

ESTUDO DE "PEIXE TIPO" PARA PROJETO

DE ESCADAS DE PEIXE EM BARRAGENS

Cesar Augusto Lourenço Filho

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.).

Aprovado por:



---

Prof. Rui Carlos Vieira da Silva  
Presidente



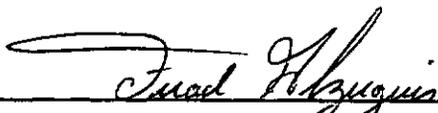
---

Prof. Miguel Hiroo Hirata



---

Prof. Francisco Saturnino Rodrigues de Brito Filho



---

Engº Agrônomo Fuad Alzuguir

RIO DE JANEIRO  
ESTADO DO RIO DE JANEIRO-BRASIL  
MARÇO 1975

Ao Professor Theophilo Benedicto Ottoni Netto, que nos orientou os passos na trilha do Ensino e no campo profissional e sob cujo estímulo propusemo-nos a obter o grau de Mestre em Ciência.

AGRADECIMENTOS

À COPPE, nas pessoas do seu Diretor, Prof. Sydney Martins Gomes dos Santos; do Coordenador do Programa de Engenharia Civil, Prof. Fernando Luiz Lobo Barbosa Carneiro; do Responsável pelo Setor de Hidráulica, Prof. Rui Carlos Vieira da Silva, que nos honrou com sua firme e lúcida orientação no preparo desta Tese; e dos Professores que ministraram as Disciplinas nas quais obtivemos os Créditos necessários.

Ao Engenheiro Agrônomo Fuad Alzuguir, M.D. Diretor da Estação de Biologia e Piscicultura da SUDEPE em Pirassununga, pelos valiosos ensinamentos, em especial no campo da Biologia do peixe.

Ao CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS - CNPq, pelo auxílio financeiro que nos proporcionou, através de Bolsa de Estudos.

Finalmente, ao HIDROESB - LABORATÓRIO HIDROTÉCNICO SATURNINO DE BRITO S.A., pelos subsídios fornecidos no campo da Hidráulica.

RESUMO

Inicialmente são feitas considerações gerais a respeito dos cursos d'água e das diversas formas com que são encarados pelos técnicos, preferindo-se, em face do objetivo do trabalho, enfocá-los como ecossistemas.

Em seguida, aborda-se a influência promovida, nesses ecossistemas, pelas barragens neles construídas, em especial sobre a fauna ictiológica.

Descrevem-se os métodos usualmente empregados para a proteção dessa fauna e fazem-se ponderações a respeito das Escadas de Peixe.

Finalmente, é introduzido o conceito de "peixe tipo", explicada sua determinação e feita uma aplicação prática - baseada em dados reais - no projeto de uma escada de peixe.

ABSTRACT

After general considerations, the rivers are specified how ecosystems.

Some informations are given about the influence in the fishes by dams constructions and about methods of fishes protections, specially fish-ladders.

Finally is introduced an original concept to fish-ladder design: the "fish-type".

Í N D I C E

	PÁG.
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	1
1.1 - Os Cursos d'Água .....	1
1.2 - Os Cursos d'Água encarados como Ecossis- temas .....	4
1.3 - Ação das Barragens nos Cursos d'Água en- carados como Ecossistemas .....	45
CAPÍTULO 2 - A PROTEÇÃO DA FAUNA ICTIOLÓGICA .....	55
2.1 - Métodos Empregados .....	57
2.2 - Levantamentos Hidro-bio-ecológicos .....	58
2.3 - Postos e Estações de Piscicultura .....	59
2.4 - Sistemas de Tansposição de Peixes .....	61
2.5 - Escadas de Peixe .....	63
CAPÍTULO 3 - O "PEIXE-TIPO" .....	68
3.1 - Conceito .....	68
3.2 - Determinação .....	74
3.3 - Aplicação .....	84
CAPÍTULO 4 - USO DO "PEIXE-TIPO" NO PROJETO DE ESCADAS DE PEIXE .....	94
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES .....	111
BIBLIOGRAFIA .....	113

ÍNDICE DOS QUADROS

	PÁG.
QUADRO I - COMONENTES DE UM CURSO D'ÁGUA ENCARADO COMO ECOSSISTEMA .....	20
QUADRO II - DISTRIBUIÇÃO QUALITATIVA DOS FATORES E COMPONENTES DE UM CURSO D'ÁGUA ENCARA- DO COMO ECOSSISTEMA .....	27
QUADRO III - QUADRO SINÓTICO DOS ELEMENTOS DEFINIDO <u>S</u> RES DO EQUILÍBRIO DE UM CURSO D'ÁGUA ENCARADO COMO ECOSSISTEMA .....	46

ÍNDICE DAS FIGURAS

<u>Nº</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
1	Esquema de modelo simples da seção transversal de um curso d'água encarado como <u>e</u> <u>cossistema</u> (nível d'água invariável e <u>ca</u> <u>lha</u> <u>estável</u> ) .....	6
2	Esquema de modelo simples da seção transversal de um curso d'água encarado como <u>e</u> <u>cossistema</u> (nível d'água variável e <u>calha</u> <u>estável</u> ) .....	8
3	Esquema de modelo simples da seção transversal de um curso d'água encarado como <u>e</u> <u>cossistema</u> (nível d'água variável e <u>calha</u> <u>instável</u> ) .....	10
4	Esquema de uma rede potamográfica típica e do perfil longitudinal do curso d'água principal .....	11
5.a	Esquema de modelo simples de um curso d'água encarado como <u>ecossistema</u> ao longo do perfil longitudinal - trecho superior.	15
5.b	Esquema de modelo simples de um curso d'água encarado como <u>ecossistema</u> ao longo do perfil longitudinal - trecho médio ...	16
5.c	Esquema de modelo simples de um curso d'água encarado como <u>ecossistema</u> ao longo do perfil longitudinal - trecho inferior.	17

<u>Nº</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
6	Esquema da distribuição espacial dos <u>com</u> ponentes bióticos na seção transversal de um curso d'água encarado como ecossistema	21
7	Esquema dos "habitats" dos peixes na se- ção transversal de um curso d'água encara- do como ecossistema .....	24
8	Esquema indicativo dos organismos presen- tes no trecho superior dos cursos d'água encarados como ecossistema .....	30
9	Esquema indicativo dos organismos presen- tes no trecho inferior dos cursos d'água encarados como ecossistemas .....	32
10	Esquema indicativo dos organismos presen- tes no trecho médio dos cursos d'água <u>en</u> carados como ecossistemas .....	34
11	Esquema ilustrativo da delimitação da <u>plan</u> ta do "habitat" natural dos peixes ao lon- go de um curso d'água encarado como ecos- sistema .....	37
12	Esquema representativo da ação dos fato - res abióticos e bióticos no comportamento das espécies de peixe em um curso d'água encarado como ecossistema .....	44
13	Esquema da influência de barragens em <u>cur</u> sos d'água encarados como ecossistemas...	53
14	Croqui de uma escada de peixe típica ....	70

<u>Nº</u>	<u>TÍTULO</u>	<u>PÁG.</u>
15	Curvas características das populações de peixes .....	80
16	Obtenção gráfica da curva $P \times L$ a partir das curvas $P \times t$ e $L \times t$ .....	82
17	Curvas de distribuição etária do Curimbatã em Cachoeiras das Emas .....	86
18	Curvas de distribuição dos comprimentos do Curimbatã em Cachoeira das Emas .....	87
19	Curvas de correlação $P \times L$ do Curimbatã em Cachoeira das Emas .....	88
20	Curvas de distribuição dos pesos do Curimbatã em Cachoeira das Emas .....	89
21	Curvas de crescimento em tamanho do Curimbatã em Cachoeira das Emas .....	91
22	Curvas de crescimento em peso do Curimbatã em Cachoeira das Emas .....	92

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Considerando que o assunto objeto desta tese não se situa exclusivamente no campo da Hidráulica, vez que guarda íntima relação com a Biologia, julgamos por bem fazer preliminarmente algumas considerações de caráter geral, a fim de facilitar o entendimento do enfoque sob o qual iremos colocar a escada de peixe, enfoque esse justamente onde reside o cunho de originalidade de de nosso modesto trabalho.

#### 1.1 - OS CURSOS D'ÁGUA

Inúmeras são as formas pelas quais podemos definir os cursos d'água:

- se estivermos preocupados apenas com os aspectos geométricos da região, a Topografia dirá que eles são linhas de pontos baixos;
- voltando-se nossa atenção para o ciclo hidrológico, iremos afirmar, com a Hidrologia, que eles se constituem na expressão máxima do escoamento natural das águas;
- a Hidráulica os classificará como condutos livres em escoamento não permanente;
- a Biologia os terá à conta de verdadeiro universo, pleno de vida.

Se no campo meramente das definições, há essa pluralidade, mais ainda ela existe no que respeita à utilização e ao disciplinamento dos cursos d'água:

- as Companhias de Água e Esgotos os encaram como ma

- nanciais capazes de abastecerem cidades e também receberem as águas servidas;
- as Empresas de Energia Elétrica os vêem como fontes dessa forma de energia;
  - as entidades que se ocupam da Agricultura os enfocam, de um modo geral, em termos de disponibilidade de água para irrigação e, especificamente, como fonte de alimentos proteicos;
  - para os órgãos responsáveis por ferrovias e os que cuidam das rodovias, eles são obstáculos indesejáveis ao traçado das mesmas;
  - já para outras entidades, eles se constituem em valiasas vias navegáveis;
  - entre esses e outros enfoques há o dos Ecologistas, que consideram os cursos d'água como importantes fatores de equilíbrio dinâmico e biológico de uma região, além de enfatizarem, também, a capacidade que possuem de produzir alimentos.

Em virtude desse emaranhado de maneiras de serem encarados pelos homens, os cursos d'água não têm sido convenientemente aproveitados e disciplinados, constituindo-se honrosas exceções aqueles que mereceram adequado tratamento global por parte dos técnicos.

Em grande parte, a explicação para esse lamentável fato está na persistência com que se estudam isoladamente esses diversos ângulos do problema, agravada pela radicalização com que os diversos especialistas pretendem fazer valer seus pontos de vista específicos.

Quando a Ecologia começou a adquirir vulto, surgiu como uma verdadeira esperança, pois pelo menos teoricamente deveria levar em conta todos os fatores intervenientes e, pesando-os adequadamente, estabelecer os tipos mais convenientes desse aproveitamento e disciplinamento dos cursos d'água, visando ao progresso e bem estar do Homem e à preservação do Meio.

Aconteceu, no entanto, que ao invés de atuarem como fatores de equilíbrio no bojo das discussões de prioridade, nas quais os técnicos se empenham constantemente, os Ecologistas deixaram-se envolver pelo sabor polêmico da questão e hoje também radicalizam e costumam levar a extremos muitas vezes exagerados a defesa do Meio.

E enquanto as discussões prosseguem, os rios continuam a ser modificados por motivos específicos, ora para gerarem energia elétrica, ora para abastecerem cidades, ora para outro fim qualquer, pois o Progresso não pode ser obstado e mais vale uma solução razoável adotada a tempo, do que a eterna busca da solução ótima.

A Escada de Peixe, obra da qual nos ocupamos neste trabalho, assunto polêmico no Brasil, é mais um exemplo de obra de finalidade específica, pois visa à preservação de espécies de peixes que - em determinadas circunstâncias, conforme mais tarde comentaremos - podem ser extintas quando se constroi uma barragem em um curso d'água.

Abrimos aqui um parêntesis para dizer que ao cogitarmos da Escada de Peixe como tema para esta tese, animávamos apenas o propósito de estudá-la do ponto de vista hidráulico, em face da nossa formação curricular e profissional, toda ela realizada no campo da Hidráulica. Entretanto, à medida que fomos nos familiarizando com a literatura a que tivemos acesso, verificamos haver uma lamentável estanqueidade entre o trabalho do Biólogo e o do Engenheiro, no projeto de tal tipo de obra: enquanto o primeiro se limita a estudar as condições naturais reinantes na massa d'água e levantar as espécies de peixes existentes, definindo-as qualitativa e quantitativamente, o segundo contenta-se em simplesmente encarar a Escada de Peixe como uma obra hidráulica, mais preocupado com o escoamento do que mesmo com o peixe.

Essa estanqueidade, a nosso ver, decorre de um problema sutil, que tem passado desapercibido dos projetistas: o Engenheiro, para dimensionar a Escada de Peixe, necessita de dados concretos a respeito dos peixes que irão se utilizar dela, isto é,

espécie, tamanho, peso, forma, velocidade, capacidade de salto, etc, e os Biólogos não têm podido chegar a todos esses parâmetros, inclusive porque alguns deles, como por exemplo velocidade e capacidade de salto, não podem ser determinados exclusivamente no campo da Biologia, vez que penetram o da Mecânica dos Fluidos e, em termos de projeto da obra, o da Hidráulica.

Modificamos, então, nossas intenções meramente voltadas para a Hidráulica e resolvemos tentar estabelecer um elo de ligação entre o trabalho do Biólogo e o do Engenheiro no projeto da Escada de Peixe, justamente para minimizar as indeterminações quanto aos parâmetros a serem considerados.

Fechado este parêntesis, voltamos ao curso d'água, já agora encarando-o de modo mais amplo, buscando alargar nossos horizontes, olhando-o não apenas com a visão do Engenheiro Hidráulico, porém buscando sermos sensíveis aos seus aspectos biológicos, em especial no que respeita aos peixes. Em outras palavras : o curso d'água passou a ser visto por nós como um ecossistema, maneira pela qual iremos agora abordá-lo.

## 1.2 - OS CURSOS D'ÁGUA COMO ECOSSISTEMAS

Não iremos ter a veleidade de pretender discorrer com amplitude e profundidade sobre este assunto, não apenas por ser absolutamente desnecessário neste trabalho, como porque nos faltariam conhecimentos técnicos para isso. Iremos simplesmente fazer algumas considerações básicas, visando a dar uma idéia de como pode um curso d'água ser encarado do ponto de vista ecológico, constituindo-se em um ecossistema no qual os peixes têm presença marcante.

Julgamos indispensável tal proceder em face do conceito, acima exposto, que norteia este trabalho, no qual tanto os aspectos biológicos quanto os hidráulicos são levados em conta, harmonicamente, para o projeto de Escadas de Peixe.

Uma das formas, talvez a mais intuitiva para o Engenheiro, de definir-se o campo da Ecologia, é pela utilização dos

chamados "níveis de organização", representados - em escala crescente de complexidade - pelos seguintes elementos:

- protoplasma
- células
- tecidos
- órgãos
- organismos
- populações
- comunidades
- ecossistemas
- biosfera.

Os sete primeiros níveis referem-se exclusivamente aos seres vivos: os protoplasmas compõem as células, que por sua vez formam os tecidos, os quais constituem os órgãos, que reunidos definem os organismos; estes, agrupados, estabelecem as populações que, finalmente, somadas, tornam-se comunidades.

O oitavo nível, justamente o ecossistema, que mais de perto está nos interessando, abrange a comunidade (composta de todas as populações do espaço considerado) e o meio ambiente que a cerca.

A biosfera é a parcela do planeta (solo, ar e água) na qual há vida.

A Ecologia geralmente estuda as populações, as comunidades, os ecossistemas e a biosfera.

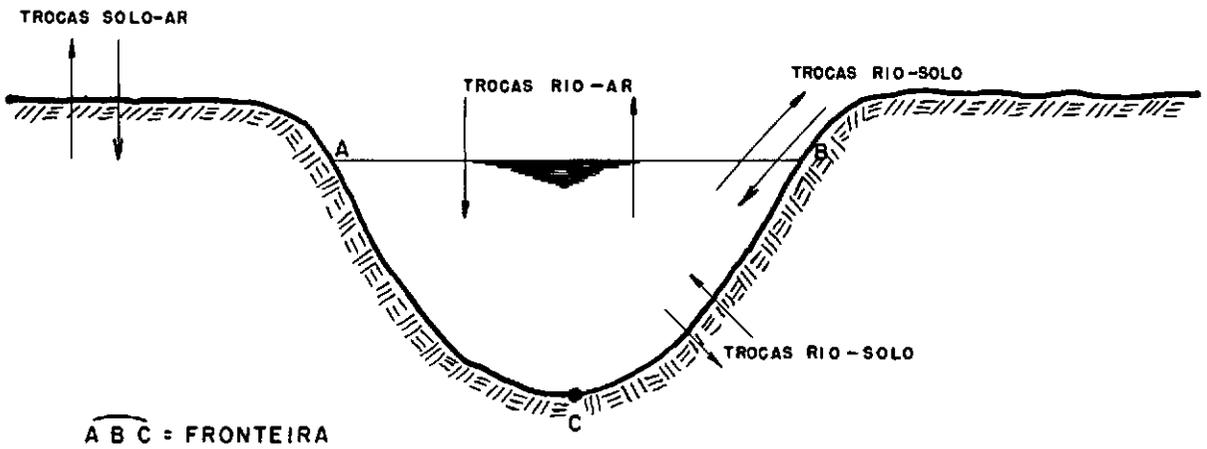
Dentro dessa ordem de coisas e considerando que nos sa meta é o estudo das Escadas de Peixe, o curso d'água como ecos sistema poderá ser delimitado, no caso mais simples, pelo espelho d'água e pela calha a ele correspondente, incluindo todos os seres viventes nesse espaço.

Na FIGURA 1 apresentamos esquematicamente o modelo assim imaginado, na qual indicamos as trocas que se processam nas fronteiras do ecossistema delimitado.

Como vemos, a fronteira  $\widehat{ABCA}$  tem dois trechos significativamente diversos, do ponto de vista ecológico: o espelho

FIGURA 1

ESQUEMA DE MODELO SIMPLES DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM CURSO D'ÁGUA COMO ECOSISTEMA ( NÍVEL D'ÁGUA INVARIÁVEL E CALHA ESTÁVEL )



d'água  $\overline{AB}$ , responsável pela integração RIO-AR e por parte da integração RIO-SOLO; a calha fluvial  $\widehat{BCA}$ , responsável pelo restante da integração RIO-SOLO.

Antes de comentarmos essas integrações, julgamos de melhor alvitre, em nome da objetividade, chegamos ao modelo definitivo de ecossistema que melhor se coaduna com o objetivo deste trabalho, ou seja, a proteção da fauna ictiológica.

Assim, inicialmente iremos nos deter na configuração meramente geométrica do ecossistema.

A primeira complexidade surge do fato de que o nível d'água  $\overline{AB}$  não é constante, visto como as variações das condições atmosféricas, em especial chuvas e estiagens, fazem com que constantemente o nível d'água varie entre um minimum minimorum e em maximum maximorum, tornando portanto elástica a fronteira  $\widehat{ABCA}$ .

Evidentemente, tais modificações alteram o mecanismo de trocas, indicado na FIGURA 1, qualitativa e quantitativamente.

Na FIGURA 2 apresentamos um esquema do modelo assim modificado, notando-se a região A'B'B"A" do ecossistema, correspondente à flutuação do espelho d'água. Nessa figura indicamos as duas situações que podem ocorrer, ou sejam, rios que não extravazam para fora da calha e rios nos quais isso acontece - estes últimos, evidentemente, sujeitos a modificações mais intensas, qualitativas e quantitativas, das trocas que se processam ao longo da fronteira do ecossistema.

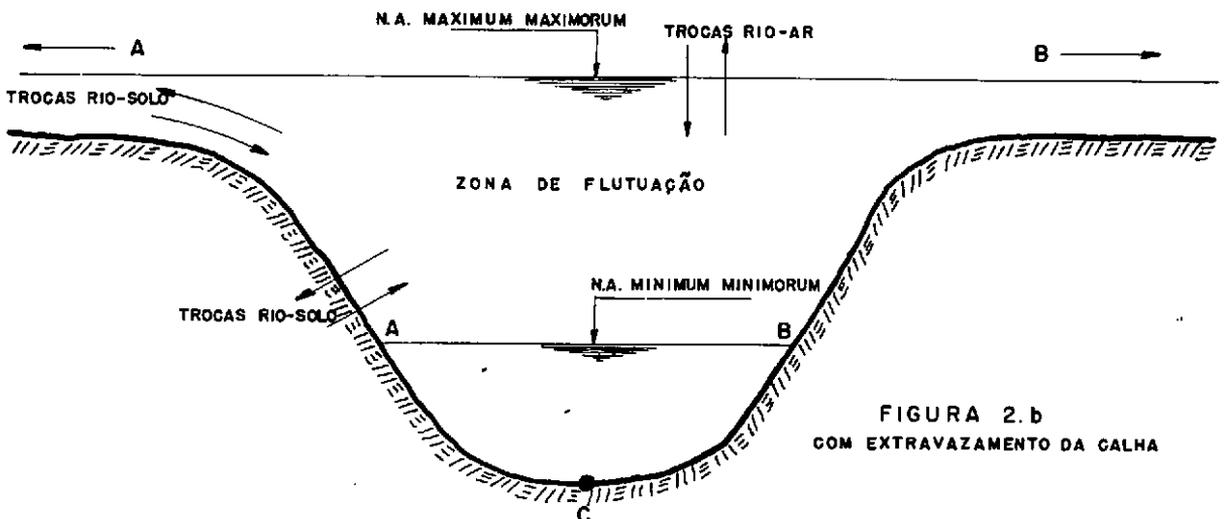
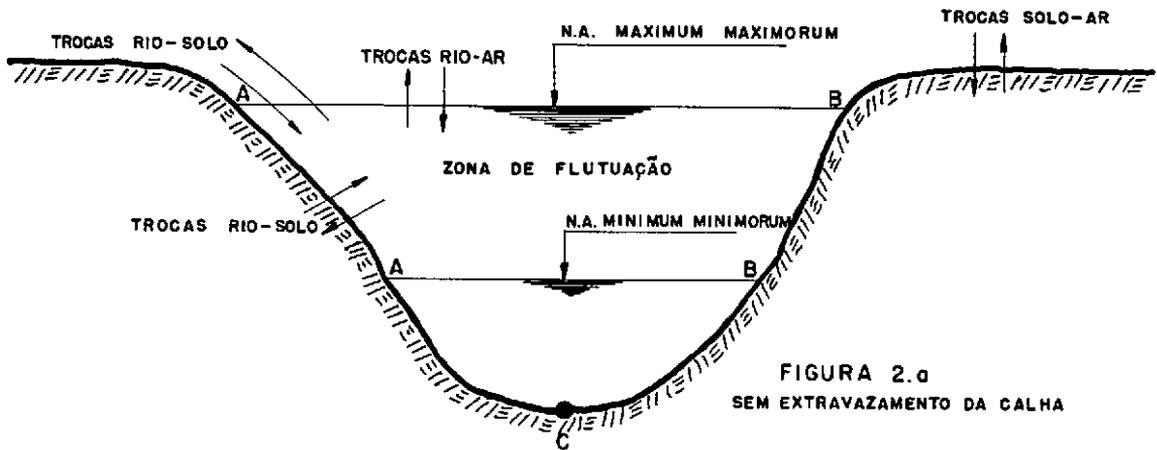
Assim como o nível d'água varia, também a calha sofre mutações no seu contorno, em face da ação dinâmica do escoamento, erodindo-a, e da alimentação de material sólido em arrastamento e suspensão, transportados pela corrente e, em determinadas circunstâncias, depositados em trechos do rio.

Evidentemente, ainda que do ponto de vista hidráulico e sedimentológico tais variações muitas vezes possam ser consideradas desprezíveis, isso não acontece quanto aos aspectos ecológicos, conforme iremos ver mais adiante.

Após essas considerações, podemos definir o modelo

FIGURA 2

ESQUEMA DE MODELO SIMPLES DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM CURSO D'ÁGUA COMO ECOSISTEMA (NÍVEL D'ÁGUA VARIÁVEL E CALHA ESTÁVEL)



(ainda simples, porém suficientemente preciso para os fins previstos neste trabalho) de um curso d'água como ecossistema, apresentado na FIGURA 3.

Conforme pode-se notar pela análise da figura, no regime de águas baixas o curso d'água escoava encaixado na região inferior de sua calha, bastante estável, praticamente não havendo modificações do contorno; nas vazões de maior porte o escoamento possui maior ação erosiva e em consequência tende a alargar a calha fluvial, criando as chamadas "bermas", configurando o contorno característico apresentado; finalmente, nas ocasiões de enchente o curso d'água extravaza da calha e invade os terrenos marginais, retornando depois à calha superior quando a enchente arrefece, período no qual tornam-se muito intensas as trocas RIO-SOLO no que respeita aos referidos terrenos marginais.

Tudo que até agora estabelecemos, em termos de delimitação desse ecossistema, diz respeito à seção transversal do curso d'água. Indispensável se torna, no entanto, fazer os mesmos tipos de consideração ao longo do seu curso, desde as cabeceiras até a foz, principalmente porque nosso alvo é o peixe, que não se contenta em permanecer estático em uma seção transversal, preferindo percorrer grandes extensões do curso d'água, algumas espécies chegando a vencer milhares de quilômetros.

Também nesse particular, não é fácil chegar-se a um modelo absolutamente fiel, pois inúmeros são os fatores capazes de influenciar o desenvolvimento, em planta e em perfil, de um curso d'água. Assim é que desde as condições meteorológicas - novamente aparecendo as chuvas e as estiagens como principais fatores - até as características geológicas dos terrenos atravessados pelo curso d'água (sem contar com a ação do próprio homem), há repercussões na configuração do rio.

Consideramos o melhor caminho, para definirmos longitudinalmente um curso d'água como um ecossistema, após o delimitarmos transversalmente, basearmos-nos no seu perfil longitudinal, desde a nascente até a foz.

Na FIGURA 4 apresentamos um exemplo típico de rede

FIGURA 3

ESQUEMA DE MODELO SIMPLES DA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM CURSO D'ÁGUA COMO ECOSISTEMA (NÍVEL D'ÁGUA VARIÁVEL E CALHA INSTÁVEL)

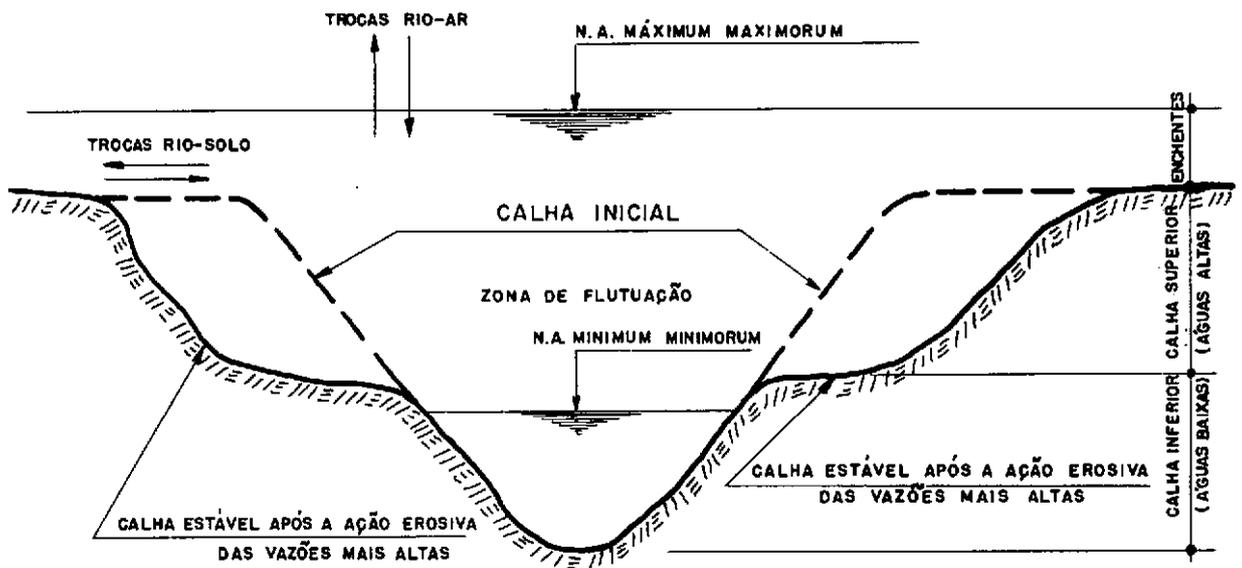
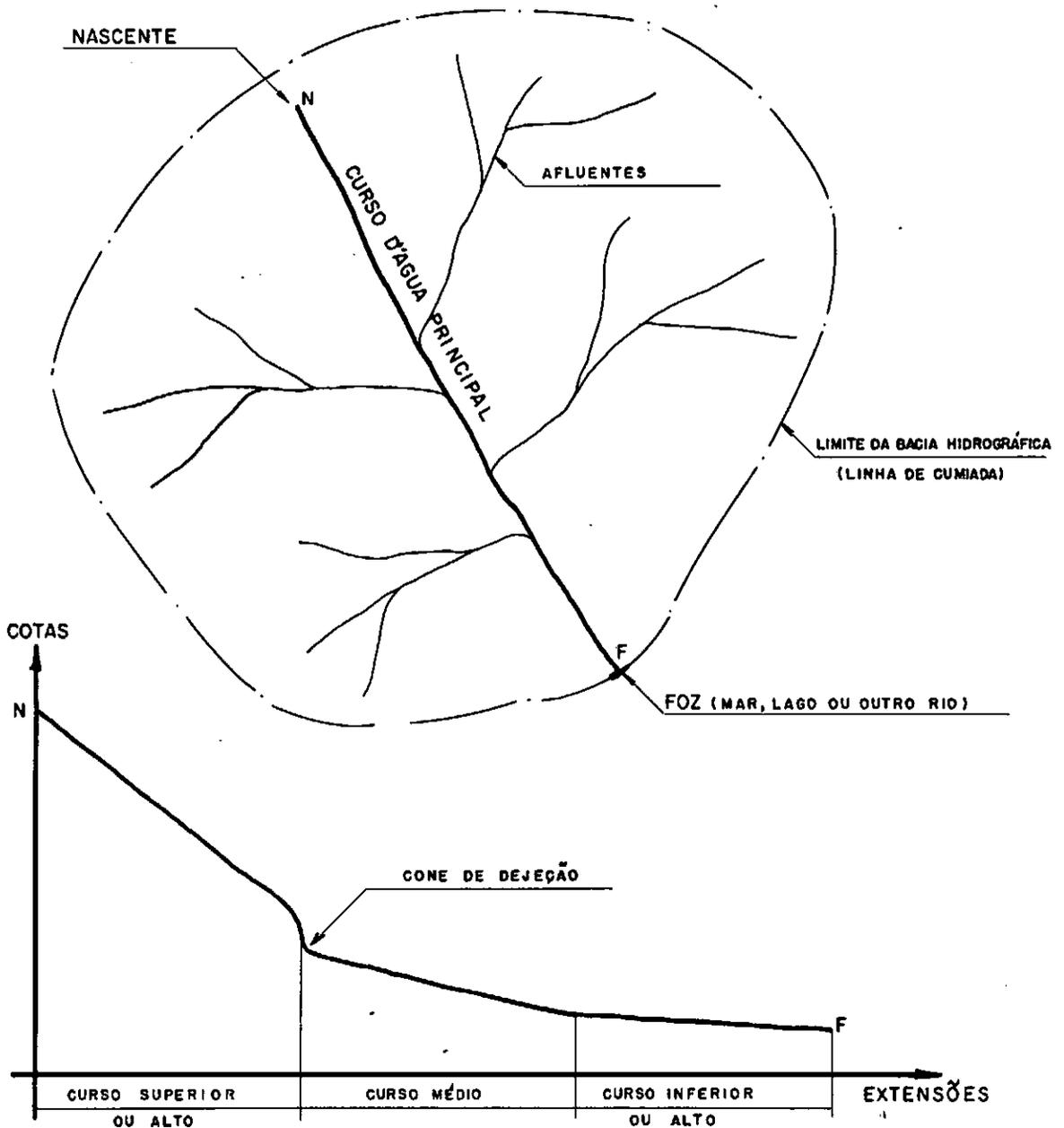


FIGURA 4

ESQUEMA DE UMA REDE POTAMOGRÁFICA TÍPICA E DO PERFIL LONGITUDINAL DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL



potamográfica, acompanhada do perfil longitudinal do curso d'água principal, no caso mais geral.

Ocupando-nos do referido perfil, notamos que no seu trecho superior (ou alto, como alguns denominam), a declividade é forte; como esse trecho é o da nascente, onde as águas começam a se reunir para escoarem em direção aos pontos baixos, alguns costumam chamá-lo de infância do curso d'água.

Neste trecho superior, as vazões não são muito altas em face da pequena parcela da bacia hidrográfica responsável pela contribuição à calha do rio; no entanto, em virtude da grande declividade, as velocidades são grandes e o escoamento tem grande capacidade de erosão e transporte de material sólido. Em vista disso a calha é bastante instável e tende a ser escavada até constituir-se de material mais resistente, em geral rocha, formando várias cachoeiras.

Em virtude dessa grande capacidade de drenagem, no trecho superior a variação de vazões costuma ser muito grande, podendo anular-se nas épocas de estiagem e, durante as enchentes, alcançar seus valores máximos em poucas horas. Dessa forma, no trecho em questão, a fronteira ABCA que o delimita como ecossistema é bastante variável, tanto pela oscilação ampla do nível d'água como pela modificação da calha em face da ação erosiva do escoamento. Além disso, as trocas RIO-SOLO são bastante variáveis, quantitativa e qualitativamente.

No trecho médio a declividade torna-se bem menor, apesar de continuar significativa; a primeira consequência surge justamente no ponto de transição entre os dois trechos, ponto esse geralmente denominado "cone de dejeção", no qual há uma constante deposição do material sólido, mais pesado, trazido das cabeceiras.

Nesse trecho médio as vazões assumem valores mais significativos, o rio geralmente alarga sua calha e, nos pontos de maior resistência, formam-se cachoeiras; paralelamente, assume importância o escoamento subterrâneo, responsável pela manutenção das vazões mesmo nos períodos de estiagem, motivo pelo qual não

são exageradas as subidas do nível d'água quando das enchentes, em face da capacidade natural de amortecimento promovida pela calha.

Apesar de menos terrencial do que no trecho superior, o escoamento se dá com velocidades razoáveis e é capaz de garantir continuidade ao transporte do material sólido de arrastamento e em suspensão, que são bastante significativos neste trecho.

Interessante referir, também, que no trecho médio é que o curso d'água recebe a maioria dos seus afluentes, que lhe reforçam a vazão e o transporte sólido.

Do ponto de vista ecológico, no que respeita à sua delimitação como ecossistema, nesse trecho o curso d'água apresenta uma calha praticamente estável, quase sempre constituída de terreno sedimentar e possuindo duas regiões distintas: a inferior, na qual se encaixam as vazões baixas, e a superior, acima da "berma", alcançada nas ocasiões de enchentes; geralmente, neste trecho o curso d'água raramente sai de sua calha.

Em vista dessa característica, no trecho em questão as trocas RIO-SOLO são razoavelmente estáveis, o mesmo acontecendo com as trocas RIO-AR, exceto no que respeita à zona de flutuação do espelho d'água. Estendendo-se o tempo de observação, mesmo nesse particular tende-se para a estabilidade.

Finalmente, no trecho inferior (que alguns também chamam de baixo) a declividade se torna suave e, apesar de as vazões serem grandes, a calha do rio, trabalhada pelo escoamento, é suficientemente larga de molde a permitir escoamento em regime tranquilo (pelo que mantém-se estável) e o material sólido em arrastamento geralmente é bem uniforme e de pequenas dimensões.

Em virtude de esse trecho cortar regiões baixas, geralmente planícies, não obstante a pouca variação do nível d'água quase sempre o rio extravasa da calha natural e invade os terrenos marginais, nas épocas de enchentes, o que se dá, habitualmente, todos os anos.

Esse fenômeno é agravado quando o curso d'água desemboca no oceano, em local sujeito a variações de maré.

É fácil deprender que a ocorrência de uma enchente por ocasião da préamar faz com que o rio saia da calha.

Ainda nesse caso, outro fator concorre para promover sensível modificação no regime do rio no trecho inferior: estamos nos referindo ao fato de que a subida da maré faz penetrar rio a dentro um prisma de água salgada, que pode atingir dezenas de quilômetros.

Em termos de ecossistema, o curso d'água se comporta, no trecho inferior, dentro do modelo apresentado na FIGURA 4.

Feitas essas considerações, tornou-se ainda mais complexo o problema de enfocarmos o curso d'água como um ecossistema, pois desde a nascente até a foz temos pelo menos três regiões nas quais as coisas se passam de maneira significativamente diferentes.

Para resumir tudo o que até agora dissemos, preparamos as FIGURAS 5.a, 5.b e 5.c, nas quais apresentamos, para cada um dos três trechos considerados, o modelo de ecossistema que nos parece mais adequado, de um modo geral.

Vencida a etapa da delimitação desses ecossistemas, ficamos diante de um problema ainda mais sério, qual seja o de definir as trocas ao longo da fronteira, responsáveis pela interação entre os três meios envolvidos: rio, solo e ar.

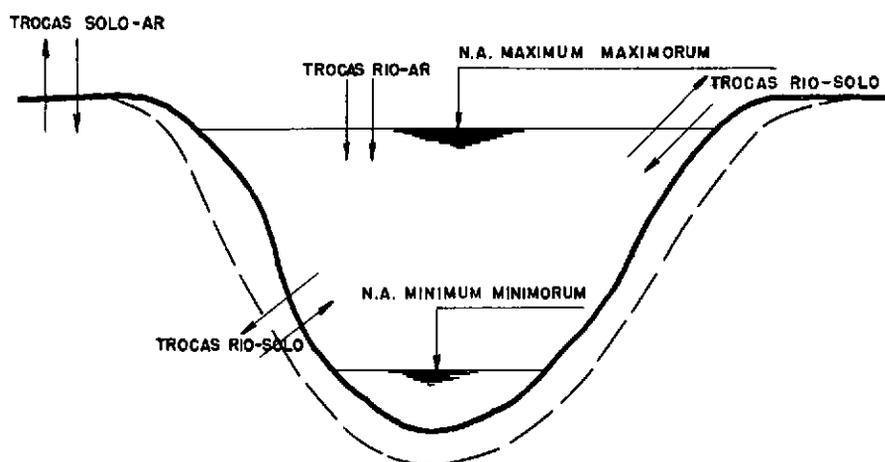
Novamente vemo-nos forçado a abordar superficialmente o assunto e pelos mesmos motivos, isto é, o escopo deste trabalho (que não exige nos aprofundemos nos aspectos biológicos) e a nossa falta de conhecimentos técnicos capazes de nos encorajar a tanto.

Assim sendo, limitar-nos-emos a fazer uma abordagem clássica, encontrada habitualmente nos compêndios de Ecologia e destinada apenas a facilitar o entendimento do enfoque dado ao problema objeto deste trabalho, ou seja, projeto de Escadas de Peixe.

Para maior facilidade de exposição, tomaremos por base o modelo mais simples apresentado na FIGURA 1; depois disso,

FIGURA 5.a

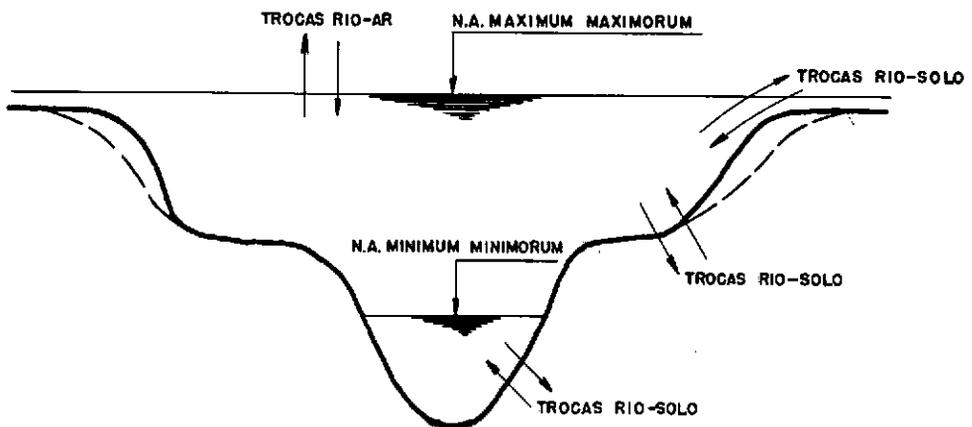
ESQUEMA DE MODELO SIMPLES DE UM CURSO D'ÁGUA COMO ECOSISTEMA(AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL) TRECHO SUPERIOR



- 1- GRANDES VARIACÕES DO N. A.
- 2- GRANDES VARIACÕES DE VAZÕES
- 3- GRANDES VARIACÕES DE VELOCIDADES
- 4- GRANDE DECLIVIDADE
- 5- CALHA EM PROCESSO DE EROÇÃO
- 6- MATERIAL SÓLIDO DE ARRASTAMENTO DE GRANDES PROPORÇÕES
- 7- RIO NÃO SAI DA CALHA
- 8- MUITAS CACHOEIRAS

FIGURA 5.b

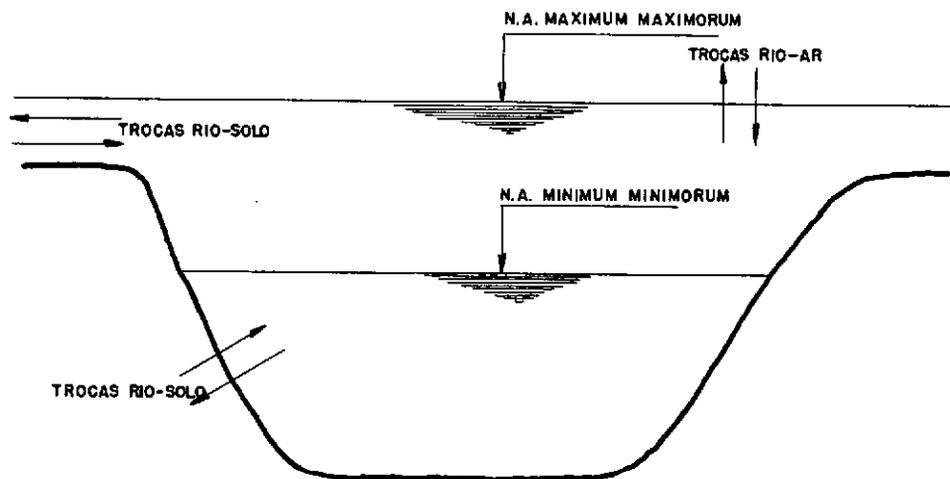
ESQUEMA DE MODELO SIMPLES DE UM CURSO D'ÁGUA COMO ECOSISTEMA (AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL) TRECHO MÉDIO



- 1- VARIAÇÕES REGULARES DO N.A.
- 2- IDEM, DE VAZÕES
- 3- VELOCIDADES MÉDIAS
- 4- DECLIVIDADE MÉDIA
- 5- CALHA PRATICAMENTE ESTÁVEL
- 6- MATERIAL SÓLIDO DE ARRASTAMENTO DE PROPORÇÕES MÉDIAS
- 7- RIO RARAMENTE SAI DA CALHA
- 8- ALGUMAS CACHOEIRAS

FIGURA 5.c

ESQUEMA DE MODELO SIMPLES DE UM CURSO D'ÁGUA COMO ECOSISTEMA(AO LONGO DO PERFIL LONGITUDINAL) TRECHO INFERIOR



- 1- PEQUENAS VARIAÇÕES DO N.A.
- 2- IDEM, DAS VAZÕES
- 3- IDEM, DAS VELOCIDADES
- 4- DECLIVIDADE SUAVE
- 5- CALHA ESTÁVEL PODENDO FORMAR MEANDROS
- 6- MATERIAL SÓLIDO DE ARRASTAMENTO HOMOGÊNEO E DE PEQUENO DIAMÊTRO
- 7- RIO CONSTANTEMENTE SAI DA CALHA
- 8- AUSÊNCIA DE CACHOEIRAS

teceremos considerações visando estendê-lo, com as modificações de vidas, ao mais complexo, apresentado na FIGURA 5.b.

Antes de procurarmos definir as interações ao longo da fronteira  $\widehat{ABCA}$ , iremos relacionar todos os componentes do ecossistema considerado, que nesse particular pode ser classificado como um ecossistema aquático aberto.

Do ponto de vista mais geral, esses componentes são de duas naturezas:

- matérias inertes, sem vida, ou componentes abióticos;
- seres vivos ou componentes bióticos.

No primeiro grupo se encontram o solo que constitui a calha, a água e os sedimentos, sais, etc, nela disseminados; no segundo grupo, os componentes bióticos são divididos em dois sub-grupos:

- componentes autotróficos (vegetais), ou sejam, aqueles capazes de absorver a energia da luz e fabricar seu próprio alimento a partir de substâncias inorgânicas simples, além de elaborarem, dessa mesma forma, substâncias orgânicas complexas que podem servir de alimento para os outros.
- componentes heterotróficos (animais), que são incapazes de produzirem seus próprios alimentos e, como o nome está dizendo, alimentam-se de outros seres - que tanto podem ser os autotróficos quanto heterotróficos; os primeiros podemos chamá-los herbívoros, reservando para os segundos o termo carnívoros.

Os componentes autotróficos são: o fitoplancton (plantas microscópicas flutuantes que se situam em  $\overline{AB}$ ); plantas aquáticas maiores porventura existentes no curso d'água; a vegetação na fronteira  $\widehat{BCA}$ , etc. Além disso, pode haver formas vegetais disseminadas no seio da massa líquida.

Os componentes heterotróficos são: o zooplancton (animais microscópicos que se situam em  $\overline{AB}$ ); animais aquáticos de um

modo geral, especialmente PEIXES, e as bactérias e os fungos.

No QUADRO I apresentamos um quadro sinótico desses componentes, que definem o ecossistema do ponto de vista de sua constituição.

Esses componentes se interrelacionam dentro da chamada estrutura alimentar, assim disposta:

- as substâncias abióticas (compostos básicos orgânicos e inorgânicos, principalmente substâncias nutritivas em dissolução na água), são consumidas pelos componentes autotróficos, no caso especialmente pelo fitoplancto e vegetais.
- os componentes autotróficos, por sua vez, utilizando as radiações caloríficas e luminosas solares, são capazes de transformar as substâncias inorgânicas e o ácido carbônico dissolvidos na água em matérias orgânicas constituintes dos tecidos vegetais, e por isso são chamados de produtores, servindo de alimento para os componentes heterotróficos;
- os componentes heterotróficos agem em vários níveis: os de maior porte (mormente os PEIXES) se alimentam de matéria orgânica - herbívoros - e de outros componentes heterotróficos - carnívoros; os microscópicos ou se alimentam de fitoplancto (infusórios) ou decompõem o protoplasma morto, absorvendo parte e liberando substâncias abióticas, fechando o ciclo. Estes últimos são chamados desintegradores ou redutores; os demais são os consumidores.

Em um sistema aquático aberto, como é o caso de um curso d'água, esses componentes se distribuem espacialmente da superfície para o fundo, conforme indicado, esquematicamente, na FIGURA 6.

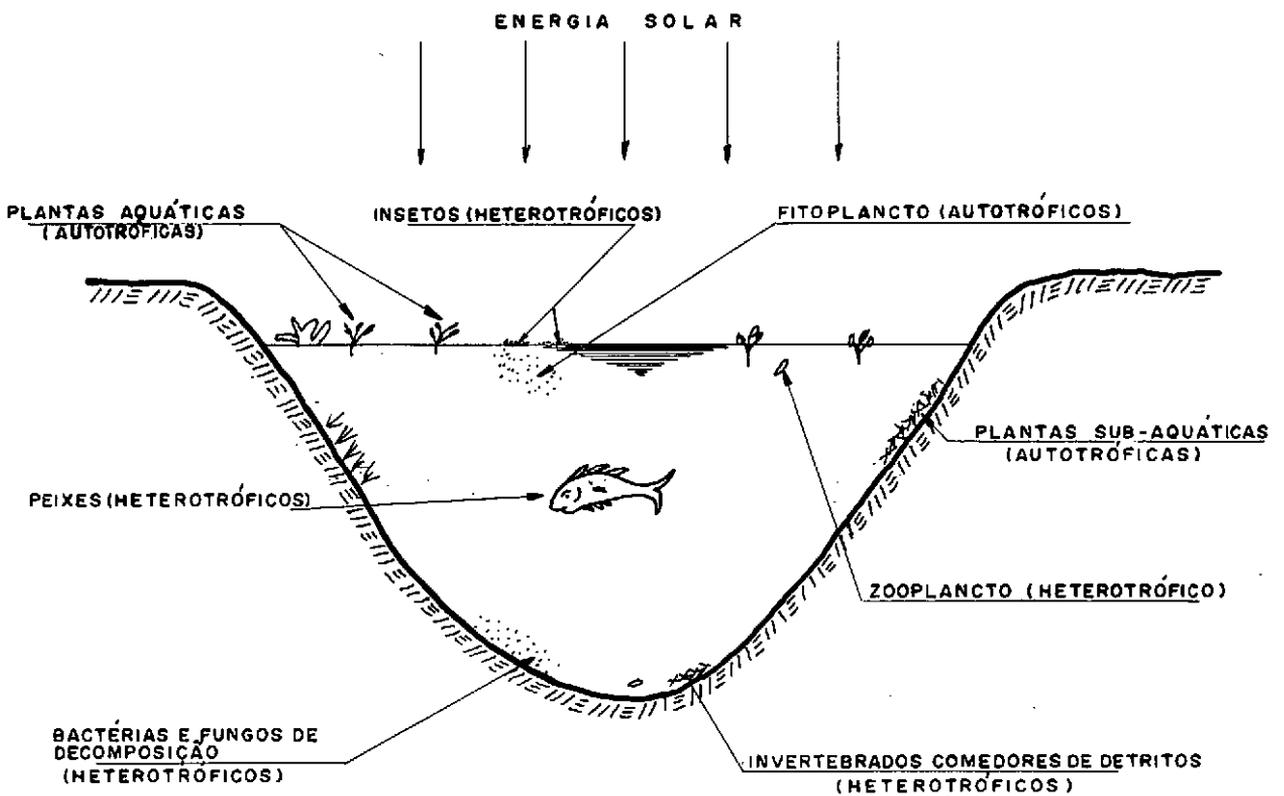
Conforme pode-se notar, excetuados os PEIXES (que possuem enorme mobilidade e podem transitar por toda a massa d'água) praticamente todos os demais componentes bióticos, tanto au

QUADRO ICOMPONENTES DE UM CURSO D'ÁGUAENCARADO COMO ECOSISTEMA

COMPONENTES ABIÓTICOS	- água
	- solo constituinte da calha
	- sedimentos
	- sais
	- outras matérias inertes
COMPONENTES BIÓTICOS	COMPONENTES AUTOTRÓFICOS
	- fitoplancto
	- plantas aquáticas
	- plantas na calha submersa
	- formas vegetais disseminadas na água
COMPONENTES HETEROTRÓFICOS	- zooplancto
	- animais aquáticos
	- bactérias e fungos

FIGURA 6

ESQUEMA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS COMPONENTES BIÓTICOS NA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM CURSO D'ÁGUA ENCARADO COMO ECOSISTEMA A



totróficos quanto heterotróficos, situam-se no entorno da fronteira ABCA. Isso nos permite tirar uma importantíssima conclusão, dentro do rumo que nos traçamos: as variações do nível d'água e/ou do contorno da calha fluvial promovem modificações - pelo menos em períodos curtos - nas condições de equilíbrio do ecossistemas; em períodos longos, os valores médios podem manter-se em equilíbrio, não havendo alterações no comportamento cíclico da biosfera.

Outra conclusão muito importante é a de que os PEIXES, que possuem grande mobilidade e se alimentam ou de componentes autotróficos (peixes herbívoros) ou de componentes heterotróficos (peixes carnívoros) ou de ambos (peixes onívoros) ou ainda de lodo (peixes limnófagos), podem reagir às variações de nível d'água e/ou do contorno da calha, buscando sítios onde as condições de sobrevivência e mesmo bem estar lhes sejam mais propícias.

Nesse ponto, torna-se conveniente falar-se em "habitat", que os Ecologistas definem como sendo o espaço onde habitualmente vive um organismo.

Como nosso interesse se fixa nos peixes, vejamos qual o seu "habitat".

É evidente que qualquer organismo elege seu habitat buscando nele reunir todas as características que lhe são convenientes. Os peixes, em vista disso, procuram fixar-se habitualmente naqueles pontos da massa d'água onde as condições reinantes lhes sejam propícias, isto é, onde haja oxigênio suficiente, a temperatura seja agradável, não exista excesso de material sólido em suspensão e, como não poderia deixar de ser, haja alimento abundante.

No que respeita a esses fatores, pelo menos a grosso modo, um curso d'água deveria ser habitat adequado para os peixes, desde as cabeceiras até a foz. Acontece, no entanto, que há peixes herbívoros, carnívoros, onívoros e limnófagos, o que leva cada uma dessas espécies a elegerem habitats diferentes ao longo do curso d'água e, também, na seção transversal.

Assim é que os peixes herbívoros de escama natural

mente se fixam nas regiões onde os terrenos marginais têm boa cobertura vegetal e, em consequência, o curso d'água é constantemente enriquecido por esses vegetais, na superfície, enquanto que os herbívoros de placas ósseas (cascudos, comedores de algas) se fixam no fundo.

Por sua vez, os peixes carnívoros ou buscam re - giões da superfície onde há abundância de zooplâncto (geralmente peixes de escama), ou ficam onde há peixes menores que lhes ser - vem de alimento ou, ainda, fixam-se nas águas profundas (usualmen - te peixes de couro), onde proliferam os invertebrados, comedores de detritos, dos quais eles se alimentam.

Os peixes onívoros comportam-se de modo semelhante, sendo que geralmente situam-se próximo à superfície.

Os peixes limnófagos, que se alimentam das algas di - atomacias existentes no lodo que ingerem, situam-se, de preferên - cia, no fundo da calha dos rios.

Na FIGURA 7 apresentamos um esquema elucidativo.

Se fizermos, agora, uma comparação entre a FIGURA 5 e a FIGURA 7, veremos que em cada um dos trechos (superior, médio e inferior) do curso d'água, há condicionantes diferentes, portan - to configurando habitats também diferentes; em consequência, é de se supor que em cada um desses trechos irão se instalar espécies diferentes de peixes. Se isso for verdade, teremos dado mais um passo à frente na direção do objetivo que nos propusemos alcançar, ou seja, a Escada de Peixe.

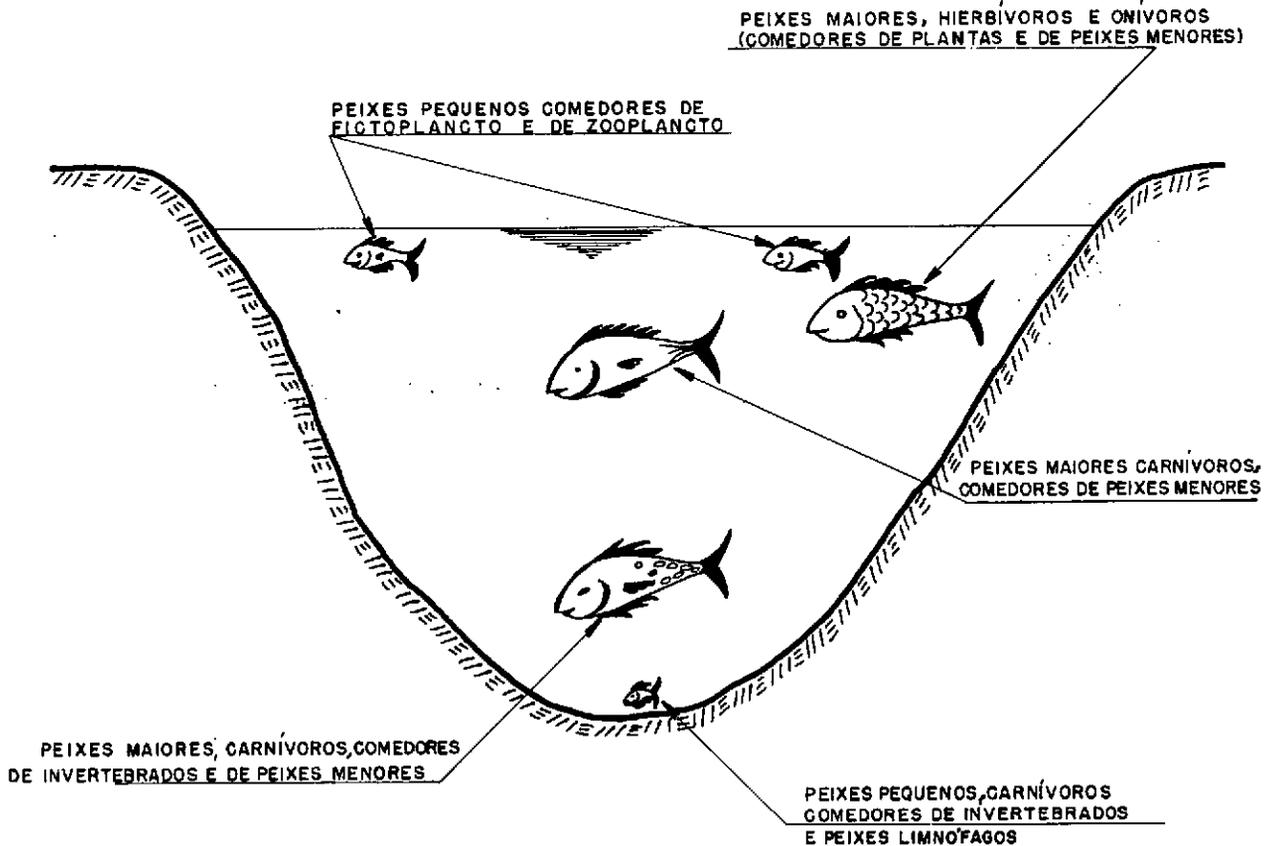
Para tirarmos conclusões adequadas, indispensável se faz, preliminarmente, estudarmos o comportamento dessas espé - cies dentro do ecossistema; para isso, a melhor forma de aborda - gem é analisarmos as populações, isto é, o conjunto de todos os indivíduos de uma mesma espécie.

Pelo que vimos acima, devemos nos ocupar, quanto aos peixes, de quatro populações:

- a dos herbívoros
- a dos carnívoros

FIGURA 7

ESQUEMA DOS "HABITATS" DOS PEIXES, NA SEÇÃO TRANSVERSAL DE UM CURSO D'ÁGUA ENCARADO COMO ECOSSISTEMA



- a dos onívoros
- a dos limnófagos.

Cada uma delas certamente se comporta de modo diferente das outras e têm características peculiares, quantitativa e qualitativamente; para sabermos com um pouco mais de detalhe de que forma esse comportamento os leva a escolherem seu "habitat", necessário se torna definirmos, ainda que de um modo geral, não apenas os componentes abióticos e bióticos do ecossistema - o que já fizemos anteriormente - como também os fatores abióticos, de natureza física, que contribuem de forma preponderante para o estabelecimento das características fundamentais do ecossistema.

Desses fatores, os principais geralmente considerados são: temperatura, intensidade e composição espectral da luz incidente; profundidade da água, regime pluviométrico e clima da região.

Esses fatores abióticos, em conjugação com os componentes abióticos e bióticos, definem as condições reinantes no ecossistema e, conseqüentemente, comandam o comportamento das espécies, inclusive no que respeita à escolha do seu "habitat" natural.

Resumindo, um estudo cuidadoso das populações de peixes em um curso d'água deve considerar, de início, pelo menos os seguintes elementos:

- fatores abióticos: temperatura, luz, profundidade d'água, regime pluviométrico, clima, velocidade do escoamento, etc.
- componentes abióticos: solo, água, sedimentos, sais dissolvidos, elementos básicos simples (principalmente oxigênio), etc.
- componentes bióticos: fitoplancto, zooplancto, plantas aquáticas, invertebrados, peixes menores que sirvam de alimento, etc.

Por outro lado, os elementos acima podem ser considerados de modo estático, isto é, em um determinado período curto

de observação, ou de modo dinâmico, ou seja, ao longo de um período significativo de tempo. É fácil concluir-se que um estudo estático já é em si complexo, enquanto que um estudo dinâmico se constitui em um verdadeiro desafio, apesar de ter maior significação quando se trabalha com valores médios.

Ainda aqui, é indispensável lembrarmos que estamos fazendo essas considerações - mais genéricas do que específicas - com o exclusivo sentido de melhor explicar o enfoque a ser dado, posteriormente, à Escada de Peixe, não nos animando qualquer propósito de nos aprofundar nos aspectos ecológicos, para o que nos faleceriam recursos técnicos.

Novamente voltando à FIGURA 5 e levando em conta os fatores e componentes acima relacionados, compusemos o QUADRO II, no qual são os mesmos indicados de modo qualitativo, ao longo do perfil longitudinal do curso d'água.

A análise desse quadro, que merece estudo mais profundo por parte dos Ecologistas - que poderiam não apenas enriquecê-lo com maiores detalhes como, também, livrá-lo de enganos porventura cometidos - a análise desse quadro, dizíamos, reforça a hipótese cogitada ao introduzirmos a FIGURA 5: os três trechos do curso d'água têm diferenças ecológicas flagrantes, podendo-se constituir em três ecossistemas distintos.

Após essas considerações, podemos voltar ao perfil longitudinal do rio, já agora não apenas com a finalidade de delimitar os ecossistemas, mas no sentido de caracterizá-los em presença dos fatores abióticos e dos componentes abióticos e bióticos acima referidos.

No curso superior a temperatura tende a ser baixa, por causa da altitude; como a área de drenagem é pequena as vazões igualmente o são e, vale dizer, as profundidades também; em consequência, as chuvas provocam enchentes rápidas, havendo grandes variações de vazão; como as declividades são grandes, as velocidades são altas e, em decorrência, o escoamento é torrencial, havendo facilidade de entrada de ar no escoamento promovendo o seu enriquecimento em oxigênio; esse fato, combinado com as pequenas

QUADRO II

DISTRIBUIÇÃO QUALITATIVA DOS FATORES E

COMPONENTES DE UM CURSO D'ÁGUA

ENCARADO COMO ECOSISTEMA

ELEMENTOS		CURSO SUPERIOR	CURSO MÉDIO	CURSO INFERIOR
FATORES ABIÓTICOS	TEMPERATURA	BAIXA	MÉDIA	ALTA
	LUZ	ABUNDANTE	NORMAL	ESCASSA
	REGIME PLUVIOM.	SAZONAL	SAZONAL	SAZONAL
	CLIMA	CARACTERÍSTICO	CARACTERÍSTICO	CARACTERÍSTICO
	PROF. D'ÁGUA	PEQUENA	MÉDIA	GRANDE
	VARIAÇÃO DO NA.	GRANDE	REGULAR	PEQUENA
	VAZÕES	PEQUENAS	MÉDIAS	GRANDES
	VARIAÇÃO DA VAZÃO	GRANDE	REGULAR	PEQUENA
	VELOCIDADES	GRANDES	MÉDIAS	PEQUENAS
	DECLIVIDADE	GRANDE	MÉDIA	SUAVE
	CACHOEIRAS	MUITAS	POUCAS	NENHUMA
ESTAB. DA CALHA	PEQUENA	REGULAR	GRANDE	
COMPONENTES ABIÓTICOS	MASSA D'ÁGUA	PEQUENA	GRANDE	ENORME
	SOLO MARGINAL	VIRGEM	APROVEITADO	POLUENTE
	SOLO DA CALHA	ROCHOSO	MISTO	SEDIMENTAR
	SEDIMENTOS	GRANDES	MÉDIOS	PEQUENOS
	SAIS DISSOLVIDOS	ABUNDANTES	NORMAIS	ESCASSOS
	OXIGÊNIO DISSOLVIDO	ABUNDANTE	REGULAR	ESCASSO
	OUTROS ELEMENTOS	ABUNDANTE	NORMAIS	ESCASSOS
COMPONENTES BIÓTICOS	FITOPLANCTO	ESCASSO	NORMAL	NORMAL
	ZOOPLANCTO	ESCASSO	NORMAL	NORMAL
	PLANTAS AQUÁTICAS	ESCASSAS	NORMAIS	NORMAIS
	INSETOS/LARVAS	EFÊMEROS/NORMAIS	NORMAIS	ABUNDANTES
	INVERTEBRADOS	ESCASSOS	NORMAIS	ABUNDANTES
	PEIXES	ESCASSOS	ABUNDANTES	NORMAIS

profundidades e a geralmente pequena quantidade de material sólido em suspensão, facilitam a entrada de luz na massa d'água; ainda por efeito das altas velocidades o escoamento tem grande capacidade de erosão, arrastando sedimentos de grandes diâmetros e, também, animais que pretendam permanecer no fundo da calha; finalmente, como os terrenos marginais geralmente não são utilizados pelo homem e também não são muito castigados pelo intemperismo, a massa d'água é constantemente alimentada de componentes abióticos e de vegetais.

Em geral, nesse trecho superior o fundo do rio costuma ser rochoso ou coberto de cascalho trabalhado pelo escoamento, que pode arredondá-los completamente (seixos rolados).

Lembrando que "habitat" de um organismo é o espaço onde habitualmente ele vive, as características acima enumeradas do curso superior de um rio permitem deduzir-se os tipos de organismos capazes de nele instalarem seu habitat.

Quanto aos organismos que vivem no fundo da calha (denominados fauna bentônica), por exemplo, ou são dotados de potentes garras que lhes permitem fixarem-se ao fundo ou, então, possuem forma achatada e abrigam-se entre os cascalhos e os seixos rolados de maior porte, que não são arrastados pelas correntes; os organismos de superfície (fictoplâncton, zooplâncton, plantas aquáticas, insetos, etc) praticamente não existem nesse trecho do curso d'água, em face das altas velocidades e da turbulência. Os poucos insetos têm vida muito efêmera, ao passo que é normal a presença de larvas de grande resistência.

Finalmente, os organismos que vivem no seio da massa líquida somente podem ter aqui seu habitat se possuírem grande capacidade de resistência ao arrastamento pelas correntes ou, então, se puderem refugiar-se entre os cascalhos, nas regiões de velocidade mais baixa. No caso especial dos peixes, algumas espécies de porte e forma adequados, geralmente rugosos, providos de placas ósseas, achatados na parte ventral, com abertura bucal ventral (que não somente possibilita ao peixe firmar-se no substrato, mas também facilita sua alimentação), encontram ali seu habitat.

São conhecidos vulgarmente por "cascudinhos".

Na FIGURA 8 apresentamos um esquema do trecho superior de um curso d'água encarado como ecossistema estável, no qual indicamos os diversos organismos habitualmente encontrados e seus respectivos "habitat".

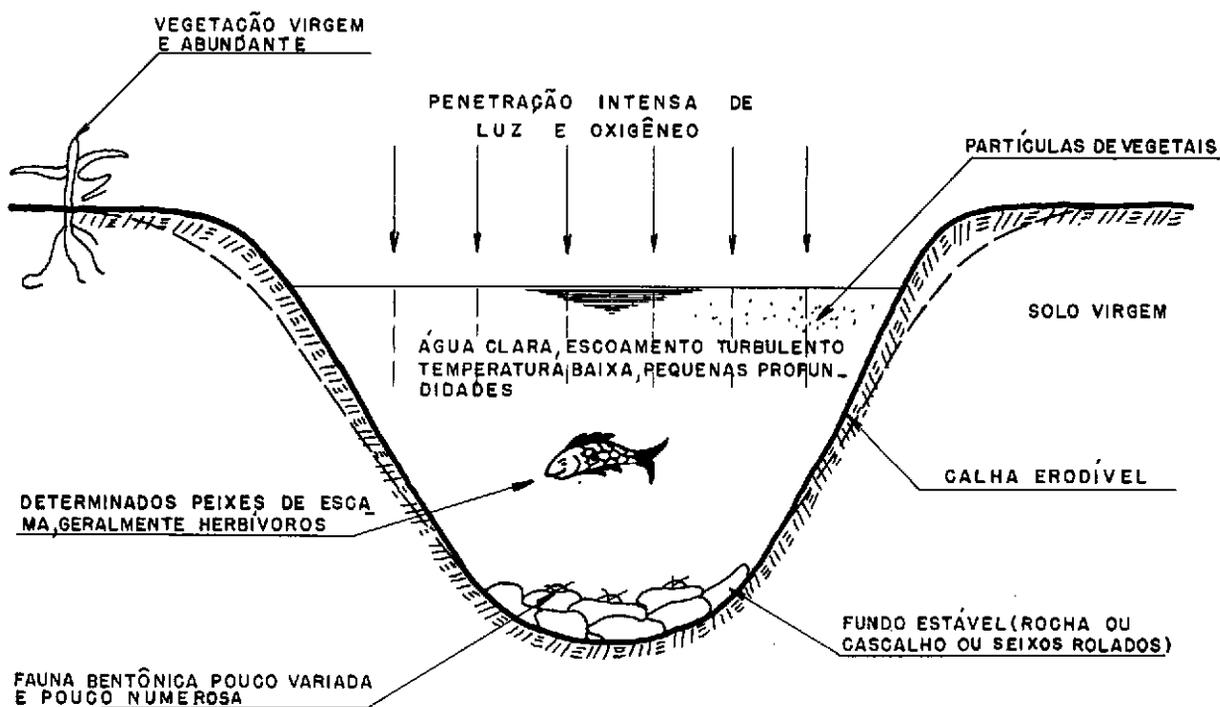
Antes de nos ocuparmos do trecho médio, julgamos melhor tecermos considerações a respeito do trecho inferior, pois nestes as características são praticamente opostas às do trecho superior, tornando-se mais fácil chegarmos aos organismos que nele ocorrem.

Nesse trecho, a temperatura costuma ser alta, pois o rio está próximo ao nível do mar; como a área de drenagem é muito grande e, além disso, o rio já recebeu praticamente todos os seus tributários, as vazões são grandes; em consequência, a calha está bastante erodida, aprofundada e alargada, tornando grandes as profundidades e pequenas as velocidades, inclusive porque a declividade é bastante suave; em vista disso o escoamento é tranquilo e, conseqüentemente, a incorporação de oxigênio, por difusão, à massa d'água, é muito lenta e pequena, fator que associado a uma temperatura maior da água determina um menor teor de oxigênio dissolvido; as grandes profundidades, por sua vez, impedem a penetração da luz, que também é obstada pelo fato de a água ser turva por material sólido em suspensão, geralmente argila; a capacidade de erosão é pequena, pelo que o fundo é constituído de material fino, quase sempre areia, havendo inclusive tendência ao assoreamento; os terrenos marginais geralmente são utilizados pelos homens, frequentemente desprovidos de vegetação, ou somente existindo as rasteiras; não obstante serem razoáveis as variações de vazão, os níveis d'água pouco variam, justamente porque nas épocas de enchentes o rio extravasa da calha e varre os terrenos marginais.

Em face dessas características, nesse trecho a fauna e a flora bentônica são abundantes e variadíssimas, constituindo-se de inúmeras espécies, vez que não têm de enfrentar correntes caudalosas e, além disso, encontram à sua disposição em leito sedimentar bastante propício, sendo que muitos organismos estabele-

FIGURA 8

ESQUEMA INDICATIVO DOS ORGANISMOS PRESENTES NO TRECHO SUPERIOR DOS CURSOS D'ÁGUA ENCARADOS COMO ECOSISTEMA



cem seu "habitat" no seio desses sedimentos e não na massa d'água. As modificações sedimentológicas, quando ocorrem, evidentemente nfluenciam bastante esses organismos bentônicos.

Determinados tipos de peixes, que não necessitam de muito oxigênio e se alimentam dessa fauna bentônica, instalam junto ao fundo seu "habitat", como é o caso do curimatã e do cascudo.

Igualmente ricas são a flora e a fauna superficiais, encontrando-se fitoplancto e zooplancto em quantidade, plantas aquáticas de vários tipos, insetos de inúmeras espécies e peixes de superfície, de pequeno porte, que deles se alimentam.

No seio da massa líquida situam-se principalmente os peixes de grande porte, geralmente carnívoros ou onívoros, com escamas ou sem elas (os chamados peixes de couro), das es espécies que não requerem muito oxigênio, peixes esses que têm alimento abundante à sua disposição.

Finalmente, vale mencionar o fato de que no trecho inferior o fundo do rio geralmente é muito rico em fungos e bactérias, componentes heterotróficos desintegradores, que são responsáveis por significativa quantidade de matéria orgânica elementar, havendo rios nos quais essa matéria, nesse trecho, predomina sobre os próprios sedimentos.

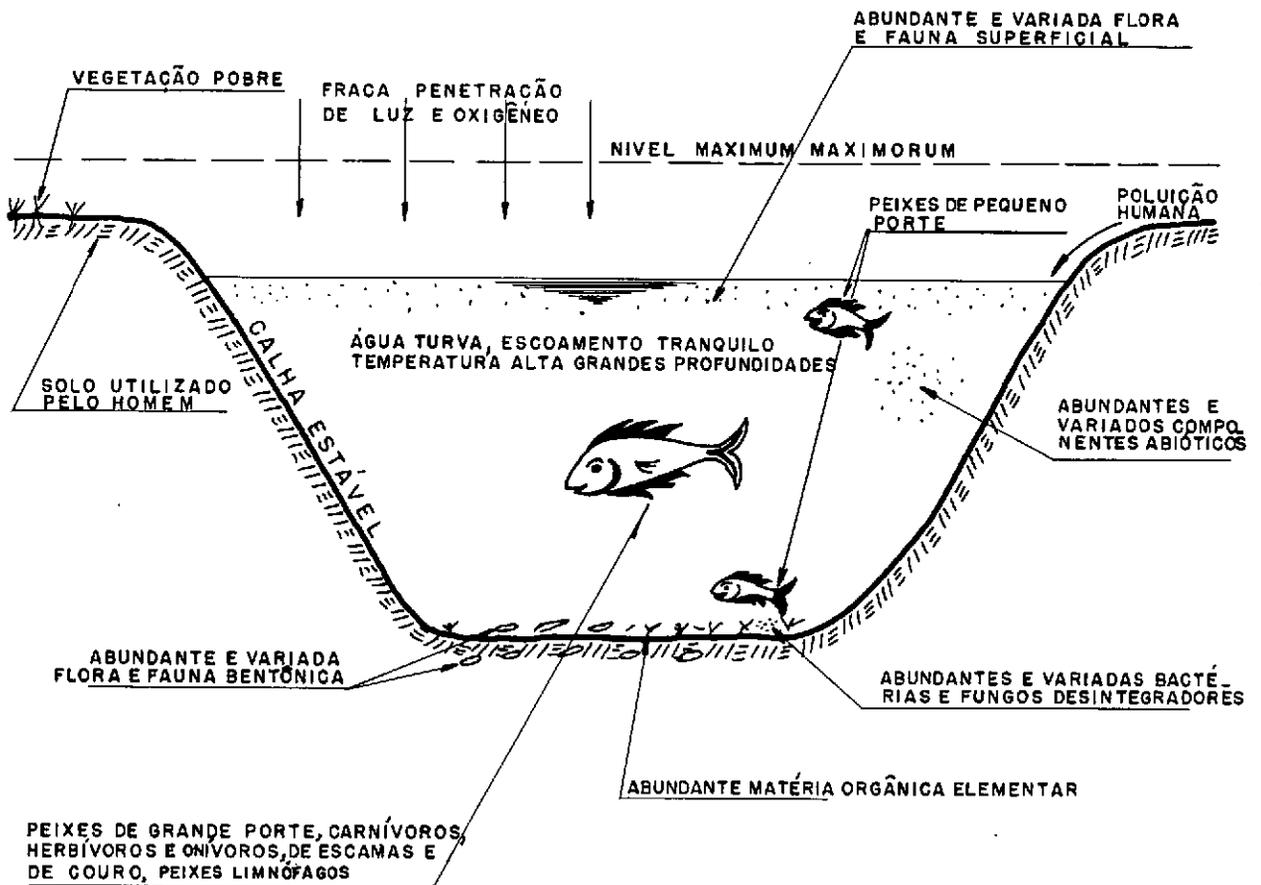
Na FIGURA 2 apresentamos um esquema do trecho inferior de um curso d'água encarado como ecossistema estável, no qual indicamos os diversos organismos habitualmente encontrados e seus respectivos "habitats".

Deixamos de nos referir aos rios submetidos à influência da maré, nos quais há penetração do prisma de salinidade no seu trecho inferior, em virtude de não ser necessária tal abordagem dentro do escopo deste trabalho.

O trecho médio dos rios é um meio termo entre o superior e o inferior, aproximando-se mais deste do que daquele. No que respeita aos componentes abióticos e aos bióticos autotróficos, é mais rico do que o trecho superior e menos do que o trecho

FIGURA 9

ESQUEMA INDICATIVO DOS ORGANISMOS PRESENTES NO TRECHO INFERIOR DOS CURSOS D'ÁGUA ENCARADOS COMO ECOSISTEMAS



inferior; além disso, em virtude de receber adequada penetração de luz e de oxigênio, bem como de ter o material sólido em suspensão dentro dos limites razoáveis e, ainda, de possuir temperaturas médias, justamente nesse curso médio é que a fauna ictiológica (peixes) é mais variada e abundante, sendo representada por diversas espécies encontradas ao longo do curso d'água, vale dizer ao longo do ecossistema considerado.

No que interessa aos peixes, esse curso médio geralmente apresenta lagoas marginais e "braços mortos", nos quais se desenvolve uma biota própria, abundante e variada. Na calha fluvial, a água corrente não permite que se desenvolvam os planctos, salvo em raros casos de escoamentos muito tranquilos e de grande extensão, nos quais tal é possível. Essa falta de produção plantônica própria do rio é compensada pelas referidas lagoas e "braços mortos", que através de suas comunicações permanentes ou periódicas com a calha fluvial, lançam nesta quantidades significativas de plancto, aumentando-lhe a produtividade biológica.

Na FIGURA 10 apresentamos um esquema do trecho médio de um curso d'água encarado como ecossistema estável, no qual indicamos os diversos organismos habitualmente encontrados e seus respectivos "habitats".

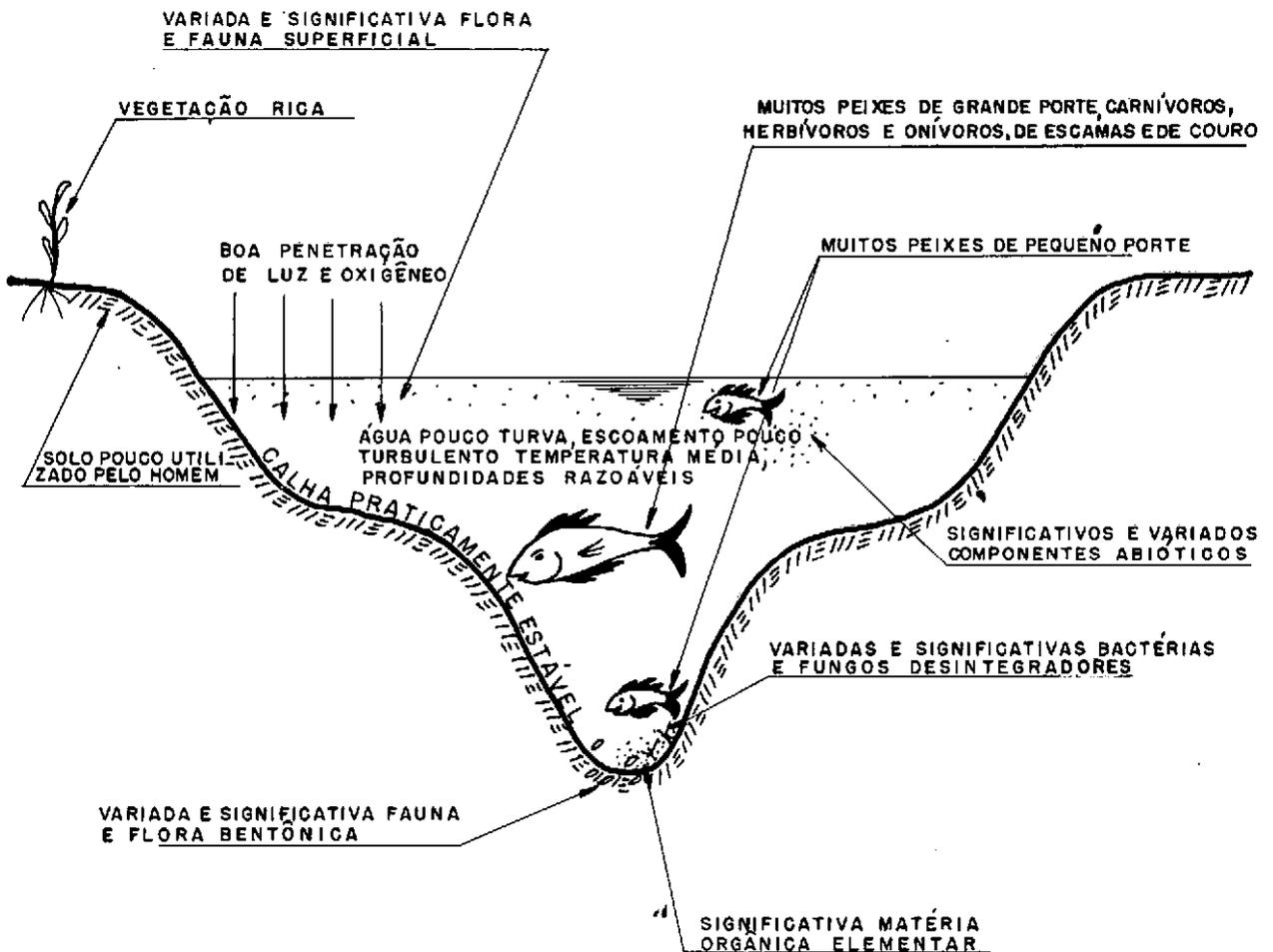
As considerações acima feitas, esquematizadas nas FIGURAS 8, 9 e 10, são de natureza qualitativa e, além disso, genéricas; cada curso d'água apresentará, nos seus três trechos, características peculiares, em virtude das inúmeras variáveis em jogo, dentre as quais as mais importantes foram consideradas no QUADRO III.

Se, em termos gerais, os "habitats" das espécies de peixes existentes em um curso d'água podem ser definidos como o fizemos acima, nos casos específicos dois fatores têm que ser levados em conta:

- as variações de regime do curso d'água, principalmente vazões e níveis d'água, modificam as características geométricas e ecológicas da seção transversal, obrigando os peixes a uma adaptação ou à

FIGURA 10

ESQUEMA INDICATIVO DOS ORGANISMOS PRESENTES NO TRECHO MÉDIO DOS CURSOS D'ÁGUA ENCARADOS COMO ECOSISTEMAS



migração para seções mais propícias;

- fatores biológicos inerentes aos próprios peixes , alguns deles ainda desconhecidos, fazem com que eles se comportem de modo peculiar, às vezes independentemente das modificações do regime do rio.

Quanto às variações do regime do curso d'água, elas geralmente trazem as seguintes consequências:

No trecho superior, as estiagens podem ser tão rigorosas que na região das cabeceiras o rio seja "cortado", isto é, fique seco; isso, evidentemente, obriga os peixes a caminharem para jusante, até alcançarem uma seção que lhes seja propícia; por sua vez, advindo as enchentes, as águas sobem e esses peixes voltam novamente às seções a montante, em busca das condições que os satisfaçam. A distância, em planta, entre essas duas seções, delimitará o "habitat" natural de cada uma das espécies existentes no trecho superior do curso d'água.

É claro que, conforme já comentamos de passagem, havendo uma cachoeira que os peixes não tenham capacidade de galgar, ela é o limite de jusante para o "habitat" dos peixes existentes a montante e o limite de montante para o "habitat" dos peixes existentes a jusante.

O mesmo raciocínio pode ser feito relativamente aos peixes que vivem no trecho médio e no trecho inferior do curso d'água, delimitando-se - tendo em vista apenas as variações de regime do rio - seus "habitats" naturais.

A extensão desses "habitats" seria determinada com certa facilidade se cada espécie de peixe somente pudesse viver em determinadas condições do ecossistema, pois bastaria plotar, ao longo do rio, as seções extremas, a montante e a jusante, em que tais condições se estabelecem, respectivamente na enchente máxima e na estiagem mais rigorosa.

Acontece, no entanto, que cada espécie apresenta , para cada fator abiótico ou biótico influente, determinada faixa de tolerância, podendo tal fator variar dentro dessa faixa sem

que o peixe sofra dano maior. Em virtude disso, mesmo permanecendo constantes as condições de regime do curso d'água, determinadas espécies - por apresentarem larga faixa de tolerância para os diversos fatores - possuem "habitat" mais extenso, que ainda mais se alonga em face das referidas variações de regime.

Assim, por exemplo, um peixe habitualmente vivendo no trecho inferior de um rio poderá penetrar bastante o trecho médio caso tenha uma razoável faixa de tolerância respeito à variação de temperatura da água (estamos, obviamente, abstraindo os demais fatores intervenientes).

Como se não bastasse, as curvas de tolerância da espécie para cada um dos fatores, isoladamente, são diferentes e, quando combinados dois ou mais fatores, elas mudam.

Em suma: a delimitação transversal e longitudinal do "habitat" natural de uma determinada espécie de peixe, levando em conta apenas as modificações no ecossistema provocadas pelas variações do regime do rio não é tão simples como poderia parecer à primeira vista e exige, para a sua consecução, cuidadosos estudos hidro-bio-ecológicos.

Na FIGURA 11 apresentamos um esquema a respeito, com finalidade meramente ilustrativa.

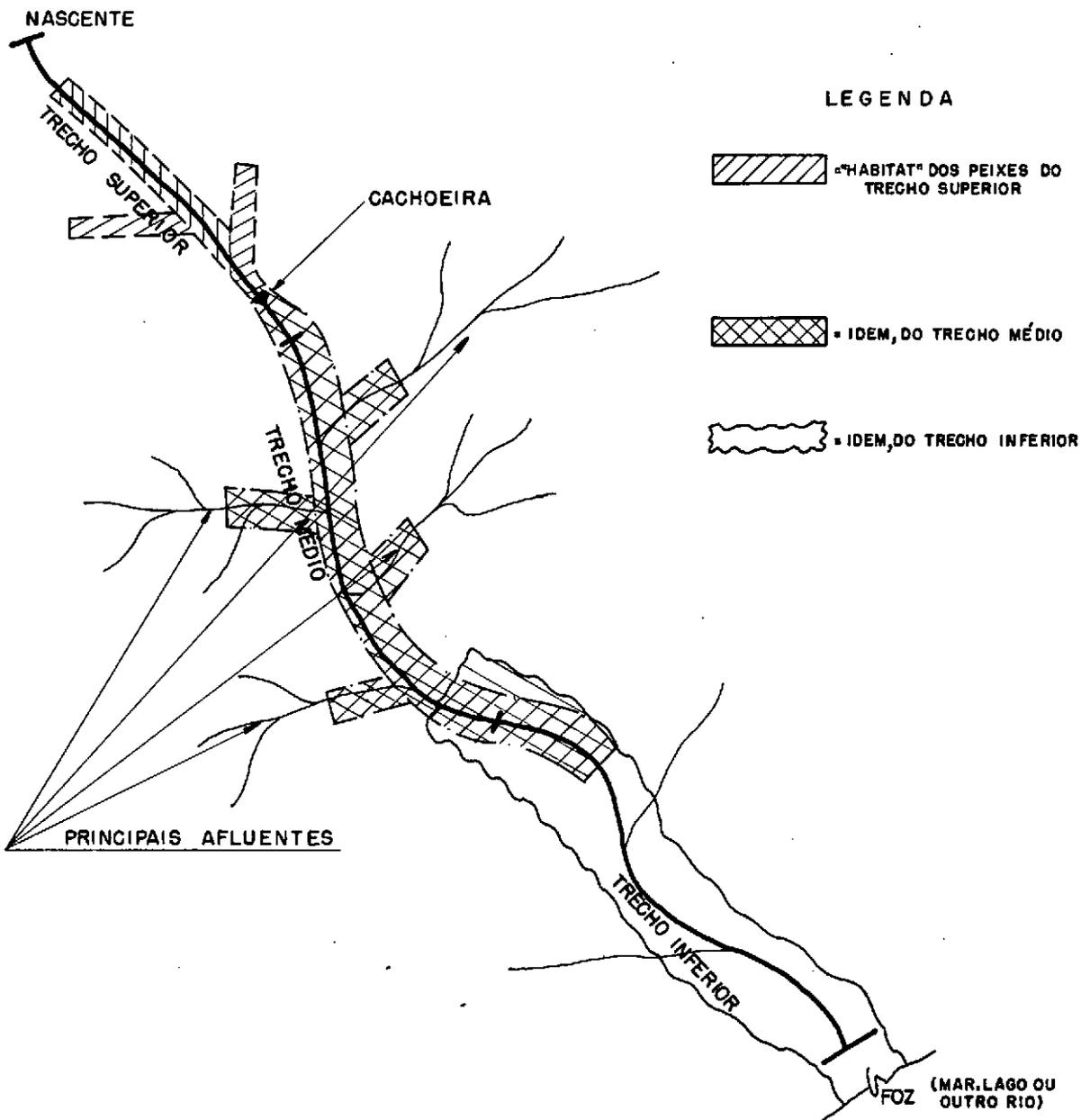
Quanto aos fatores biológicos inerentes aos próprios peixes, alguns deles - como já dissemos - ainda desconhecidos, e que os levam a comportarem-se de modo especial, às vezes até independentemente das modificações do regime do rio, podem ter influência, em determinadas circunstâncias, no estabelecimento, pela espécie, do seu "habitat".

Esses são chamados fatores bióticos, que ao contrário dos fatores abióticos não dependem do meio externo e sim dos indivíduos mesmos. São de duas naturezas: fatores inter-específicos, que regulam os diversos tipos de interação entre espécies diferentes e fatores intra-específicos, representados pelos mecanismos de regulação da espécie isoladamente.

Ambos fatores agem dando como resultado ou um de

FIGURA 11

ESQUEMA ILUSTRATIVO DA DELIMITAÇÃO EM PLANTA DO "HABITAT" NATURAL DOS PEIXES AO LONGO DE UM CURSO D'ÁGUA ENCARADO COMO ECOSSISTEMA



crêscimo, ou a estabilidade ou um acrêscimo nas populações. Para u  
sarmos de certo rigor nos termos, teríamos que nos referir à comu-  
nidade (reunião de populações) ao tratarmos dos fatores inter-es  
pecíficos e à população quando nos ocuparmos dos fatores intra-es  
pecíficos.

Novamente iremos lembrar que estamos fazendo essas  
considerações de natureza biológica visando apenas a esclarecer me  
lhor o enfoque a ser dado às Escadas de Peixe, motivo pelo qual  
não cabe entrarmos em maiores detalhes, mesmo porque isso é mais  
próprio que seja feito pelos Biólogos, que possuem adequado prepa  
ro científico e profissional para tal empreitada, em si mesma com  
plexa.

Tratemos, inicialmente, dos fatores inter-específi-  
cos.

Quando duas espécies vivem em comunidade, a atua -  
ção desses fatores podem conduzir a diversos tipos de interação, a  
saber:

- Neutralismo: nenhuma das populações afeta direta -  
mente a outra, praticamente não havendo interações,  
apenas ambas compartilhando o mesmo "habitat". É o  
tipo mais comum de interação inter-específica.
- Competição: ambas as populações têm as mesmas ne-  
cessidades quanto a alimentos e/ou espaço, daí re-  
sultando afetarem-se mutuamente conduzindo a um de-  
crêscimo de ambas as populações, sendo que a dos in-  
divíduos mais capazes decresce menos e a outra po-  
de até extinguir-se.
- Mutualismo ou Simbiose: as duas populações são ab-  
solutamente indispensáveis uma para a outra, preci-  
sando estar juntas para a sobrevivência de ambas.
- Protocooperação: interação benéfica para ambas as  
populações, que juntas alcançam mais elevados índi-  
ces de vida; a diferença para o mutualismo é que a  
qui não há a obrigatoriedade da associação, poden-  
do as populações subsistirem independentemente uma  
da outra.

- Comensalismo: uma das populações, a comensal, necessita da outra para subsistir, porém não a afeta; a segunda, auto-suficiente, permanece estável, com ou sem a comensal.
- Amensalismo: trata-se, na realidade, de uma repulsão; uma das populações (a inibidora), pura e simplesmente expulsa a outra (a inibida) do espaço que deseja ocupar no "habitat" comum, mantendo-se estável e provocando decréscimo na outra.
- Parasitismo: uma das populações necessita da outra para subsistir e, ao contrário do Comensalismo, afeta-a, tendendo a extinguí-la; vale aqui comentar que nesse tipo de interação geralmente atuam mecanismos reguladores pelos quais não apenas periodicamente se arrefece a atuação dos parasitas como, concomitantemente, há recomposição dos hospedeiros.
- Predação: conceitualmente, é o mesmo tipo de interação acima descrito; a diferença consiste no fato de que ali o parasita é muito menor do que o hospedeiro e, em alguns casos, instala-se dentro de le, enquanto que aqui o predador é muito maior do que a presa e simplesmente a devora. Também aqui pode haver mecanismos de regulação, mantendo o equilíbrio da comunidade em intervalos longos de observação.

Desnecessário ressaltar a importância desses fatores bióticos inter-específicos no estabelecimento dos "habitats" e na manutenção das populações de peixes existentes em um curso d'água, independentemente das variações do regime do rio. Mas ainda, desnecessário enfatizar tal importância quando essas variações se processam.

Assim, por exemplo, se no trecho superior (onde é pequena a disponibilidade de componentes bióticos que servem de alimento para os peixes), existirem várias espécies de peixescarnívoros, dificilmente se dará um neutralismo, provavelmente instalando

do-se uma competição ou, ainda, uma predação entre eles, as espécies mais fortes eliminando as mais fracas.

Já no trecho médio e no trecho inferior, não apenas devido à maior extensão como também em virtude da grande quantidade de alimentos disponíveis, haverá certa facilidade da ocorrência de neutralismo entre as espécies de peixes existentes. Dificilmente, no entanto, deixará de haver a predação, pois são numerosas as espécies de peixes carnívoros que se alimentam de peixes menores.

Interessante notar que no trecho inferior se implantará um regime de competição caso nele existam espécies que necessitem de quantidades razoáveis de oxigênio, de baixo teor, nesse trecho.

Enfim, tanto na seção transversal (ver FIGURAS 8, 9 e 10) como longitudinalmente (ver FIGURA 11) o "habitat" de cada uma das espécies de peixe será estabelecido tanto pelas condições decorrentes do regime do rio (responsável pela atuação dos fatores abióticos e bióticos do ecossistema), quanto pela ação dos fatores bióticos inter-específicos, que regularão as interações entre as diversas espécies, cujas populações formarão várias comunidades, desde a nascente do rio até a sua foz.

Porém, como já tivemos oportunidade de adiantar, além dos fatores bióticos inter-específicos, que regulam a integração entre populações, atuam também fatores bióticos intra-específicos, isto é, aqueles responsáveis pelo mecanismo de regulação da população de uma determinada espécie, na relação entre os indivíduos.

Esses fatores jamais agem apenas por si mesmos e sim em combinação com os fatores abióticos e com os bióticos inter-específicos, no entanto são de capital importância na estabilidade da população.

Os Biólogos costumam classificar os fatores bióticos intra-específicos em dois tipos: social e psicológico.

A organização social das populações existentes no

Globo varia enormemente, desde aquelas estabelecidas pelos próprios homens até as observadas nos seres vivos, que podem ser muito simples como podem alcançar alto grau de sofisticação.

Esse assunto é bastante complexo, além de extremamente fascinante; assim como os homens até hoje não conseguiram se entender perfeitamente quanto às suas relações sociais, da mesma forma os pesquisadores ainda não conseguiram desvendar o véu de mistério que cobre muitas das organizações sociais dos seres vivos.

Em um ponto, no entanto, todos são acordes: essa organização social, combinada com os fatores abióticos e bióticos inter-específicos acima comentados, são de importância fundamental no estabelecimento do equilíbrio de uma determinada população, comandando seus mecanismos reguladores, principalmente no que tange aos vertebrados. Os peixes, que mais de perto nos estão interessando, enquadram-se entre os indivíduos que possuem organização social, havendo no entanto diferenças inerentes a cada espécie, o que aliás acontece com quase todos os seres vivos, inclusive o próprio homem.

O mais importante tipo de organização social é aquele no qual determinado número de indivíduos da mesma espécie reservam para si um certo volume do "habitat" da espécie e nesse volume exercem suas funções básicas de vida: respiração, alimentação, procriação, etc.

Geralmente tal volume, denominado território é defendido valentemente contra a invasão de qualquer outro indivíduo da mesma espécie, travando-se não raro lutas de morte.

Claro está que os indivíduos mais fortes e os grupos mais numerosos acabam dominando territórios maiores do que os mais fracos, podendo advir uma incapacidade destes sem sobreviver; esse fato funciona como um mecanismo de regulação da população.

Outro tipo também muito frequente é o da organização social em função da hierarquia. Todos os indivíduos vivem juntos, não se separando em territórios, mas existe entre eles uma

escala hierárquica definida, de tal sorte que havendo no "habitat" carência de qualquer elemento (por exemplo alimento), os indivíduos de maior hierarquia têm prioridade sobre os demais e assim sucessivamente. Esse fato igualmente funciona como regulador da população.

Interessante notar que determinadas espécies se organizam ora por territórios ora por hierarquia, dependendo das condições ambientes do "habitat".

Os peixes, como é sabido, quase sempre vivem agrupados nos chamados cardumes, às vezes aos milhares, organizados em função da hierarquia, provavelmente medida pelo tamanho ou ferocidade do indivíduo; há, no entanto, determinadas espécies (em geral as que vivem nos fundos dos rios) que se organizam em territórios, inclusive a fêmea fazendo ninho para os filhotes e cuidando deles até certa idade.

Também os fatores bióticos intra-específicos psicológicos são de extrema complexidade e, conseqüentemente, de muito difícil equacionamento. São representados por ações da população que fogem ao seu comportamento normal e que são atribuídas a condições especiais eventualmente reinantes no "habitat".

Nesse ponto, iremos tocar em assunto fundamental dentro da abordagem que daremos, neste trabalho, à Escada de Peixe: a chamada "piracema", isto é, a subida dos cardumes rio acima, na maioria dos rios brasileiros, nas épocas de enchente, geralmente no verão, quando percorrem centenas de quilômetros, será fruto da ação dos fatores abióticos (alterações devidas ao regime do rio) que dão ao trecho médio e ao trecho inferior características inadequadas ou mesmo insuportáveis para os peixes?

Será essa piracema resultado da ação dos fatores bióticos intra-específicos? Nessa hipótese, tratar-se-á de uma peculiaridade dentro da organização social da espécie, visando à procriação (como acreditam muitos Biólogos) na época e nos locais mais propícios em face dos fatores abióticos? Ou estaremos diante apenas de uma reação psicológica motivada pelas mutações causadas nos fatores abióticos, pelas enchentes?

Deixamos as perguntas em suspenso, por ora, mas posteriormente voltaremos a elas.

Na FIGURA 12 apresentamos, a título ilustrativo, um diagrama representativo da ação dos fatores abióticos e bióticos no comportamento das espécies de peixe existentes em um curso d'água encarado como ecossistema.

Como vemos, a perfeita caracterização do "habitat" de cada uma dessas espécies é laboriosa, além de complexa. Não basta caracterizar perfeitamente o regime do rio (o que em si já é uma empreitada extensa e onerosa) para definirem-se os fatores abióticos; não é suficiente completar-se esse conhecimento com a determinação, ao longo do curso d'água, dos componentes abióticos e bióticos para cada situação de regime do rio; torna-se ainda imprescindível definirem-se os fatores bióticos, tanto os inter-específicos reguladores da interação entre espécies diferentes, quanto os intra-específicos, inerentes a uma mesma espécie.

Não nos atrevemos a avançar previsões quanto ao custo de um trabalho dessa envergadura, em um qualquer dos grandes e piscosos cursos d'água existentes no nosso país, nesse particular privilegiado pela Natureza.

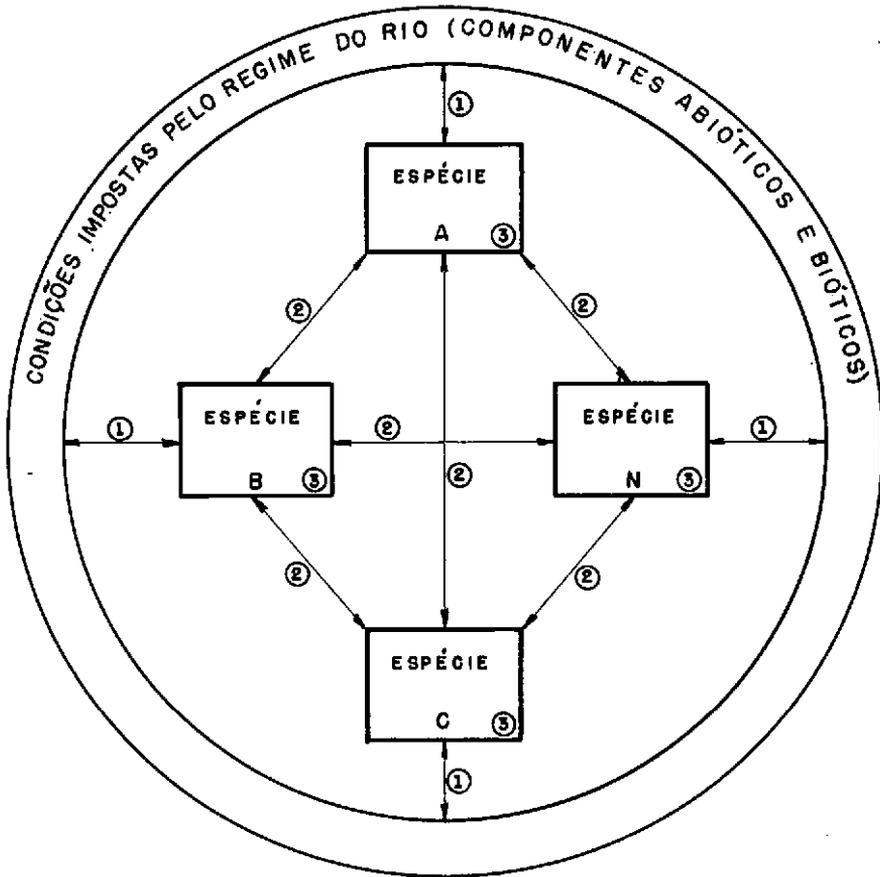
E se em termos de custo a dificuldade é grande, o mesmo se pode dizer no que respeita a pessoal habilitado para a realização de tais estudos, já não diremos em qualidade, mas em quantidade e em experiência.

Essas dificuldades explicam porque até hoje não se fez um trabalho desses no Brasil, apenas podendo-se contar com in formações limitadas, fruto do idealismo de alguns abnegados que realizaram e realizam o possível dentro dos poucos recursos com que podem contar.

Em face da natureza desta tese, que tem íntima relação com esse assunto, torna-se indispensável que enfatizemos o que foi dito acima, isto é, até hoje não se fez, no Brasil, sequer um único trabalho cientificamente orientado capaz de definir com clareza os "habitats" e o comportamento das espécies de peixe existentes nos nossos cursos d'água.

FIGURA 12

ESQUEMA REPRESENTATIVO DA AÇÃO DOS FATORES ABIÓTICOS E BIÓTICOS NO COMPORTAMENTO DAS ESPÉCIES DE PEIXES EM UM CURSO D'ÁGUA ENCARADO COMO ECOSSISTEMA



#### LEGENDA

- 1 - AÇÃO DOS FATORES ABIÓTICOS.
- 2 - AÇÃO DOS FATORES BIÓTICOS INTER-ESPECÍFICOS
- 3 - AÇÃO DOS FATORES BIÓTICOS INTRA-ESPECÍFICOS.

O que se tem feito, nesse particular, são estudos isolados, principalmente determinação da amplitude migratória dos cardumes dos peixes de piracema, em alguns pouquíssimos rios, entre eles o Mogi-Guaçu - no qual já foram levados a efeito alguns programas pela Estação de Biologia e Piscicultura de Pirassununga, que no momento realiza trabalho desse tipo.

Esse, a nosso ver, é o principal motivo pelo qual as obras de proteção à fauna ictiológica, no Brasil, além de altamente polêmicas encontram enormes resistências para sua implantação e, quando levadas a efeito, não dão os resultados esperados, porque não são projetadas levando em conta todos os fatores influentes.

Em outras palavras: falta o respaldo de dados técnicos dignos de confiança para a tomada de decisão relativamente a tais obras.

Também voltaremos a tratar deste assunto mais adiante.

### 1.3 - AÇÃO DAS BARRAGENS NOS CURSOS D'ÁGUA ENCARADOS COMO ECOSISTEMAS

Conforme vimos no item anterior, quatro são os elementos que respondem pelo equilíbrio final de um curso d'água encarado como ecossistema:

- fatores abióticos
- componentes abióticos
- componentes bióticos
- fatores bióticos

No QUADRO III apresentamos um quadro sinótico discriminando cada um desses elementos, que já tivemos oportunidade de descrever.

Ainda de acordo com o que abordamos no item anterior, lembramos que, se levarmos em conta apenas os fatores abióticos, o curso d'água pode ser dividido em três ecossistemas distintos, coincidentes com os três trechos em que tradicionalmente

QUADRO III

QUADRO SINÓTICO DOS ELEMENTOS DEFINIDORES DO  
EQUILÍBRIO DE UM CURSO D'ÁGUA ENCARADO  
COMO ECOSSISTEMA

Fatores	Abióticos	- características do meio ambiente	- luz - pluviosidade - clima - temperatura ambiente - ventos - umidade, etc.
		- características do regime do rio	- níveis d'água - vazões - velocidades - tipos de escoamento - transporte de sedimentos, etc.
Componentes	Abióticos	- do meio ambiente	- solo marginal - detritos marginais, etc.
		- do rio	- água - solo da calha - sedimentos e detritos - sais dissolvidos - substâncias elementares, principalmente oxigênio, etc.
Componentes	Bióticos	- do meio ambiente	- vegetais marginais - animais marginais, etc.
		- do rio	- fitoplancto - zooplancto - plantas aquáticas - insetos - peixes - invertebrados comedores de detritos - bactérias e fungos desintegradores, etc.
Fatores	Bióticos	- inter-específicos	- neutralismo - comensalismo - mutualismo - parasitismo e predação, etc.
		- intra-específicos	- sociais - psicológicos

a Hidrologia divide os cursos d'água, isto é: superior ou alto, médio e inferior ou baixo. A FIGURA 5 consubstancia essa abordagem.

Lembramos, outrossim, que ao ponderarmos também os componentes abióticos e bióticos em busca da delimitação dos "habitats" das diversas espécies de peixe, de um modo geral eles se interpenetram, havendo uma superposição pequena entre o trecho superior e o médio e uma superposição bastante grande entre este e o trecho inferior. As FIGURAS 8, 9, 10 e 11 ilustram o assunto.

Finalmente, conforme vimos, computando-se os fatores bióticos há peculiaridades na integração entre espécies diferentes que vivem em comunidade no "habitat", devidas à ação dos fatores inter-específicos, e comportamento especial de determinadas espécies na sua própria população, por efeito dos fatores intra-específicos. A chamada piracema, à qual já nos referimos, constitui-se um exemplo típico da ação de fatores bióticos, não havendo ainda explicação definitiva para ela, aceita por todos os Biólogos brasileiros.

Tudo o que foi até agora dito partiu do pressuposto de que o curso d'água se encontra no seu estado natural, sem sofrer modificações significativas por parte do Homem, mantendo um equilíbrio ecológico dinâmico ao longo do tempo.

A questão que nos colocamos agora é a seguinte: quais serão as consequências, para esse equilíbrio, da implantação de uma barragem no curso d'água? Podemos prevê-las, quantitativa e qualitativamente? É o de que nos ocuparemos a seguir.

Ao se implantar uma barragem no curso d'água, rompe-se tal equilíbrio e, durante um determinado intervalo de tempo, tão maior quanto mais significativas as modificações impostas, dão-se transformações em quase todos os fatores vistos, até que se estabeleça nova situação de equilíbrio.

Assim é que, dependendo da área do espelho d'água criado pela barragem, pode-se até modificar o microclima da região, vez que pela grande capacidade que tem de guardar calor, esse espelho d'água passará a devolver significativas massas d'água

à atmosfera, pelo mecanismo da evaporação.

Ao mesmo tempo, o reservatório modificará, em toda a superfície que abranger, as características da bacia hidrográfica, especialmente no que respeita à cobertura vegetal e às condições pedológicas.

Outrossim, agrava-se o desequilíbrio, não apenas pela criação do reservatório em si como também pela ação do homem, que ao construir a barragem e, posteriormente, ao estabelecer-se nas margens do lago formado, procede aí a significativas modificações, principalmente no que respeita à cobertura vegetal.

A bacia hidrogeológica, a não ser em casos muito especiais, sofre pequenas repercussões.

O regime sedimentológico, no entanto, é enormemente afetado, não apenas no local da barragem, onde se processa uma formidável retenção de material sólido em suspensão e de arrastamento, como também a montante (até onde o remanso influencie o escoamento primitivo) e a jusante, onde a descarga média cresce por efeito da regularização e, em vista disso, causa modificações de calha até a foz.

Quanto à hidroflora e à hidrofauna, o reservatório criado pela barragem passa a ser um novo universo, pois onde existia um escoamento pleno, geralmente turbulento e oxigenado, com pequenos e médios tirantes e determinadas condições de temperatura, pressão, etc, passa a haver uma grande massa d'água, praticamente parada, na qual as novas condições físicas, químicas e biológicas, são fundamentalmente diferentes.

Em vista disso, processam-se violentas transformações tanto na hidroflora como na hidrofauna.

A barragem, na realidade, está seccionando o ecossistema primitivo, transformando-o em dois novos: o de montante e o de jusante.

Dentro dessa nova ordem de coisas, quais serão as repercussões no mais nobre representante da hidrofauna, isto é, o peixe? Como determiná-las? Como obviar-lhes os inconvenientes? Va

lerá a pena fazê-lo, ou será melhor deixar a Natureza, por si mesma, buscar nova situação de equilíbrio?

Considerando-se todos os fatores e componentes, bióticos e abióticos, as transformações a serem introduzidas pela barragem podem ser analisadas qualitativamente com base nas FIGURAS 8, 9, 10 e 11.

Há três hipóteses a considerar, dependendo de ser a obra implantada no curso superior ou no curso médio ou no curso inferior do rio.

Na primeira hipótese, em toda a região atingida pelo remanso o escoamento passará de bastante turbulento a totalmente tranquilo e, evidentemente, extravazará da calha. Nos casos habituais, a grande maioria das barragens construídas nos trechos superiores dos cursos d'água são de pequena acumulação, destinadas à geração de energia elétrica e trabalhando com vazões baixas e quedas muito altas, aproveitando o desnível natural do rio, portanto formando pequenos reservatórios. É comum tais barragens serem implantadas imediatamente a montante de cachoeiras, caso em que, longitudinalmente, não modificam o limite do ecossistema correspondente ao trecho de jusante.

Mas nesse caso, o reservatório modificará substancialmente os fatores e componentes, abióticos e bióticos, na sua região de influência; a montante e a jusante do reservatório, é de se supor, as modificações no ecossistema são de menor monta.

Nessas circunstâncias, se houver uma cachoeira pouco a jusante da barragem não há necessidade de se pensar em obra de transposição de peixes para montante, pois mesmo antes da existência da barragem tal não se dava.

Não havendo a cachoeira e a barragem sendo situada próxima ao trecho médio, portanto cortando a subida anual dos peixes na época da piracema, porventura existente, torna-se necessário estudar-se a implantação ou não de obra de transposição, assunto que trataremos mais adiante.

Quanto ao trecho a montante da barragem e fora da

zona de influência do reservatório, provavelmente, tudo se passa como indicado na FIGURA 8, isto é, mantêm-se as condições anteriores à implantação da obra.

No que respeita ao reservatório, pode e deve ele ser encarado como um ecossistema à parte, sendo que nele irão reinar - com o passar do tempo - condições ecológicas praticamente iguais às dos lagos naturais, que são ecossistemas aquáticos abertos também, no entanto possuindo características acentuadamente diferentes das de um curso d'água.

Não há necessidade de entrarmos em maiores detalhes a respeito desse novo ecossistema, bastando dizermos - para os fins deste trabalho - que nele os peixes do curso superior do rio dificilmente encontrarão possibilidade de sobrevivência, sendo obrigados a se confinarem na região a montante, fora da influência do reservatório.

Vale a pena comentar, outrossim, que o reservatório formado pela barragem constitui-se em massa d'água propícia à implantação de várias espécies de peixe, evidentemente aquelas que vivem bem nas águas paradas e que não exigem maiores quantidades de oxigênio..

Na segunda hipótese, isto é, quando a barragem é construída no trecho médio do curso d'água, a situação exige maiores cuidados, de vez que justamente nessa região ele é mais piscoso e, além disso, havendo peixes de piracema, tanto neste trecho médio quanto no inferior, eles ficarão impedidos de alcançar o trecho superior.

Para agravar o problema, geralmente essas barragens são de grande porte, tanto quando se destinam à geração de energia, quanto quando visam à defesa contra inundações, à irrigação ou mesmo ao abastecimento d'água de cidades.

Continuaremos deixando para mais tarde a discussão em torno da necessidade ou não de se implantar obra de transposição capaz de permitir o trânsito dos peixes de piracema após a construção da barragem.

No que respeita ao trecho a montante da obra, fora do remanso do reservatório, podemos talvez admitir que se mantêm as condições ecológicas definidas na FIGURA 9, reinantes anteriormente à construção.

Quanto ao reservatório, terá as características acima indicadas, sendo que nesta segunda hipótese algumas espécies de peixe, anteriormente existentes a montante da barragem, irão buscar a região fora do reservatório, por não terem condições de adaptação a ele; em contrapartida, outras espécies por certo poderão nele instalarem seu "habitat".

Claro está que se o reservatório praticamente atingir o trecho superior do curso d'água, as espécies que demandarem a região de montante, para fugirem às novas condições impostas pelo reservatório, somente poderão sobreviver caso tenham capacidade de adaptação ao ecossistema definido pelo citado trecho superior. Os chamados aproveitamentos hidroelétricos "em cascata", nos quais o remanso de uma barragem praticamente alcança o canal de fuga da de montante, tudo indica provocam a extinção das espécies de águas correntes, enquanto aumentam as possibilidades de vida das espécies de águas paradas, abstraindo outros fatores também intervenientes, que podem anular esta vantagem, como por exemplo o Eutrofismo, isto é, excesso de nutrientes na massa d'água, provocando decomposição desenfreada com liberação de substâncias danosas aos peixes, como por exemplo o gás sulfídrico. Conforme dissemos há pouco, não vemos necessidade de descermos a detalhes relativamente ao reservatório como ecossistema, pois isso foge às necessidades deste trabalho.

Finalmente, a jusante do reservatório os fatores abióticos (exceto o transporte de sedimentos) continuam praticamente os mesmos, sendo que a vazão torna-se menos variável por efeito da regularização procedida pela barragem, conferindo maior homogeneidade ao ecossistema, quanto a esse aspecto.

Interessante referir, aqui, o fato de que essa regularização pode ser de tal monta que impeça o extravazamento do rio a jusante (isso se dá, obrigatoriamente, quando a barragem é

projetada para defesa contra inundações); nesse caso, há o perigo de se extinguirem certos tipos de espécies que desovam nas águas altas e cujos ovos, ao se hidratarem, flutuam e saem da calha fluvial em virtude do extravazamento, são depositados em "braços mortos" e em lagoas marginais, ali transformando-se em larvas, posteriormente em alevinos, mais tarde em elementos jovens, retornando à calha, na enchente subsequente. Não havendo o extravasamento, pode-se impedir a renovação da espécie.

Na terceira hipótese, aliás rara, da construção de barragem no trecho inferior de um curso d'água, em quase todos os casos essas obras são de pequena altura e, geralmente, dotadas de comportas que são totalmente abertas por ocasião das enchentes, praticamente liberando toda a calha fluvial para o escoamento; como a piracema justamente se processa nessas épocas, esses tipos de barragem muito dificilmente causam problema à migração dos peixes, exceto quanto são projetadas também para impedirem a entrada do prisma de salinidade em rios com controle de maré.

Não iremos, ainda, falar da necessidade ou não de ser mantida a piracema após a construção da barragem.

Quanto aos reservatórios criados por essas barragens, são muito pequenos, frequentemente deixando até de existir, pois a barragem não tem função de acumulação e apenas serve para controle dos níveis d'água nas vazões mínimas.

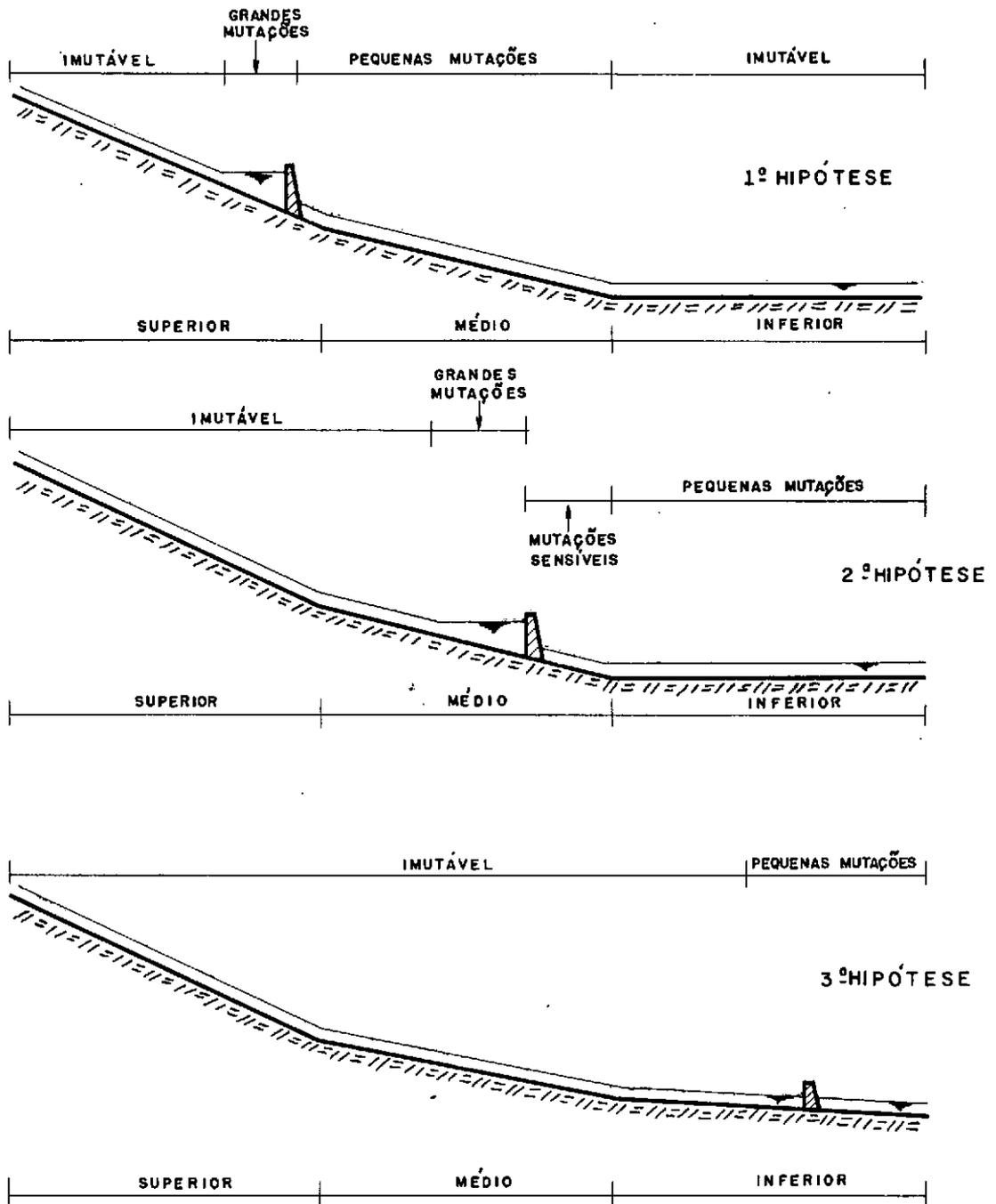
É evidente que essas barragens, com tais características, pouco ou nada modificam o curso d'água encarado como ecossistema.

A título ilustrativo, apresentamos a FIGURA 13, na qual estão indicadas, esquematicamente, as condições do curso d'água após a implantação da barragem, nas três hipóteses aventadas.

Pelo exposto até agora, é perfeitamente lícito concluirmos, em nome do bom senso e da boa técnica, ser absolutamente impossível fazerem-se afirmações a respeito da influência de barragens em cursos d'água sem ter-se o cuidado de estudarem-se previamente as condições neles reinantes, encarando-os como ecos-

FIGURA 13

ESQUEMA DA INFLUÊNCIA DE BARRAGENS EM  
CURSOS D'ÁGUA ENCARADOS COMO ECOSISTEMAS



sistemas, ou seja, levantando-se pelo menos suas principais características no que respeita aos fatores e componentes abióticos, bem assim aos componentes e fatores bióticos.

Em especial, seria leviandade avançarem-se previsões a respeito da influência na fauna ictiológica sem os estudos acima e sem complementá-los com informações específicas a respeito das espécies de peixe neles existentes e pelo menos dos principais parâmetros definidores do seu comportamento sob a ação dos fatores bióticos que lhes são peculiares.

No capítulo seguinte iremos, em nome da prudência, partir do pressuposto de que a barragem irá causar prejuízos à fauna ictiológica e, em consequência, tecer considerações a respeito dos diversos métodos usualmente empregados para preservá-la, entre eles a Escada de Peixe.

## CAPÍTULO 2

### A PROTEÇÃO DA FAUNA ICTIOLÓGICA NOS

#### CURSOS D'ÁGUA

A preservação da Natureza sempre foi preocupação dos Biólogos que, fascinados pelo grande equilíbrio reinante nos ambientes naturais, não aceitavam pacificamente que o Homem destruísse ou pelo menos mutilasse esses ambientes.

Com o avanço da Tecnologia, no entanto, essa agressão ao Meio foi-se tornando cada vez mais intensa e predatória, de nada adiantando os protestos desses Biólogos, então encarados como líricos defensores da Natureza.

Aconteceu, no entanto, que ela própria, pelos seus mecanismos naturais de defesa ou até mesmo pela simples aceitação dos desmandos dos homens, sem compensá-los com atuações naturais corretoras, passou a ser menos dadivosa e multiplicaram-se, nas diversas partes do Globo, em especial nos países industrializados, condições ambientes agressivas aos seres vivos, inclusive e principalmente os homens.

A esse processo de modificação do equilíbrio do meio ambiente resultando prejuízos de qualquer ordem para o Homem, chamou-se Poluição, palavra que a cada dia mais se ouve e que está se transformando numa verdadeira psicose da Humanidade.

Como justamente nos países industrializados a poluição se fez sentir mais cedo e neles é cada vez mais séria, seus cientistas e técnicos passaram a preocuparem-se bastante com ela e somaram esforços no sentido de combatê-la.

Infelizmente, não abstante o grande número e o indiscutível talento desses homens de elite, não foram encontradas soluções práticas e eficientes, o que os obrigou a estudarem com mais

profundidade os mecanismos reguladores do equilíbrio do meio ambiente, a fim de melhor combaterem a poluição.

Em virtude da vastidão e da complexidade dos fenômenos com que depararam, viram-se na contingência de dar a esses estudos tal envergadura que eles passaram a constituir uma verdadeira ciência - a Ecologia - que abrange quase todas as outras.

A primeira conclusão, simples e objetiva, a que todos chegaram, foi a de que é absolutamente indispensável controlar-se a poluição no Mundo, sob pena de extinguir-se a Humanidade ou partes significativas dela.

Estabeleceu-se, então, um problema grave: o Progresso, dentro do atual estágio tecnológico, é poluidor; se a poluição não for controlada, a Humanidade será posta em risco. Até que ponto, então, pode-se levar esse progresso? Haverá possibilidade de se desenvolver uma tecnologia capaz de eliminar a conotação poluidora dos agentes desse progresso, atuando-se na causa? O tempo que se levará para isso é suficiente, ou antes disso a poluição já terá atingido níveis insuportáveis? Poder-se-á, por sua vez, desenvolver uma tecnologia adequada visando à correção pelo menos dos efeitos?

O Mundo inteiro espera curioso pelas respostas e os Ecologistas, cientistas e técnicos esforçam-se por dá-las. Em um ponto, no entanto, todos estão acordados: hoje em dia é absolutamente indispensável que, ao se cogitar de qualquer providência capaz de afetar o meio ambiente, procure-se prever o vulto das repercussões negativas, pesá-las e, se for o caso, adotar medidas acauteladoras. O descaso por esse cuidado foi o responsável, por todos os danos existentes e procedimento dessa ordem, hoje em dia, não pode ser desculpado.

Assim sendo, levar em conta a proteção da fauna ictiológica antes de se construir uma barragem não é questão de lirismo; trata-se de procedimento que um Dirigente ou um Técnico atualizados consideram indispensável, inclusive porque sabem que isso é obrigatório, por lei, em quase todos os países desenvolvidos ou em desenvolvimento, como acontece no Brasil.

## 2.1 - MÉTODOS DE PROTEÇÃO À FAUNA ICTIOLÓGICA EM CURSOS D'ÁGUA

É óbvio que para se falar em proteção à fauna ictiológica em um curso d'água, indispensável se torna encará-lo como ecossistema, motivo pelo qual disso nos ocupamos no Capítulo 1.

A rigor esse assunto é muito vasto, pois há vários fatores que podem provocar extinção ou decréscimo populacional de espécies de peixes, como por exemplo o lançamento indiscriminado, no curso d'água, de esgotos sanitários e de despejos industriais. Como este trabalho se refere a Escadas de Peixe, iremos nos limitar a fazer considerações apenas quanto aos métodos de proteção empregados em virtude da construção de barragens.

Visando a isso é que, no Capítulo 1, já estudamos as influências provocadas pela barragem no curso d'água encarado como ecossistema.

Do ponto de vista conceitual, dois são os métodos gerais de proteção à fauna ictiológica ao se construir uma barragem:

- método do peixamento, no qual aceita-se que a barragem impedirá que os peixes de jusante alcancem o estirão de montante e vice-versa;
- método da transposição, que não aceita a premissa anterior.

Pelo que vimos até agora, o segundo método apenas deve ser cogitado se existirem, no curso d'água, espécies de peixe de piracema; caso contrário, o primeiro se impõe.

O método do peixamento consiste em compensar - quando elas existem - as diminuições nas populações das espécies por efeito da construção da barragem; essa compensação é feita por meios artificiais, conforme veremos mais adiante.

O método da transposição prevê, no local da barragem, sistema capaz de transpor os peixes de jusante para montante nas épocas de piracema e, em casos específicos, permitir-lhes o retorno para jusante, na descida. Dependendo do volume do reservatório e da intensidade com que ele altera as condições do curso d'água, pode

acontecer que, mesmo com o sistema de transposição, haja tendência de diminuição de determinadas espécies; nesse caso, pode-se cogitar de fazer-se também o peixamento. Mais adiante voltaremos ao assunto.

Antes de tecermos maiores considerações a respeito dos métodos acima, julgamos oportuno ocuparmo-nos de um aspecto da maior importância e que se for relegado a segundo plano poderá conduzir ao completo fracasso do sistema a ser adotado para a proteção da ictiofauna: estamos nos referindo aos estudos hidro-bio-ecológicos a serem realizados no curso d'água antes de se construir a barragem, a fim de ficarem bem definidos os parâmetros que regem a vida e o comportamento das espécies. Sem esses estudos, tais parâmetros serão desconhecidos e a adoção desse ou daquele método, bem como o dimensionamento das instalações e/ou obras de proteção à fauna, ficarão na dependência da intuição profissional do projetista.

## 2.2 - LEVANTAMENTOS HIDRO-BIO-ECOLÓGICOS NOS CURSOS D'ÁGUA

Para especificarmos os levantamentos necessários, iremos nos reportar simplesmente ao QUADRO III, no qual apresentamos um quadro sinótico dos elementos definidores do equilíbrio de um curso d'água encarado com ecossistema.

Podemos notar que o levantamento dos fatores e dos componentes abióticos é praticamente feito quando se procede a um levantamento hidrológico convencional, de acordo com a boa técnica; apenas outros poucos elementos precisariam ser levantados e as equipes habituais da hidrometria seriam perfeitamente capazes de fazer o trabalho, desde que convenientemente treinadas.

O Hidrólogo ocupar-se-ia da interpretação dos dados e obtenção de valores finais.

Ainda analisando o referido quadro, verificamos que os componentes bióticos seriam comodamente levantados dentro das programações normais de trabalho dos Hidrobiólogos.

Finalmente, os fatores bióticos seriam estudados pelo Biólogo especializado em peixes, de vez que visariam à determi-

nação do comportamento das espécies e não apenas da sua ocorrência, que já teria sido levantada - com os demais componentes bióticos - pelo Hidrobiólogo.

A tendência natural, com o tempo, seria a formação de Biólogos capazes de fazerem o levantamento tanto dos componentes quanto dos fatores bióticos, absorvendo o trabalho do Hidrobiólogo, nesses estudos específicos. Em suma: os Hidrólogos se ocupariam dos fatores e componentes abióticos; os Ictiólogos (mistos de Hidrobiólogo e Biólogo de Peixes) teriam sob sua responsabilidade os fatos e componentes bióticos.

Considerando que universalmente o período mínimo indicado pela boa técnica para os estudos hidrológicos é de 1(um) ano, a nosso ver poder-se-ia fazer o mesmo relativamente aos demais, que se desenvolveriam em paralelo.

Concluídos esses estudos, ter-se-ia uma idéia razoável do curso d'água encarado como ecossistema e dispor-se-ia de informações técnicas a respeito das espécies de peixe nele existentes. Um trabalho conjunto e harmônico entre o Hidrólogo e o Ictiólogo permitiria tirarem-se conclusões valiosas a respeito das repercussões da barragem no curso d'água em questão, do ponto de vista ecológico, e conseqüentemente tornaria mais fácil e consistente a tomada de decisão a respeito do melhor método e do melhor sistema de proteção da fauna ictiológica, eliminando-se o processo adivinhatório.

### 2.3 - POSTOS E ESTAÇÕES DE PISCICULTURA

Suponhamos um caso especial, em que os estudos hidro-bio-ecológicos tenham constatado a inexistência de peixes de piracema ou que, existindo estes, a construção da barragem, mesmo prevendo-se sistema de transposição, exigirá que se adotem outros meios artificiais de proteção à ictiofauna. Nesses casos há necessidade de se fazer o chamado peixamento do rio e do reservatório, isto é, produzirem-se em instalações apropriadas (os postos ou as estações de piscicultura) espécimes jovens que lançados nas águas garantirão a estabilidade da população e até mesmo seu acréscimo.

O posto de piscicultura é uma instalação simples, de pequeno porte, destinada a realizar periódicas verificações dos fatores e componentes bióticos (evidentemente com ênfase especial para os peixes) a fim de acompanhar o comportamento das espécies após a construção da barragem, visando à confirmação das previsões feitas e à execução do peixamento programado quando este é de pouca monta.

Geralmente no posto de piscicultura existem apenas os tanques de produção de plancto, os de reprodução (nos quais são colocados os machos e fêmeas adultos) e os de alevinagem (os peixes depois de passarem da fase larval e até se tornarem jovens são chamados de alevinos), nos quais dá-se a cria até atingirem tamanho adequado para serem lançados no curso d'água ou no reservatório.

Quando o peixamento previsto é de grande expressão, são usadas as estações de piscicultura, nas quais também existem os tanques de produção de fitoplancto e de zooplancto, para alimentação dos alevinos, os de reprodução e os de alevinagem; podem ser previstos também tanques de engorda, nos quais são mantidos elementos jovens que posteriormente irão para os tanques de reprodução.

Essas estações costumam ser de porte razoável, dotadas de vários dos tanques citados e, quase sempre, possuem laboratório para estudos e pesquisas. Nas mais sofisticadas, há instalações apropriadas para a realização da chamada hipofização, que é uma técnica de desova induzida destinada a aumentar a produção de alevinos das espécies de piracema.

Claro está que a previsão de um simples posto de piscicultura, de tamanho mínimo, ou a de uma estação de piscicultura de grande porte, depende dos levantamentos hidro-bio-ecológicos acima citados e do porte, localização e número de reservatórios a serem criados pelas barragens previstas no rio em causa.

Evidentemente que de um extremo ao outro crescem os custos de projeto, construção, implantação e operação, fatores que não podem ser desprezados na tomada de decisão.

Deixamos aqui de falar sobre a utilização das estações de piscicultura como suporte para uma atividade comercial de produção de peixe - o que é perfeitamente possível - em virtude de fugir ao escopo deste trabalho.

#### 2.4 - SISTEMAS DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES EM BARRAGENS

Na hipótese de existirem no curso d'água espécies de peixe de piracema e tendo-se concluído, após os estudos hidro-bio-ecológicos, pela necessidade de manter-se a migração das mesmas após a construção da barragem, impõe-se o método da transposição.

Vários são os sistemas passíveis de escolha para atingir tal objetivo, sendo os principais:

- eclusas de peixe
- elevadores de peixe
- planos inclinados
- carros tanque
- escadas de peixe.

Teceremos breves comentários a respeito de cada um deles, deixando para o final justamente o mais usado e ao qual em última instância se refere este trabalho, ou seja, as Escadas de Peixe.

As eclusas de peixe são semelhantes às eclusas de navegação, nas quais uma câmara de altura ligeiramente superior ao desnível provocado pela barragem é provida de duas portas, uma a montante e outra a jusante; fechada a porta de montante o navio é admitido na câmara, pela porta de jusante, que logo após também é fechada. Um dispositivo de alimentação, aproveitando o próprio desnível criado pela barragem, enche a câmara de modo disciplinado, até que nela o nível d'água se iguale ao do reservatório; aberta a porta de montante, o navio sai da câmara e penetra no reservatório.

As eclusas de peixe funcionam de modo semelhante, com a única diferença que para atrair os peixes ao seu interior é indispensável que estando aberta a porta de jusante haja um escoamento turbulento da câmara para fora; somente após uma quantidade ra-

zoável de peixes penetrar na câmara, interrompe-se esse escoamento e fecha-se a porta de jusante; para que os peixes saiam da câmara após o nível d'água ter-se igualado ao do reservatório, é necessário que haja um escoamento turbulento dele para a eclusa, o que geralmente se consegue por meio de pequeno "by-pass" a jusante da eclusa.

A exemplo do que acontece com as eclusas de navegação os desníveis sendo grandes a obra torna-se cara, pelo que geralmente apenas são cogitadas quando o desnível é pequeno.

Os elevadores de peixe são semelhantes a elevadores comuns, situando-se a diferença justamente na necessidade do escoamento turbulento para jusante, a fim de atrair os peixes quando o elevador está no nível mais baixo, e do escoamento turbulento dele para o reservatório, quando está na posição superior. Alguns tipos possuem comportas de fundo, através das quais os peixes são despejados no reservatório; outros, basculam para nele derramar a carga - essas operações têm que ser previstas com cuidado a fim de evitar danos aos peixes, em especial as femeas no último estágio de maturação sexual, prontas para a desova.

Os planos inclinados nada mais são do que instalações semelhantes às existentes, desse tipo, para transporte de passageiros. Um tanque montado sobre trilhos, provido de cremalheira ou arrastado por cabos de aço, mergulha no curso d'água a jusante, recolhe os peixes, é elevado até o reservatório e nele despeja a carga. Também aqui há necessidade de um escoamento que atraia os peixes a jusante e deve-se tomar cuidado na forma dos peixes serem despejados no reservatório.

Quando nos ocuparmos das Escadas de Peixe iremos tratar com mais detalhes desse escoamento de atração, explicando sua necessidade.

Os carros tanque são também semelhantes aos usados para o transporte de líquidos, porém possuem dispositivos destinados a produzirem aeração da água e, dependendo das circunstâncias, podem exigir refrigeração. Os peixes são recolhidos do curso d'água por meio de recipientes especiais, flexíveis, geralmente de

plástico, e derramados dentro do carro tanque, manual ou mecanicamente, tomando-se todos os cuidados já referidos.

No Brasil, têm-se desenvolvido um processo extremamente simples, mas que tem dado bons resultados, evidentemente quando as quantidades de peixe a transportar são pequenas: monta-se na carroceria de um caminhão, ou pick-up, uma estrutura simples de madeira, na qual é presa uma lona, forrando a carroceria; coloca-se água a meia altura e os peixes são ali lançados; o espelho d'água razoável e os balanços do veículo incumbem-se da aeração; em regiões de clima quente e muito sol, coloca-se capota no veículo.

Finalmente, chegamos às Escadas de Peixe, cujo tipo mais usado consta de degraus que nada mais são do que tanques contíguos providos de vertedores na parte superior das paredes verticais e de orifícios na parte inferior dessas paredes. Através dela processa-se um escoamento desde o reservatório até o curso d'água a jusante, aproveitando o desnível criado pela barragem.

O próximo ítem será dedicado exclusivamente a essa obra, motivo pelo qual deixamos de entrar em detalhes sobre ela agora.

Conforme pode-se depreender, as Eclusas de Peixe e as Escadas de Peixe tornam-se tão mais caras quanto maior o desnível criado pelo reservatório, enquanto que nos demais sistemas a altura da barragem pouco encarece a instalação; em outras palavras: para os pequenos desníveis, pode-se pensar em eclusas ou em escadas de peixe; os desníveis maiores recomendam os demais sistemas.

No ítem seguinte, ao tratarmos especificamente das Escadas de Peixe, iremos discutir também esse ponto capital: qual o desnível máximo a ser admitido no projeto dessas escadas?

Esse é um dos pontos nos quais os Biólogos brasileiros que estudam o assunto estão ainda longe de se entenderem e os estrangeiros não tem muita convicção.

## 2.5 - ESCADAS DE PEIXE

Conforme dissemos acima, a escada de peixe é um dos

sistemas destinados a permitir o trânsito de peixes nos locais dos cursos d'água onde são implantadas barragens. No Capítulo 4, quando tratarmos do seu dimensionamento, falaremos sobre os diversos tipos existentes.

Antes de entrarmos especificamente no projeto em si de tal obra, teçamos algumas considerações a respeito de um ponto capital, que tem dado margem a polemicas entre os Biólogos brasileiros que se dedicam ao estudo dos peixes: quais os motivos que levam os peixes a realizarem a piracema?

Aos menos avisados poderá parecer estranho que um Engenheiro Hidráulico, sem conhecimentos técnicos especializados no assunto, atreva-se a intrometer-se nele e, justamente, na área onde os próprios Biólogos divergem. Haver-se-ia de indagar tratar-se de temeridade ou de presunção.

Diríamos que nem uma coisa nem outra; o nosso intuito é pura e simplesmente chamar a atenção para o fato de que os nossos Biólogos não deram a última palavra sobre o assunto, que em vista disso permanece em discussão. Não seremos nós a pretendemos penetrar tal seara, preferindo mantermo-nos na expectativa, aguardando que os especialistas cheguem a um acordo.

Apenas iremos relacionar alguns motivos que podem e são aventados para explicarem a piracema; assim, os peixes subiriam os rios para:

- buscarem mais oxigênio nas cabeceiras;
- procurarem regiões de temperatura mais amena;
- fugirem das regiões onde o material sólido em suspensão é mais abundante;
- encontrarem condições de nível d'água temperatura, oxigênio, velocidades, etc., propícias à desova;
- atenderem a um impulso biológico, etc.

É aceito, por quase todos, que os peixes têm necessidade de exercitarem-se, estimulando a hipófise a produzir hormônios que lhes dão condições de maturação sexual, bem como buscarem lo-

cais adequados para procederem à desova; quanto aos demais motivos acima citados, alguns são aceitos e outros não. À falta de uma de<sub>finição</sub> plena, poderíamos perfeitamente adotar tal hipótese e apartir daí desenvolver nosso trabalho, pois como Engenheiro e visando a projeto, temos que nos basear em alguma coisa de concreto. Iremos, no entanto, fazer um raciocínio bem simples: se não se sabe exatamente o motivo da piracema, deve-se partir da hipótese de que ela é necessária e, ainda que esteja no âmbito dos fatores bióticos intraespecíficos psicológicos, os mais sutis e difíceis de verificar, o peixe precisa dela, pois se tal não acontecesse ele não a levaria a cabo.

Assim sendo, enquanto os Biólogos não dão a última palavra, quer-nos parecer que não se deve, em princípio, interromper a piracema, ao se construir uma barragem, a não ser que se aceite o risco de extinguir a espécie.

É um caso típico de tomada de decisão na incerteza, até que pesquisas científicas bem orientadas e sistemáticas respondam à pergunta.

Suponhamos, então, que no curso d'água onde se implantará a barragem existam espécies de peixe de piracema que, pelo seu valor proteico e/ou comercial, não devam correr risco de extinção.

Suponhamos, por outro lado, que a jusante da barragem, de onde passarão a vir os peixes nas épocas de piracema, não haja condições naturais capazes de garantir a estabilidade da população da espécie, em virtude de não atenderem às características fundamentais acima citadas (temperatura, oxigenio, níveis d'água, etc), e que porisso tornariam inócua o peixamento referido no item 2.3 acima.

Nesse caso, não há como fugir a um sistema de transposição.

Abrimos aqui um parentesis para novamente enfatizar que todas essas considerações e a tomada de decisão final, quanto ao conceito a adotar no projeto, somente podem ser levadas a cabo com base em dados obtidos no curso d'água, consubstanciados no le-

vantamento hidro-bio-ecológico abordado no ítem 2.2. Estamos excluindo a hipótese, triste, de não se fazer nada com vistas à proteção da ictiofauna alegando-se falta de dados e não havendo disposição de levantá-los, pois tal atitude não pode ser levada em conta em um estudo sério.

Em suma: estamos nos ocupando daqueles casos, que são perfeitamente possíveis, de ser imprescindível pensar-se em sistema de transposição, não se impedindo a piracema.

Admitidas essas premissas, vejamos quando podemos cogitar de escada de peixe.

Conforme vimos no ítem 2.1, dos sistemas usualmente empregados somente dois sofrem significativo aumento de custo de implantação quando cresce a altura da barragem: a eclusa de peixe e a escada de peixe.

Da mesma forma, podemos dizer que para os pequenos desníveis esses dois sistemas têm custo total (estudos+projeto+construção+implantação+operação) menor do que os demais.

Finalmente, para os desníveis muito pequenos as eclusas de peixe são mais indicadas do que as escadas de peixe.

Em resumo, poderíamos estabelecer as seguintes condições, com vistas a projeto:

- barragens muito baixas: eclusas de peixe;
- barragens baixas: escadas de peixe;
- barragens médias e altas: demais sistemas de transposição.

Isso não quer dizer praticamente nada, pois precisamos estabelecer os valores numéricos das alturas que definirão essas faixas.

Chegamos, então, a outro ponto sobre o qual os Biólogos brasileiros ainda não encontraram um denominador comum e, a bem da verdade, os estrangeiros também: qual a altura máxima do degrau, capaz de ser transposta pelos peixes?

E a outra pergunta, imposta por esta: quantos desses

degraus os peixes são capazes de galgar? Em outras palavras: qual a altura máxima que tal escada pode ter, não por questões econômicas, mas por efeito da capacidade dos peixes em vencê-la?

Nesse particular, iremos dar enfoque diferente às coisas, fugindo ao que habitualmente se faz, no Brasil e no Exterior:

A nosso ver, consagrou-se um erro básico, relativamente a esta questão: pela sua natureza ela envolve aspectos de Biologia, de Hidrologia e de Mecânica dos Fluídos, motivo pelo qual enquanto o Ictiólogo e o Engenheiro trabalharem dissociados, jamais se encontrará a resposta desejada.

Ainda mais tal necessidade se impõe quando lembramos que peixes pequenos, de aparência fragilíssima, são capazes de nadar centenas de quilômetros, contra a correnteza, vencendo obstáculos de toda ordem, numa demonstração notável de pujança biológica. E se isso maravilha os Biólogos, não menos extasiados ficam os estudiosos de Mecânica dos Fluídos, pois tal façanha até hoje não foi equacionada no campo dessa Ciência.

Para se ter uma idéia do que isso significa, basta dizermos que os países altamente desenvolvidos realizam pesquisas nesse campo, com vistas a projetos militares, motivo pelo qual essas pesquisas são neles consideradas confidenciais.

Assim consideramos que além de o Ictiólogo e o Engenheiro deverem trabalhar harmonicamente, complementado-se, na fase dos levantamentos hidro-bio-ecológicos e na escolha do mais adequado tipo de sistema de proteção à fauna, é absolutamente indispensável que continuem atuando juntos na fase de projeto, para se evitem empirismos e improvisações naqueles pontos em que um deles, sozinho, não tem preparo técnico para solucionar os problemas que surgirem.

No Capítulo seguinte voltaremos à questão acima colocada, isto é, da altura máxima dos degraus da escada de peixe e, em consequência, da altura máxima da obra, onde também nos permitiremos fazer abordagem diferente da habitual, após introduzirmos um conceito novo para projeto de escadas de peixe: o peixe-tipo.

### CAPÍTULO 3

#### O "PEIXE-TIPO"

##### 3.1 - CONCEITO

Consultando razoável bibliografia, tiramos as conclusões até agora comentadas e que nos levaram a estabelecer as premissas e os modelos físicos já introduzidos; chamou nossa atenção, além disso, o fato de que nos projetos de escadas de peixe existentes, no Brasil e em muitos no exterior, o dimensionamento da obra é feito levando em conta praticamente apenas aspectos hidráulicos e econômicos.

Em termos de atendimento ao principal interessado - isto é, o peixe - somente dois itens são considerados importantes: o sistema de atração do peixe à escada, criando oxigenação, velocidades e ruídos adequados no local, e a altura dos degraus, que já explicamos nada mais serem do que tanques providos de vertedores que promovem o escoamento através da obra, desde o reservatório até o curso d'água a jusante, no tipo de escada mais difundido.

No que respeita ao sistema de atração, está consagrada a prática de criar-se, imediatamente a jusante da escada - seja pela direção conveniente da lâmina vertente do último degrau, seja pelo uso de injeção de escoamento por meio de tubulação específica - adequadas condições de turbulência, de molde a garantir razoáveis velocidades, ruído característico e boa oxigenação da massa d'água no local, fato que atrai os peixes. Como esse grau de oxigenação não varia significativamente de uma espécie para outra, nem depende do tamanho dos peixes, o dimensionamento desse sistema de atração é relativamente simples, não apresentando qualquer dificuldade.

Quanto à altura dos degraus, no entanto, não se pode dizer o mesmo e, a nosso ver, dimensioná-los exclusivamente levando em conta aspectos hidráulicos, partindo de desnível estabeleci-

do empiricamente com base em projetos existentes (que é o que geralmente se faz) constitui procedimento simplista e nisso reside, na maioria dos casos, a explicação para os inúmeros exemplos de escadas de peixe super-dimensionadas, no Brasil e no estrangeiro.

Usualmente a escada de peixes é projetada para a passagem de dois tipos de peixes: os de couro e os de escama.

Os peixes de couro são considerados incapazes de saltar e, por isso, no projeto da escada de peixe são previstos orifícios no pé do paramento do vertedor que serve de degrau, de tal sorte que esses peixes de couro sobem a escada nadando na massa líquida; quanto aos peixes de escama, ao contrário, considera-se que eles preferem subir saltando os degraus, que nesse caso necessitam da lamina vertente a fim de haver velocidades, ruídos e oxigenação capazes de atrair o peixe do degrau inferior para o imediatamente superior.

Na FIGURA 14 apresentamos, a título ilustrativo, um esquema de escada de peixe tradicional, mostrando como sobem os peixes de couro e os de escama.

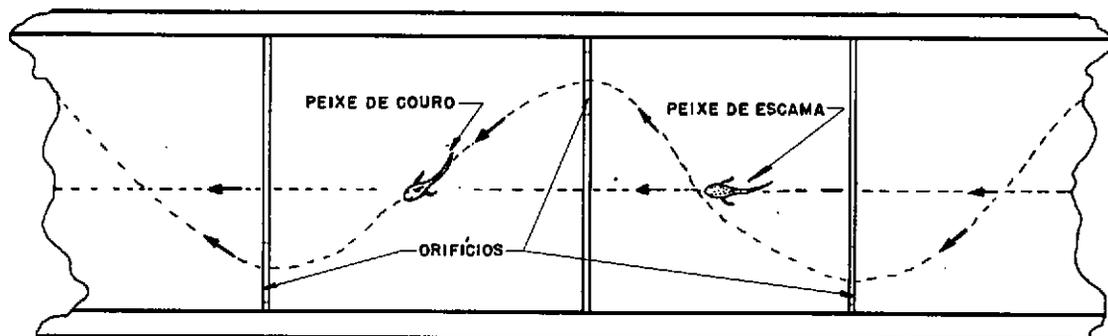
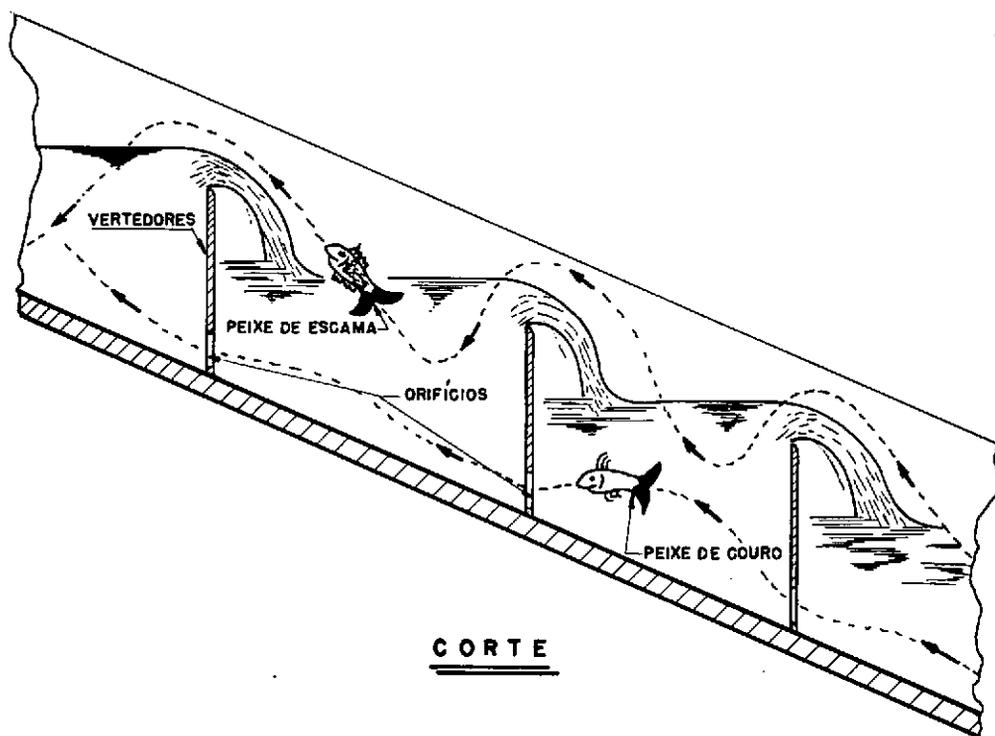
Também relativamente a essa questão, iremos nos atrever a discutir um ponto que ainda não está perfeitamente definido: o que é mais fácil para o peixe de escamas - saltar de um degrau para o outro, pelo ar, ou subir, nadando, pela lamina vertente?

Havemos de convir que é muito mais natural, para ele, nadar do que saltar; assim sendo, em princípio o peixe de escamas deveria subir a escada nadando, ou pelos orifícios ou pelas laminas vertentes, e não saltando sobre elas. Surge, então, a pergunta: por que consagrou-se a prática de aceitar-se como premissa de projeto que o peixe de escamas deva saltar os degraus?

Confessamos que não sabemos a resposta, mas talvez não estivéssemos longe da verdade se disséssemos que é muito provável que isso se dá em virtude de a ascensão do peixe pela lamina d'água envolver estudos seríssimos de Mecânica dos Fluidos, pois conforme já dissemos anteriormente, até hoje não se conseguiu explicar como o peixe pode nadar com o rendimento e a velocidade com

FIGURA 14

## CROQUI DE UMA ESCADA DE PEIXE TÍPICA



que o faz. É mais fácil, então, estabelecer-se, empiricamente, que o peixe só é capaz de saltar, comodamente, cerca de 0,50m de desnível entre os degraus, que é o que se costuma instituir, "a priori", nos projetos.

A mais antiga escada de peixes existente no Brasil, situada na Barragem de Cachoeira das Emas, Distrito de Pirassununga, no Estado de São Paulo, é muito citada pelos que, de uma forma ou de outra, estão envolvidos nessa questão. Alguns a mencionam para defender o uso de escadas de peixe, pois ela garantiu a preservação das espécies de piracema do rio Mogi-Guassu; outros, citam-na justamente para combaterem o uso de escada de peixes, pois inegavelmente ela foi super-dimensionada.

Interessante notar, no entanto, que nessa modesta escada de peixe tivemos oportunidade de observar, "in loco", fatos a nosso ver importantíssimos e que não são citados pelos que dela falam, talvez por ignorá-los:

- o primeiro é que os degraus têm 0,40m de altura, mas por necessidade operacional da usina, o nível d'água no reservatório não está a 0,40m do último degrau e sim foi colocado um "stop-log" de madeira, de tal modo que o desnível ficou em torno de 1,50m, com a peculiaridade de não existir, no referido "stop-log", orifício para passagem dos peixes de couro; sobre esse degrau há uma passarela de concreto, ligeiramente acima do nível d'água do reservatório, o que impede o salto dos peixes; em vista disso, nessa última lamina vertente os peixes a sobem nadando e passam como verdadeiros torpedos no seio da massa líquida, com a maior facilidade, tanto os de couro quanto os de escama;
- o segundo é que no paramento inclinado de jusante, do sangradouro da barragem, onde a velocidade é grande, da ordem de vários metros por segundo, muitos peixes, de couro e de escama, sobem vários metros nesse paramento, nadando, sendo que muitos deles conseguem

ficar parados, equilibrando com suas forças a do escoamento;

- o terceiro é que vimos lambaris, de no máximo 10 cm de comprimento, lançando-se desesperadamente contra o paramento vertical de jusante da barragem, sem escoamento, entre o sangrador e a escada de peixes, alcançando seus saltos, sem qualquer exagero, cerca de metro e meio de altura.

Evidentemente, seriam necessárias observações mais detalhadas, dentro de um programa de experimentação, para se tirem conclusões mais concretas, porém parece-nos que apenas os fatos acima levam a crer que é subestimar em demasia esses peixes considerar que eles apenas são capazes de transpor alguns degraus de 50 cm.

Poderíamos, outrossim, reproduzir aqui informações interessantíssimas a respeito da formidável capacidade de nado dos peixes, tanto em resistência quanto em velocidade, informações essas contidas em vários dos livros e periódicos que compulsamos - as quais nos levaram a encarar os peixes com muita admiração - mas deixamos de fazê-lo agora, inserindo-as no Capítulo 4. É nossa intenção continuar estudando esse assunto, tão fascinante quanto complexo, mas por ora iremos nos deter especificamente na escada de peixe, dentro do escopo deste trabalho.

Em resumo, para o projeto de escadas de peixe a tradição manda que se parta de três premissas:

- os peixes de couro subirão a nado, atravessando os orifícios previstos no pé do paramento vertical dos vertedores que materializam os degraus da escada;
- os peixes de escama saltarão sobre a lamina verten-te, cuja finalidade é justamente estimulá-los a saltarem;
- o desnível entre os degraus deve ser pequeno, não ultrapassando cerca de 50 cm.

De nossa parte, consideramos tais premissas excessivamente conservadoras, preferindo acreditar que, a exemplo do que

presenciamos na modesta e simples escada de peixe de Cachoeira das Emas, tanto os peixes de couro quanto os de escama são capazes de subir nadando dentro da lamina vertente e o desnível entre os degraus pode ser, pelo menos, de 1,0m. Mais tarde voltaremos a esse assunto.

Nesse ponto, enfatizaremos que as três premissas tradicionais acima referidas encerram, na prática, a atuação do Ictiólogo no projeto - pelo menos dos degraus - das escadas de peixe, daí para adiante ficando tudo entregue ao Engenheiro. Esse, a nosso ver, é um procedimento errôneo e que também contribui para os insucessos havidos nos projetos de tais obras. O conceito de "peixe-tipo", que agora iremos introduzir, é completamente original e talvez possa estabelecer uma ligação definitiva e concreta entre o trabalho do Ictiólogo e o do Engenheiro no projeto da escada de peixe, ao mesmo tempo que poderá ensejar uma revisão das três premissas tradicionais acima referidas.

Quando um Arquiteto vai projetar uma escada, estabelece um biotipo para dimensionar os degraus de molde a permitirem conforto àqueles que vão transitar por ela; quando um Engenheiro projeta uma eclusa de navegação, escolhe um barco-tipo como ponto de partida; da mesma forma, parece-nos lógico buscarmos determinar um "peixe-tipo" para servir de base ao projeto de uma escada de peixe.

Obtido esse peixe-tipo, torna-se mais fácil dimensionar-se não apenas o sistema de atração à escada como também e principalmente os degraus, visto como eles - para efeito de cálculos e projeto - atenderão a um determinado peixe com características morfológicas e biológicas definidas: espécie, forma, tamanho, peso, idade, resistência, velocidade, capacidade de salto, etc. Desse modo, o Ictiólogo poderia, em colaboração com o Engenheiro e levando em conta todos os fatores acima referidos, estabelecer o peixe-tipo adequado e o Engenheiro, de posse desse elemento, otimizar o projeto da escada de peixe.

Importante notar que esse conceito pode ser adotado mesmo dentro dos padrões tradicionais de projeto, bastando para isso que se estabeleça um peixe-tipo de couro para dimensionamento dos

orifícios e um peixe-tipo de escama para o dimensionamento da altura dos degraus.

Por outro lado, adotando-se como premissa de projeto que todos os peixes subirão pelas laminas vertentes, nadando, poder-se-ã admitir apenas um peixe-tipo.

Em outras palavras: o peixe-tipo que estamos propondo permitiria que se saísse do terreno do empirismo para conferir-se ao projeto de escadas de peixe respaldo técnico mais adequado.

Se o conceito, como se vê, é extremamente simples, a determinação desse peixe-tipo nos parece empreitada bastante difícil, pelo menos quando for realizada pela primeira vez, conforme de monstraremos a seguir.

### 3.2 - DETERMINAÇÃO

Conforme vimos nos capítulos nos quais os cursos d' água são encarados como ecossistemas, vários são os elementos a considerar no estudo do equilíbrio dinâmico desses ecossistemas. Da mesma forma, enfatizamos o rompimento desse equilíbrio quando se constroi uma barragem e, após tecer comentários a respeito, passamos a nos ocupar da hipótese - que pode ocorrer nas condições indicadas - de se tornar necessária uma obra de transposição e, mais particularmente, uma escada de peixe.

Dentro dessa linha de raciocínio, forçoso é que se considere indispensável caracterizar-se a situação do ecossistema antes da construção da barragem e se faça uma análise das repercus sões que porventura possa ela vir a provocar no referido equilíbrio dinâmico, daí surgindo a necessidade da realização dos estudos hidro-bio-ecológicos preconizados.

Claro está que esses estudos irão fornecer, no que tange aos peixes, não apenas a sua ocorrência, como também o seu comportamento dentro do ecossistema. Assim se fazendo, ficarão co nhecidas as diversas espécies de peixe existentes ao longo do curso d'água, serão delimitados seus "habitats", seus hábitos alimentares, sua organização social e, no caso dos peixes de piracema, co

mo e quando ela se dá - podendo-se, talvez, saber-se também porque ela se processa e qual a amplitude migratória de cada espécie.

Como nossa preocupação específica está na escada de peixes, nossa hipótese inicial é a de que chegou-se à conclusão de que vai-se garantir a piracema através desse tipo de obra de transposição.

Nesse caso, é óbvio que ao pretendermos determinar o peixe-tipo acima conceituado somente iremos considerar as espécies de piracema existentes no curso d'água e que nas épocas devidas transitam pelo local onde se pretende construir a barragem.

Havendo apenas uma dessas espécies, o problema se simplifica; entretanto, usualmente o mesmo curso d'água possui diversas espécies com tal hábito migratório, pelo que pode dar-se que haja substanciais diferenças entre elas, dificultando portanto a determinação de um único peixe-tipo para todas.

Diante disso, três diretrizes podem ser aventadas:

- a) considerarem-se todos os peixes de todas essas espécies como formando um cardume único, hipotético, e de terminar-se um peixe-tipo que os representasse com vistas ao projeto da escada de peixe;
- b) considerar-se cada uma das espécies "de per si", determinar-se um peixe-tipo para cada uma e projetar -se a escada para aquele que apresentasse as condições mais desfavoráveis quanto à capacidade de transposição;
- c) considerarem-se apenas as espécies de maior valor (comercial e/ou recreativo) e adotar-se com relação a elas uma das duas hipóteses acima, aceitando-se o risco de se extinguirem as espécies não consideradas; cuidado especial teria que ser tomado para não se romper a estrutura alimentar da própria espécie em causa.

A primeira hipótese seria a mais cómoda, se olhássemos a questão apenas do ponto de vista estatístico, mas ela nos pa

rece perigosa sob o prisma biológico; a segunda inspira total confiança, porém tem o inconveniente de ser em princípio onerosa, pois prevê (a exemplo da primeira) que todas as espécies de piracema transponham a barragem.

Quer-nos parecer, então, que a melhor diretriz a seguir-se é a terceira, escolhendo-se apenas as espécies de maior valor comercial e/ou recreativo, determinando-se o peixe-tipo para cada uma delas isoladamente e dimensionando-se a escada para aquela que, pelas suas características, fosse ter maior dificuldade em transpô-la. Evidentemente, seria analisada com cuidado a questão da cadeia alimentar.

Resumindo, seria adotada a seguinte metodologia com vistas à determinação do peixe-tipo:

- a) levantamento hidro-bio-ecológico do curso d'água, de finindo os componentes e fatores abióticos e bióticos, em especial no que respeita aos peixes;
- b) identificação das espécies de piracema porventura exis tentes e delimitação dos seus "habitats", bem como dos sítios nos quais realizam o movimento migratório e as épocas em que ele se dá;
- c) seleção daquelas espécies que pelo seu valor comer - cial e/ou recreativo, devam ser preservadas;
- d) estudo da repercussão da barragem nessas espécies se lecionadas e tomada de decisão quanto à necessidade ou não de sistema de transposição e conseqüente esco lha do mais adequado;
- e) optando-se pela escada de peixes, determinação do pei xe-tipo de cada uma das espécies selecionadas no ítem c e escolha daquele que, pelas suas características, for o que apresentar maior dificuldade de transposi - ção.

Ocupemo-nos, agora, do que trata o ítem e acima, ou seja, da determinação final do peixe-tipo. Para isso, indispensável se torna tecermos várias considerações a respeito dos peixes e

da forma pela qual podem ser eles caracterizados.

Os peixes, habitualmente, vivem em comunidades nas quais os indivíduos de cada espécie em geral se grupam, formando populações denominadas cardumes; nessas comunidades, agem fatores bióticos inter-específicos, comandando a interação entre as populações de espécies diferentes, conforme tivemos oportunidade de comentar no ítem 1.2; esses fatores, combinados com a atuação dos componentes e fatores abióticos, promovem uma regulação dessas populações, que em termos médios podem ser consideradas estáveis, desde que não haja ações estranhas ao ecossistema (que é o próprio curso d'água).

Evidentemente, há diversos fatores que podem provocar o desequilíbrio dessas populações, como por exemplo o esforço de pesca, que passando para um regime predatório levará à extinção de espécies; resíduos industriais que porventura passem a poluir o curso d'água, igualmente podem causar problemas dessa natureza. Foge, no entanto, ao escopo deste trabalho levar em conta esses aspectos, pelo que iremos supor, simplesmente, que o ecossistema se encontra estável.

Partindo do pressuposto de que antes da construção da barragem há tal estabilidade nas populações, podemos defini-las através dos parâmetros usuais, ou sejam: número total de indivíduos; número de machos; número de fêmeas; distribuição etária; distribuição em comprimento, etc., utilizando-nos de todos os dados existentes ao longo do tempo, vale dizer trabalhando com valores médios globais. Evidentemente, não havendo dados trabalhar-se-ia com os fornecidos pelo levantamento hidro-bio-ecológico, caso em que este teria no mínimo 1 (um) ano de duração.

Deixaremos de falar sobre a determinação desses parâmetros definidores das populações em virtude de se tratar de assunto específico e rotineiro da atuação profissional do Ictiólogo, supondo portanto que ao final dos levantamentos hidro-bio-ecológicos eles já estão definidos.

Assim sendo, para a determinação do peixe-tipo de cada espécie, teríamos à nossa disposição:

- a) número de exemplares:  $N$
- b) número de machos:  $N_m$
- c) número de fêmeas:  $N_f$
- d) curva de distribuição etária:  
 $t = f(a)$ , onde:  
 $t$  = idade do peixe;  
 $a$  = percentagem dos exemplares de  $t$  anos, referida ao número total de exemplares.
- e) curva de distribuição dos pesos:  
 $P = f(b)$ , onde:  
 $P$  = peso do peixe;  
 $b$  = percentagem dos exemplares de peso  $P$ , referida ao número total de exemplares.
- f) curva de distribuição dos comprimentos:  
 $L = f(c)$ , onde:  
 $L$  = comprimento do peixe;  
 $c$  = percentagem dos exemplares de comprimento  $L$ , referida ao número total de exemplares.

Os peixes de piracema apresentam a peculiaridade de, com raras exceções, as fêmeas serem bem maiores do que os machos, tanto em peso como em tamanho, quando têm a mesma idade; assim sendo, além dos elementos acima, torna-se necessário que os Ictiólogos levantem os seguintes:

- g) curvas de crescimento em peso:
- g.1 -  $P_M = f(t)$
- g.2 -  $P_F = f(t)$ , onde:  
 $t$  = idade do peixe;  
 $P_M$  = peso do exemplar macho  
 $P_F$  = peso do exemplar fêmea

h) curvas de crescimento em tamanho:

$$h.1 - L_M = f(t)$$

$$h.2 - L_F = f(t), \text{ onde}$$

$t$  = idade do peixe;

$L_M$  = comprimento do exemplar macho

$L_F$  = comprimento do exemplar fêmea

i) curvas de correlação peso x comprimento

$$i.1 - P_M = f(L_M)$$

$$i.2 - P_F = f(L_F)$$

onde,  $P_M$ ,  $P_F$ ,  $L_M$  e  $L_F$  são os mesmos acima definidos.

Nas FIGURAS 15.a e 15.b apresentamos esquema ilustrativo, mostrando a configuração genérica de cada uma dessas curvas.

Quando, por um motivo qualquer, não se dispõe da curva de variação do peso com o comprimento, pode-se obtê-la utilizando-se as curvas indicadas nos ítems g e h acima, sendo que um modo prático de se fazer isso é graficamente, conforme indicado na FIGURA 16.

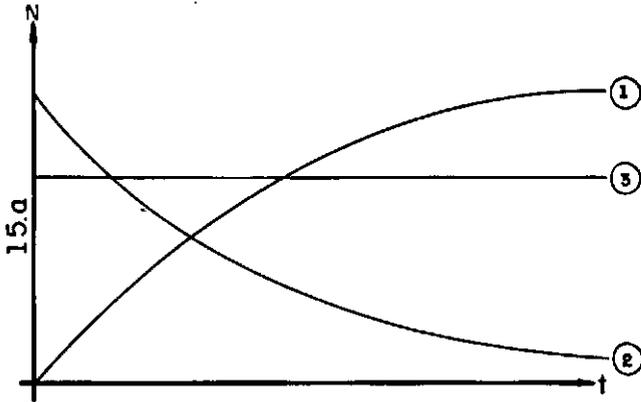
Traçadas todas as curvas acima descritas, como determinaremos o peixe-tipo? Esta pergunta não é tão fácil como parece; se não, vejamos:

- usaremos aquele que, no conjunto de todos os exemplares, tiver a idade média  $\bar{t}$ ?
- adotaremos o que possuir o peso médio  $\bar{P}$ ?
- ou fixaremos o de comprimento médio  $\bar{L}$ ?

Qualquer um desses critérios seria meramente estatístico; poderia levar a consequências que, do ponto de vista biológico, seriam catastróficas e provocariam talvez a extinção da espécie, o que somente os Ictiólogos podem ajuizar: dimensionada a escada de peixe com base em qualquer um dos três peixes-tipo acima

FIGURA 15.a

## CURVAS CARACTERÍSTICAS DAS POPULAÇÕES DE PEIXES



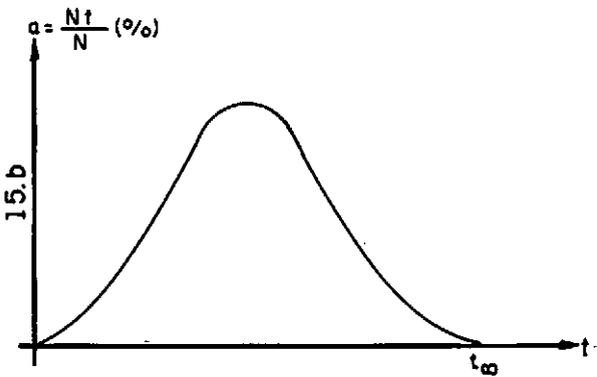
1 - EM CRESCIMENTO

2 - EM EXTINÇÃO

3 - ESTÁVEL

N = Nº DE INDIVÍDUOS

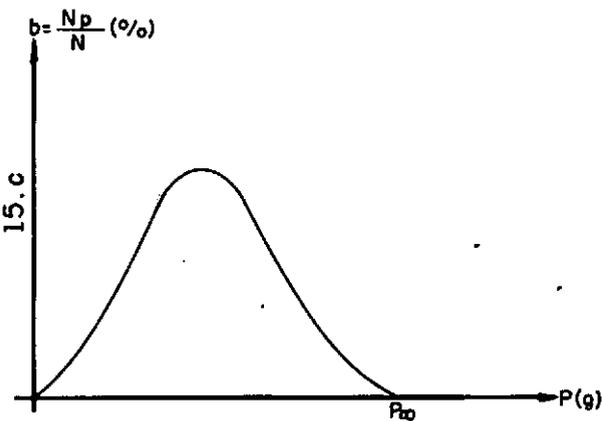
t = TEMPO



t = IDADE

 $t_{\infty}$  = IDADE MÁXIMA ATINGIDA PELA ESPÉCIE $N_t$  = Nº DE INDIVÍDUOS DE IDADE t

N = Nº TOTAL DE INDIVÍDUOS



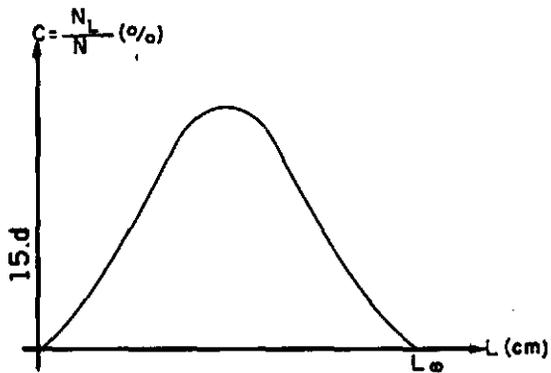
P = PESO

 $P_{\infty}$  = PESO MÁXIMO ATINGIDO PELA ESPÉCIE $N_p$  = Nº DE INDIVÍDUOS DE PESO P

N = Nº TOTAL DE INDIVÍDUOS

FIGURA 15.b

CURVAS CARACTERÍSTICAS DAS POPULAÇÕES DE PEIXES

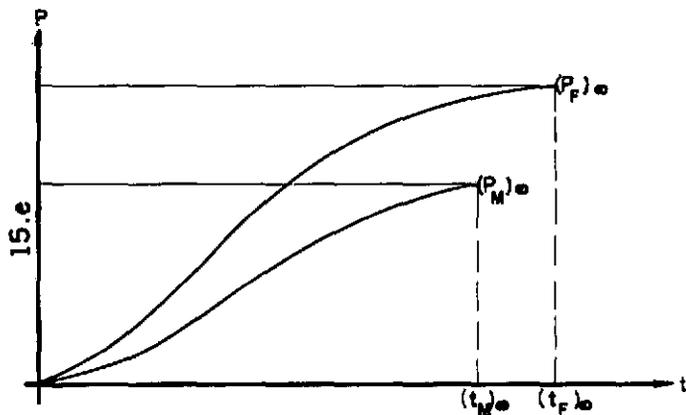


$N_L$  = Nº DE INDIVÍDUOS DE COMPRIMENTO L

L = COMPRIMENTO

$L_∞$  = COMPRIMENTO MÁXIMO ALCANÇADO PELA ESPÉCIE

N = Nº TOTAL DE INDIVÍDUOS



P = PESO

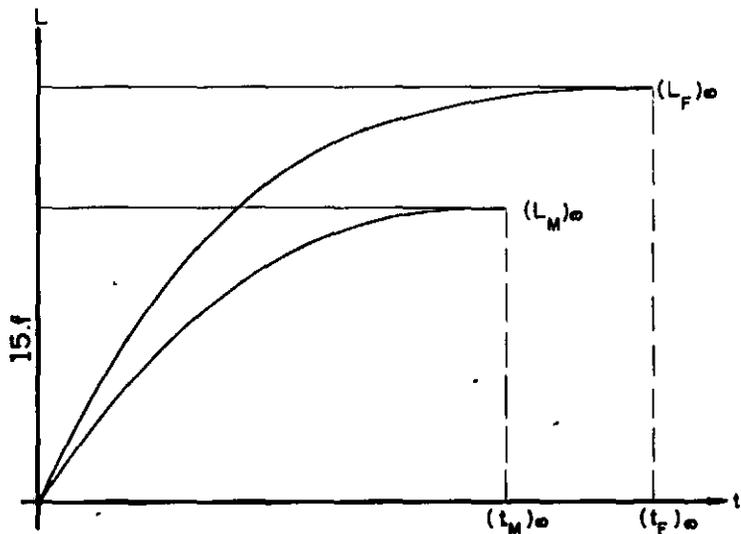
t = IDADE

$(P_F)_∞$  = PESO MÁXIMO ALCANÇADO PELA FÊMEA

$(P_M)_∞$  = IDEM, PELO MÁXIMO

$(t_F)_∞$  = IDADE MÁXIMA ATINGIDA PELA FÊMEA

$(t_M)_∞$  = IDEM, PELO MACHO



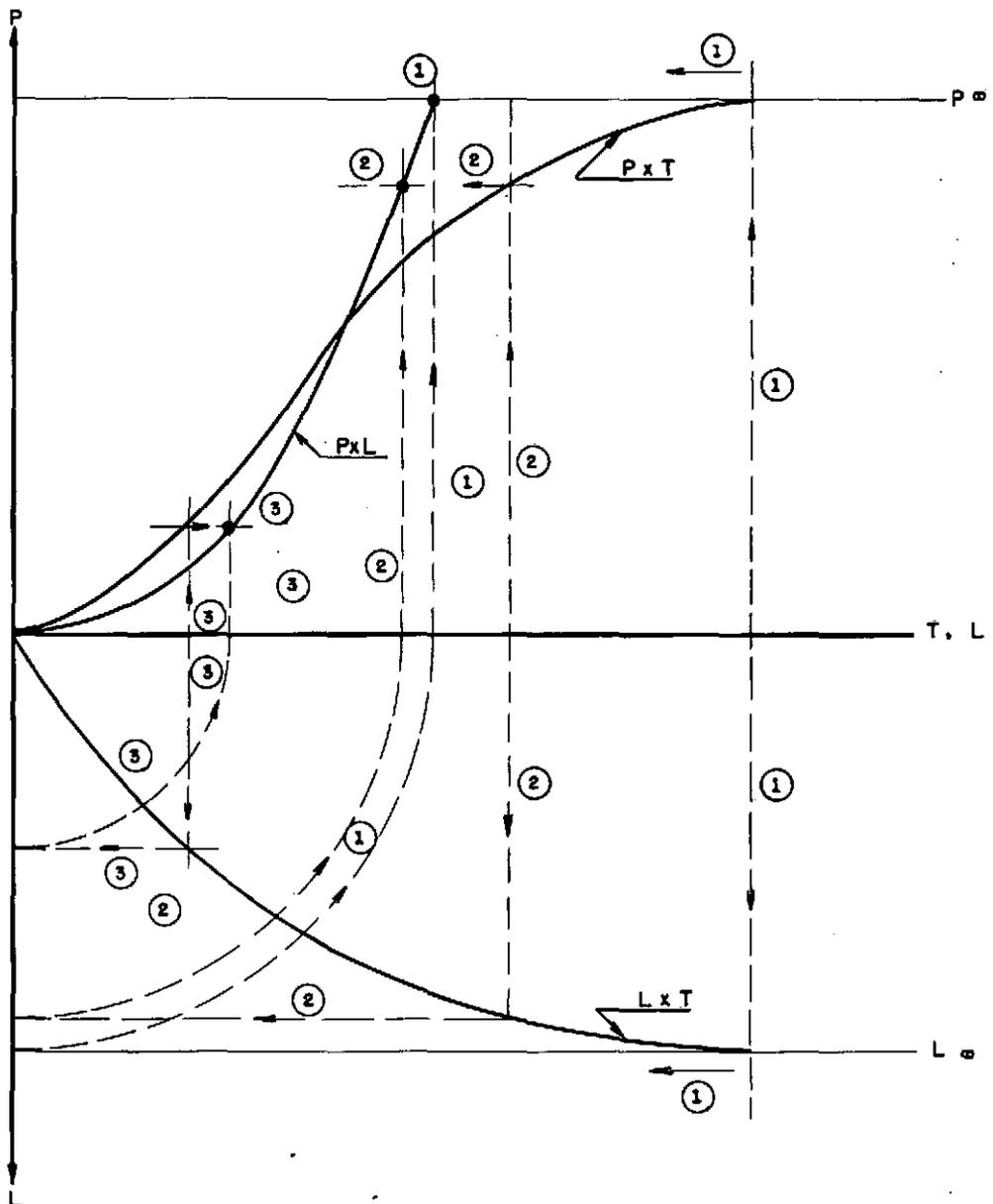
L = COMPRIMENTO

$(L_F)_∞$  = COMPRIMENTO MÁXIMO ALCANÇADO PELA FÊMEA

$(L_M)_∞$  = IDEM, PELO MACHO

FIGURA 16

OBTENÇÃO GRÁFICA DA CURVA  $P \times L$   
A PARTIR DAS CURVAS  $P \times T$  E  $L \times T$



referidos, teoricamente 50% dos peixes estariam impedidos de transpor a obra. Lembramos que, pelas premissas adotadas, estamos supondo que a escada de peixe foi considerada necessária para a preservação da espécie.

Assim sendo, caberia ao Ictiólogo, nessa fase, dizer qual a parcela do cardume que garantiria a estabilidade da população, realizando a piracema; em outras palavras: quais os peixes que poderiam deixar de transpor a barragem sem perecerem ou, de alguma sorte, contribuir para o decréscimo da população.

À falta de uma definição cabal, iremos supor que deva ser estabelecida uma idade  $t$ , à qual corresponderiam um peso  $P$  e um comprimento  $L$ , de tal modo que a espécie seria preservada se passassem pela escada todos os peixes com idade igual ou superior a  $t$ .

Se, num exemplo hipotético, admitíssemos que somente precisariam passar pela escada os peixes com idade igual ou superior a 3 anos, traçaríamos a curva de frequência acumulada das idades, com base na curva de distribuição etária (FIGURA 15.b) e, nela entrando com  $t=3$  anos, obteríamos a percentagem de peixes de idade igual ou superior; multiplicando essa percentagem pelo número total de exemplares ( $N$ ), teríamos o total de peixes que iriam transitar pela escada em cada piracema ( $N_p$ ).

Para determinar as demais características desse peixe-tipo, entraríamos com  $t=3$  anos na curva de crescimento em peso e obteríamos o valor de  $P$ , correspondente; com esse valor, iríamos à curva de variação do peso com o comprimento e teríamos o valor de  $L$ , que completaria a determinação das características do peixe-tipo procurado.

Conforme dissemos, cabe ao Ictiólogo definir esse peixe-tipo, mas para conferir maior realidade prática a um exemplo, iremos supor que na piracema os peixes procuram as cabeceiras do rio para, em locais propícios, desovarem. Partindo dessa premissa, faremos a seguir uma aplicação numérica baseada em dados reais.

### 3.3 - APLICAÇÃO

Adotada a hipótese acima, isto é, que a piracema visa à reprodução, para termos completa segurança de que não se diminuirá a capacidade de reprodução do cardume indispensável se torna permitirmos que todos os machos e todas as fêmeas em condições de procriarem transponham a barragem.

Nesse ponto vale mencionar o fato interessantíssimo de que o peixe não sofre senectude sexual; tanto o macho quanto a fêmea, após a fase larval tornam-se alevinos e passam a desenvolver-se sexualmente em sete estágios sucessivos, desde o chamado "estado sexual I" até o "estado sexual VII", no qual atingem plena maturação e procriam; logo após, passam por processo inverso e retornam ao "estado sexual I", reiniciando o ciclo que é anual; em outras palavras: eles se tornam absolutamente jovens, sexualmente, todos os anos, até a morte.

O macho atinge sua primeira maturação sexual com menos idade do que a fêmea, geralmente o macho com 2 (dois) anos e a fêmea com 3 (três). Assim sendo, para a determinação do peixe-tipo, se quisermos preservar totalmente a capacidade reprodutora do cardume, teremos que deixar passar, nesse caso, todos os machos com idade igual ou superior a 2 (dois) anos e todas as fêmeas com idade igual ou superior a 3 (três) anos.

Para fazermos uma aplicação prática do peixe-tipo, iremos nos valer de dados reais obtidos na Estação Experimental de Biologia e Piscicultura de Pirassununga, Estado de São Paulo, pertencente à Superintendência do Desenvolvimento da Pesca - SUDEPE, órgão do Ministério da Agricultura.

Esses dados fazem parte do acervo daquela Estação, que estuda os rios da região, especialmente o Mogi-Guaçu, que tem sido pesquisado desde longa data. Esse rio possui diversas espécies de peixes de piracema e nele está construída, em Cachoeira das Emas, Distrito de Pirassununga, a escada de peixe à qual já nos referimos.

Dentre essas espécies migratórias, dois peixes são

considerados como os mais importantes daquele rio:

- *Salminus maxillosus*, VALENCIENNES, 1849, Characidae:  
o DOURADO.
- *Prochilodus scrofa*, STEINDACHNER, 1881, Characidae:  
o CURIMBATÁ.

Ambos vêm sendo estudados há muitos anos naquela Estação, pelo que existem dados sobre eles; para nosso exemplo numérico escolhemos o CURIMBATÁ, cujos dados estavam disponíveis de modo mais cômodo para compilação, vez que foram reunidos pelo pesquisador Manoel Pereira de Godoy | 6 |; este peixe contribui com 60% da produção comercial pesqueira da região.

Para o traçado da curva de distribuição etária, selecionamos os dados relativos a 933 exemplares capturados pela Estação em Cachoeira das Emas, entre junho e dezembro de 1947, antes da piracema; esses dados estão reproduzidos na tabela da FIGURA 17, na qual traçamos as duas curvas, para os machos e para as fêmeas.

Ainda com base nos dados referentes aos peixes acima, pudemos traçar as curvas de distribuição dos comprimentos, apresentada na FIGURA 18, para os machos e para as fêmeas.

Quanto às curvas de correlação peso versus comprimento, obtivemo-las na citada publicação de Godoy, já traçadas, para os machos e para as fêmeas, baseadas em capturas também em Cachoeira das Emas, durante 14 anos, entre 1942 e 1955, quando foram medidos e pesados 5.420 machos e 5.153 fêmeas. As duas curvas estão reproduzidas na FIGURA 19.

Indo à tabela da FIGURA 18 com os valores dos pesos correspondentes aos comprimentos que aparecem na coluna dos intervalos, valores esses tirados da curva da FIGURA 19, construímos a tabela e as curvas da FIGURA 20, que dão a distribuição em peso, dos machos e das fêmeas.

As curvas de crescimento em tamanho, para os machos e para as fêmeas, foram traçadas também com base nos 933 peixes acima referidos. Na FIGURA 21 apresentamos a tabela e as curvas correspondentes.

FIGURA 17  
 CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO ETÁRIA  
 DO CURIMBATÁ EM CACHOEIRA DAS EMAS

IDADE (ANOS)	EXEMPLARES		PERCENTAGEM		PERCENTAGEM ACUMULADA	
	MACHOS	FÊMEAS	MACHOS	FÊMEAS	MACHOS	FÊMEAS
1	18	12	3,7	2,7	100,0	100,0
2	29	20	6,0	4,5	96,3	97,3
3	49	38	10,1	8,5	90,3	92,8
4	87	66	17,9	14,7	80,2	84,3
5	104	93	21,5	20,7	62,3	69,6
6	103	92	21,3	20,5	40,8	48,9
7	71	55	14,6	12,3	19,5	28,4
8	20	50	4,1	11,2	4,9	16,1
9	4	17	0,8	3,8	0,8	4,9
10	—	5	0	1,1	0	1,1
TOTAL	485	448	100,0	100,0	—	—

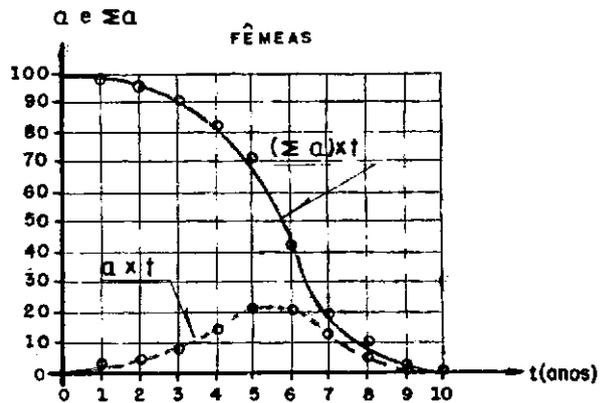
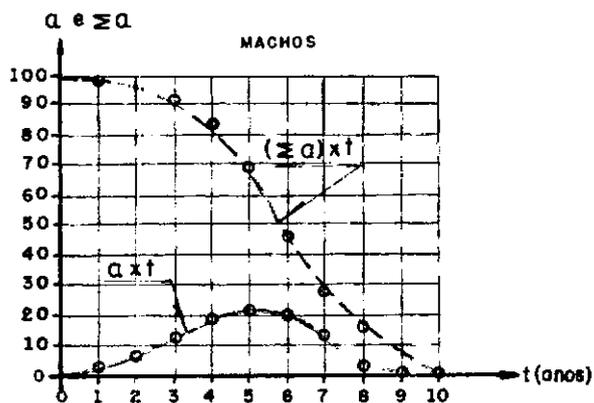


FIGURA 18

CURVA DE DISTRIBUIÇÃO DOS COMPRIMENTOS  
DO CURIMBATÁ EM CACHOEIRA DAS EMAS

COMPRIMENTO (Cm)	EXEMPLARES		PERCENTAGEM		PERCENTAGEM ACUMULADA	
	MACHOS	FÊMEAS	MACHOS	FÊMEAS	MACHOS	FÊMEAS
0-10	0	0	0	0	100	100
10-20	19	12	3,9	2,7	96,1	97,3
20-30	48	31	9,9	6,9	86,2	90,4
30-40	276	220	56,9	49,1	29,3	41,3
40-50	125	128	25,8	28,6	3,5	12,7
50-60	17	57	3,5	12,7	0	0
TOTAL	485	448	100,0	100,0	—	—

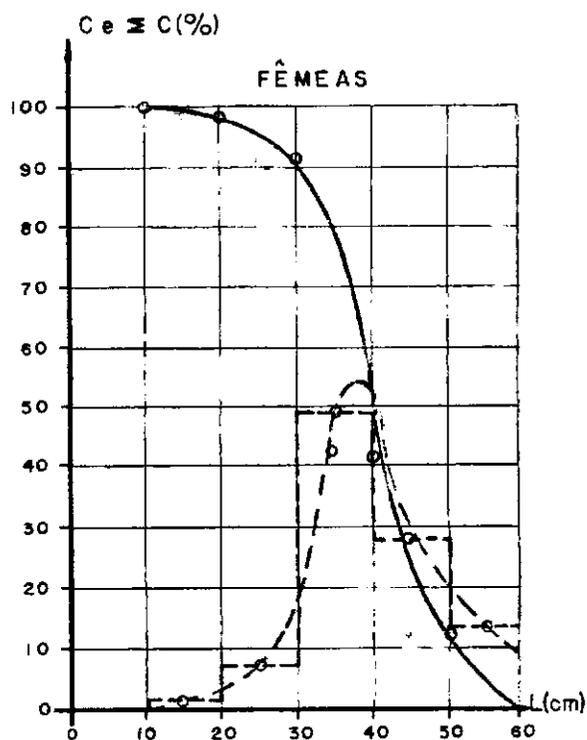
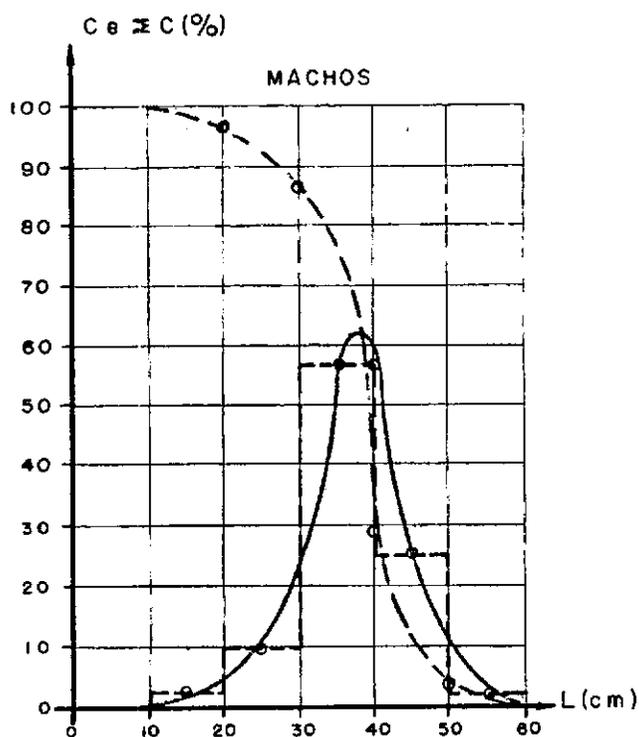


FIGURA 19

GURVA DE CORRELAÇÃO PESO VERSUS COMPRIMENTO DO CURIMBATÁ EM CACHOEIRA DAS EMAS

COMPRIMENTO (cm)	PESO (g)	
	MACHOS	FÊMEAS
17	60	40
23	125	70
31	375	375
39	750	800
45	1250	1250
53	2000	2080
57	2500	2620

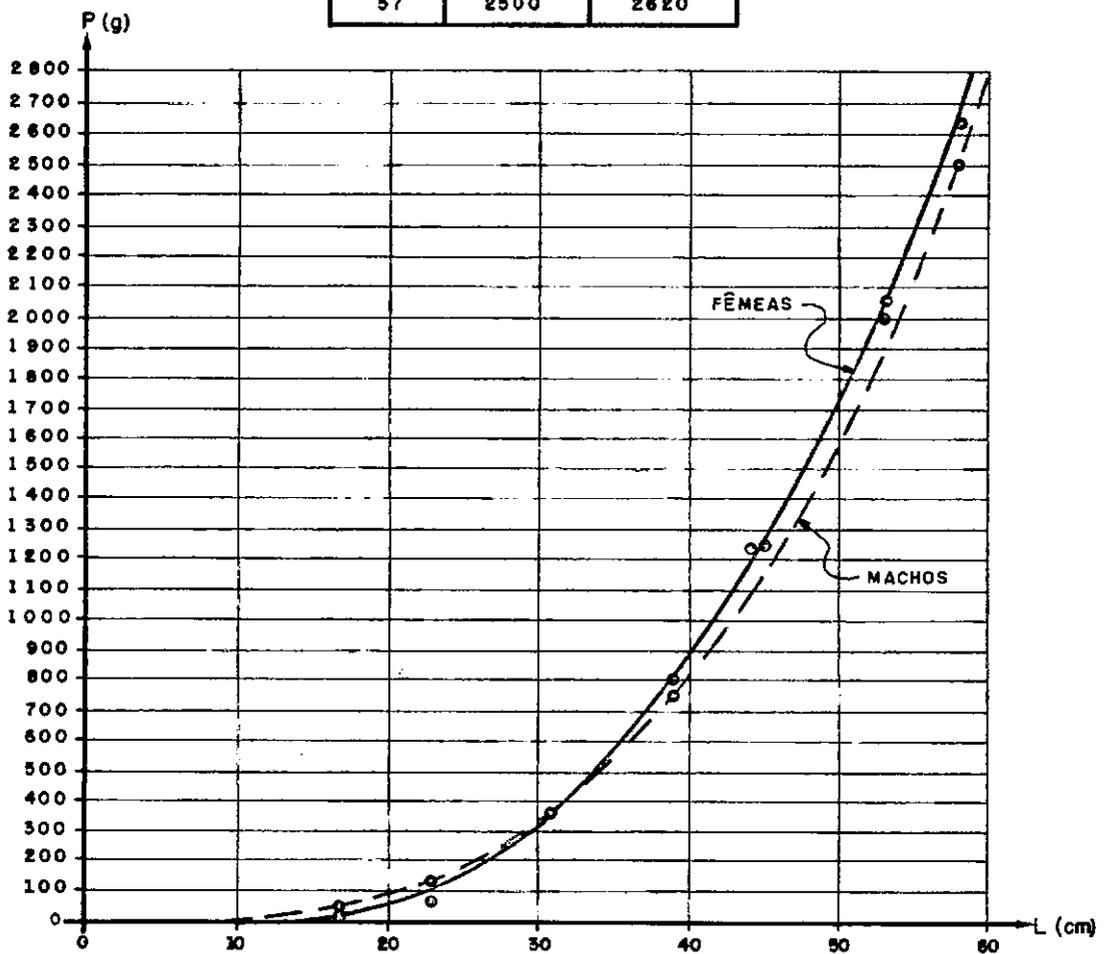
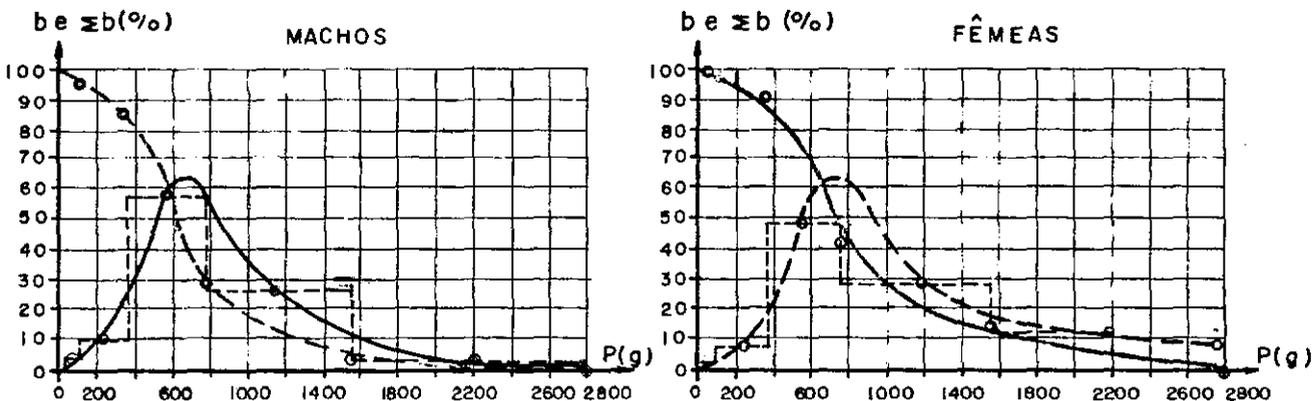


FIGURA 20  
CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DOS PESOS  
DO CURIMBATÁ EM CACHOEIRA DAS EMAS

PESO (g)	EXEMPLARES		PERCENTAGEM		PERCENTAGEM ACUMULADA	
	MACHOS	FÊMEAS	MACHOS	FÊMEAS	MACHOS	FÊMEAS
0 - 20	0	0	0	0	100	100
20 - 100	19	12	3,9	2,7	96,1	97,3
100 - 350	48	31	9,9	6,9	86,2	90,4
350 - 750	276	220	56,9	49,1	29,3	41,3
750 - 1550	125	128	25,8	28,6	3,5	12,7
1550 - 2750	17	57	3,5	12,7	0	0
TOTAL	485	448	100,0	100,0	—	—



Finalmente, traçamos as curvas de crescimento em peso ( $P \times t$ ), para os machos e para as fêmeas, usando as curvas de correlação ( $P \times L$ ) da FIGURA 19 e as de crescimento em tamanho, da FIGURA 21, conforme aparece na FIGURA 22.

Para a determinação do "peixe-tipo", entrando com  $t_M = 2$  anos nas curvas dos machos, nas FIGURAS 21 e 22, encontramos  $L_M = 25,5$  cm e  $P_M = 190$  g; entrando com  $t_F = 3$  anos nas curvas das fêmeas, obtemos  $L_F = 31,0$  cm e  $P_F = 360$  g.

Indo às curvas de distribuição etária da FIGURA 17, com  $t_M = 2$  anos e  $t_F = 3$  anos, encontramos respectivamente  $a_M = 6\%$  e  $a_F = 5\%$ , pelo que passarão pela escada 94% dos machos e 95% das fêmeas.

Considerando que os cardumes de CURIMBATÁ que anualmente chegam a Cachoeira das Emas, na piracema, têm cerca de 80.000 peixes, no exemplo em causa poderiam transpor a escada de peixe:

$$\left(N_M\right)_p = \frac{94}{100} \times 80.000 \times \frac{51}{100} = 38.352 \text{ machos}$$

$$\left(N_F\right)_p = \frac{95}{100} \times 80.000 \times \frac{49}{100} = 37.240 \text{ fêmeas,}$$

isto porque esses cardumes geralmente têm 51% de machos e 49% de fêmeas.

Em resumo, teríamos:

PEIXE-TIPO MACHO, ou MACHO-TIPO

$$t_M = 2 \text{ anos}$$

$$L_M = 25,5 \text{ cm}$$

$$P_M = 190 \text{ kg}$$

FIGURA 21

CURVAS DE CRESCIMENTO EM TAMANHO  
DO CURIMBATÁ EM CACHOEIRA DAS EMAS

IDADE (ANOS)	PESO (g)	
	MACHOS	FÊMEAS
1	13	13,5
2	25,5	26,5
3	30,0	31,0
4	33,5	35,0
5	36,0	38,0
6	39,5	40,0
7	44,0	45,5
8	49,5	50,0
9	51,0	54,0
10	—	54,5

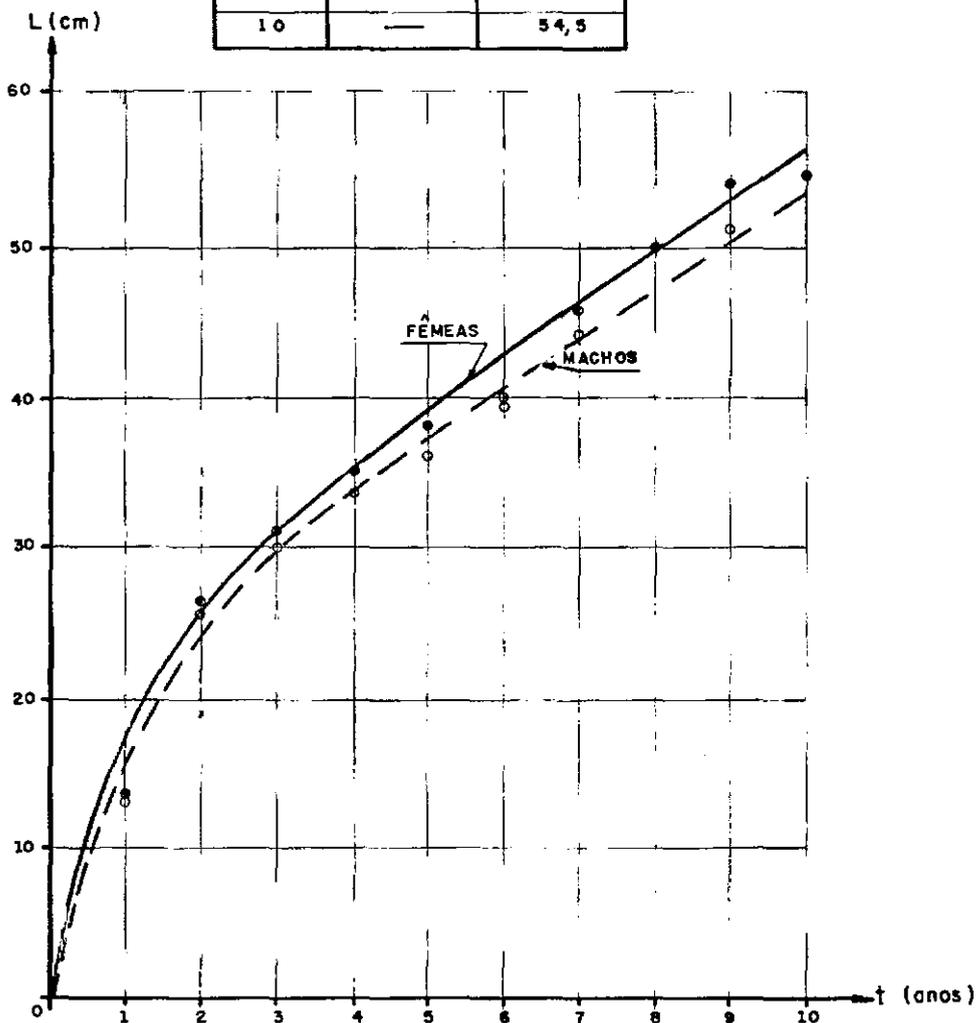
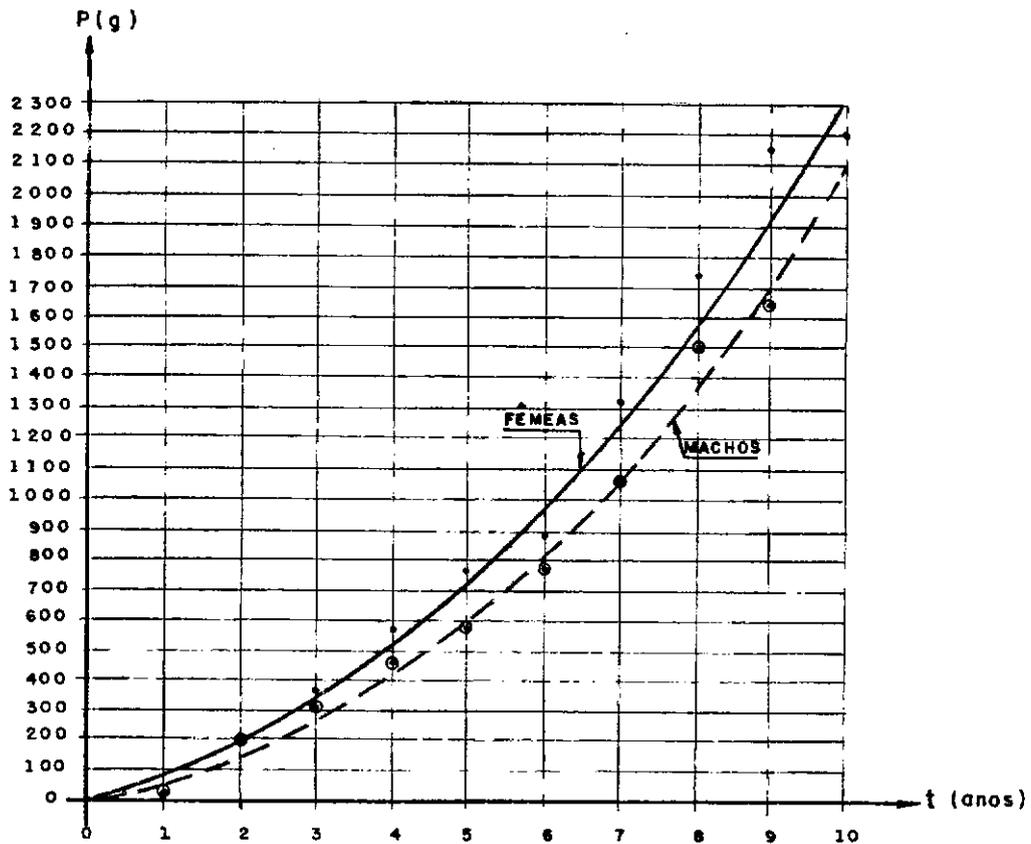


FIGURA 22

CURVAS DE CRESCIMENTO EM PESO DO  
CURIMBATÁ EM CACHOEIRA DAS EMAS

IDADE (ANOS)	PESO (g)	
	MACHOS	FÊMEAS
1	25	20
2	190	190
3	310	360
4	460	570
5	580	760
6	770	890
7	1.080	1.320
8	1.500	1.730
9	1.640	2.150
10	—	2.200



PEIXE-TIPO FEMEA, ou FEMEA-TIPO

$$t_F = 3 \text{ anos}$$

$$L_F = 31,0 \text{ cm}$$

$$P_F = 360 \text{ kg}$$

Abrimos aqui um parentesis para lembrar que pelos números encontrados, o cardume que passará pela escada terá a seguinte composição:

$$\frac{\binom{N_M}{p}}{\binom{N_M}{p} + \binom{N_F}{p}} = \frac{\binom{N_M}{p}}{N_p} = \frac{38.352}{75.592} = 51\% \text{ de machos}$$

$$\frac{\binom{N_F}{p}}{N_p} = \frac{37.240}{75.592} = 49\% \text{ de fêmeas.}$$

Todos esses peixes são capazes de procriar; estará exagerada a relação de molde a garantir a estabilidade global da população? Poder-se-ia diminuir ainda mais essas percentagens, sem correr-se o risco de diminuição da população? Se essas percentagens puderem ser menores, baixará ainda mais o custo da escada de pei - xe. Poderemos, por exemplo, usar  $t_M = 3$  anos e  $t_F = 4$  anos? Ou ainda mais?

O Ictiólogo podendo responder a essas perguntas, o Engenheiro poderá dimensionar a escada para um peixe-tipo menos con - servador.

No Capítulo seguinte trataremos do dimensionamento da escada com base no "peixe-tipo" aqui determinado.

## CAPÍTULO 4

### USO DO "PEIXE-TIPO" NO PROJETO

#### DE ESCADAS DE PEIXE

Estabelecido o "peixe-tipo", que na hipótese mais conservadora seriam, na realidade, dois - o "macho-tipo" e a "femea-tipo" - o dimensionamento da escada far-se-ia com base neles.

Conforme já tivemos oportunidade de comentar, o sistema de atração dos peixes à escada não sofre modificações significativas em função da espécie, idade, tamanho e peso dos peixes, motivo pelo qual a adoção do "peixe-tipo" a rigor não promoveria grande alteração nos critérios usuais de projeto. Aliás, conforme também já tivemos ensejo de dizer, o projeto desse sistema de atração não apresenta maiores dificuldades.

Apenas vale referir que a adoção do "peixe-tipo" faz com que, dos  $N$  peixes que constituem o cardume da piracema, pela escada passem somente os  $N_p$  peixes acima determinados; assim sendo, pelo menos esses  $N_p$  peixes necessitariam chegar à escada, atraídos pelo sistema de atração.

Na determinação de  $N_p$ , feita no Capítulo anterior, supusemos que todo o cardume chegasse à escada; considerando, porém, que no caso mais geral muitos peixes chegarão à barragem mas não encontrarão a escada (e isso é constatado nas obras existentes), pode mos definir um rendimento biológico do sistema de atração:

$$\eta_a = \frac{N_e}{N}, \text{ onde}$$

$N_e$  = número de peixes que chegam à escada

$N$  = número de peixes do cardume da piracema.

Da mesma forma, podemos conceituar um rendimento biológico da escada:

$$\eta_e = \frac{N_p}{N_e}, \text{ onde:}$$

$N_p$  = número de peixes que transpõem a escada;

$N_e$  = número de peixes que chegam à escada.

Em consequência, podemos chegar ao rendimento biológico do sistema de transposição:

$$\eta_s = \frac{N_p}{N}, \text{ onde:}$$

$N_p$  = número de peixes que transpõem a escada;

$N$  = número de peixes do cardume da piracema.

Evidentemente, teremos então:

$$\eta_s = \eta_a \times \eta_e$$

Dentro desse raciocínio, após determinarmos o "peixe-tipo", de acordo com o exposto no capítulo anterior, ao invés de multiplicarmos  $\Sigma a_M$  e  $\Sigma a_F$  por  $N_M$  e  $N_F$ , deveremos fazer:

$$N_{M_p} = \Sigma a_M \times N \times \eta_a$$

$$M_{F_p} = \Sigma a_F \times N \times \eta_a$$

Esses valores darão o número de machos e de fêmeas que transporão a escada, já levado em conta o rendimento do sistema de atração.

Quanto à escada propriamente dita, tanto poderá ser dimensionada para que os peixes a subam, todos, nadando, quanto su

pondo que os peixes de couro subirão assim e os de escama fã-lo-ão aos saltos.

Na primeira hipótese, podem ser cogitadas três alternativas: na primeira, os peixes subiriam atravessando orifícios praticados em paredes transversais à escada, geralmente junto ao fundo e alternados, de modo a que o trajeto fosse em zig-zag; na segunda, ao invés de orifícios haveria rasgões, ou junto às paredes verticais, também alternadamente, ou então no eixo de simetria. Essas são os principais tipos de escadas de peixe nas quais se adota essa diretriz de projeto, ou seja, todos os peixes subirem nadando; na terceira alternativa, haveria apenas vertedores transversais à escada, sem os orifícios, pelo que todos os peixes teriam que galgar a lamina d'água, nadando. Essa alternativa, pelo que sabemos, ainda não foi estudada convenientemente.

Na segunda hipótese, isto é, admitindo que os peixes de escama saltarão e os de couro nadarão, geralmente adotam-se os vertedores, nos paramentos dos quais usualmente junto ao fundo e também alternadamente, prevêem-se os orifícios.

Para qualquer das duas hipóteses e dentro de qualquer dessas alternativas, ao invés de ser a escada projetada estritamente dentro dos seus aspectos hidrâulicos e, no que respeita ao peixe, de modo empírico - que é usualmente o que se faz - poderia ela ser dimensionada de modo a que nela se estabelecesse um tipo de escoamento que fosse adequado, para o peixe-tipo determinado.

Assim, por exemplo, se quisermos dimensionar uma escada apenas provida de orifícios alternados junto ao fundo, estes terão seção, forma e carga hidrâulica adequadas para permitirem a passagem não de um peixe que não se conhece, e sim do peixe-tipo, cuja espécie, idade, tamanho e peso foram determinados.

Da mesma forma, se pretendermos que ele suba nadando pela lamina do vertedor, essa lamina terá carga hidrâulica de valor tal que, combinada com a vazão, promova escoamento capaz de ser vencido pelo peixe-tipo definido.

Em suma: em qualquer hipótese, procurar-se-á criar

um escoamento conveniente para um único e determinado peixe, de características bem definidas, e isso, evidentemente, simplificará os estudos, inclusive os experimentais, pois nesse caso as experiências serão realizadas com exemplares cujas características sejam as do peixe-tipo.

Era nosso desejo realizar essas experiências, para isso capturando em Cachoeira das Emas exemplares de CURIMBATÁ que correspondessem ao macho-tipo e à fêmea-tipo determinados no Capítulo anterior, mas dificuldades de toda ordem nos impediram de fazê-lo, não apenas quanto a captura e transporte para o Rio de Janeiro, como também quanto à responsabilidade financeira pelo programa de pesquisa.

Dispusemo-nos, então, a dar um tratamento teórico ao assunto, mas esbarramos com imensas dificuldades, pois conforme já tivemos oportunidade de mencionar, o nado do peixe é um tema em aberto na Mecânica dos Fluidos e tem desafiado especialistas de renome internacional.

Existem, no entanto, algumas considerações que permitem chegarmos a certas conclusões; assim, por exemplo, quando o peixe atravessa um orifício a resistência ao avanço aumenta enormemente, motivo pelo qual esses orifícios apenas podem ser colocados junto ao fundo da escada quando a altura da parede transversal for pequena; caso contrário, eles devem se situar mais próximo à superfície livre.

Em virtude dessa restrição, os orifícios trabalhando a pequenas cargas conduzem a velocidades baixas, tornando-se portanto fáceis de serem transpostos pelos peixes. Apenas dois aspectos são desfavoráveis: as baixas velocidades não permitem escoamento plenamente turbulento e, com isso, diminui-se a capacidade de atração do peixe; além disso, as pequenas cargas obrigam a pequenos desníveis e, em consequência, a declividade da escada fica muito suave, vale dizer, a obra encarece.

Essas conclusões são muito importantes, pois considera-se que o peixe de couro não salta, portanto precisarão subir nadando, havendo necessidade de peixes desse tipo transporem a esca-

da, uma de duas: ou são adotados desníveis pequenos entre os degraus (encarecendo a obra) ou então procura-se usar degraus com vertedores e se os dimensiona de molde a que esses peixes de couro subam, nadando, pela lamina vertente. Esta última hipótese nos era mais simpática e aumentamos tal propensão a ela quando presenciemos a subida de peixes (de escama e de couro) pela lamina vertente por sobre o "stop-log" da escada de peixe de Cachoeira das Emas, conforme já tivemos oportunidade de narrar.

A propósito, vale acrescentar que a maioria dos peixes subiam nadando pela lamina vertente, porém outros saltavam para dentro dela, daí para diante nadando no seu interior; isso foi observado em escadas de peixe existentes em outros países.

Como neste trabalho estamos buscando novos rumos, quer-nos parecer mais adequado considerarmos o uso do peixe-tipo visando ao aumento dos desníveis a vencer, pelo que deixaremos de lado a hipótese dos orifícios e cogitaremos dos vertedores.

Iremos supor, portanto, que haverá necessidade de peixes de couro passarem pela escada, além dos de escama; em outras palavras: há pelo menos duas espécies, uma de couro e outra de escamas, que os estudos hidro-bio-ecológicos concluíram devam transpor a barragem prevista. Nesse caso, evidentemente seria necessário determinarem-se dois peixes-tipo, um para cada espécie.

Quanto ao peixe de couro, como não cogitamos de orifícios, terá que subir nadando pela lamina vertente; assim sendo, não haverá necessidade de se determinar um "macho-tipo" e uma "femea-tipo", trabalhando-se com todo o cardume e aplicando-se o processo preconizado no Capítulo anterior.

Relativamente ao peixe de escama, tanto podemos supor que ele também subirá pela lamina vertente, quanto admitir que ele saltará por sobre ela; apenas nesta última hipótese haverá necessidade da determinação do "macho-tipo" e da "femea-tipo", conforme veremos adiante.

Assim sendo, estudaremos duas situações:

- o peixe de couro e o de escama subirão nadando pela

lamina vertente;

- o peixe de couro subirá nadando por essa lamina, enquanto que o peixe de escama a saltará.

Na primeira situação, importará fundamentalmente a capacidade de nado de ambos os peixes; na segunda capacidade de nado dos peixes de couro e a capacidade de salto dos peixes de escama.

Quanto à capacidade de nado dos peixes, conseguimos o ligir algumas informações interessantíssimas, apesar de ainda não se saber como os peixes conseguem o desempenho que apresentam.

Computando-se tamanho, superfície e velocidade de qual quer peixe e assimilando-se a resistência ao avanço àquela de uma placa plana, obtem-se valores que somente mostram coerência se o escoamento em torno do peixe fosse laminar e não turbulento.

Assim, por exemplo, um golfinho de 1,80 m de comprimento tem facilidade em nadar a uma velocidade de 35 km/h; admitin do-se uma placa plana de área igual à da superfície do golfinho e calculando-se a potencia necessária para tal desempenho, supondo es coamento turbulento, chegou-se a 2,6 CV; acontece, no entanto, que pelos limites musculares do animal, ele não pode desenvolver mais do que 0,3 CV, ou seja, um oitavo da potencia calculada.

Fazendo-se o mesmo com relação à baleia azul, obtem-se uma potencia de 450 CV, enquanto que esse animal não pode, mus cularmente desenvolver mais do que 60 CV. (Fortey | 5 |).

Em outras palavras: supondo escoamento turbulento em torno do corpo dos peixes ao nadarem, a potencia necessária para o avanço medido, calculada pela Mecânica dos Fluidos, é muito maior (de 5 a 10 vezes) do que aquela permitida pela fisiologia do ani - mal. É o chamado paradoxo de gray.

Procurou-se, então, fazerem-se esses mesmos cálculos usando o coeficiente de atrito relativo ao escoamento laminar, ob tendo-se potencias até menores do que as definidas pela capacidade muscular do peixe. Entretanto, isso não resolveu a questão, pois o número de Reynolds do escoamento em torno do corpo do peixe, con

sideradas as velocidades que ele desenvolve, fica muito acima do limite do escoamento laminar, pelo que tem-se de admitir que o escoamento é turbulento.

Aventou-se a hipótese de que o peixe, através do movimento que faz com a cauda e com o corpo, modificaria as condições do escoamento natural e criaria, apenas em torno do seu corpo, um escoamento laminar, isto é, ele nadaria envolto em uma camada limite laminar, dentro de um escoamento turbulento. Até hoje não se conseguiu demonstrar isso, nem teórica nem experimentalmente.

Rosen [13], ao fazer várias experiências de laboratório com um pequeno exemplar da espécie BRACHYDANIO ALBOLINEATUS fotografou uma esteira de vórtices no rastro do peixe, sempre que ele nadava; além disso, as fotografias (tiradas com equipamento de alta precisão) mostraram que, esses vórtices não acompanhavam o peixe como era de se esperar pela teoria de Von Karman, permanecendo no mesmo lugar em que se formavam; ainda mais, as fotografias demonstraram que ao nadar o peixe tinha sempre três desses vórtices junto ao corpo: um próximo às guelras, outro no lado côncavo da curvatura central e o terceiro ora no lado côncavo ora no lado convexo da curvatura caudal, olhando-se de cima.

Após essas constatações, Rosen desenvolveu uma teoria a que deu o nome de "VORTEX PEG HYPOTHESIS", segundo a qual o peixe, ao nadar, ondula o corpo de tal modo que na curvatura junto à cabeça gera o vórtice, acelera-o ao passar por ele com a curvatura da parte central do corpo e, finalmente, nele se apoia com o restante do corpo, principalmente a cauda e a nadadeira caudal, para dar o impulso à frente.

Assim, o peixe somente teria resistência ao avanço na quarta parte anterior de seu corpo e, além disso, aumentaria sua impulsão apoiando-se nos vórtices citados.

Rosen chegou teoricamente à seguinte expressão:

$$V = z \cdot f \cdot a, \text{ onde}$$

V = velocidade de avanço do peixe;

- $z$  = constante relativa ao peixe;  
 $f$  = frequência do movimento da nadadeira caudal;  
 $a$  = amplitude desse movimento.

As fotografias que ele tirara permitiram-lhe medir  $a$  e calcular  $\underline{V}$  e  $\underline{f}$ , pelo que determinou, usando diversas "tomadas" fotográficas, os respectivos valores de  $\underline{z}$ . Encontrou valores entre 2,65 e 2,80.

Essa constante  $\underline{z}$ , teria por expressão:

$$z = \frac{4b \cdot h(k+c-1)}{C_D A}, \text{ onde:}$$

- $b$  = altura da nadadeira caudal;  
 $h$  = espessura do vórtice;  
 $k$  e  $c$  = constantes;  
 $C_D$  = coeficiente de arrasto;  
 $A$  = área do corpo do peixe.

A nosso ver, Rosen poderia ter determinado  $C_D$ , vez que as fotografias lhe forneciam as demais grandezas intervenientes em  $\underline{z}$ , pois as constantes  $\underline{k}$  e  $\underline{c}$  foram por ele definidas em função das velocidades do peixe e do escoamento. Se assim tivesse acontecido, poderíamos calcular a resistência ao avanço:

$$F = C_D \rho A \frac{V^2}{2}, \text{ onde:}$$

- $F$  = resistência ao avanço  
 $\rho$  = massa específica da água

E, em consequência, obteríamos a potência necessária:

$$P = F \cdot V$$

Comparando essa potência com aquela capaz de ser desenvolvida pelos músculos do peixe utilizado nas experiências, te-

ríamos outro reforço para a teoria, pois o valor praticamente constante de  $\underline{z}$  é um argumento muito bom, porém não definitivo, conforme o próprio Rosen reconheceu.

Pensamos em repetir essas experiências, com um "CURIMBATÁ-TIPO", mas desistimos logo em virtude do custo proibitivo do equipamento fotográfico necessário.

Alás, ainda a respeito das dificuldades acima expostas, quanto ao sistema de população, a potência desenvolvida e a velocidade dos peixes, Mahmood [11] recentemente considerou-as ainda "um campo fértil para pesquisas conjuntas (o grifo é nosso) entre especialistas em hidrodinâmica e biólogos de peixe".

Ziemer e Behlke [11] chegaram a uma expressão interessante, para o coeficiente de arrasto de uma espécie de salmão (Sockeye Salmon):

$$C_D = \frac{3,3}{R^{0,47}},$$

onde R é o número de Reynolds.

Notemos que a Mecânica dos Fluidos nos diz que para a camada limite laminar em placas planas:

$$C_D = \frac{1,33}{R^{0,5}},$$

e para a turbulenta:

$$C_D = \frac{0,073}{R^{0,2}}$$

pelo que o valor obtido pelos referidos pesquisadores fica entre os dois valores teóricos acima.

De um modo genérico, podemos fazer:

$$C_D = \frac{a}{R^b}$$

e, para cada espécie, procurar determinar a e b. Pretendíamos fazer isso para o CURIMBATÁ, mas não havia dados disponíveis na Estação de Pirassununga.

Procurando reunir todas essas informações e aplicá-las ao nosso peixe-tipo, poderíamos nos utilizar da equação de Rosen:

$$V = z f. a \quad ,$$

determinando  $\underline{V}$ ,  $\underline{f}$ . e  $\underline{a}$  para o macho-tipo e a fêmea-tipo determinados, obtendo o valor de  $\underline{z}$ , que pela hipótese de Rosen deveria dar constante e valer para toda a espécie; daí partiríamos para o traçado de um ábaco de  $V = \phi(f, a)$ .

Outra maneira de chegarmos a essa velocidade seria através do cálculo da força que o peixe-tipo teria que empregar para vencer o escoamento e que é dada pela expressão, conforme já vimos:

$$F = \rho C_D A \frac{(V + v)^2}{2}, \quad \text{onde:}$$

- F = força empregada pelo peixe-tipo
- $\rho$  = massa específica da água
- $C_D$  = coeficiente de arrasto do peixe-tipo
- A = área do peixe-tipo
- V = velocidade de avanço do peixe-tipo
- v = velocidade do escoamento

Da equação acima, já conhecemos  $\rho$  e A, faltando de terminar F,  $C_D$ , V e v. Para facilidade de cálculo, podemos supor que a água está parada e, conseqüentemente, teremos a velocidade máxima de avanço  $V_{\max}$  em função de  $C_D$ , pois v será zero. Teremos, então:

$$F = \rho C_D A \frac{V_{\max}^2}{2}$$

Podemos supor, na falta de dados específicos, que o CURIMBATÁ seja capaz de desenvolver uma potência máxima de 0,0045 CV por quilograma de peso, que é um valor aceitável (Fortey | 5 |).

Assim, teremos a potência máxima dada pela expressão:

$$X = F \cdot V_{\max} = 0,0045 P = \frac{1}{75} \rho C_D A \frac{V_{\max}^3}{3}, \quad \text{onde as}$$

grandezas são as mesmas acima definidas e  $P$  é o peso do peixe-tipo.

Podemos, então, escrever:

$$C_D V_{\max}^3 = \frac{2 \times 75 \times 0,0045 P}{\rho A} = C$$

Mas já vimos que podemos fazer:

$$C_D = \frac{a}{R^b}, \quad \text{e então:}$$

$$C_D = \frac{a}{\left(\frac{V_{\max} L}{v}\right)^b} = \frac{a}{\left(\frac{L}{v}\right)^b V_{\max}^b} = \frac{a_1}{V_{\max}^b},$$

expressão na qual  $L$  é o comprimento do peixe-tipo e  $v$  é o coeficiente de viscosidade cinemática da água, portanto valores conhecidos.

Teremos, finalmente:

$$C_D V_{\max}^3 = C = \frac{a_1}{V_{\max}^b} \cdot V_{\max}^3 = a_1 \cdot V_{\max}^{3-b}, \quad \text{ou}$$

$$V_{\max}^{3-b} = \frac{C}{a_1}$$

Quando existir escoamento, teremos:

$V = V_{\max} - v$ , onde  $V$  é a velocidade máxima de avanço quando o peixe enfrenta um escoamento de velocidade  $v$ .

Usando o macho-tipo determinado no Capítulo anterior, teríamos:

$$P = 190 \text{ g} = 0,19 \text{ Kg.}$$

$$\rho = \frac{1000}{9,81} = 101,94 \text{ Kg/m}^3$$

$$L = 25,5 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$A = 270 \text{ cm}^2 = 0,027 \text{ m}^2 \text{ (arbitrada)}$$

$$v = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Poderíamos, então, calcular .

$$X_{\text{max}} = 0,0045 P = 0,0045 \times 0,19 = 0,0009 \text{ CV}$$

$$C = \frac{2 \times 75 \times 0,0045 \times 0,19}{\frac{1000}{9,81} \times 0,027} = 0,05 (\text{m/s})^3$$

$$K = \frac{L}{v} = \frac{0,25}{10^{-6}} = 250.000 \text{ s/m}$$

Não temos nem a nem b, que precisariam ser determinados experimentalmente. Assim sendo, apenas para prosseguir mos nos cálculos, iremos usar o valor de R encontrado para Sockeye Salmon e, nesse caso:

$$a = 3,3$$

$$b = 0,417 \text{ , então:}$$

$$a = \frac{a}{K^b} = \frac{3,3}{(250.000)^{0,417}} = \frac{3,3}{181} = 0,018$$

Finalmente calcularíamos  $V_{\text{max}}$ :

$$V_{\text{max}}^{3-0,417} = \frac{0,05}{0,018} \quad \text{e} \quad V_{\text{max}} = 1,50 \text{ m/s}$$

Em resumo teríamos, para o macho-tipo considerado:

$$t = 2 \text{ anos}$$

$$P = 0,19 \text{ Kg}$$

$$L = 0,25 \text{ m}$$

$$V_{\text{max}} = 1,50 \text{ m/s}$$

$$X_{\text{max}} = 0,0009 \text{ CV}$$

A determinação de  $X_{\text{max}}$  e  $V_{\text{max}}$ , feita para a fêmea

-tipo, conduziu aos seguintes valores, arbitrando  $A = 413 \text{ cm}^2$ :

$$\begin{aligned} t &= 3 \text{ anos} \\ P &= 0,36 \text{ Kg} \\ L &= 0,31 \text{ m} \\ V_{\max} &= 356 \text{ m/s} \\ X_{\max} &= 0,0016 \text{ CV} \end{aligned}$$

Como vemos, a fêmea-tipo tem quase o dobro da potência e mais do dobro da velocidade do macho-tipo. Estes valores são passíveis de uma verificação mais cuidadosa, de vez que foram arbitrados  $a$ ,  $b$ ,  $A$  e a potência muscular por unidade de peso do peixe.

Interessante notar que segundo Fortey |5|, ensaios de laboratório demonstraram que a velocidade máxima de um peixe é da ordem de 10 (dez) vezes o comprimento, por segundo; assim sendo, teríamos no nosso caso:

$$\begin{aligned} \text{Macho-tipo: } &10 \times 0,19 = 1,9 \text{ m/s} \\ \text{Fêmea-tipo: } &10 \times 0,31 = 3,1 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Como encontramos, respectivamente, 1,50 m/s e 3,56 m/s, não estamos longe dos valores mais prováveis.

Quanto a capacidade de nado, chegamos pois a algum resultado; vejamos, então, o outro problema em foco, isto é, a capacidade de salto.

Também permanece inexplicável como os peixes conseguem dar os saltos que se observa. Rosen |13| fotografou golfinhos no instante em que saíam da água, no início do salto, e mostrou que os vórtices por ele observados em laboratório igualmente ocorriam junto ao corpo do golfinho, que ao sair da água arrastava com ele tais vórtices. Não se ocupou, no entanto, de procurar quantificar o salto do seu "BRACHYDANIO ALBOLINEATUS".

Já Fortey |5| afirma, genericamente, que um salmão salta "até uma altura de 2m, com um alcance de 3m", sem contudo definir as características do peixe que pode apresentar tal desempenho,

nem dar tratamento teórico à questão.

Ocorreu-nos fazer uma analogia entre o salto do peixe e a saída, da água, de um missil tipo "Polaris", igualmente fazendo uma analogia, quanto ao mergulho do peixe ao cair n'água, à entrada de um missil do tipo ar-água, vale dizer ocorreu-nos incursionar pelo terreno da Hidrobalística, mas confessamos que a empreitada se nos afigurou grande demais, pelo menos no que respeita a uma tese de Mestrado, daí porque deixamos tal estudo para uma oportunidade futura.

Aliás, também em tal seara os conhecimentos que vão sendo obtidos têm enorme possibilidade de se tornarem confidenciais por motivos óbvios, o que dificulta o acesso a eles.

Em vista disso, preferimos nos valer da verificação "in loco" da capacidade de salto do CURIMBATÁ. Felizmente, pudemos contar com um dado prático que nos foi fornecido pessoalmente por Godoy, que observando visualmente ao longo dos anos os saltos dos peixes, em Cachoeira das Emas, chegou à conclusão de que, de um modo geral, "o peixe chega a pular até 4,3 vezes o seu comprimento em extensão e até 2,5 vezes em altura".

Utilizando-nos, destas relações, obtemos para os nossos peixes-tipo:

Macho-tipo:

$$h_M = 2,5 \quad L_M = 2,5 \times 0,25 = 0,625 \text{ m}$$

$$l_M = 4,3 \quad L_M = 4,3 \times 0,25 = 1,075 \text{ m}$$

$$h_F = 2,5 \quad L_F = 2,5 \times 0,31 = 0,775 \text{ m}$$

$$l_F = 4,3 \quad L_F = 4,3 \times 0,31 = 1,333 \text{ m}$$

Consideremos modestos estes números, pelo que apresentamos em Cachoeira das Emas; por certo Godoy conscientemente, usou determinado coeficiente de segurança para no-los fornecer.

De posse dos elementos até aqui determinados, que de finem tanto a capacidade de nado quanto a de salto dos peixes-tipo,

podemos pensar no dimensionamento da escada de peixe, propriamente dita.

Em primeiro lugar, conforme havíamos estabelecido, consideraremos que os peixes irão subir nadando. Nesse caso, teremos que usar o macho-tipo, de vez que ele tem menor capacidade de nado do que a femea-tipo.

Usando o critério adotado por Ziemer e Behlke<sup>[11]</sup>, o peixe para vencer uma escada de altura  $H$  e comprimento  $S$ , presaria usar a seguinte força:

$$F = \frac{PH}{S} + \rho C_D A \frac{V_{\max}^2}{2}, \text{ onde}$$

$F$  = força necessária

$P$  = peso do peixe

$H$  = altura da escada

$S$  = comprimento da escada

$\rho$  = massa específica da água

$C_D$  = coeficiente de arrasto do peixe

$A$  = área do corpo do peixe

$V_{\max}$  = velocidade máxima do peixe =  $V+v$ =velocidade de avanço + velocidade do escoamento.

O primeiro termo do segundo membro da equação é a componente do peso do peixe na direção do escoamento.

Fazendo as mesmas transformações acima realizadas, teremos:

$$C_D = \frac{a_1}{V_{\max}^b} \text{ e, então}$$

$$F = P \frac{H}{S} + \rho a_1 A \frac{V_{\max}^{2-b}}{2}$$

A potência correspondente seria:

$$X_{\max} = FV_{\max} = P \frac{H}{S} V_{\max} + \rho a_1 A \frac{V_{\max}^{3-b}}{2}$$

Se também aqui admitirmos que  $X_{\max} = 0,0045 P$ , teremos:

$$0,0045P = \frac{1}{75} \left( P \frac{H}{S} V_{\max} + \rho a_1 A \frac{V_{\max}^{3-b}}{2} \right), \text{ onde}$$

$\frac{H}{S} = \cos \alpha$ , chamando-se de  $\alpha$  ângulo que a escada faz com a vertical.

Esta é a inclinação da escada para a qual a potência do peixe é tal que ele iguala na força do escoamento, portanto é o limite máximo para a inclinação da escada.

Substituindo na equação acima os valores correspondentes ao macho-tipo, temos:

$$0,0045 \times 0,19 = \frac{1}{75} \left( 0,19 \cdot \cos \alpha \times 1,50 + \frac{1000}{9,81} \cdot 0,018 \times 0,027 \times 1,50^{3-0,417} \right)$$

O que nos permite chegar a:

$$\cos \alpha = 0,18 \quad \text{e} \quad \alpha =$$

Este ângulo corresponde a uma inclinação  $i_{\max} = 1:5,4$  computando-se a altura  $H$  e a projeção horizontal de  $S$ .

Na prática, costuma-se considerar que o peixe não é capaz de nadar com potência máxima durante muito tempo pelo que ao invés de usarmos  $X_{\max}$  na equação acima, poderíamos adotar cerca de 80% desse valor e, evidentemente, encontraríamos um valor menor para a inclinação limite da escada de peixe.

Para que o peixe-tipo considerado possa subir a escada nadando, devemos adotar, então, uma inclinação máxima, digamos, de 1:7.

Interessante notar que o Bonneville Fish Laboratory fez diversas experiências com escadas de peixe e adotou 1:8 como inclinação máxima (Collins, et al [11]), usando diversos tipos de

salmão. Pretendemos fazer algo semelhante usando o CURIMBATÁ e o DOURADO.

Na segunda diretriz de projeto, isto é, considerando que os peixes irão saltar, podemos ter uma idéia, da inclinação da escada adotando os valores de h e l acima indicados, novamente utilizando-nos do macho-tipo, que tem menos capacidade de salto:

$$i_{\max} = \frac{h_M}{\frac{L_M}{2}} = \frac{2h_M}{L_M} = \frac{2 \times 0,625}{1,075} = \frac{1}{0,86}$$

Este resultado mostra que se o peixe for capaz de saltar todos os degraus com tal desempenho, a escada poderá ter uma inclinação máxima maior do que 45°, o que a tornaria muitíssimo mais econômica.

Somos obrigado a deixar no ar a resposta definitiva quanto à opção entre projetar a escada supondo que o peixe-tipo subirá nadando e com isso adotando  $i > 1:7$  ou projetá-la admitindo que ele subirá aos saltos, casos em que poderemos fazer  $i > 1:1$  aproximadamente.

Não podemos chegar à resposta em virtude de na primeira hipótese termos arbitrado diversos valores, porque não havia dados disponíveis para determiná-los, ao passo que na segunda não há como garantir-se ser o peixe capaz de saltar continuamente.

Fica o desafio, para todos nós.

CAPÍTULO 5CONCLUSÕES

Em síntese, quer-nos parecer que após os estudos em que nos empenhamos relativamente ao objeto desta tese, é-nos lícito tirar as seguintes conclusões:

1 - No que respeita à fauna ictiológica, os rios precisam ser encarados como ecossistemas, não apenas pelos Ictiólogos como também pelos Engenheiros, de uma forma ou de outra, pretendam se utilizar desse rio para qualquer fim.

2 - É indispensável, nesse caso, uma perfeita harmonia de atuação entre esses dois profissionais, de modo a que não trabalhem isoladamente e possam otimizar os projetos de que se cogite.

3 - Especialmente quando se deseja construir uma ou várias barragens é imperioso que, paralelamente aos estudos hidrológicos já consagrados, realizem-se os estudos bio-ecológicos preconizados, para determinação das condições do ecossistema, antes da implantação da obra e para a previsão das possíveis repercussões na fauna ictiológica.

4 - A tomada de decisão quanto à adoção ou não de um sistema de proteção à fauna ictiológica não deve ficar submetida exclusivamente à rentabilidade da obra dentro da finalidade específica para a qual esteja sendo prevista, tomando-se necessário pesarem-se devidamente os prejuízos ecológicos e os eventuais efeitos de diminuição do estoque de peixes em presença do esforço de pesca.

5 - Constatada, dentro de tal política, a necessidade de proteção à fauna ictiológica, o melhor sistema a ser adotado com tal finalidade deverá ser estudado com atenção, à luz dos estu

dos hidro-bio-ecológicos referidos.

6 - Naqueles casos em que se optar pela escada de peixe, ao invés de ser ela dimensionada para permitir a passagem de todo o cardume na piracema, deverá ser estabelecido um "peixe-tipo", definido de tal modo que a parcela do cardume que transpuser a barragem permita a manutenção da espécie dentro de limites julgados convenientes.

7 - A exemplo do que se faz nos países desenvolvidos, dependendo do porte da escada, devem ser feitas determinações experimentais, tanto no que tange aos aspectos hidráulicos quanto aos inerentes ao peixe, utilizando-se nesses estudos exemplares cujas características correspondam às do "peixe-tipo" escolhido.

8 - Ficando patenteada a necessidade de peixamento para complementar a ação da escada de peixe, impõe-se a previsão de posto ou estação de piscicultura, definidos à luz dos estudos hidro-bio-ecológicos.

9 - Como conclusão final diríamos que possuímos no Brasil recursos materiais e humanos capazes de tornarem realidade o que estamos preconizando, eliminando de vez o empirismo com que tais assuntos são tratados em nosso país; para isso, basta que haja conscientização da necessidade e disposição para aceitar-se o desafio. Sentir-nos-emos recompensado dos esforços realizados, se este trabalho puder fazer algo nesse sentido; de nossa parte, continuaremos a lutar por isso.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - BANYS, R. e LEONARDSON, K.R. - "Fishways at Dams".
- 2 - BONNEVILLE HYDRAULIC LABORATORY - "Fish Facilities for Bonneville Dam" - 1968.
- 3 - BONNEVILLE HIDRAULIC LABORATORY - "Fish Facilities for McNary Dam" - 1960.
- 4 - CLAPHAM JR., W.B. - "Natural Ecosystems" - Macmillan Company - 1973.
- 5 - FORTEY, Joseph - "Les Conditions d'Écoulement en Rivière et leur Répercussion sur l'Hydrodynamique des Poissons" - Faculté des Sciences de Toulouse.
- 6 - GODOY, Manuel Pereira de - "Age, Growth, Sexual Maturity, Behavior, Migration, Tagging and Transplantation of the Curimatã (*Prochilodus scrofa* Steindachner, 1881) of the Mogi Guassu River, São Paulo State, Brasil" - Anais da Academia Brasileira de Ciências, Vol. 31, nº 3, 30/SET/1959.
- 7 - GODOY, Manuel Pereira de - "Dez Anos de Observações sobre Periodicidade Migratória de Peixes no Rio Mogi-Guaçu" - Revista Brasileira de Biologia, 27(1): 1-12, Maio de 1967.
- 8 - GUILLAND, J.A. - "Manual de Métodos para la Evaluación de las Poblaciones de Peces" - FAO e Editorial Acribia - 1971.
- 9 - HUET, Marcel - "Tratado de Piscicultura" - Ediciones Mundi-Prensa - 1973.
- 10 - KRAMER, Max. O. - "Hydrodynamics of the Dolphin" - NASA.

- 11 - MAHMOOD, Khalid - "Fish Facilities at River Development Projects" - Institute of River Mechanics, Colorado State University - 1972.
- 12 - ODUM, Eugene P. - "Ecologia" - Compañia Editoria Continental S.A. - 1969.
- 13 - ROSEN, Moe William - "Water Flow about a Swimming Fish" - U. S. Naval Ordnance Test Station - 1959.