBIS)-EXP(1.-GBI/GBIS))
     50        GO=.0765*1.072**(T-20.)
     51        GS=.360*1.072**(T-20.)
     52        GB=.150*1.072**(T-20.)
     53  C
     54  C      VARIAVEIS DE ENTRADA
     55  C         NAMX,NAMN,DNA  - MAXIMO,MINIMO E INCREMENTO P/ NIVEL DA REPRESA
     56  C         QPMX,QPMN,DQP  - MAXIMO,MINIMO E INCREMENTO P/ VAZAO EM PEDREIRA
     57  C         QNMX,QNMN,DQN  - MAXIMO,MINIMO E INCREMENTO P/ VAZAO NATURAL
     58  C         CMZX,CMZN,DCMZ - MAXIMO,MINIMO E INCREMENTO P/ CLOROFILA INICIAL
```

```
PAGE     2  13/07/78  GPM        VORTEX  FTN IV              1359 HOURS

59   C         DBZX,DBZN,DDBZ = MAXIMO,MINIMO E INCREMENTO P/ DBO INICIAL
60   C         NZMX,NZMN,DNZ  = MAXIMO,MINIMO E INCREMENTO P/ COLIFORMES INICIAL
61   C         ITEST = 0= NAO HA TESTE DE CONDICOES CRITICAS
62   C               = 1= HA TESTE DE CONDICOES CRITICAS
63        READ(4,2)NAMX,NAMN,DNA,QPMX,QPMN,DQP,QNMX,QNMN,DQN,CM1,CM2,DCM,
64       *         DBZX,DBZN,DDBZ,NZMX,NZMN,DNZ,SN1,SN2,DSN,ITEST
65   2    FORMAT(8X,918/,8X,3F8.0,6I8/,8X,3F8.0,I3)
66        CMZX=CM1*10. + .5
67        CMZN=CM2*10. + .5
68        DCMZ=DCM*10. + .5
69        SNOX=SN1*10. + .5
70        SNON=SN2*10. + .5
71        DSNO=DSN*10. + .5
72        ISEC=22
73   C    VARIAVEIS DE TESTE DE CONDICOES CRITICAS
74   C       ISEC = PONTO DA REPRESA ONDE SE FARA O TESTE DE CONDICOES CRITICAS
75   C       ODMX = MAXIMO OD PERMITIDO
76   C       ODMN = MINIMO OD PERMITIDO
77   C       Z    = PROFUNDIDADE EM QUE SERA TESTADO O OD (0,1,2,3,4,5)
78   C       DBOX = MAXIMO DBO PERMITIDO
79   C       DBON = MINIMO DBO PERMITIDO
80   C       CMMX = MAXIMO CMT PERMITIDO
81   C       CMMN = MINIMO CMT PERMITIDO
82   C       NMXI = MAXIMO N(COLIFORMES) PERMITIDO
83   C       NMNI = MINIMO N(COLIFORMES) PERMITIDO
84        IF(ITEST.NE.0)READ(4,3)ISEC,ODMX,ODMN,Z,DBOX,DBON,CMMX,CMMN,
85       *                       NMXI,NMNI
86   3    FORMAT(I6,2F8.0,I8,6F8.0)
87        NPAG=90
88   C
89   C    FIXA VARIAVEIS DE ENTRADA
90        DO 165 NA=NAMN,NAMX,DNA
91        DO 164 QP=QPMN,QPMX,DQP
92        DO 163 QN=QNMN,QNMX,DQN
93        DO 162 CMZ=CMZN,CMZX,DCMZ
94        DO 161 DBZ=DBZN,DBZX,DDBZ
95        DO 160 NZ=NZMN,NZMX,DNZ
96        DO 16 SNO=SNON,SNOX,DSNO
97          SN=FLOAT(SNO)/10.
98          CM1(1)=FLOAT(CMZ)/10.
99          QBO(1)=FLOAT(DBZ)
100         ENE(1)=FLOAT(NZ)
101         DESN=FLOAT(NA)-FUNDO
102         H=DESN/2.3
103         TTR=(302.24*FLOAT(NA)-221000.)/(FLOAT(QP)+FLOAT(QN)/2.)
104         QO=ALOG(1.+FLOAT(QN)/FLOAT(QP))/TTR
105  C
106  C       CALCULO AO LONGO DA REPRESA
107  C
108         DO 12 I=1,ISEC
109           TTRAN(I)=QA(I,NA-729)*TTR
110           V(I)=(FLOAT(I)*1.0E5)/(TTRAN(I)*86400.)
111           Q1=QA1(I)*1.072**(T-20.)
112           Q3=QA3(I)*1.072**(T-20.)
113  C
114  C        CALCULO DA CLOROFILA
115  C
116           JM=TTRAN(I) + .5
```

```
      SOMA=CMT(1)
      CMT1=CMT(1)
       IF(JM.LT.1)JM=1
        DO 8 J=1,JM
          GBB=GB*.51*1.072**(T-20.)/(X8+.555*CMT1**.512)
          SNM=SN-(1.45E-3*SOMA-FLOAT(J)*(.28/DESN))
          IF(SNM.LE..001) GO TO 16
          B=GBB/(1.+QS/SNM)-GO
          IF(J.EQ.1)GO TO 30
          DELCM=CMT2-CMT1
          CMT1=CMT2
          CMT2=CMT2*(1.+(EXP(B-.025545*H*DELCM)-1.)/H)
          GO TO 70
30        B=B+.025545*CMT1
C
C         RESOLUCAO DA EQUACAO LN(X/CMTJ)=-KC*X + B
C
            X1=CMT1
            X2=B/.025545
            IF(X2.GT.X1)GO TO 50
4           WRITE(5,5)NA,QP,QN,CMT(1),DBZ,NZ,SN
5           FORMAT('1'//, T10,20('*'),' EQUACAO TRANCEDENTAL COM RESUL
     *TADO INVALIDO'/,'NA=',I3,' ,QP= ',I3,' ,QN= ',I3,' , CMT(XO)=',
     *F5.1,' ,DBO= ',I3,' , NO=',I3,' , SNO=',F5.1)
            GO TO 16
50          F2=B-.025545*X1
            F1=ALOG(X2/CMT1)
            FMX=AMIN1(F1,F2)
            FMN=0.
            IF(FMX.LT.0.)GO TO 4
51          F=(FMX+FMN)/2.
            X2=(B-F)/.025545
            X1=CMT1*EXP(F)
            IF(ABS(X2-X1).LE..00011)GO TO 55
            IF(X2-X1)53,54,52
52          FMN=F
            GO TO 51
53          FMX=F
            GO TO 51
54          XO=X1
            GO TO 7
55          XO=(X1+X2)/2.
7         CMT2=((H-1.)*CMT1+XO)/H
70        SOMA=SOMA+CMT2
8       CONTINUE
        CMT(I+1)=CMT1+(CMT2-CMT1)*(TTRAN(I)-FLOAT(JM)+1.)
C
C       CALCULO DO DBO
C
        IF(I.EQ.1)GO TO 80
        Q=Q1+Q3+QD
        A=.0051*(CMT(I+1))**.97202
        DBO(I+1)=(DBO(2)-(APB(I)+A)/Q)*EXP((TTRAN(1)-TTRAN(I))*Q) +
     *            (APB(I)-A)/Q
        GO TO 81
80      DBO(I+1)=DBO(I)*.461023/(1.+.09667*TTRAN(I))
C
C     CALCULO DE COLIFORMES
```

```
PAGE    4  13/07/78  GPH        VORTEX  FTN IV              1359 HOURS

  175  C
  176  81        ENE(I+1)=FLOAT(NZ)*(1.+FLOAT(QN)/FLOAT(QP))*
  177       *              EXP(-QB*TTRAN(I))
  178  C
  179  C         CALCULO DO OXIGENIO DISSOLVIDO
  180  C
  181               OD  9 J=1,6
  182                 ELK=ELE/EXP(1.30*FLOAT(J-1))
  183               OD(J)=-4.84499+ .05622*CMT(I+1) + .05442*T +.00174*ELK +
  184       *      .25979*FLOAT(I)+ .036*TTRAN(I) - .02051*DBO(I+1)-.49925*FLOAT
  185       *      (J-1)
  186  9            CONTINUE
  187               IF(ITEST.NE.0)GO TO 12
  188               IF(I.EQ.1)WRITE(5,10)MAT,TIT,T,GBI,GBIS,FUNDO,ELE,NA,QP,QN,
  189       *             CMT(1),DBZ,NZ,SN
  190  10           FORMAT('1'///,T78,'PROCESSAMENTO DE ',4A2//,T19,20A4//,
  191       *           T19,'T=',F4.1,' GRAUS CELCIUS , I=',F6.2,' , IS=',
  192       *           F6.2,' , NREF=',F6.2,' METROS , L=',F5.1,' LANGLEY/DIA',
  193       *         /,T14,91('=')//,T15,'NA= ',I3,' METROS , QP= ',I3,'M3/S',
  194       *           ' , QN= ',I3,' M3/S , CMT(XO)=',F5.1,' MG/M3 ,',
  195       *           ' DBO(XO)= ',I3,' MG/L'/,T47,'NO= ',I3,' 1E5/100ML ',
  196       *           ' , SNO= ',F5.1/,T14,91('=')//,T15,'PONTO  T(XI)  CMT(',
  197       *        'XI) DBO(XI)    N(XI)    OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDA'
  198       *,          'DE DE (METROS)      V(XI) '/,T15,'(XI)   DIAS    MG/',
  199       *           'M3  MG/L     1E5NMP/ML  0',8X,'1',8X,'2',8X,'3',8X,'4',
  200       *           8X,'5',8X,'CM/S'/)
  201               WRITE(3,11)I,TTRAN(I),CMT(I+1),DBO(I+1),ENE(I+1),OD,V(I)
  202  11           FORMAT(' ',T15,'X',I2,2X,F6.2,2X,2(F6.2,2X),E9.2,1X,
  203       *     6(F6.2,3X),F5.2/)
  204  12        CONTINUE
  205            IF(ITEST.EQ.0)GO TO 16
  206  C
  207  C         TESTE DAS CONDICOES CRITICAS
  208  C
  209            IF(OD(Z+1).LT.ODMN.OR.OD(Z+1).GT.ODMX)GO TO 16
  210            IF(DBO(ISEC+1).LT.DBON.OR.DBO(ISEC+1).GT.DBOX)GO TO 16
  211            IF(CMT(ISEC+1).LT.CMMN.OR.CMT(ISEC+1).GT.CMMX)GO TO 16
  212            IF(ENE(ISEC+1).LT.NMNI.OR.ENE(ISEC+1).GT.NMXI)GO TO 16
  213            IF(NPAG.LT.58)GO TO 14
  214            WRITE(5,13)MAT,TIT,T,GBI,GBIS,FUNDO,ELE,ISEC,Z,ODMN,ODMX,ISEC,
  215       *              DBON,DBOX,ISEC,CMMN,CMMX,ISEC,NMNI,NMXI
  216  13        FORMAT('1'/,T80,'PROCESSAMENTO DE ',4A2//,T20,20A4//,T20,'T=',
  217       *         F4.1,' GRAUS CELCIUS , I=',F6.2,' , IS=',F6.2,' , NREF=',
  218       *         F6.2,' METROS , L=',F5.1,' LANGLEY'//,T35,'TESTE DE CON',
  219       *         'DICOES CRITICAS NO PONTO X',I2//,T15,'CONDICOES TESTADAS'
  220       *,        T35,'OD(',I1,'M) MAIOR QUE ',F5.1,' E MENOR QUE ',F5.1,
  221       *         T80,'UNIDADES EM MG/L'/,T33,'DBO(X',I2,') MAIOR QUE ',
  222       *         F5.1,' E MENOR QUE ',F5.1,T80,'UNIDADES EM MG/L'/,T33,
  223       *        'CMT(X',I2,') MAIOR QUE ',F5.1,' E MENOR QUE ',F5.1,T80,
  224       *        'UNIDADES EM MG/M3'/,T36,'N(X',I2,') MAIOR QUE ',F4.0,
  225       *        ' E MENOR QUE ',F4.0,T80,'UNIDADES EM 1E5/100ML '/,T15,
  226       *        91('='))
  227               NPAG=14
  228  14           WRITE(5,15)NA,QP,QN,CMT(1),DBZ,NZ,SN,Z,OD(Z+1),ISEC,DBO(ISEC+1),
  229       *              ISEC,CMT(ISEC+1),ISEC,ENE(ISEC+1)
  230  15        FORMAT(' '/,T16,'NA= ',I3,' METROS , QP= ',I3,' M3/S , QN= ',I3,
  231       *         ' M3/S , CMT(XO)= ',F5.1,' MG/M3 , DBO(XO)= ',I3,' MG/1',
  232       *         ' ,'/,T48,'N(XO)= ',I3,' 1E5/100ML  , SNO= ',F5.1/,T16,
```

```
PAGE    5  13/07/78  GPH        VORTEX  FTN IV                    1359 HOURS
  233          *          'RESULTADOS -----  OD(',I1,'M)= ',F5.1,' , DBO(X',I2
  234          *          ')= ',F5.1,' , CMT(X',I2,')= ',F5.1,' , N(X',I2,')=
  235          *          E9.2)
  236             NPAG=NPAG+4
  237   16     CONTINUE
  238   160    CONTINUE
  239   161    CONTINUE
  240   162    CONTINUE
  241   163    CONTINUE
  242   164    CONTINUE
  243   165    CONTINUE
  244          WRITE(15,500)
  245   500    FORMAT(1H1)
  246          CALL EXIT
  247          END
```

ANEXO B

RESULTADOS DO EXEMPLO 1

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 736 METROS , QP= 10M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	,93	3,28	29,17	,13E 03	-3,62	-4,43	-5,01	-5,54	-6,04	-6,54	1,24
X 2	2,80	3,90	24,62	,10E 03	-3,16	-3,97	-4,56	-5,08	-5,59	-6,09	,83
X 3	6,54	5,32	18,46	,66E 02	-2,56	-3,37	-3,96	-4,48	-4,98	-5,49	,53
X 4	11,22	7,42	14,24	,37E 02	-1,93	-2,74	-3,32	-3,85	-4,35	-4,85	,41
X 5	18,69	11,39	11,40	,15E 02	-1,12	-1,93	-2,51	-3,04	-3,54	-4,04	,31
X 6	23,36	14,15	6,18	,86E 01	-,43	-1,24	-1,82	-2,35	-2,85	-3,35	,30
X 7	35,51	21,93	6,02	,20E 01	,71	-,10	-,69	-1,21	-1,71	-2,21	,23
X 8	41,12	25,67	5,09	,10E 01	1,40	,59	,01	-,52	-1,02	-1,52	,23
X 9	48,60	30,71	5,20	,41E 00	2,21	1,40	,82	,29	-,21	-,71	,21
X10	52,34	33,22	5,26	,26E 00	2,74	1,93	1,35	,83	,32	-,18	,22
X11	57,94	36,98	5,36	,13E 00	3,42	2,60	2,02	1,50	,99	,49	,22
X12	63,55	40,70	5,45	,67E-01	4,08	3,27	2,69	2,17	1,66	1,16	,22
X13	65,42	41,93	5,48	,53E-01	4,48	3,67	3,09	2,56	2,06	1,56	,23
X14	69,16	44,38	6,72	,34E-01	4,99	4,18	3,59	3,07	2,56	2,06	,23
X15	74,77	48,01	6,83	,17E-01	5,65	4,84	4,26	3,73	3,23	2,73	,23
X16	76,64	49,20	6,86	,14E-01	6,04	5,23	4,65	4,13	3,62	3,12	,24
X17	80,38	51,58	6,94	,87E-02	6,57	5,76	5,18	4,65	4,15	3,65	,24
X18	84,11	53,92	7,01	,55E-02	7,09	6,28	5,70	5,18	4,67	4,17	,25
X19	85,98	55,08	7,04	,44E-02	7,49	6,68	6,09	5,57	5,06	4,56	,26
X20	89,72	57,39	7,11	,28E-02	8,01	7,20	6,61	6,09	5,59	5,09	,26
X21	91,59	58,53	7,15	,22E-02	8,40	7,59	7,00	6,48	5,98	5,48	,27
X22	93,46	59,71	7,18	,18E-02	8,79	7,98	7,40	6,88	6,37	5,87	,27

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 736 METROS , QP= 20M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	,57	3,17	30,15	,10E 03	-3,66	-4,47	-5,05	-5,57	-6,08	-6,58	2,04
X 2	1,70	3,52	27,10	,87E 02	-3,27	-4,08	-4,67	-5,19	-5,70	-6,20	1,36
X 3	3,98	4,31	22,29	,66E 02	-2,79	-3,60	-4,18	-4,71	-5,21	-5,71	,87
X 4	6,82	5,43	18,12	,47E 02	-2,28	-3,09	-3,67	-4,20	-4,70	-5,20	,68
X 5	11,36	7,49	14,16	,27E 02	-1,66	-2,47	-3,05	-3,58	-4,08	-4,58	,51
X 6	14,20	8,92	7,73	,19E 02	-1,08	-1,89	-2,48	-3,00	-3,51	-4,01	,49
X 7	21,59	13,08	6,30	,79E 01	-,30	-1,11	-1,69	-2,21	-2,72	-3,22	,38
X 8	25,00	15,15	5,12	,52E 01	,23	-,58	-1,17	-1,69	-2,19	-2,70	,37
X 9	29,54	18,03	5,02	,30E 01	,81	,00	-,58	-1,10	-1,61	-2,11	,35
X10	31,81	19,50	5,01	,23E 01	1,24	,43	-,16	-,68	-1,18	-1,68	,36
X11	35,22	21,74	5,03	,15E 01	1,75	,94	,35	-,17	-,68	-1,18	,36
X12	38,63	24,00	5,06	,10E 01	2,26	1,45	,86	,34	-,17	-,67	,36
X13	39,77	24,76	5,08	,87E 00	2,60	1,79	1,20	,68	,18	-,32	,38
X14	42,04	26,29	6,22	,66E 00	3,00	2,19	1,61	1,09	,58	,08	,39
X15	45,45	28,58	6,27	,44E 00	3,51	2,70	2,12	1,60	1,09	,59	,38
X16	46,58	29,35	6,29	,38E 00	3,86	3,05	2,46	1,94	1,43	,93	,40
X17	48,86	30,88	6,33	,29E 00	4,28	3,47	2,89	2,37	1,86	1,36	,40
X18	51,13	32,41	6,37	,22E 00	4,71	3,90	3,32	2,79	2,29	1,79	,41
X19	52,26	33,17	6,39	,19E 00	5,05	4,24	3,66	3,14	2,63	2,13	,42
X20	54,54	34,70	6,44	,15E 00	5,48	4,67	4,09	3,56	3,06	2,56	,42
X21	55,67	35,46	6,46	,13E 00	5,82	5,01	4,43	3,91	3,40	2,90	,44
X22	56,81	36,22	6,48	,11E 00	6,17	5,36	4,77	4,25	3,74	3,24	,45

=== QUALIDADE DA AGUA == REP. BILLINGS == EXEMPLO 1 = EPOCA SECA ===

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 736 METROS , QP= 30M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	,41	3,12	30,60	,90E 02	-3,68	-4,49	-5,07	-5,59	-6,10	-6,60	2,84
X 2	1,22	3,36	28,31	,81E 02	-3,33	-4,14	-4,72	-5,24	-5,75	-6,25	1,89
X 3	2,86	3,91	24,46	,67E 02	-2,90	-3,71	-4,29	-4,81	-5,32	-5,82	1,22
X 4	4,90	4,66	20,75	,52E 02	-2,45	-3,26	-3,84	-4,36	-4,87	-5,37	,95
X 5	8,16	6,01	16,67	,35E 02	-1,91	-2,72	-3,30	-3,83	-4,33	-4,83	,71
X 6	10,20	6,93	9,85	,27E 02	-1,38	-2,19	-2,78	-3,30	-3,81	-4,31	,68
X 7	15,51	9,62	7,29	,14E 02	-,73	-1,54	-2,12	-2,65	-3,15	-3,65	,52
X 8	17,95	10,97	5,79	,11E 02	-,27	-1,09	-1,67	-2,19	-2,70	-3,20	,52
X 9	21,22	12,86	5,36	,72E 01	,22	-,59	-1,18	-1,70	-2,20	-2,71	,49
X10	22,85	13,84	5,23	,59E 01	,59	-,22	-,80	-1,32	-1,83	-2,33	,51
X11	25,30	15,34	5,11	,44E 01	1,03	,22	-,37	-,89	-1,39	-1,89	,50
X12	27,75	16,88	5,04	,33E 01	1,46	,65	,07	-,45	-,96	-1,46	,50
X13	28,56	17,40	5,03	,30E 01	1,78	,97	,39	-,13	-,64	-1,14	,53
X14	30,20	18,45	6,25	,24E 01	2,14	1,33	,74	,22	-,29	-,79	,54
X15	32,65	20,04	6,20	,18E 01	2,57	1,76	1,18	,66	,15	-,35	,53
X16	33,46	20,58	6,19	,16E 01	2,89	2,08	1,50	,98	,47	-,03	,55
X17	35,09	21,65	6,18	,14E 01	3,27	2,46	1,88	1,36	,85	,35	,56
X18	36,73	22,73	6,18	,11E 01	3,65	2,84	2,26	1,74	1,23	,73	,57
X19	37,54	23,28	6,19	,10E 01	3,97	3,16	2,58	2,05	1,55	1,05	,59
X20	39,17	24,37	6,20	,83E 00	4,35	3,54	2,96	2,43	1,93	1,43	,59
X21	39,99	24,91	6,20	,75E 00	4,67	3,86	3,28	2,75	2,25	1,75	,61
X22	40,81	25,46	6,21	,68E 00	4,99	4,18	3,60	3,07	2,57	2,07	,62

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 736 METROS , QP= 40M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	,32	3,09	30,86	,85E 02	-3,69	-4,50	-5,08	-5,60	-6,11	-6,61	3,64
X 2	,96	3,28	29,03	,78E 02	-3,35	-4,16	-4,75	-5,27	-5,78	-6,28	2,42
X 3	2,23	3,69	25,83	,67E 02	-2,96	-3,77	-4,35	-4,88	-5,38	-5,88	1,56
X 4	3,82	4,26	22,56	,55E 02	-2,54	-3,35	-3,94	-4,46	-4,97	-5,47	1,21
X 5	6,37	5,24	18,67	,41E 02	-2,06	-2,87	-3,45	-3,97	-4,48	-4,98	,91
X 6	7,96	5,92	11,92	,34E 02	-1,56	-2,37	-2,96	-3,48	-3,99	-4,49	,87
X 7	12,10	7,85	8,62	,20E 02	-,98	-1,79	-2,37	-2,90	-3,40	-3,90	,67
X 8	14,01	8,82	6,86	,16E 02	-,56	-1,37	-1,95	-2,48	-2,98	-3,48	,66
X 9	16,56	10,19	6,08	,12E 02	-,11	-,93	-1,51	-2,03	-2,54	-3,04	,63
X10	17,83	10,90	5,81	,10E 02	,24	-,57	-1,16	-1,68	-2,19	-2,69	,65
X11	19,74	11,99	5,51	,81E 01	,63	-,18	-,76	-1,28	-1,79	-2,29	,64
X12	21,65	13,12	5,32	,64E 01	1,03	,22	-,37	-,89	-1,39	-1,90	,64
X13	22,29	13,50	5,26	,59E 01	1,33	,52	-,06	-,58	-1,09	-1,59	,68
X14	23,56	14,27	6,66	,51E 01	1,65	,84	,26	-,26	-,77	-1,27	,69
X15	25,47	15,45	6,48	,40E 01	2,05	1,24	,66	,13	-,37	-,87	,68
X16	26,11	15,85	6,44	,37E 01	2,36	1,55	,96	,44	-,06	-,57	,71
X17	27,38	16,65	6,36	,32E 01	2,71	1,90	1,32	,79	,29	-,21	,72
X18	28,65	17,46	6,30	,28E 01	3,06	2,25	1,67	1,15	,64	,14	,73
X19	29,29	17,87	6,28	,25E 01	3,37	2,56	1,97	1,45	,95	,45	,75
X20	30,56	18,69	6,24	,22E 01	3,72	2,91	2,33	1,80	1,30	,80	,76
X21	31,20	19,10	6,23	,20E 01	4,03	3,22	2,63	2,11	1,60	1,10	,78
X22	31,84	19,52	6,22	,19E 01	4,33	3,52	2,94	2,42	1,91	1,41	,80

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 736 METROS , QP= 50M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	,26	3,08	31,03	,82E 02	-3,69	-4,50	-,09	-5,61	-6,11	-6,62	4,43
X 2	,78	3,23	29,50	,77E 02	-3,37	-4,18	-4,77	-5,29	-5,80	-6,30	2,96
X 3	1,83	3,56	26,77	,67E 02	-3,00	-3,81	-4,40	-4,92	-5,42	-5,92	1,90
X 4	3,13	4,01	23,88	,58E 02	-2,61	-3,42	-4,00	-4,53	-5,03	-5,53	1,48
X 5	5,22	4,78	20,25	,45E 02	-2,16	-2,97	-3,55	-4,07	-4,58	-5,08	1,11
X 6	6,53	5,31	13,76	,38E 02	-1,69	-2,50	-3,08	-3,60	-4,11	-4,61	1,06
X 7	9,92	6,80	10,03	,25E 02	-1,14	-1,96	-2,54	-3,06	-3,57	-4,07	,82
X 8	11,48	7,55	8,09	,21E 02	-,75	-1,56	-2,14	-2,66	-3,17	-3,67	,81
X 9	13,57	8,60	7,02	,16E 02	-,33	-1,14	-1,73	-2,25	-2,75	-3,25	,77
X10	14,62	9,15	6,63	,14E 02	,01	-,81	-1,39	-1,91	-2,42	-2,92	,79
X11	16,18	9,98	6,16	,12E 02	,38	-,43	-1,02	-1,54	-2,04	-2,55	,79
X12	17,75	10,85	5,82	,98E 01	,75	-,06	-,64	-1,17	-1,67	-2,17	,78
X13	18,27	11,15	5,73	,92E 01	1,05	,24	-,35	-,87	-1,38	-1,88	,82
X14	19,31	11,74	7,32	,81E 01	1,35	,53	-,05	-,57	-1,08	-1,58	,84
X15	20,88	12,66	7,02	,67E 01	1,72	,91	,32	-,20	-,70	-1,20	,83
X16	21,40	12,97	6,94	,63E 01	2,02	1,21	,62	,10	-,41	-,91	,87
X17	22,45	13,59	6,79	,56E 01	2,35	1,54	,96	,44	-,07	-,57	,88
X18	23,49	14,23	6,66	,49E 01	2,69	1,88	1,29	,77	,27	-,24	,89
X19	24,01	14,55	6,61	,46E 01	2,99	2,17	1,59	1,07	,56	,06	,92
X20	25,06	15,19	6,52	,41E 01	3,32	2,51	1,93	1,40	,90	,40	,92
X21	25,58	15,52	6,48	,38E 01	3,62	2,81	2,22	1,70	1,20	,70	,95
X22	26,10	15,84	6,44	,36E 01	3,92	3,11	2,52	2,00	1,49	,99	,98

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 741 METROS , QP= 10M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	3,82	3,74	23,23	,91E 02	-3,37	-4,18	-4,76	-5,28	-5,79	-6,29	,30
X 2	11,46	5,52	14,57	,36E 02	-2,55	-3,36	-3,95	-4,47	-4,98	-5,48	,20
X 3	15,28	6,55	12,70	,23E 02	-2,06	-2,87	-3,45	-3,98	-4,48	-4,98	,23
X 4	28,64	10,74	10,53	,45E 01	-1,04	-1,85	-2,43	-2,96	-3,46	-3,96	,16
X 5	43,92	16,33	10,34	,72E 00	,09	-,72	-1,31	-1,83	-2,33	-2,83	,13
X 6	55,38	20,85	6,08	,18E 00	1,10	,29	-,29	-,81	-1,32	-1,82	,13
X 7	82,11	31,79	6,36	,71E-02	2,93	2,12	1,54	1,02	,51	,01	,10
X 8	89,75	34,92	5,42	,28E-02	3,66	2,85	2,27	1,75	1,24	,74	,10
X 9	105,03	41,12	5,58	,44E-03	4,82	4,01	3,42	2,90	2,40	1,90	,10
X10	114,57	44,93	5,68	,14E-03	5,63	4,82	4,24	3,72	3,21	2,71	,10
X11	124,12	48,67	5,77	,44E-04	6,45	5,64	5,05	4,53	4,02	3,52	,10
X12	139,40	54,65	5,92	,69E-05	7,59	6,78	6,19	5,67	5,17	4,67	,10
X13	143,22	56,45	5,97	,44E-05	8,09	7,28	6,69	6,17	5,66	5,16	,11
X14	148,95	63,70	7,52	,22E-05	8,93	8,12	7,53	7,01	6,51	6,01	,11

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 741 METROS , QP= 20M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	2,32	3,44	25,98	,81E 02	-3,49	-4,30	-4,89	-5,41	-5,92	-6,42	,50
X 2	6,96	4,43	18,39	,46E 02	-2,85	-3,67	-4,25	-4,77	-5,28	-5,78	,33
X 3	9,29	4,98	16,08	,35E 02	-2,43	-3,24	-3,83	-4,35	-4,86	-5,36	,37
X 4	17,41	7,16	12,00	,13E 02	-1,67	-2,49	-3,07	-3,59	-4,10	-4,60	,27
X 5	26,70	10,08	10,64	,42E 01	-,89	-1,70	-2,28	-2,81	-3,31	-3,81	,22
X 6	33,66	12,50	5,95	,18E 01	-,15	-,96	-1,54	-2,06	-2,57	-3,07	,21
X 7	49,91	18,67	6,03	,26E 00	1,04	,23	-,35	-,87	-1,38	-1,88	,16
X 8	54,55	20,52	5,06	,15E 00	1,59	,78	,20	-,32	-,83	-1,33	,17
X 9	63,84	24,28	5,16	,48E-01	2,40	1,59	1,00	,48	-,02	-,53	,16
X10	69,64	26,66	5,22	,24E-01	3,00	2,19	1,60	1,08	,58	,08	,17
X11	75,45	29,05	5,28	,12E-01	3,60	2,79	2,21	1,68	1,18	,68	,17
X12	84,73	32,87	5,38	,38E-02	4,41	3,60	3,01	2,49	1,99	1,48	,16
X13	87,05	33,82	5,40	,29E-02	4,80	3,99	3,41	2,89	2,38	1,88	,17
X14	90,54	35,24	6,62	,19E-02	5,24	4,43	3,85	3,33	2,82	2,32	,18
X15	97,50	38,08	6,71	,81E-03	5,91	5,10	4,52	4,00	3,49	2,99	,18
X16	100,98	39,49	6,76	,53E-03	6,38	5,57	4,98	4,46	3,95	3,45	,18
X17	104,46	40,90	6,80	,35E-03	6,84	6,03	5,44	4,92	4,42	3,92	,19
X18	105,62	41,36	6,82	,30E-03	7,17	6,36	5,77	5,25	4,74	4,24	,20
X19	109,11	42,76	6,86	,20E-03	7,63	6,82	6,23	5,71	5,21	4,71	,20
X20	111,43	43,68	6,89	,15E-03	8,02	7,21	6,63	6,11	5,60	5,10	,21
X21	113,75	44,60	6,92	,11E-03	8,42	7,61	7,02	6,50	6,00	5,50	,21
X22	116,07	45,52	6,95	,85E-04	8,81	8,00	7,42	6,90	6,39	5,89	,22

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 741 METROS , QP= 30M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	1,67	3,31	27,39	,77E 02	-3,55	-4,36	-4,95	-5,47	-5,98	-6,48	,69
X 2	5,00	3,99	20,95	,52E 02	-3,00	-3,81	-4,40	-4,92	-5,43	-5,93	,46
X 3	6,67	4,36	18,69	,42E 02	-2,62	-3,43	-4,01	-4,53	-5,04	-5,54	,52
X 4	12,51	5,80	13,87	,21E 02	-1,97	-2,78	-3,36	-3,88	-4,39	-4,89	,37
X 5	19,18	7,69	11,57	,93E 01	-1,31	-2,12	-2,71	-3,23	-3,74	-4,24	,30
X 6	24,18	9,25	6,19	,51E 01	-,67	-1,49	-2,07	-2,59	-3,10	-3,60	,29
X 7	35,85	13,30	5,94	,12E 01	,24	-,57	-1,16	-1,68	-2,18	-2,69	,23
X 8	39,19	14,53	4,94	,83E 00	,71	-,10	-,69	-1,21	-1,72	-2,22	,24
X 9	45,86	17,08	4,98	,37E 00	1,35	,54	-,04	-,57	-1,07	-1,57	,23
X10	50,02	18,72	5,02	,22E 00	1,85	1,04	,46	-,07	-,57	-1,07	,23
X11	54,19	20,38	5,06	,13E 00	2,35	1,54	,96	,44	-,07	-,57	,23
X12	60,86	23,07	5,13	,60E-01	3,00	2,19	1,61	1,09	,58	,08	,23
X13	62,53	23,75	5,14	,49E-01	3,36	2,55	1,97	1,44	,94	,44	,24
X14	65,03	24,77	6,29	,36E-01	3,74	2,93	2,35	1,83	1,32	,82	,25
X15	70,04	26,82	6,36	,20E-01	4,30	3,49	2,90	2,38	1,88	1,37	,25
X16	72,54	27,85	6,39	,15E-01	4,71	3,89	3,31	2,79	2,28	1,78	,26
X17	75,04	28,88	6,42	,11E-01	5,11	4,30	3,72	3,20	2,69	2,19	,26
X18	75,87	29,22	6,43	,98E-02	5,42	4,61	4,03	3,50	3,00	2,50	,27
X19	78,37	30,25	6,47	,72E-02	5,83	5,02	4,43	3,91	3,41	2,90	,28
X20	80,04	30,94	6,49	,59E-02	6,19	5,38	4,79	4,27	3,76	3,26	,29
X21	81,71	31,62	6,51	,48E-02	6,54	5,73	5,15	4,63	4,12	3,62	,30
X22	83,37	32,31	6,53	,39E-02	6,90	6,09	5,51	4,98	4,48	3,98	,31

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 741 METROS , QP= 40M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	1,30	3,24	28,26	,75E 02	-3,59	-4,40	-4,98	-5,51	-6,01	-6,51	,89
X 2	3,90	3,76	22,73	,55E 02	-3,09	-3,90	-4,49	-5,01	-5,51	-6,02	,59
X 3	5,20	4,04	20,63	,47E 02	-2,73	-3,54	-4,12	-4,64	-5,15	-5,65	,67
X 4	9,75	5,10	15,65	,27E 02	-2,14	-2,95	-3,54	-4,06	-4,56	-5,06	,47
X 5	14,96	6,47	12,76	,14E 02	-1,56	-2,37	-2,95	-3,48	-3,98	-4,48	,39
X 6	18,86	7,59	6,75	,90E 01	-,97	-1,78	-2,37	-2,89	-3,39	-3,89	,37
X 7	27,97	10,51	6,02	,30E 01	-,20	-1,01	-1,60	-2,12	-2,63	-3,13	,29
X 8	30,57	11,41	4,96	,22E 01	,22	-,59	-1,17	-1,70	-2,20	-2,70	,30
X 9	35,78	13,27	4,93	,12E 01	,77	-,04	-,62	-1,14	-1,65	-2,15	,29
X10	39,03	14,48	4,93	,78E 00	1,22	,41	-,18	-,70	-1,20	-1,71	,30
X11	42,28	15,70	4,95	,53E 00	1,66	,85	,27	-,25	-,76	-1,26	,30
X12	47,49	17,72	5,00	,28E 00	2,22	1,41	,83	,31	-,20	-,70	,29
X13	48,79	18,23	5,01	,24E 00	2,56	1,75	1,16	,64	,14	-,37	,31
X14	50,74	19,00	6,12	,19E 00	2,91	2,10	1,51	,99	,49	-,01	,32
X15	54,64	20,56	6,17	,12E 00	3,40	2,59	2,00	1,48	,97	,47	,32
X16	56,59	21,34	6,19	,94E-01	3,77	2,96	2,37	1,85	1,35	,85	,33
X17	58,55	22,13	6,21	,74E-01	4,14	3,33	2,75	2,23	1,72	1,22	,34
X18	59,20	22,39	6,22	,69E-01	4,44	3,63	3,05	2,52	2,02	1,52	,35
X19	61,15	23,19	6,24	,54E-01	4,82	4,00	3,42	2,90	2,39	1,89	,36
X20	62,45	23,72	6,26	,46E-01	5,15	4,34	3,76	3,23	2,73	2,23	,37
X21	63,75	24,25	6,28	,40E-01	5,49	4,68	4,09	3,57	3,07	2,56	,38
X22	65,05	24,78	6,29	,34E-01	5,82	5,01	4,43	3,91	3,40	2,90	,39

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA --

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 741 METROS , QP= 50M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	1,07	3,19	28,84	,74E 02	-3,61	-4,42	-5,01	-5,53	-6,03	-6,53	1,09
X 2	3,20	3,61	24,01	,57E 02	-3,15	-3,96	-4,55	-5,07	-5,57	-6,08	,72
X 3	4,27	3,84	22,09	,50E 02	-2,80	-3,61	-4,20	-4,72	-5,22	-5,73	,81
X 4	8,00	4,67	17,20	,32E 02	-2,26	-3,07	-3,66	-4,18	-4,68	-5,18	,58
X 5	12,27	5,74	13,99	,19E 02	-1,72	-2,53	-3,12	-3,64	-4,14	-4,64	,47
X 6	15,47	6,60	7,52	,13E 02	-1,16	-1,98	-2,56	-3,08	-3,59	-4,09	,45
X 7	22,93	8,85	6,26	,53E 01	-,46	-1,29	-1,88	-2,40	-2,91	-3,41	,35
X 8	25,07	9,54	5,12	,41E 01	-,09	-,90	-1,48	-2,00	-2,51	-3,01	,37
X 9	29,33	10,98	4,98	,24E 01	,41	-,40	-,98	-1,51	-2,01	-2,51	,36
X10	32,00	11,91	4,94	,18E 01	,82	,01	-,57	-1,10	-1,60	-2,10	,36
X11	34,66	12,87	4,93	,13E 01	1,23	,42	-,16	-,69	-1,19	-1,69	,37
X12	38,93	14,44	4,93	,76E 00	1,73	,92	,34	-,18	-,69	-1,19	,36
X13	40,00	14,84	4,94	,67E 00	2,05	1,24	,66	,14	-,37	-,87	,38
X14	41,60	15,44	6,06	,55E 00	2,38	1,57	,99	,46	-,04	-,54	,39
X15	44,80	16,67	6,08	,37E 00	2,82	2,01	1,43	,91	,40	-,10	,39
X16	46,40	17,29	6,09	,31E 00	3,18	2,37	1,78	1,26	,75	,25	,40
X17	48,00	17,92	6,10	,25E 00	3,53	2,72	2,13	1,61	1,11	,61	,41
X18	48,53	18,13	6,10	,24E 00	3,82	3,01	2,43	1,90	1,40	,90	,43
X19	50,13	18,76	6,12	,20E 00	4,17	3,36	2,78	2,26	1,75	1,25	,44
X20	51,20	19,18	6,13	,17E 00	4,49	3,68	3,10	2,58	2,07	1,57	,45
X21	52,26	19,61	6,14	,15E 00	4,82	4,01	3,42	2,90	2,39	1,89	,47
X22	53,33	20,03	6,15	,13E 00	5,14	4,33	3,74	3,22	2,72	2,21	,48

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 746 METROS , QP= 10M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SND= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	11,54	4,75	15,04	,36E 02	-2,86	-3,67	-4,26	-4,78	-5,29	-5,79	,10
X 2	20,19	6,36	11,58	,13E 02	-2,13	-2,94	-3,53	-4,05	-4,55	-5,05	,11
X 3	34,61	9,50	10,37	,22E 01	-1,15	-1,96	-2,54	-3,07	-3,57	-4,07	,10
X 4	46,15	12,36	10,30	,55E 00	-,31	-1,12	-1,71	-2,23	-2,74	-3,24	,10
X 5	69,23	18,65	10,47	,34E-01	1,13	,32	-,27	-,79	-1,29	-1,80	,08
X 6	86,54	23,66	6,20	,41E-02	2,38	1,57	,98	,46	-,04	-,54	,08
X 7	129,81	36,41	6,53	,22E-04	4,91	4,10	3,51	2,99	2,48	1,98	,06
X 8	144,23	40,60	5,61	,39E-05	5,94	5,13	4,55	4,02	3,52	3,02	,06
X 9	164,42	46,33	5,76	,34E-06	7,25	6,44	5,85	5,33	4,82	4,32	,06
X10	181,73	51,11	5,88	,41E-07	8,40	7,58	7,00	6,48	5,97	5,47	,06
X11	187,50	52,67	5,92	,21E-07	8,95	8,14	7,56	7,03	6,53	6,03	,07

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 746 METROS , QP= 20M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	7,01	4,01	18,96	,46E 02	-3,15	-3,96	-4,54	-5,07	-5,57	-6,07	,17
X 2	12,27	4,88	14,38	,24E 02	-2,56	-3,37	-3,95	-4,47	-4,98	-5,48	,19
X 3	21,04	6,53	11,38	,84E 01	-1,83	-2,64	-3,22	-3,74	-4,25	-4,75	,17
X 4	28,05	8,01	10,62	,36E 01	-1,22	-2,03	-2,61	-3,13	-3,64	-4,14	,17
X 5	42,08	11,32	10,30	,66E 00	-,26	-1,07	-1,65	-2,18	-2,68	-3,18	,14
X 6	52,60	14,05	5,96	,18E 00	,62	-,19	-,77	-1,29	-1,80	-2,30	,13
X 7	78,90	21,43	6,14	,77E-02	2,24	1,43	,85	,32	-,18	-,68	,10
X 8	87,67	23,99	5,19	,27E-02	2,98	2,17	1,58	1,06	,56	,06	,11
X 9	99,94	27,61	5,28	,60E-03	3,88	3,07	2,49	1,97	1,46	,96	,10
X10	110,46	30,72	5,36	,17E-03	4,69	3,88	3,30	2,78	2,27	1,77	,10
X11	113,97	31,75	5,39	,11E-03	5,14	4,33	3,74	3,22	2,72	2,21	,11
X12	129,75	36,39	5,50	,16E-04	6,22	5,41	4,83	4,31	3,80	3,30	,11
X13	135,01	37,93	5,54	,87E-05	6,76	5,95	5,36	4,84	4,34	3,84	,11
X14	140,27	39,45	6,82	,46E-05	7,27	6,46	5,87	5,35	4,84	4,34	,12
X15	147,28	41,47	6,88	,20E-05	7,89	7,08	6,50	5,98	5,47	4,97	,12
X16	156,05	43,97	6,96	,68E-06	8,61	7,80	7,21	6,69	6,18	5,68	,12
X17	161,31	45,46	7,01	,36E-06	9,14	8,33	7,74	7,22	6,72	6,21	,12
X18	164,82	46,44	7,04	,24E-06	9,58	8,77	8,18	7,66	7,16	6,66	,13
X19	166,57	46,93	7,06	,19E-06	9,93	9,12	8,53	8,01	7,51	7,01	,13
X20	171,83	48,39	7,11	,10E-06	10,46	9,65	9,06	8,54	8,04	7,54	,13
X21	173,58	48,88	7,12	,82E-07	10,81	10,00	9,41	8,89	8,39	7,89	,14
X22	175,34	49,36	7,14	,66E-07	11,16	10,35	9,76	9,24	8,74	8,24	,15

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 746 METROS , QP= 30M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	5,04	3,71	21,39	,51E 02	-3,29	-4,10	-4,68	-5,20	-5,71	-6,21	,23
X 2	8,82	4,30	16,80	,32E 02	-2,76	-3,57	-4,16	-4,68	-5,19	-5,69	,26
X 3	15,11	5,38	12,90	,15E 02	-2,14	-2,95	-3,53	-4,05	-4,56	-5,06	,23
X 4	20,15	6,35	11,50	,82E 01	-1,61	-2,42	-3,01	-3,53	-4,03	-4,54	,23
X 5	30,23	8,49	10,49	,24E 01	-,85	-1,66	-2,24	-2,77	-3,27	-3,77	,19
X 6	37,78	10,26	5,90	,98E 00	-,12	-,93	-1,52	-2,04	-2,55	-3,05	,18
X 7	56,68	15,15	5,98	,10E 00	1,09	,28	-,30	-,83	-1,33	-1,83	,14
X 8	62,97	16,89	5,00	,47E-01	1,69	,88	,30	-,22	-,73	-1,23	,15
X 9	71,79	19,38	5,07	,16E-01	2,41	1,60	1,02	,49	-,01	-,51	,15
X10	79,35	21,56	5,12	,64E-02	3,06	2,25	1,67	1,15	,64	,14	,15
X11	81,86	22,29	5,14	,47E-02	3,46	2,64	2,06	1,54	1,03	,53	,16
X12	93,20	25,62	5,23	,12E-02	4,31	3,50	2,91	2,39	1,89	1,38	,15
X13	96,98	26,73	5,26	,76E-03	4,77	3,96	3,37	2,85	2,34	1,84	,16
X14	100,76	27,85	6,45	,48E-03	5,20	4,39	3,81	3,28	2,78	2,28	,16
X15	105,79	29,34	6,49	,26E-03	5,72	4,91	4,33	3,81	3,30	2,80	,16
X16	112,09	31,20	6,55	,12E-03	6,31	5,50	4,92	4,40	3,89	3,39	,17
X17	115,87	32,31	6,59	,78E-04	6,77	5,96	5,38	4,85	4,35	3,85	,17
X18	118,39	33,06	6,61	,57E-04	7,16	6,35	5,77	5,25	4,74	4,24	,18
X19	119,65	33,43	6,63	,49E-04	7,49	6,68	6,09	5,57	5,07	4,57	,18
X20	123,43	34,54	6,66	,31E-04	7,95	7,14	6,55	6,03	5,52	5,02	,19
X21	124,69	34,91	6,67	,27E-04	8,27	7,46	6,88	6,36	5,85	5,35	,19
X22	125,95	35,28	6,69	,23E-04	8,60	7,79	7,20	6,68	6,18	5,67	,20

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 1 - EPOCA SECA ---

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 746 METROS , QP= 40M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	3,93	3,54	23,05	,55E 02	-3,37	-4,18	-4,76	-5,29	-5,79	-6,29	,29
X 2	6,88	3,99	18,73	,38E 02	-2,89	-3,70	-4,28	-4,81	-5,31	-5,81	,34
X 3	11,79	4,79	14,47	,21E 02	-2,32	-3,13	-3,72	-4,24	-4,74	-5,24	,29
X 4	15,72	5,50	12,64	,13E 02	-1,84	-2,65	-3,24	-3,76	-4,26	-4,77	,29
X 5	23,58	7,05	10,97	,51E 01	-1,18	-1,99	-2,57	-3,10	-3,60	-4,10	,25
X 6	29,48	8,32	6,00	,25E 01	-,53	-1,34	-1,93	-2,45	-2,96	-3,46	,24
X 7	44,22	11,86	5,91	,42E 00	,46	-,35	-,94	-1,46	-1,96	-2,46	,18
X 8	49,13	13,13	4,91	,23E 00	,99	,18	-,41	-,93	-1,44	-1,94	,19
X 9	56,01	14,97	4,96	,10E 00	1,60	,79	,20	-,32	-,83	-1,33	,19
X10	61,91	16,59	5,00	,49E-01	2,16	1,35	,76	,24	-,26	-,76	,19
X11	63,87	17,14	5,01	,39E-01	2,52	1,71	1,13	,60	,10	-,40	,20
X12	72,72	19,65	5,08	,13E-01	3,24	2,43	1,84	1,32	,82	,31	,19
X13	75,66	20,49	5,10	,94E-02	3,65	2,84	2,26	1,73	1,23	,73	,20
X14	78,61	21,35	6,24	,65E-02	4,04	3,23	2,65	2,12	1,62	1,12	,21
X15	82,54	22,49	6,27	,41E-02	4,51	3,70	3,11	2,59	2,08	1,58	,21
X16	87,46	23,93	6,32	,22E-02	5,02	4,21	3,63	3,11	2,60	2,10	,21
X17	90,40	24,79	6,35	,16E-02	5,44	4,63	4,04	3,52	3,01	2,51	,22
X18	92,37	25,37	6,37	,12E-02	5,80	4,99	4,41	3,88	3,38	2,88	,23
X19	93,35	25,66	6,38	,11E-02	6,11	5,30	4,72	4,19	3,69	3,19	,24
X20	96,30	26,53	6,40	,77E-03	6,53	5,71	5,13	4,61	4,10	3,60	,24
X21	97,28	26,82	6,41	,69E-03	6,84	6,03	5,44	4,92	4,41	3,91	,25
X22	98,27	27,11	6,42	,61E-03	7,15	6,34	5,75	5,23	4,73	4,22	,26

=== QUALIDADE DA AGUA == REP. BILLINGS == EXEMPLO 1 = EPOCA SECA ===

T=16,9 GRAUS CELCIUS , I= ,34 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=246,0 LANGLEY/DIA

NA= 746 METROS , QP= 50M3/S , QN= 11 M3/S , CMT(XO)= 3,0 MG/M3 , DBO(XO)= 69 MG/L
NO= 69 1E5/100ML , SNO= 9,7

PONTO (XI)	T(XI) DIAS	CMT(XI) MG/M3	DBO(XI) MG/L	N(XI) 1E5NMP/ML	OXIGENIO DISSOLVIDO NA PROFUNDIDADE DE (METROS) 0	1	2	3	4	5	V(XI) CM/S
X 1	3,22	3,44	24,25	,57E 02	=3,43	=4,24	=4,82	=5,34	=5,85	=6,35	,36
X 2	5,64	3,80	20,25	,43E 02	=2,98	=3,79	=4,37	=4,89	=5,40	=5,90	,41
X 3	9,67	4,44	15,92	,26E 02	=2,45	=3,26	=3,84	=4,36	=4,87	=5,37	,36
X 4	12,89	4,99	13,83	,18E 02	=2,00	=2,81	=3,39	=3,91	=4,42	=4,92	,36
X 5	19,33	6,19	11,63	,81E 01	=1,39	=2,20	=2,79	=3,31	=3,82	=4,32	,30
X 6	24,17	7,17	6,24	,45E 01	=,79	=1,60	=2,19	=2,71	=3,22	=3,72	,29
X 7	36,25	9,89	5,90	,11E 01	,06	=,75	=1,33	=1,86	=2,36	=2,86	,22
X 8	40,28	10,87	4,87	,65E 00	,54	=,27	=,85	=1,37	=1,88	=2,38	,23
X 9	45,92	12,30	4,89	,33E 00	1,08	,27	=,31	=,83	=1,34	=1,84	,23
X10	50,75	13,56	4,92	,18E 00	1,59	,78	,19	=,33	=,83	=1,33	,23
X11	52,36	13,99	4,93	,15E 00	1,93	1,12	,54	,01	=,49	=,99	,24
X12	59,61	15,96	4,98	,62E=01	2,56	1,75	1,17	,64	,14	=,36	,23
X13	62,03	16,63	5,00	,47E=01	2,95	2,13	1,55	1,03	,52	,02	,24
X14	64,45	17,30	6,11	,35E=01	3,31	2,50	1,91	1,39	,88	,38	,25
X15	67,67	18,21	6,14	,24E=01	3,73	2,92	2,34	1,82	1,31	,81	,26
X16	71,70	19,36	6,17	,14E=01	4,20	3,39	2,81	2,28	1,78	1,28	,26
X17	74,11	20,05	6,19	,11E=01	4,59	3,78	3,19	2,67	2,16	1,66	,27
X18	75,73	20,51	6,21	,89E=02	4,93	4,12	3,54	3,01	2,51	2,01	,28
X19	76,53	20,75	6,22	,81E=02	5,23	4,42	3,84	3,32	2,81	2,31	,29
X20	78,95	21,44	6,24	,60E=02	5,62	4,81	4,22	3,70	3,20	2,69	,29
X21	79,75	21,68	6,25	,55E=02	5,92	5,11	4,53	4,00	3,50	3,00	,30
X22	80,56	21,91	6,25	,50E=02	6,22	5,41	4,83	4,30	3,80	3,30	,32

ANEXO C

RESULTADOS DO EXEMPLO 2

```
--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 2 - EPOCA DE CHUVA ---

T=21,9 GRAUS CELCIUS , I=   ,49 , IS=   ,21 , NREF=728,00 METROS , L=352,0 LANGLEY

                TESTE DE CONDICOES CRITICAS NO PONTO X10

CONDICOES TESTADAS  OD(OM) MAIOR QUE   2,0 E MENOR QUE  20,0     UNIDADES EM MG/L
                   DBO(X10) MAIOR QUE   0,0 E MENOR QUE   5,0     UNIDADES EM MG/L
                   CMT(X10) MAIOR QUE   0,0 E MENOR QUE 100,0     UNIDADES EM MG/M3
                     N(X10) MAIOR QUE   0, E MENOR QUE 999,       UNIDADES EM 1E5/100ML
==========================================================================

 NA= 736 METROS , QP=  10 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   3,0 , DBO(X10)=   3,7 , CMT(X10)=  40,3 , N(X10)=   ,38E 00

 NA= 736 METROS , QP=  20 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   2,0 , DBO(X10)=   3,5 , CMT(X10)=  30,0 , N(X10)=   ,13E 01

 NA= 741 METROS , QP=  10 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   5,0 , DBO(X10)=   4,0 , CMT(X10)=  50,7 , N(X10)=   ,40E-03

 NA= 741 METROS , QP=  20 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   3,5 , DBO(X10)=   3,8 , CMT(X10)=  38,0 , N(X10)=   ,10E-01

 NA= 741 METROS , QP=  30 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   2,7 , DBO(X10)=   3,7 , CMT(X10)=  30,7 , N(X10)=   ,64E-01

 NA= 741 METROS , QP=  40 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   2,1 , DBO(X10)=   3,6 , CMT(X10)=  26,0 , N(X10)=   ,20E 00

 NA= 746 METROS , QP=  10 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   6,7 , DBO(X10)=   4,1 , CMT(X10)=  53,0 , N(X10)=   ,24E-06

 NA= 746 METROS , QP=  20 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   4,8 , DBO(X10)=   3,9 , CMT(X10)=  42,0 , N(X10)=   ,55E-04

 NA= 746 METROS , QP=  30 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   3,7 , DBO(X10)=   3,8 , CMT(X10)=  34,0 , N(X10)=   ,11E-02

 NA= 746 METROS , QP=  40 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   3,0 , DBO(X10)=   3,7 , CMT(X10)=  28,8 , N(X10)=   ,74E-02

 NA= 746 METROS , QP=  50 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1 ,
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   2,5 , DBO(X10)=   3,6 , CMT(X10)=  25,1 , N(X10)=   ,28E-01

 NA= 746 METROS , QP=  60 M3/S , QN=  28 M3/S , CMT(X0)=   7,0 MG/M3 , DBO(X0)=  26 MG/1
                                 N(X0)=  33 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS -----  OD(OM)=   2,1 , DBO(X10)=   3,6 , CMT(X10)=  22,4 , N(X10)=   ,72E-01
```

ANEXO D

RESULTADOS DO EXEMPLO 3

```
--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 3 - EPOCA INTERMEDIARIA --

T=18,9 GRAUS CELCIUS , I=   ,39 , IS=   ,21 , NREF=728,00 METROS , L=282,0 LANGLEY/DI

                TESTE DE CONDICOES CRITICAS NO PONTO X10

CONDICOES TESTADAS  OD(OM) MAIOR QUE   3,0 E MENOR QUE  20,0     UNIDADES EM MG/L
                  DBO(X10) MAIOR QUE   0,0 E MENOR QUE   5,0     UNIDADES EM MG/L
                  CMT(X10) MAIOR QUE   0,0 E MENOR QUE 100,0     UNIDADES EM MG/M3
                    N(X10) MAIOR QUE   0, E MENOR QUE 999,       UNIDADES EM 1E5/100ML
================================================================================

 NA= 743 METROS , QP=  10 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  20 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   6,0 , DBO(X10)=   5,0 , CMT(X10)=  48,1 , N(X10)=   ,10E-04

 NA= 743 METROS , QP=  10 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  40 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   6,0 , DBO(X10)=   5,0 , CMT(X10)=  48,1 , N(X10)=   ,10E-04

 NA= 743 METROS , QP=  10 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  60 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   6,0 , DBO(X10)=   5,0 , CMT(X10)=  48,1 , N(X10)=   ,10E-04

 NA= 743 METROS , QP=  15 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  20 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   4,6 , DBO(X10)=   4,8 , CMT(X10)=  39,1 , N(X10)=   ,25E-03

 NA= 743 METROS , QP=  15 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  20 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   8,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   4,8 , DBO(X10)=   4,8 , CMT(X10)=  41,4 , N(X10)=   ,25E-03

 NA= 743 METROS , QP=  15 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  20 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=  12,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   4,8 , DBO(X10)=   4,9 , CMT(X10)=  42,2 , N(X10)=   ,25E-03

 NA= 743 METROS , QP=  15 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  40 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   4,6 , DBO(X10)=   4,8 , CMT(X10)=  39,1 , N(X10)=   ,25E-03

 NA= 743 METROS , QP=  15 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  40 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   8,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   4,8 , DBO(X10)=   4,8 , CMT(X10)=  41,4 , N(X10)=   ,25E-03

 NA= 743 METROS , QP=  15 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  40 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=  12,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   4,8 , DBO(X10)=   4,9 , CMT(X10)=  42,2 , N(X10)=   ,25E-03

 NA= 743 METROS , QP=  15 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  60 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   4,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   4,6 , DBO(X10)=   4,8 , CMT(X10)=  39,1 , N(X10)=   ,25E-03

 NA= 743 METROS , QP=  15 M3/S , QN=  17 M3/S , CMT(X0)=   5,0 MG/M3 , DBO(X0)=  60 MG/1
                                  N(X0)=  36 1E5/100ML  , SNO=   8,0
 RESULTADOS ----- OD(OM)=   4,8 , DBO(X10)=   4,8 , CMT(X10)=  41,4 , N(X10)=   ,25E-03
```

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 3 - EPOCA INTERMEDIARIA --

T=18,9 GRAUS CELCIUS , I= ,39 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=282,0 LANGLEY/DIA

TESTE DE CONDICOES CRITICAS NO PONTO X10

CONDICOES TESTADAS OD(OM) MAIOR QUE 3,0 E MENOR QUE 20,0 UNIDADES EM MG/L
DBO(X10) MAIOR QUE 0,0 E MENOR QUE 5,0 UNIDADES EM MG/L
CMT(X10) MAIOR QUE 0,0 E MENOR QUE 100,0 UNIDADES EM MG/M3
N(X10) MAIOR QUE 0, E MENOR QUE 999, UNIDADES EM 1E5/100ML

****

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 20 MG/1 ,
N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 8,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,1 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 29,7 , N(X10)= ,85E-02

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 20 MG/1 ,
N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 12,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,2 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 30,2 , N(X10)= ,85E-02

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 40 MG/1 ,
N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 4,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,1 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 28,2 , N(X10)= ,85E-02

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 40 MG/1 ,
N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 8,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,1 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 29,7 , N(X10)= ,85E-02

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 40 MG/1 ,
N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 12,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,2 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 30,2 , N(X10)= ,85E-02

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 60 MG/1 ,
N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 4,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,1 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 28,2 , N(X10)= ,85E-02

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 60 MG/1 ,
N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 8,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,1 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 29,7 , N(X10)= ,85E-02

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 60 MG/1 ,
N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 12,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,2 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 30,2 , N(X10)= ,85E-02

--- QUALIDADE DA AGUA -- REP. BILLINGS -- EXEMPLO 3 - EPOCA INTERMEDIARIA --

T=18,9 GRAUS CELCIUS , I= ,39 , IS= ,21 , NREF=728,00 METROS , L=282,0 LANGLEY/DIA

TESTE DE CONDICOES CRITICAS NO PONTO X10

CONDICOES TESTADAS	OD(OM)	MAIOR QUE 3,0	E MENOR QUE 20,0	UNIDADES EM MG/L
	DBO(X10)	MAIOR QUE 0,0	E MENOR QUE 5,0	UNIDADES EM MG/L
	CMT(X10)	MAIOR QUE 0,0	E MENOR QUE 100,0	UNIDADES EM MG/M3
	N(X10)	MAIOR QUE 0,	E MENOR QUE 999,	UNIDADES EM 1E5/100ML

NA= 743 METROS , QP= 15 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 60 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 12,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 4,8 , DBO(X10)= 4,9 , CMT(X10)= 42,2 , N(X10)= ,25E-03

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 20 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 4,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,7 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 32,8 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 20 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 8,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,8 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 34,5 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 20 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 12,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,9 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 35,2 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 40 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 4,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,7 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 32,8 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 40 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 8,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,8 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 34,5 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 40 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 12,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,9 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 35,2 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 60 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 4,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,7 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 32,8 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 60 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 8,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,8 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 34,5 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 20 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 60 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 12,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,9 , DBO(X10)= 4,7 , CMT(X10)= 35,2 , N(X10)= ,20E-02

NA= 743 METROS , QP= 25 M3/S , QN= 17 M3/S , CMT(X0)= 5,0 MG/M3 , DBO(X0)= 20 MG/1 , N(X0)= 36 1E5/100ML , SNO= 4,0
RESULTADOS ----- OD(OM)= 3,1 , DBO(X10)= 4,6 , CMT(X10)= 28,2 , N(X10)= ,85E-02

INDICE

Apresentação, 32.1
Resumo, 32.1
Cargas poluidoras lançadas na Represa Billings, 32.2
Cálculo dos tempos de trânsito, 32.2
Fenômeno de auto-depuração no corpo central da represa, 32.2
Volume do lodo acumulado e sua influência na qualidade da água, 32.3
Elaboração de modelo matemático, 32.4
Programa de computação, 32.4
Considerações gerais, 32.4
Levantamento do fluxo de cargas poluidoras na Represa Billings, 32.7
Introdução, 32.7
Procedimentos do levantamento efetuado, 32.7
Área da cidade de São Paulo, 32.7
Bacia contribuinte da Represa Billings, 32.8
Apresentação e interpretação dos resultados obtidos, 32.11
Área da cidade de São Paulo, 32.11
Referências bibliográficas, 32.21
Estudo do tempo de trânsito da massa líquida no corpo central da Represa Billings, 32.2
Introdução, 32.22
O sistema hidrelétrico de Cubatão, 32.22
A Represa Billings e sua bacia hidrográfica, 32.28
Determinação dos tempos de trânsito, 32.28
Dados utilizados, 32.28
Metodologia de cálculo, 32.30
Determinação das velocidades médias de escoamento das águas ao longo do corpo central da represa, 32.30
Determinação das relações entre as distâncias percorridas ao longo do corpo central do reservatório e os tempos de trânsito, 32.35
Estudo com traçador radioisótopo, 32.36
Considerações finais a respeito da metodologia utilizada, 32.38
Estudos de correlação, 32.42
Estimativa dos tempos de trânsito parciais, 32.42
Referência bibliográfica, 32.49
Caracterização sanitária e ecológica da Represa Billings, 32.50
Introdução, 32.50
Campanhas de amostragem para obtenção de dados básicos, 32.50
Degradação da matéria carbonácea, 32.52
Metodologia, 32.52
Interpretação dos resultados, 32.53
Modelo matemático utilizado, 32.57
Reprodutibilidade das equações elaboradas, 32.61
Referências bibliográficas, 32.61
Variação das concentrações de oxigênio dissolvido, 32.61

Procedimentos experimentais, 32.64
Modelo estatístico utilizado, 32.64
Critérios adotados para a coleta das amostras, 32.65
Variação vertical do OD, 32.65
Variação longitudinal do OD, 32.67
Processamento dos dados levantados, 32.67
Resultados obtidos e conclusões, 32.70
Referências bibliográficas, 32.77
Desenvolvimento do fenômeno de eutrofização na Represa Billings, 32.78
Procedimentos empregados para o levantamento de dados, 32.78
Condição atual do desenvolvimento do fenômeno de eutrofização, 32.79
Modelo matemático utilizado para o crescimento de algas na Represa Billings, 32.80
Taxa de produção bruta de algas (símbolo Gb), 32.83
Fator: luz, 32.83
Fator: nutrientes, 32.85
Fator: temperatura, 32.86
Equação final para avaliação da taxa de produção bruta de algas: (Gb), 32.86
Taxa de perda de algas (símbolo Gd), 32.87
Estabelecimento da relação entre produção de algas na camada fótica e o volume total da represa, 32.87
Verificação da aplicabilidade do modelo, 32.88
Referências bibliográficas, 32.91
Investigação sobre o decréscimo de bactérias patogênicas na Represa Billings, 32.92
Procedimentos utilizados, 32.92
Resultados obtidos e interpretação, 32.92
Referências bibliográficas, 32.95
Substâncias tóxicas na Represa Billings, 32.96
Procedimentos utilizados, 32.96
Resultados obtidos e interpretação, 32.98
Referências bibliográficas, 32.100
Investigação sobre a influência do material bentônico na qualidade das águas da Represa Billings, 32.101
Introdução, 32.101
Procedimentos utilizados, 32.101
Levantamento da Qualidade de acúmulo de sedimentos, 32.101
Verificação da influência do material bentônico na qualidade de águas (consumo de O_2 e fluxo de N e P), 32.101
Estudo do material bentônico através de sistema descontínuo "in situ", 32.103
Investigação em escala de laboratório, 32.105
Resultados, 32.106
Avaliação do volume de lodo na represa, 32.106
Verificação da influência do material bentônico na qualidade da água, 32.116
Determinações "in situ", 32.116
Determinação em laboratório, 32.121
Interpretação dos resultados e discussão, 32.123
Teoria básica, 32.123
Consumo de oxigênio, 32.123
Fósforo e nitrogênio, 32.124

Avaliação do efeito poluidor do lodo sobre a qualidade das águas da represa, 32.126
Referência bibliográfica, 32.129
Utilização de modelos matemáticos, 32.131
Introdução, 32.131
Dados utilizados, 32.132
Dados de temperatura e radiação solar, 32.132
Estabelecimento de épocas para avaliação da qualidade das águas da represa, 32.133
Estabelecimento de concentrações de materiais poluentes nas proximidades da barragem de pedreira, 32.134
Considerações sobre padrões de qualidade de águas, 32.134
procedimentos de cálculo, 32.135
Unidades dos parâmetros utilizados no processamento do programa, 32.135
Modos de operação, 32.135
Sub programas, 32.136
Parâmetros de execução e computação, 32.138
Exemplos de aplicação do programa "quabil", 32.139
Especificação de entrada, 32.140
Exemplo 1, 32,141
Exemplo 2, 32,142
Exemplo 3, 32,143
Referência bibliográfica, 32.143
Conclusões e Recomendações
Anexo A, 32.145
Anexo B, 32.150
Anexo C, 32.165
Anexo D, 32.166

Data Aquis.:
Indic.
Livraria:
Preço: Cr$
Data Tomba: 25/06/93



CETESB
Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
CEP - 05459 - São Paulo-Brasil