6. Estudo Experimental.

6.1. Introdução.

Os estudos internacionais dos STP's estão consolidados há décadas, favorecidos, entre outros fatores, pelo interesse comercial, industrial e político, e facilitados, principalmente no hemisfério norte, pela baixa diversidade de peixes a ser contemplado, frutos de uma sociedade esclarecida, que privilegia o meio ambiente e os bens renováveis, amparada com legislações e fiscalização eficientes.

Os estudos sobre os STP's não seguem, como se é de esperar, as características convencionais de tratamentos aos problemas de engenharia cuja maioria são objetos de solução aos parâmetros das necessidades diretas ou indiretas dos humanos, pois destinam-se aos peixes cujas características, necessidades e prioridades não estão bem esclarecidas, principalmente no cenário nacional.

A carência de informações físico-biológicas dos peixes e dos seus ecossistemas, principalmente nos países subdesenvolvidos onde a biodiversidade e sua importância conflitam os recursos disponíveis é notória, são fatores limitantes à eficiência e eficácia dos STP's.

Os primeiros estudos experimentais significativos com STP's são da década de 40 e 50, do século XX, no Laboratório da Barragem de Bonneville, Oregon, EUA (COLLINS, 1960), conforme Figura 76. Os estudos visaram otimizar estruturas de passagem para os peixes diádromos, cujas características físicas e biológicas não eram conhecidas (velocidades atrativas, máximas do fluxo e dos peixes, resistência, indução artificial, dimensões das espécies, volume dos cardumes, épocas de reprodução, rotas, etc.).

Estudos em modelos reduzidos são instrumentos importantes, principalmente no exterior, para otimizar sistemas para a transposição de peixes. Laboratórios de Hidráulica particulares ou com suportes universitários, reconhecidos internacionalmente, promovem estudos de mesma natureza, com intuito de viabilizar protótipos ou melhorar o desempenho de estruturas existentes (KATOPODIS, 1984;

NAKAMURA, 1995; ORSBORN, 1985; PETKOVIC, 1990; RAJARATMAM, 1992; RIZZO, 1968, 1971; KAMULA, 2001).

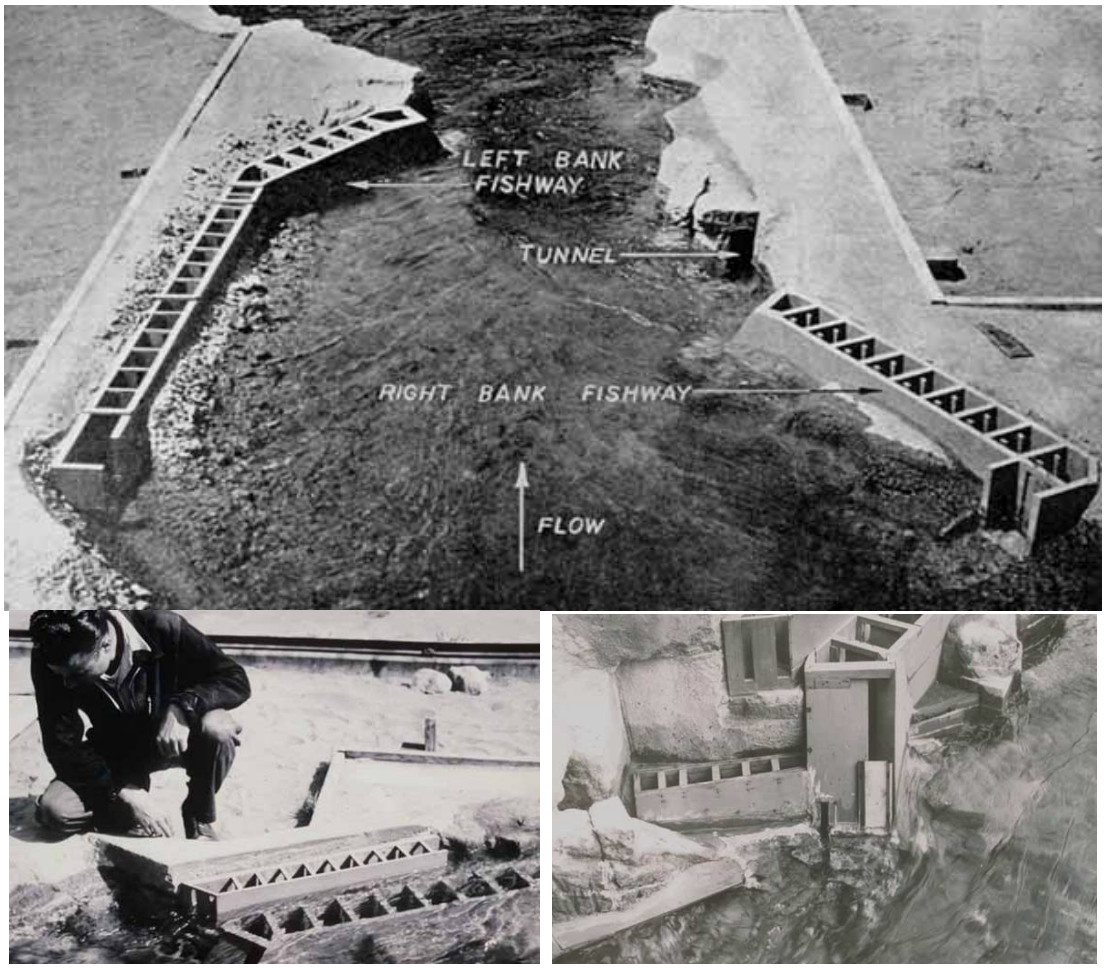


Figura 76: Modelo Reduzido Hellgates, rio Missisipi, EUA, 1943. Escala 1:50.

Fonte: CCRH, 2004.

Figura 77: Laboratório no Japão – "Fishway". Escala 1:1.

Fonte: PWRI, 2004.

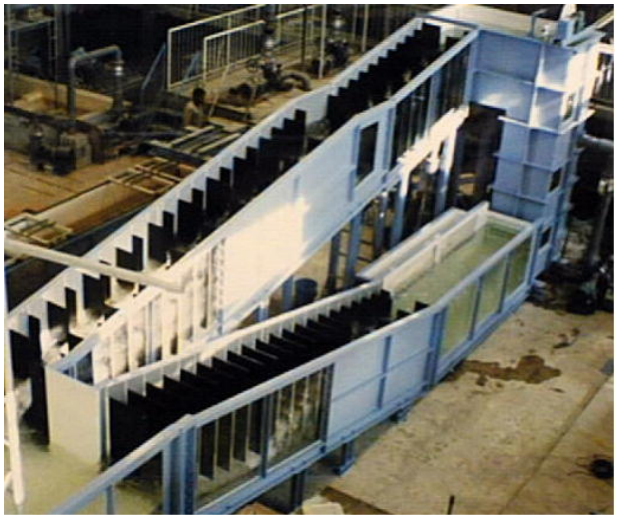


Figura 78: Modelo Reduzido escada Tipo Denil – Japão.

Fonte: YSEYA, 2004.

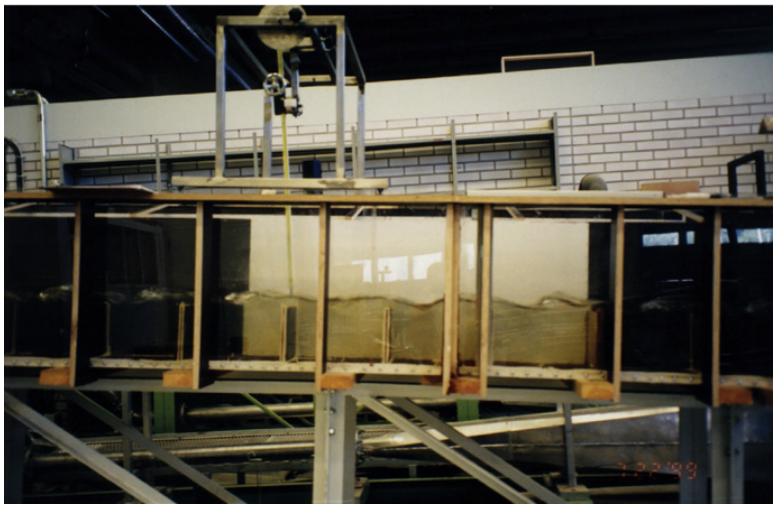


Figura 79: Estudos em Modelo Reduzido de uma escada, Universidade Oulu, Filândia, 1999.

Fonte: WREE, 1999.

Figura 80: Laboratório da FCTH, USP, SP, escalas 1:8 e 1:15.

Fonte: MARTINS, 2000.

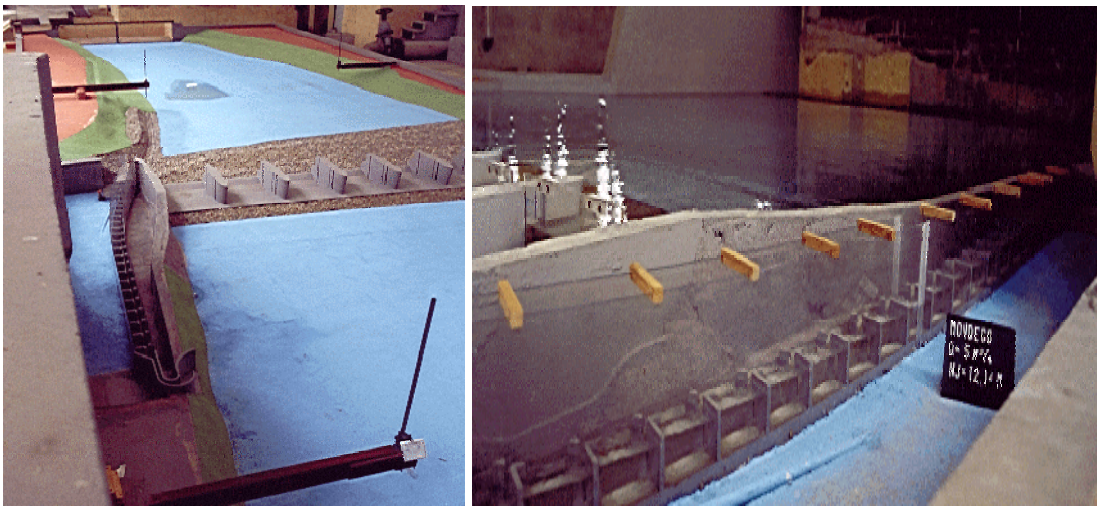


Figura 81: rio Mondego, Barragem Coimbra, Portugal.

Fonte: LNEC, 2001.

Figura 82: Hydrolabor der Bauhaus-Universität in Schleusingen - Alemanha, Estudo de Modelagem com vários tipos de STP's.

Fonte: HYDROLABOR (2000).

Figura 83: Canal de Piracema em Itaipu - LACTEC e CEHPAR.

Fonte: LACTEC e CEHPAR (2003).

No Brasil, como em quase todo o hemisfério sul, impera a diversidade dos peixes e a fase embrionária do conhecimento correlacionado, tornando a etapa investigativa experimental árdua e fundamental às questões empíricas e básicas.

As soluções analíticas de problemas de escoamentos em condutos livres ou forçados que envolvam determinações de distribuições de velocidades, linhas de fluxo, pressões e vazões, são difíceis de serem obtidas por envolverem equações diferenciais parciais.

Com o desenvolvimento das ciências e dos processos e equipamentos computacionais, as equações diferenciais puderam ser tratadas com maior desenvoltura, mas, no caso de STP's, indicam tendências físicas mensuráveis não sendo possível, ainda, a miscigenação com as respostas de elementos vivos (físico, biológico e sensorial). Ver Figura 84.

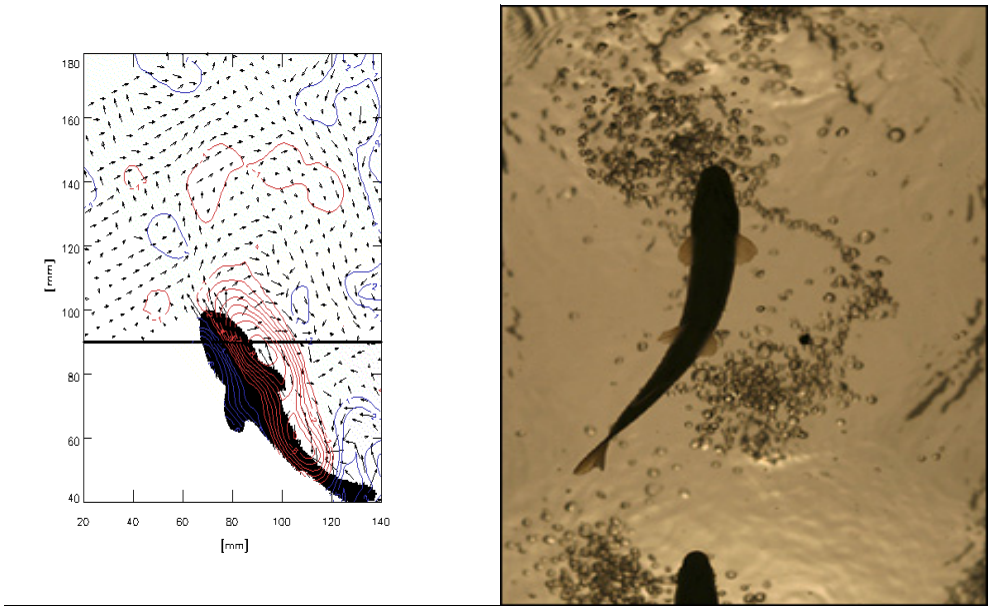


Figura 84: Estudo do movimento do peixe.
Fonte: SAKAKIBA LAB, 2005.

Os modelos computacionais, de forma geral, precisam de valores de aferição, isto é, coeficientes que possam aproximar as respostas teóricas às reais, sem as quais se perde a veracidade. Esses coeficientes só podem ser obtidos nos protótipos ou em modelos reduzidos com semelhança geométrica, cinemática e dinâmica.

No escoamento livre, objeto deste estudo, a solução analítica adequada é complexa, devido à variedade geométrica dos contornos e à presença da superfície livre como fronteira do escoamento. Neste caso é recomendado o estudo experimental em modelo geometricamente semelhante, sem distorção e com dimensões reduzidas. A semelhança geométrica dos contornos sólidos e livres é uma condição necessária bem como a semelhança dinâmica.

A modelagem física tri ou bidimensional de STP's estuda as variações de condições do escoamento para diferentes estruturas e operações hidráulicas, fornecendo os parâmetros de aferição para os modelos computacionais. Os métodos computacionais, principalmente no exterior, com princípios avançados de mecânica dos fluidos, são aplicados para fornecerem detalhes das características do escoamento como: velocidades e pressões a partir dos estudos de modelagem.

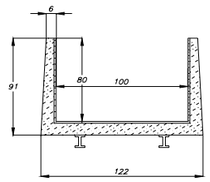
O cientista experimental cuja formação, via de regra, é a ciência exata, depara-se, neste caso, com incógnitas seletivas, físico-biológicas e sensoriais, sujeitas à resposta dos peixes, envolvendo variáveis biológicas nacionais não disponíveis, que fogem do

equacionamento matemático e dificultam a garantia da eficácia dos resultados experimentais.

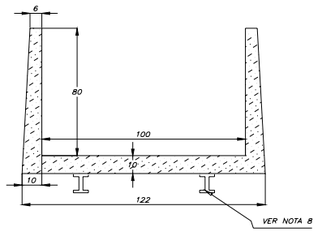
A verificação da resposta dos peixes só é possível em verdadeira escala e será, portanto, objeto de estudo futuro, com base na otimização hidráulica desenvolvida, em protótipos em operação, durante o monitoramento.

A otimização hidráulica das velocidades, linhas de fluxo, vazões, disposição geométrica, foi obtida através de um estudo experimental em modelo reduzido parcial sem distorção, geometricamente semelhante. Assim, se elaborou o projeto de um modelo reduzido parcial tridimensional experimental, segundo a semelhança de Froude, de um sistema parcial para transporte dos peixes, implantado nas dependências do Centro Tecnológico de Hidráulica: CTH, financiado pelo Convênio entre o Departamento de Águas e Energia Elétrica: DAEE e a Universidade de São Paulo: USP.

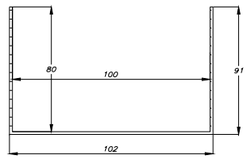
Na Figura 85 apresenta-se o projeto do modelo reduzido utilizado nos estudos, composto com canal em acrílico transparente, comportas reguladoras no tanque ou reservatório de jusante, reservatório de montante com capacidade de amortecimento e tranqüilização do fluxo e sistema de alimentação de água com medidor de vazão e reguladores de capacidade.



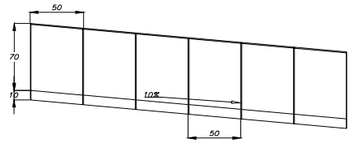
SEÇÃO TÍPICA DO CANAL COM REFORÇO



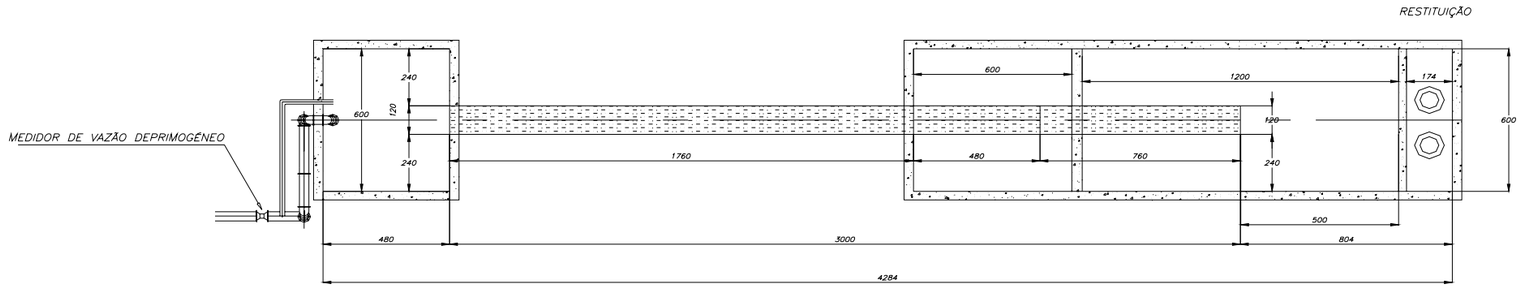
SEÇÃO TÍPICA DO REFORÇO



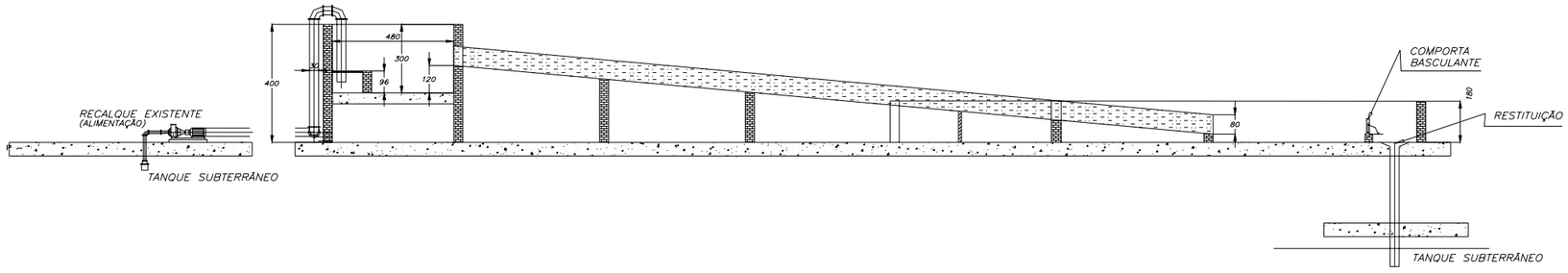
SEÇÃO TÍPICA DO CANAL



DISPOSIÇÃO LONGITUDINAL DO REFORÇO



PLANTA



PERFIL LONGITUDINAL

A REPRODUÇÃO PARCIAL OU TOTAL DESTE ESTUDO É PROIBIDA SEM AUTORIZAÇÃO DO AUTOR

LEGENDA

- ACRÍLICO
- ALVENARIA
- ARGAMASSA OU CONCRETO

NOTAS:

1 – DIMENSÕES EM CENTÍMETRO, UNIDADES DE MODELO.
2 – O CANAL DA ESCADA PARA PEIXES É EM ACRÍLICO TRANSPARENTE DE MODO A PERMITIR A VISUALIZAÇÃO DOS FENÔMENOS HIDRO–BIOLÓGICOS ENVOLVIDOS.
3 – O CIRCUITO HIDRÁULICO DEVERÁ ESCOAR CERCA DE 150l/s, SENDO INSTRUMENTADO PARA CONTROLAR AS VAZÕES NESTA FAIXA.
4 – SERÃO MEDIDAS VELOCIDADES E LINHAS DE FLUXO E, EVENTUALMENTE, SE NECESSÁRIO, PRESSÕES.
5 – O CANAL OPERARÁ COM DECLIVIDADE LONGITUDINAL 10%.
6 – A ESCALA DE REDUÇÃO DO MODELO É VARIÁVEL EM FUNÇÃO DO TIPO DE PAREDE TRANSVERSAL, SEGUNDO A SEMELHANÇA DE FROUDE.
7 – OS REFORÇOS ESTRUTURAIS TRANSVERSAIS AO CANAL ESTARÃO DISPOSTOS A CADA 100cm.
8 – O CANAL SERÁ TOTALMENTE APOIADO LONGITUDINALMENTE EM DOIS PERFIS METÁLICOS EM FORMA DE "I" DE 3 POLEGADAS.

ANEXO

TÍTULO

SISTEMAS PARA A TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES

MODELO TRIDIMENSIONAL PARCIAL

VIABILIZAÇÃO HIDRO–BIOLÓGICA ESCADA PARA PEIXES

PROJETO	VISTO
SIDNEY LAZARO MARTINS	
VERIFICAÇÃO	VISTO
PROF. DR. KIKUO TAMADA	
DATA	DESENHO Nº	REVISÃO
03/03/2001	001/01	0

Figura 85: Modelo Tridimensional Parcial.

6.2. Alternativas Estudadas.

Entre as opções de STP's disponíveis, escolheu-se o tipo escada para os estudos experimentais devido, entre outros motivos, aos custos totais menores, quando comparados com outros tipos; maior quantidade de estudos internacionais comparativos e paramétricos disponíveis; grande quantidade de estruturas implantadas com sucesso no exterior; possibilidade de manipulação das características geométricas e estruturais para adaptá-las às necessidades dos peixes nacionais e a flexibilidade de implantação, quando necessário, nos barramentos existentes sem STP's.

Foram estudadas três alternativas de paredes transversais e suas variantes, conforme Tabela 33. A Alternativa 1 é composta por paredes com soleira livre maior e menor e um orifício, dispostas longitudinalmente ao longo do canal, em forma de labirinto, conforme; a Alternativa 2 é composta por duas paredes transversais com dimensões transversais diferentes cuja soma algébrica de seus comprimentos transversais é menor do que a largura da base do canal e localizadas em paredes opostas do canal de forma a formarem uma abertura vertical contínua – "Vertical Slot", dispostas sucessivamente e seqüencialmente no sentido longitudinal do canal, conforme Figura 87; a Alternativa 3 é composta por paredes com soleira livre maior e menor e dois orifícios dispostos longitudinalmente ao longo do canal em forma de labirinto, conforme Figura 88.

A Alternativa 2 – "Vertical Slot" foi estudada com três variantes: Alternativa 2.1 onde a sua disposição geométrica é a normalizada segundo os padrões internacionais da metodologia proposta por KATOPODIS, 1999; Alternativa 2.2, onde se aumentou o espaçamento para 2,7m e Alternativa 2.3, onde as aberturas verticais foram dispostas alternadamente em forma de labirinto no sentido longitudinal.

Tabela 33: Alternativas Estudadas.

Alternativa	Tipo	Figura
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	Figura 86
2	"Vertical Slot"	Figura 87
2.1	"Vertical Slot" Normal, espaçamento de 2,7m	
2.2	"Vertical Slot" Normal, espaçamento de 3,4m	
2.3	"Vertical Slot" Alternado, espaçamento de 3,4m	
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios	Figura 88

Figura 86: Alternativa 1 – soleira livre maior e menor e um orifício.

Figura 87: Alternativa 2 – "Vertical Slot".

Figura 88: Alternativa 3 – soleira livre maior e menor e dois orifícios.

As características hidráulicas e estruturais das alternativas estudadas, em unidades de protótipo, estão apresentadas na Tabela 34.

Tabela 34: Características Hidráulicas e Estruturais.

Alt.	I (%)	L (m)	B (m)	Parede Transversal				
				Soleira (m)		Orifício (m)	Disposição	b_0 (m)
				maior	menor			
1	10	4,0	4,0	3,0	1,0	0,5 x 0,5	alternada	-
2.1		2,7		-	-	-	seqüencial	0,5
2.2		3,4		-	-	-		
2.3		3,4		-	-	-	alternada	
3		4,0		3,0	1,0	0,5 x 0,5	alternada	-

Onde: L = distância horizontal longitudinal entre soleiras (degraus), B = base do canal, b_o = abertura vertical entre soleiras.

6.3. Variáveis Envolvidas e Princípios Hidráulicos.

As variáveis envolvidas referem-se à otimização do conjunto das dimensões, com as resultantes: vazão, velocidade e linhas de fluxo favoráveis ao movimento dos peixes.

As características principais do canal, conforme Figura 89 e Figura 90, são: base, "B", altura, "h" e declividade longitudinal, "i", fixada 1V:10H (10%). A escala de representatividade, "esc", foi alterada de modo a possibilitar variações quanto ao tipo e espaçamento das soleiras (paredes transversais).

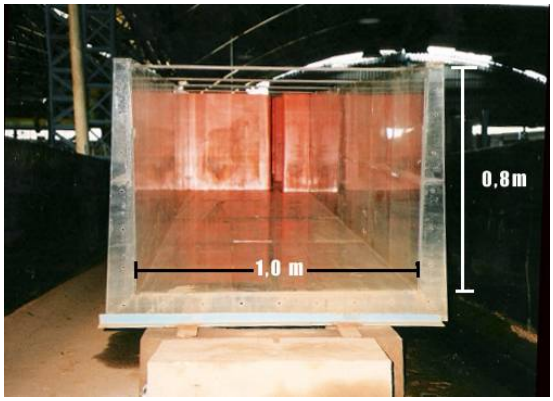


Figura 89: Seção tipo constante do canal do STP experimental (1,0 x 0,8m).

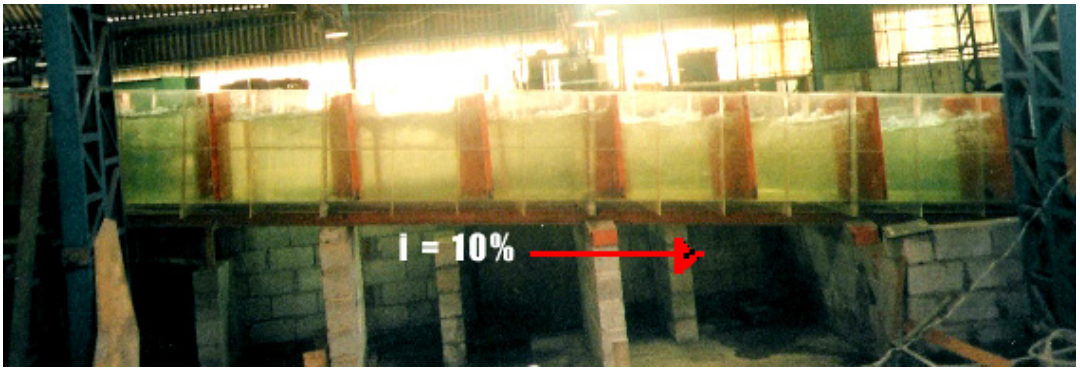


Figura 90: Declividade longitudinal do canal.

6.3.1. Condicionantes dos Peixes.

Devido à impossibilidade de introduzirmos elementos vivos no modelo, pois não podemos reduzi-los à escala de estudo, foram admitidas algumas hipóteses dimensionais simplificadoras, em valores de protótipo:

- ✓ Velocidade máxima do fluxo inferior a 3,5m/s (ICOLD, 2003);
- ✓ Dimensões mínimas do orifício iguais a 0,50 x 0,50m, respectivamente base e altura, para a passagem de peixes de couro com locomoção preferencial pelo fundo, considerando os barbilhões e altura com as barbatanas, cauda e nadadeiras;
- ✓ Lâmina da água mínima sobre a soleira igual a 0,30m para permitir a passagem dos peixes com escamas com locomoção preferencial junto à superfície e gerar escoamento potenciais favoráveis (ICOLD, 2003);

- ✓ Profundidade mínima da lâmina da água no interior do canal igual a 1,00m que representa a passagem simultânea de peixes de escama e couro (ICOLD, 2003);
- ✓ Declividade longitudinal do canal igual a 10%;
- ✓ Potência específica do escoamento no interior dos tanques igual a 250W/m³.

6.3.2. Similitude

Para que dois escoamentos geometricamente semelhantes forneçam a mesma solução é suficiente que os adimensionais de Froude, Fr, e Reynolds, Re, do modelo sejam idênticos ao do protótipo (FRENCH, 1986; CHOW, 1985; MORRIS, 1971):

$$Fr_{mod} = Fr_{prot}$$
$$Re_{mod} = Re_{prot} \quad \textbf{39}$$

Onde: mod = modelo e prot = protótipo.

Quando se há dois escoamentos livres com o mesmo fluido incompressível (ρ constante), mesma altitude média (g constante) e os efeitos viscosos são desprezáveis (Re>>50.000, turbulento rugoso), em condutos geometricamente semelhantes, valem as expressões:

$$\frac{V_{mod}^2}{g\,l_{mod}} = \frac{V_{prot}^2}{g\,l_{prot}} \quad \textbf{40}$$

$$\frac{V_{mod} * l_{mod}}{\nu_{H2O}} = \frac{V_{proto} * l_{prot}}{\nu_{H2O}} \quad \textbf{41}$$

$$\lambda = \frac{l_{mod}}{l_{prot}} \quad \textbf{42}$$

Onde: ν_{H2O} = coeficiente de viscosidade cinemática da água; λ = escala.

Os valores de Re para o protótipo, conforme Tabela 40, superam a premissa necessária de valores superiores a 50.000, garantindo a similitude, ou seja, os valores de modelo representam os de protótipo, segundo a semelhança de Froude.

Assim derivam as relações:

comprimento	$L_{prot}= \lambda * L_{mod}$
tempo	$T_{prot}=\lambda^{1/2} * T_{mod}$
velocidade	$V_{prot}=\lambda^{1/2} * V_{mod}$
vazão	$Q_{prot}=\lambda^{5/2} * Q_{mod}$.
pressão	$P_{prot}=\lambda * P_{mod}$
força	$F_{prot}=\lambda^{3} * F_{mod}$

Adotada a semelhança de Froude, em função das dimensões disponíveis do canal e das alternativas resultaram as escalas de redução conforme Tabela 35.

As paredes ou soleiras ensaiadas foram confeccionadas, de acordo com a escala reduzida prevista, em madeira naval, com tratamento e pintura impermeabilizante de cor adequada para visualização e registro dos eventos relacionados: velocidades, linhas de fluxo, turbulência, altura das lâminas da água, etc.

Tabela 35:Escalas de Redução das Alternativas Estudadas.

Alternativa	Tipo	Escala Geométrica	Figura
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	1:4	Figura 91
2	"Vertical Slot"	1:3,4	Figura 92
2.1	"Vertical Slot" Normal, espaçamento de 2,7m	1:3,4	
2.2	"Vertical Slot" Normal, espaçamento de 3,4m	1:3,4	
2.3	"Vertical Slot" Alternado, espaçamento de 3,4m	1:3,4	
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios	1:4	Figura 93

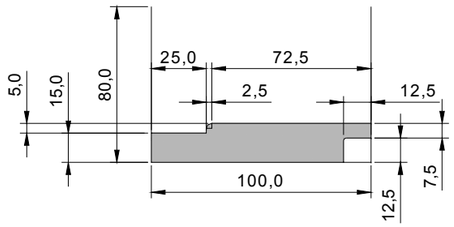
Figura 91: Alternativa 1 – Soleiras maior e menor e orifício.

Figura 92: Alternativa 2 – "Vertical Slot".

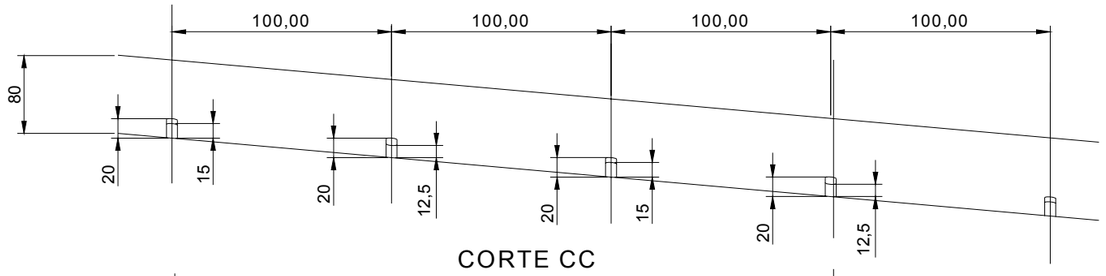
Figura 93: Alternativa 3 – Soleiras maior e menor e orifícios.

Na Figura 94; Figura 95; Figura 96; Figura 97 e Figura 98, apresentam-se os desenhos esquemáticos das alternativas estudadas onde as medidas são relativas ao modelo.

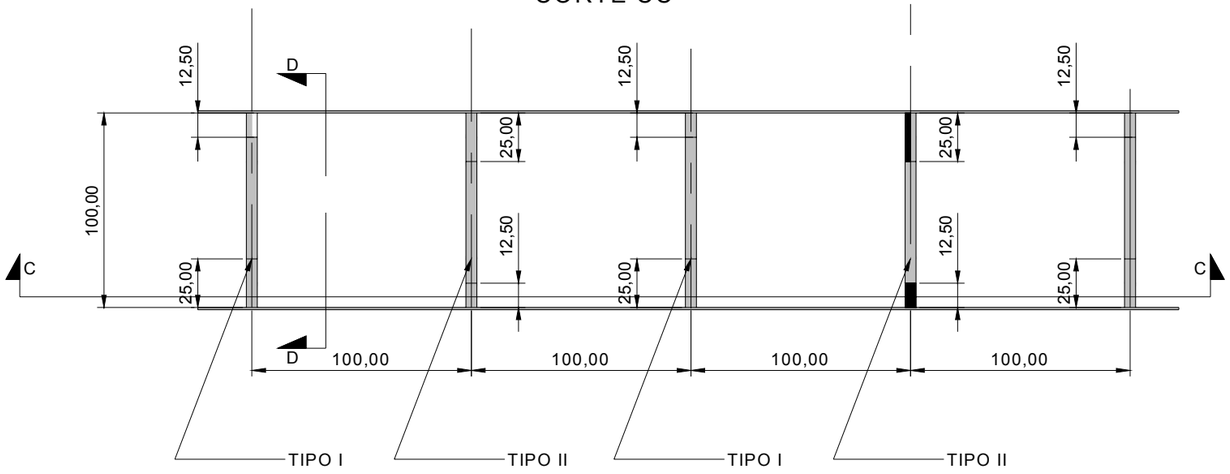
NOTAS:
1 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO REFERENCIADAS À ESCALA DE MODELO



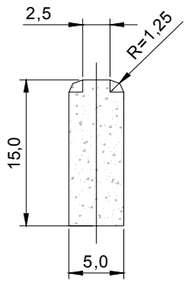
CORTE DD



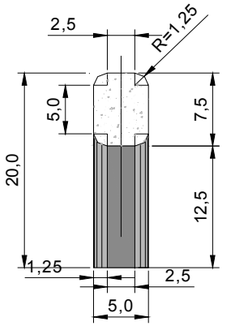
CORTE CC



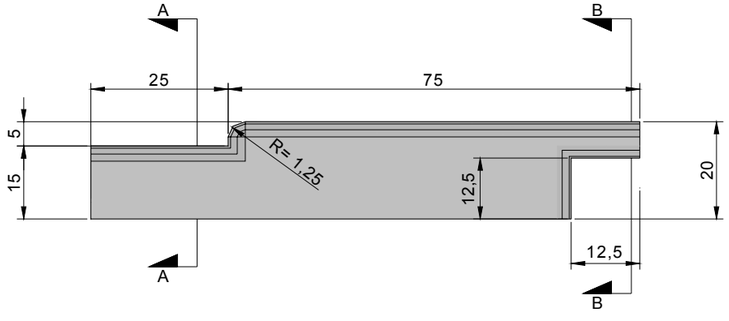
PLANTA



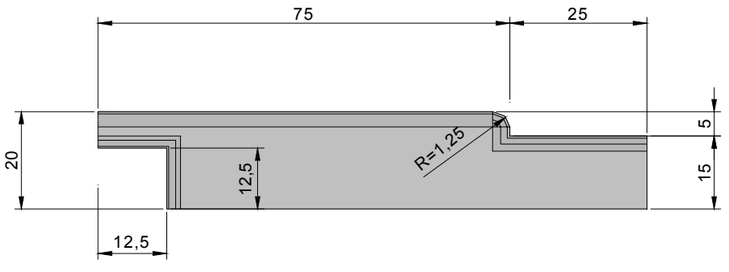
CORTE AA



CORTE BB



PAREDE TRANSVERSAL TIPO I



PAREDE TRANSVERSAL TIPO II

ESCADA PARA PEIXES

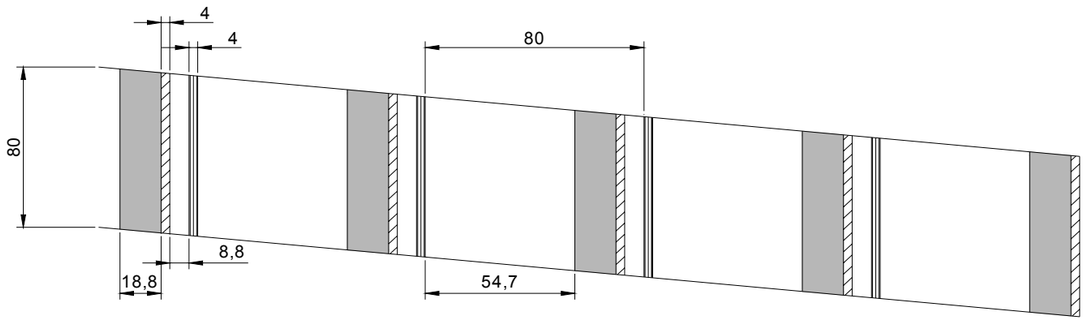
MODELO PARCIAL TRIDIMENSIONAL GERAL
escala 1:4

ALTERNATIVA 1
SOLEIRAS MAIOR E MENOR E ORIFÍCIO

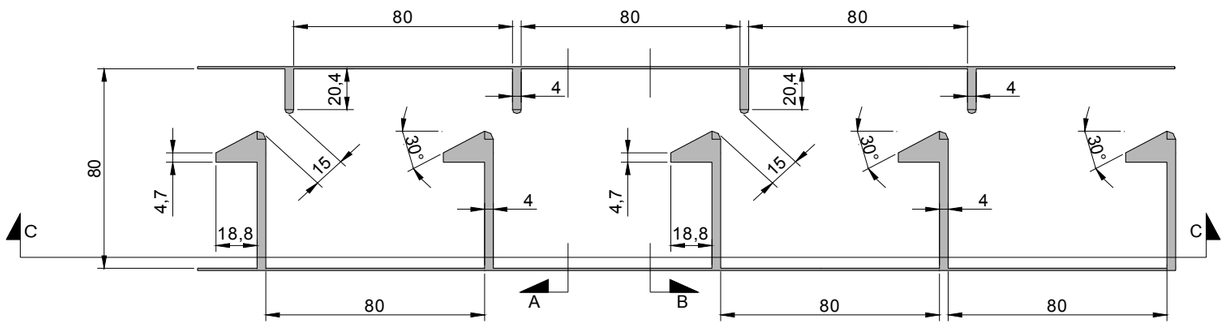
DECLIVIDADE LONGITUDINAL= 10%
ESPAÇAMENTO= 1m
DISPOSIÇÃO ALTERNADA

Figura 94: Alternativa 1 – Soleiras maior e menor e orifício, espaçamento de 4,0m.

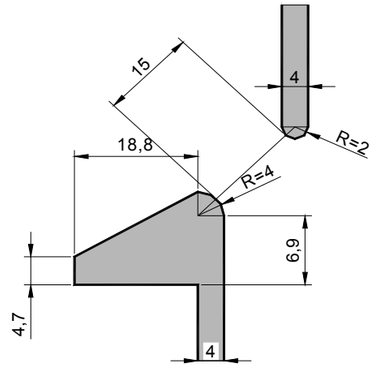
NOTAS:
1 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO REFERENCIADAS À ESCALA DE MODELO (1:3,4);



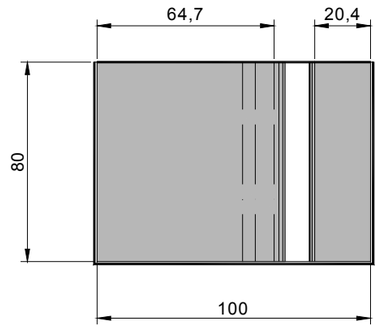
CORTE CC



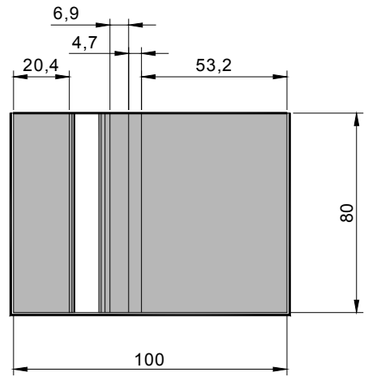
PLANTA



DETALHE DA ABERTURA



CORTE AA



CORTE BB

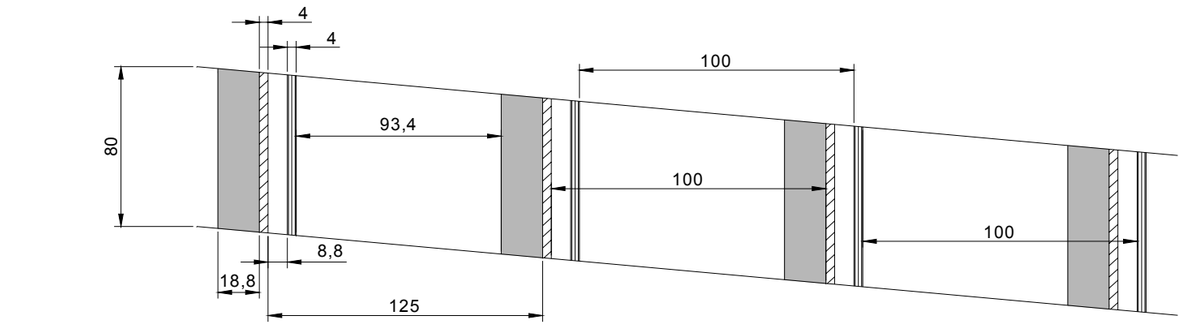
ESCADA PARA PEIXES

MODELO PARCIAL
TRIDIMENSIONAL GERAL
escala 1:3,4

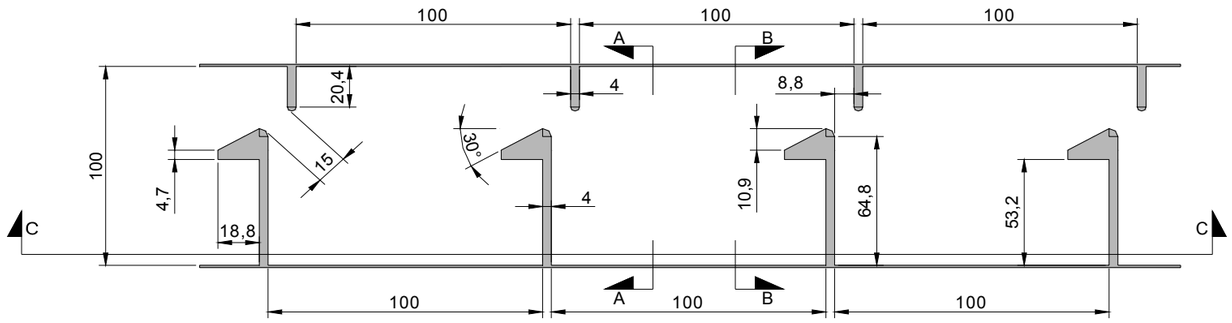
ALTERNATIVA 2.1
VERTICAL SLOT
ABERTURA= 0,5m

DECLIVIDADE LONGITUDINAL= 10%
ESPAÇAMENTO= 0,80m
DISPOSIÇÃO SEQÜENCIAL NORMAL

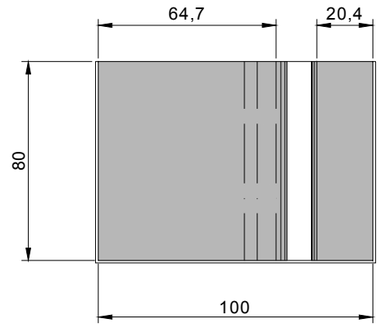
Figura 95: Alternativa 2.1 – "Vertical Slot" Normal com espaçamento de 2,7m.



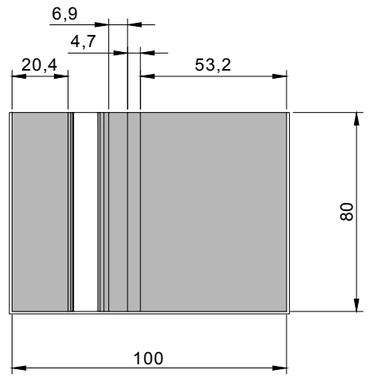
CORTE CC



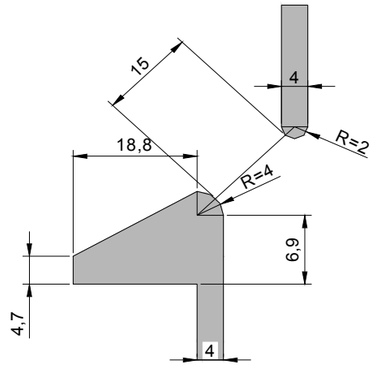
PLANTA



CORTE AA



CORTE BB



DETALHE DA ABERTURA

NOTAS:
1 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO REFERENCIADAS À ESCALA DE MODELO (1:3,4);
2 - DIMENSÕES BASEADAS NO ARTIGO DE KATOPODIS & RAJARATMAN, ASCE-1999.

ESCADA PARA PEIXES

MODELO PARCIAL
TRIDIMENSIONAL GERAL
escala 1:3,4

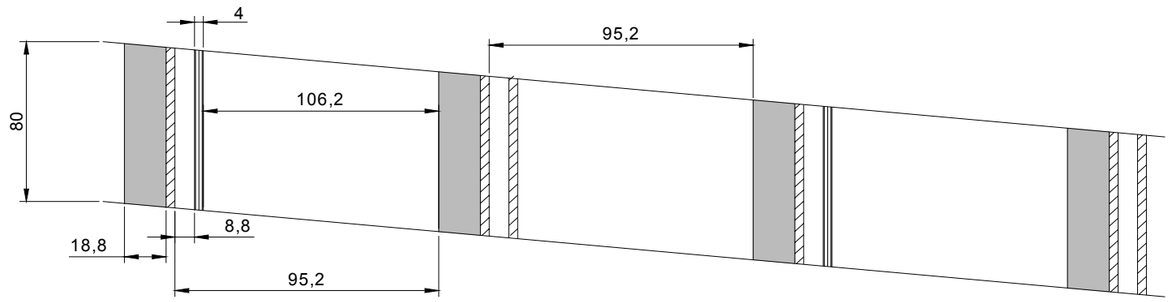
ALTERNATIVA 2.2
VERTICAL SLOT
ABERTURA= 0,5m

DECLIVIDADE LONGITUDINAL= 10%
ESPAÇAMENTO= 1m

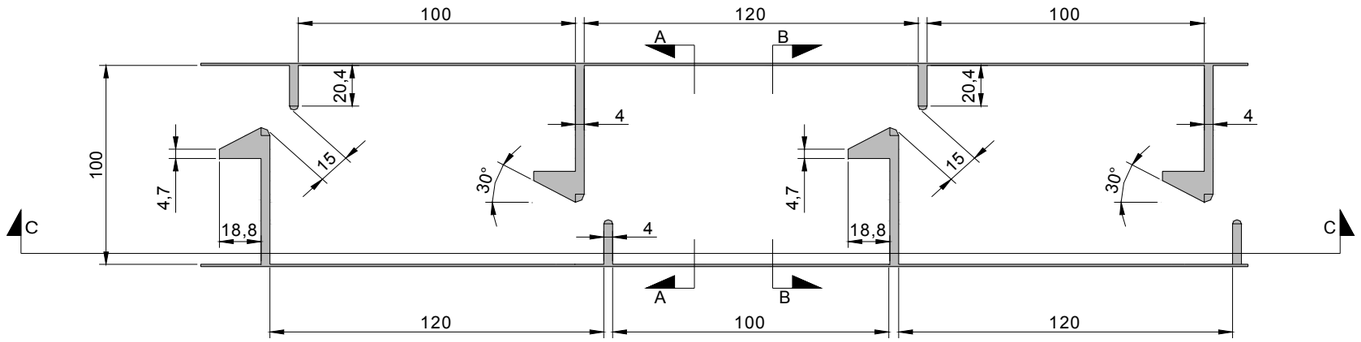
DISPOSIÇÃO SEQÜENCIAL NORMAL

Figura 96: Alternativa 2.2 – "Vertical Slot" Normal com espaçamento de 3,4m.

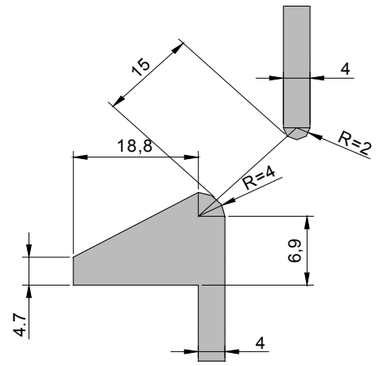
NOTAS:
1 - DIMENSÕES EM CENTÍMETRO REFERENCIADAS À ESCALA DE MODELO (1:3,4);



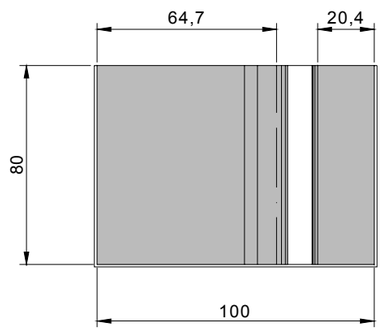
CORTE CC



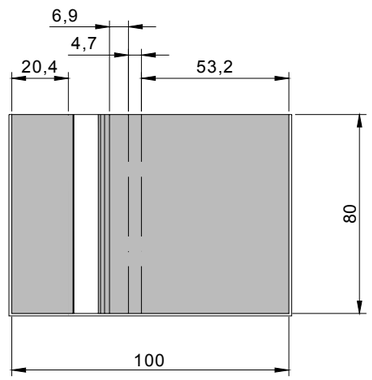
PLANTA



DETALHE DA ABERTURA



CORTE BB



CORTE AA

ESCADA PARA PEIXES

MODELO PARCIAL
TRIDIMENSIONAL GERAL
escala 1:3,4

ALTERNATIVA 2.3
VERTICAL SLOT
ABERTURA= 0,5m

DECLIVIDADE LONGITUDINAL= 10%

DISPOSIÇÃO SEQÜENCIAL ALTERNADA

Figura 97: Alternativa 2.3 – "Vertical Slot" Alternado com espaçamento de 3,4m.

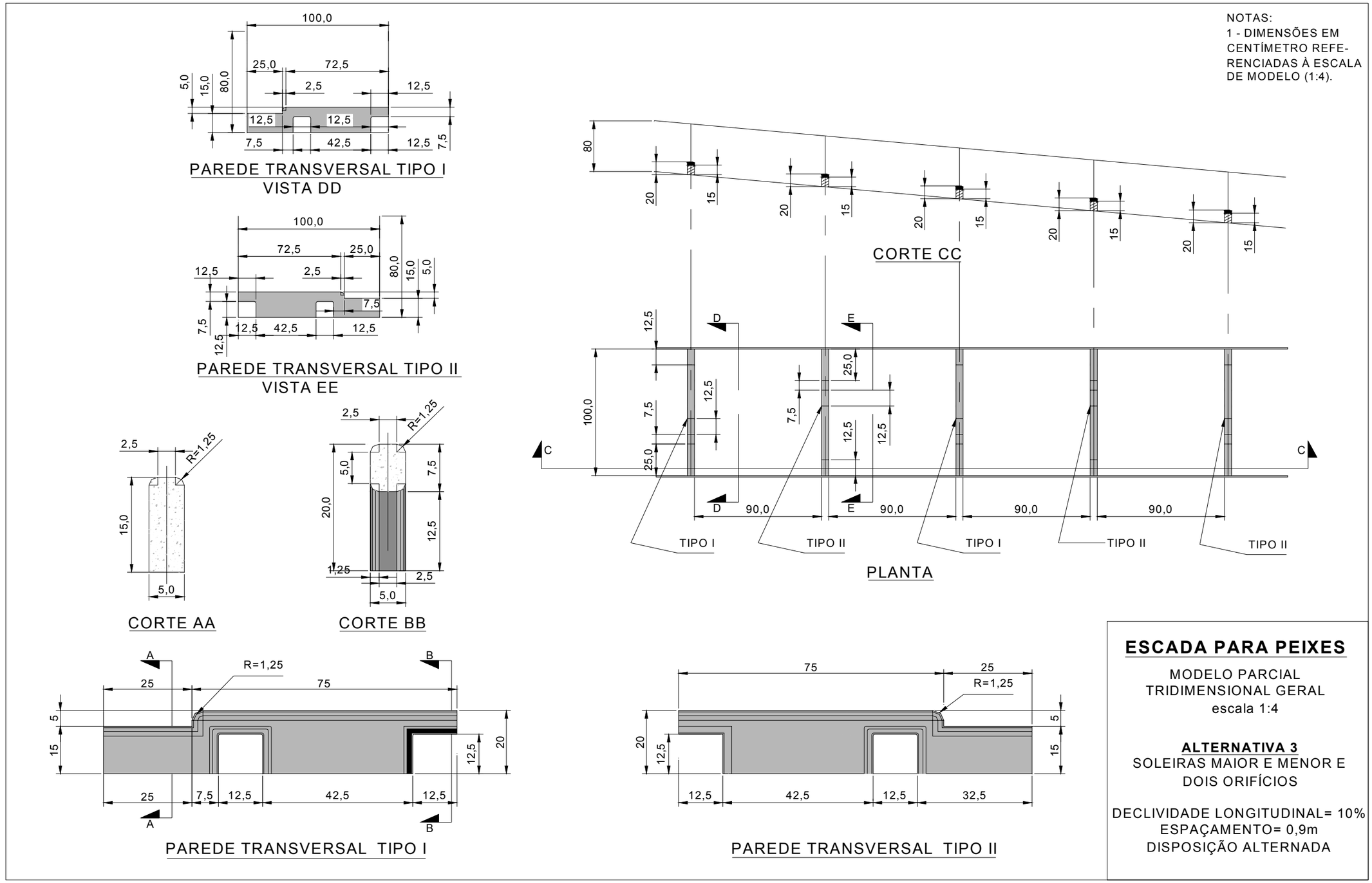


Figura 98: Alternativa 3 – Soleiras maior e menor e orifícios, espaçamento de 4,0m.

6.3.3. Números de Froude e Reynolds.

Apesar da universalidade desses adimensionais, atendendo a multidisciplinaridade do estudo, fez-se necessário esse preâmbulo introdutório, baseado em consagradas obras da engenharia hidráulica: FRENCH, 1986; CHOW, 1985; MORRIS, 1971.

O número de Froude, Fr, é um adimensional aplicável a escoamentos livres, isto é, sob ação da gravidade em contato com a atmosfera, classificando-os segundo a sua turbulência. Relaciona a força inercial e com a gravitacional:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g * y_m}} \qquad \textbf{43}$$

Onde: Fr = número de Froude; V = velocidade média do escoamento, g = aceleração local da gravidade; $y_m = \frac{A}{T_s}$ = profundidade média; A = área molhada; T_s = largura superficial.

Quando o valor do Fr<1 tem-se escoamento fluvial ou subcrítico, característico dos rios e condutos artificiais com baixas velocidades do fluxo e baixas declividades longitudinais e sem ou com variação gradual das características geométricas; para valores do Fr>1, tem-se escoamento torrencial ou supercrítico, característico dos rios e condutos artificiais com altas velocidades do fluxo e altas declividades longitudinais e, finalmente, para Fr =1, tem-se escoamento crítico, de transição entre os dois outros citados.

Froude – Fr	Escoamento
>1	Torrencial ou Supercrítico
=1	Crítico
<1	Fluvial ou Subcrítico

O número de Reynolds, Re, é um adimensional aplicável aos escoamentos forçados em condutos preferencialmente circulares, que representa a relação entre as forças de inércia e a viscosa, ou seja:

$$R_e = \frac{V * D_H}{\nu_{H2O}} = \frac{Q * D_H}{A * \nu_{H2O}} \qquad \textbf{44}$$

Onde: V = velocidade do fluido, D_H = diâmetro hidráulico; ν_{H2O} = coeficiente de viscosidade cinemática da água; A = área molhada; Q = vazão em volume (valores de Re menores do que 2.000 têm-se o escoamento laminar e acima de 4.000, o

escoamento turbulento: liso, transição e rugoso, que seriam equivalentes, a título de ilustração, ao fluvial e torrencial, respectivamente).

Re	Escoamento
<2000	Laminar
>2000 e <4000	Transição
>4000	Turbulento

Quando a seção não é circular, utiliza-se a ponderação com o raio hidráulico, Rh, ou seja: $D_H = 4 * R_H = 4 * \frac{A}{P}$, onde: P= perímetro molhado.

$$R_e = \frac{V * D_H}{\nu_{H2O}} = \frac{V * R_H}{\nu_{H2O}} = \frac{4 * V * A}{\nu_{H2O} * P} = \frac{4 * Q}{\nu_{H2O} * P} \quad \textbf{45}$$

O número de Reynolds, não com muita freqüência, é aplicável aos escoamentos livres segundo a expressão abaixo, onde valores de Re menores do que 500 têm-se o escoamento fluvial ou subcrítico e acima de 2.000, o escoamento torrencial ou supercrítico:

$$D_H = 4 * R_H = 4 * \frac{A}{P} \quad \textbf{46}$$

Re	Escoamento
<500	Laminar
>500 e <1000	Transição
>1000	Turbulento

Na natureza, durante as cheias, período de migração da maior parte dos peixes, raramente os cursos da água permanecem fluviais, em função dos volumes da água excepcionais, apresentam escoamento torrencial ou supercrítico e velocidades superiores a 1,0m/s, o que sugerem a obtenção de valores de Fr>1 nas dependências dos STP's e principalmente na entrada, onde o aspecto atrativo é relevante.

O valor do peso específico, $\gamma_{H2O,}$ foi adotado como sendo 9.780N/m³ e o coeficiente de viscosidade cinemática, ν_{H2O}, igual a $0{,}97*10^{-6}$m²/s, LENCASTRE (1983), correspondente a uma temperatura do fluido igual a 25ºC, semelhante a da água dos rios, durante o período de cheias, no verão neotropical.

6.3.4. Vazão.

A determinação da vazão e de seu coeficiente revela-se importante, pois além de influenciar nas velocidades, níveis e linhas de fluxo no interior dos STP's, no dimensionamento das estruturas de controle dos níveis da água de saída e entrada, também interfere na operação e custo no sistema de represamento.

A vazão é determinada pelo nível da água de montante, estrutura de controle da saída, a declividade e dimensões e forma do canal e soleira (parede): orifícios, soleiras delgadas ou espessas, capacidade de dissipação, etc.

A expressão geral da vazão teórica nas soleiras, aberturas e orifícios, numa hipótese simplificada, podem ser:

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * \Delta y} \qquad 47$$

Onde A= área molhada; g= aceleração da gravidade; Δy= diferença entre os níveis da água de montante e jusante da soleira e C_d= coeficiente de vazão ou descarga. Na Figura 99 apresenta-se uma representação básica das possíveis situações hidráulicas individualizadas.

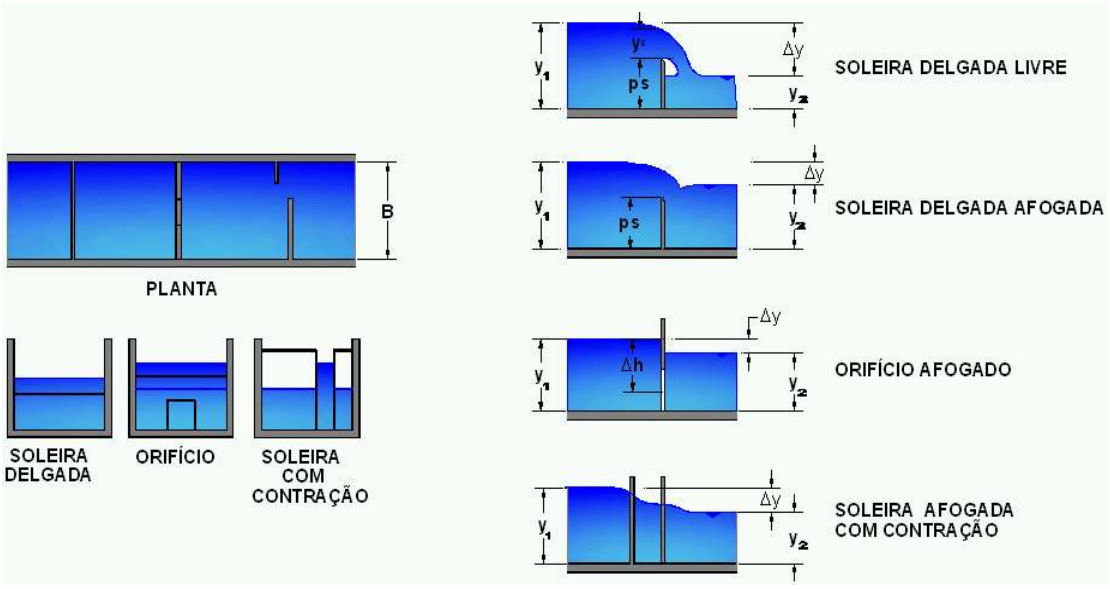


Figura 99: Situações Hidráulicas das Soleiras.

Fonte: MARTINS, 2000.

Onde: B = base; yc = profundidade crítica; y_1 = profundidade a montante; y_2 = profundidade a jusante; Δ_y = diferença entre cotas do nível da água.

A configuração da soleira vertente (soleira), deve preferencialmente evitar o desenvolvimento do fluxo livre a jusante, pois este apresenta inconvenientes ao movimento dos peixes.

Os valores da vazão dependem dos coeficientes de descarga, Cd, que são via de regra determinados experimentalmente.

A vazão de referência é determinada no modelo reduzido por medidor deprimogêneo ou de pressão diferencial para escoamentos forçados, tipo "Permetube Inserido" da Leopold Leotech, série 217-853, aferido em julho de 2002, com capacidade de vazão entre 15,77 a 244,12 l/s para o manômetro operando com água e 54,61 a 279,05 l/s para o manômetro operando com mercúrio (Ver Figura 100). Na Figura 102 apresenta-se uma ilustração do referido medidor.

Figura 100: Quadro manométrico diferencial mercúrio e água.

O controle da vazão foi obtido através de registros na alimentação principal e complementar para ajuste fino das quantidades envolvidas, conforme Figura 101.

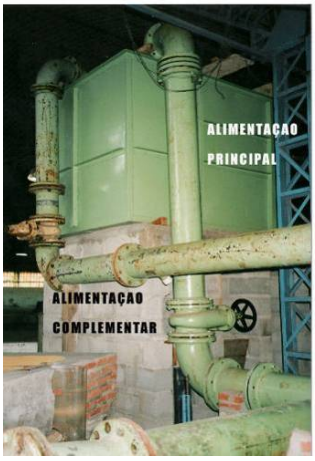


Figura 101: Tanque de Tranqüilização, Alimentação principal e complementar.

Figura 102: Medidor deprimogêneo de vazões em condutos forçados tipo "permetube inserido".

6.3.5. Velocidades.

A imposição de velocidades do fluxo compatíveis com a habilidade natatória dos peixes é fundamental para a eficácia do sistema. A literatura internacional e observações de biólogos recomendam velocidades do fluxo entre a velocidade de sustentação e a de navegação ou cruzeiro dos peixes.

Durante o movimento ascendente dos peixes no interior do STP é cessado se a velocidade da corrente exceder a capacidade natatória do peixe (KYNARD, 1993).

Velocidades do fluxo próximas a de explosão induzem os peixes a saltar ou à fadiga (RAINEY, 1991).

A velocidade máxima teórica para as soleiras ou orifícios afogados de um STP, pode ser estimada pela expressão (KATOPODIS, 1992; ODEH 1999; CLAY, 1995; OSBORNE, 1995):

$$V_T = \sqrt{2 * g * \Delta y} \qquad \textbf{48}$$

Onde: V_T = velocidade máxima teórica, g= aceleração da gravidade, Δy = diferença entre os níveis da água de montante e jusante, ver Figura 99.

A verificação do campo de velocidades no modelo reduzido foi obtida através de contadores incorporados aos amplificadores de sinais e micromolinetes (micromolinetes associados a contadores, que possibilitam a determinação da velocidade média no ponto por uma relação pré-estabelecida entre essa grandeza e o número de giros da hélice pelo tempo de aquisição), conforme Figura 103, que

possibilitaram o levantamento de perfis de velocidades em função da altura da lâmina da água.

A velocidade do fluxo no interior do STP está relacionada com a restrição ou seletividade, o cansaço ictíico e a sua intransponibilidade.

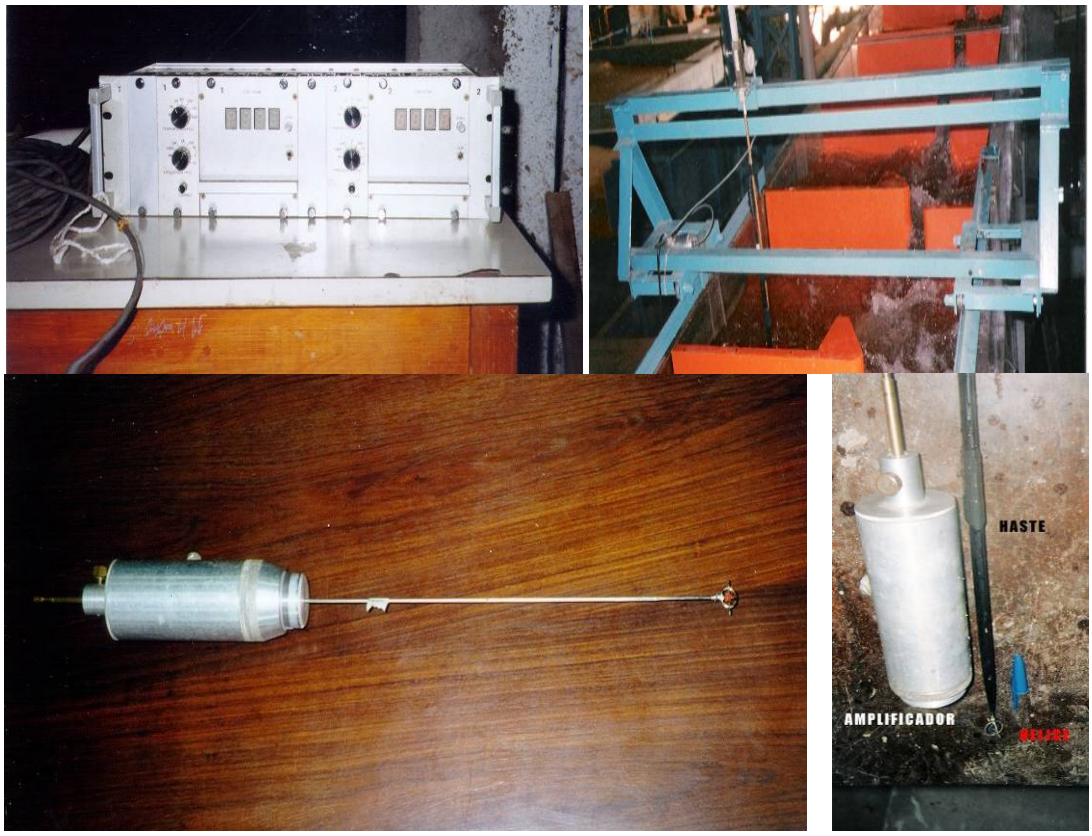


Figura 103: Medidores de Velocidade: contador, conjunto de medição: carrinho, régua, haste, hélice e amplificador.

6.3.6. Linhas de Fluxo.

As linhas de fluxo são importantes para a condução e orientação dos peixes no interior da escada, uma vez que os peixes enxergam pouco devido ao meio e acompanham, através da sua linha lateral, os gradientes dinâmicos de pressão para se locomoverem. Correntes com recirculação acentuada e vórtices, como não ocorrem freqüentemente na natureza durante as cheias, na migração reprodutiva, são indesejáveis, pois desorientam os peixes e/ou forçam aos desgastes energéticos desnecessários ou mesmo a mortalidade precoce (ver Figura 104 e Figura 109).

Com o desenvolvimento científico e a capacidade de manipulação de informações dos computadores atuais, muitos pesquisadores dedicaram-se à determinação das

linhas de fluxo teóricas através dos princípios físicos e matemáticos disponíveis, mas os resultados, principalmente nos STP's, não foram satisfatórios.

As linhas da água superficiais, devido à interface entre o fluido e o ar, não é totalmente representada pela redução de escala segundo Froude ou Reynolds, e a existência de macroturbulências, conforme MORRIS, 1971, foi analisada qualitativamente.

Figura 104: Peixes Salmões desorientados devido às correntes incomuns.

Fonte: PWRI, 2004.

As linhas de fluxo foram avaliadas qualitativamente, mediante a utilização de material flutuante para o fluxo superficial: confetes, flóculos de isopor e com corantes e linhas de algodão, ver Figura 105 e Figura 106. Quando possível os eventos relacionados foram registrados fotograficamente e filmados.

Figura 105: Linhas de Fluxo.

Fonte: KATOPODIS, 1999.

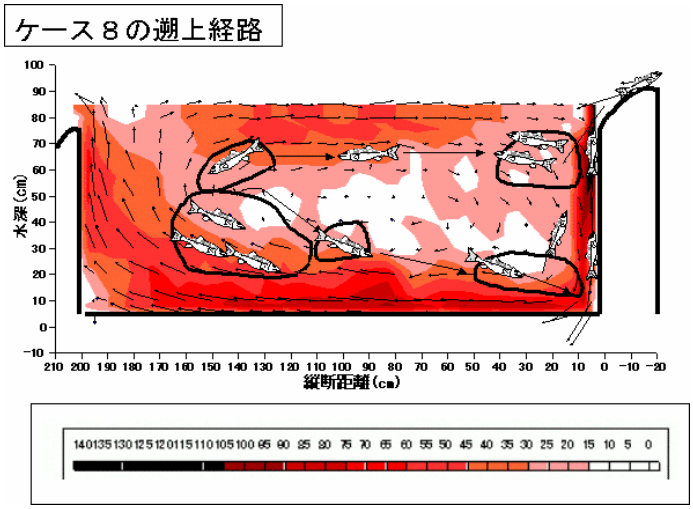


Figura 106: Linhas de Fluxo num STP.

Fonte: PWRI, 2004.

6.3.7. Superfície Livre D'água

O comportamento da superfície da água deverá ser semelhante à natureza quando da migração de peixes, isto é, durante as cheias com o aumento da vazão, temperatura, turbulência, oxigenação superficial, e velocidades do fluxo (ver Figura 107).

Figura 107: Superfície da água no rio prata/MS e a jusante da Cachoeira Olho D'água no rio prata/MS.

Há, basicamente, no canal de STP tipo escada, três comportamentos da linha da água superficial: reservatório ou subcrítico, canal ou supercrítico, "Streaming Flow" e canal com ondas ou macrorugosidades, "Plunging Flow", conforme Figura 108 (RAJARATMAN & KATOPODIS, 1993).

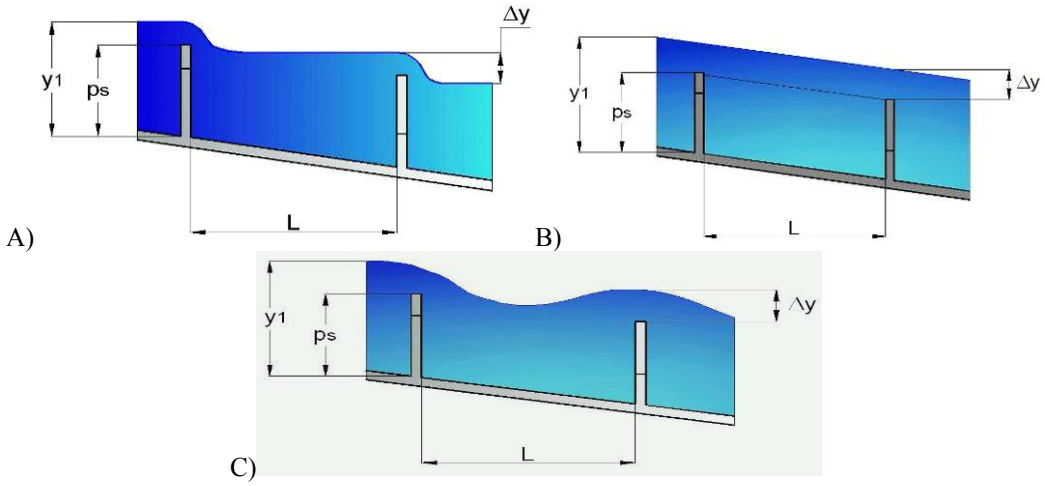


Figura 108: Superfície da linha da água, A) reservatório; B) canal; C) ondas.

Há a preferência pelas linhas da água superficiais tipo reservatório pois são mais estáveis, minimizam as velocidades do fluxo e consequentemente as vazões, análogas à natureza (ver Figura 107 e Figura 108) e capacidade de oxigenação maior, gerando um ambiente aquático favorável aos peixes.

A linha da água é um dos produtos das variáveis impostas e foi analisada qualitativamente, registrada fotograficamente.

6.3.8. Potência do Escoamento no Tanque.

A dificuldade de passagem dos peixes nos STP's pode ser expressa pela potência do fluxo no interior do tanque conforme a expressão, conforme Figura 109 (BELL 1990; LARINIER 1990, 1999a, 1999b, 2000; OSBORN 1987, 1985a, 1985b, 1985c, 1985d; PASCHE 1995a; BEACH 1984; THEMAG 2004; MARTINS 2000, 2003):

$$Pot = \frac{\rho_{H2O} * g * Q * \Delta y}{\forall} = \frac{\gamma_{H2O} * Q * \Delta y}{\forall} \quad \textbf{49}$$

Onde: Pot = potência por unidade de volume molhado (W/m³); Q = vazão (m³/s), Δy = desnível entre os níveis a montante e a jusante da parede; ρ_{H2O} = massa específica do fluido a uma dada temperatura (kg/m³); $\gamma_{H2O} = \rho_{H2O} * g$ = peso específico do fluido numa dada temperatura (N/m³); g = aceleração da gravidade local (m/s²); e ∀ = volume médio do fluido no tanque (m³).

$$y_{méd} = (y_1 + y_2) * 0{,}5 \quad \textbf{50}$$

$$\forall = y_{méd} * L * B \quad \textbf{51}$$

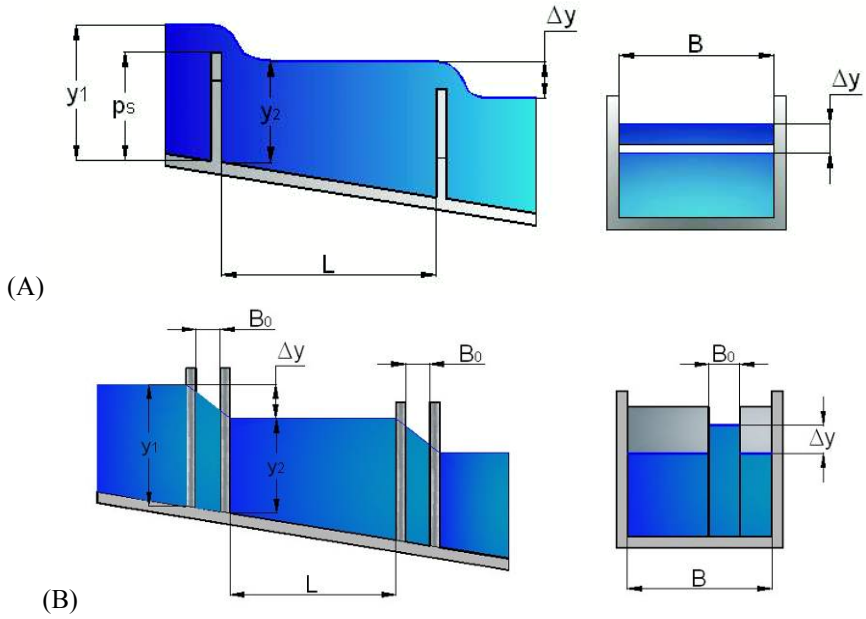


Figura 109: Relações geométricas do tanque: (A) Alternativas 1 e 3 e (B) Alternativas 2

Onde: ps = altura do paramento da parede transversal ou soleira (m); L= espaçamento horizontal longitudinal entre paredes transversais ou comprimento do Tanque (m) e B = largura do Tanque (m); y_1 = lâmina da água a montante da parede transversal; y_2 = profundidade a jusante (m) e B_0 = abertura da ranhura (ver Figura 99).

O valor da abertura da ranhura é medido, em planta, entre as paredes transversais.

A potência está relacionada com a restrição ou seletividade e a atratividade no tanque e entrada da escada de modo que quanto menos seletiva também menos atrativa.

6.3.9. Turbulência.

A turbulência é o resultado, neste caso, do choque de fluxos com intensidades, direções e sentidos variados, podendo incorporar ou liberar oxigênio.

A turbulência é um fenômeno natural nos rios lóticos principalmente durante as cheias, período preferido pelos peixes potamódromos para as suas migrações reprodutivas.

A turbulência é verificada qualitativamente podendo ser indicada com altos valores do Número de Reynolds ou Froude.

6.3.10. Oxigenação.

A oxigenação é um dos fatores exógenos para migração de peixes, porém o seu excesso pode causar embolia e taxas de mortalidade desnecessárias como certas taxas influenciam com a redução na capacidade natatória.

A oxigenação é verificada qualitativamente através de observação, devido, neste caso, a impossibilidade de medição e equipamento.

BRETT, (1965, 1972) apud BEACH, (1984), determinou a taxa de oxigenação máxima para salmonídeos como igual a 800mg O_2/kg de peixe. Um miligrama de oxigênio realiza 20J de energia e a potência consumida pelo músculo aeróbico na atividade natatória é 4,44 W/kg de peixe (1mg O_2 = 0,70 cm^3 O_2 = 0,70*$10^{-6}$$m^3$ O_2).

6.3.11. Custo.

Para análise comparativa do custo entre as Alternativas estudadas utilizaram-se os seus componentes potenciais comuns e com maior peso na composição: o concreto e o volume de água derivado.

O custo do concreto é função do volume necessário consideraram-se, em função das geometrias no modelo: um trecho retilíneo (sem curvas) para vencer um desnível geométrico total vertical com 10m perfazendo uma extensão longitudinal igual a 100m, sem tanque para descanso, paredes externas com 0,25m de espessura, altura da laje de fundo igual a 0,30m; espessura das paredes transversais iguais a 0,20m. A altura do canal no caso das Alternativas 1 e 3, igual ao paramento mais 0,30m (lâmina da água) e 1,0m (borda livre devido ao salto de peixes) e nas Alternativas 2, a altura da lâmina da água mais 0,50m de borda livre. A quantidade de paredes transversais é o valor inteiro da divisão entre o comprimento total adotado e o espaçamento entre paredes.

O valor do concreto foi considerado como sendo igual a US$ 350 ou cerca de R$ 950 que incorpora a forma, armadura e concreto.

O custo da água, no caso do STP, é o valor da sua quantidade potencial utilizada para os peixes e não pela finalidade do uso principal do reservatório onde se destacam os para geração de energia e abastecimento. Outros usos do reservatório como:

irrigação, laser, contenção de cheias e sedimentos, o custo da quantidade da água é desprezável.

A potência do aproveitamento é fornecida pela expressão:

$$Pot = \left(\frac{\gamma_{H2O} * Q * \Delta H}{\eta} \right) = 8{,}4 * Q * \Delta H \qquad \mathbf{52}$$

Onde: ΔH é o desnível geométrico (m); η é a eficiência (0,84); Q é a vazão volumétrica (m^3/s); Pot é a potência (kW).

No caso atual brasileiro, a energia elétrica produzida e disponível ao sistema, tem o seu valor ou custo aberto e definido em leilões sendo diferenciada entre nova (com custo de investimento e taxa de retorno) e velha (amortizada com taxa de retorno), ou seja, usinas geradoras e distribuidoras novas e velhas.

O valor da energia nova produzida na Usina é da ordem de US$ 25MW/h e US$110MW/h ao consumidor, mas 85% desse valor referem-se ao investimento para geração e 15% correspondem à taxa de retorno que, em grandes números, corresponde ao custo da quantidade de água, ou desnível não aproveitável, que se deriva para o STP e não é processado. Na Tabela 36 apresenta-se o valor do custo da energia nova produzida na usina.

Segundo a revista VEJA (2004), o valor da energia residencial é composto pelos percentuais: 51% de impostos federais, estaduais e municipais, 24% para a geração, 5% para a transmissão e 20% para a distribuição. Os valores devem ser mudados com a exclusão do "imposto apagão" ainda em vigor.

Evidentemente o custo da energia devido a água desviada para o STP numa usina existente, deve basear-se em energia velha com valores de mercado, resultando em valores substancialmente menores.

O valor da água distribuída ao consumidor residencial, incluindo potável e esgoto, segundo a SABESP, é de US$1,61/$m^3$, acima de $40m^3/s$, mas 85% do valor, referem-se ao investimento para a regularização e o tratamento da água e esgoto e 15% correspondem à taxa de retorno que, em grandes números, corresponde ao custo da quantidade de água, que se deriva para o STP e não é processado.

O valor da água tratada, apesar da sua escassez em qualidade e em breve em quantidade no território nacional, é baixo, sendo num futuro breve objeto de taxação compatível com o seu valor através da política de cobrança pelo uso da água.

Como se observa na Tabela 36, o custo da água para o abastecimento é irrisório, ainda que temporariamente.

Tabela 36: Custo da água no STP.

Reservatório	Custo	
	(R$)	(US$)
Geração de Energia	2,84 kW	1,04 kW
Abastecimento	0,09/m³	0,25/m³

A taxa de câmbio do dia 29/11/2004 foi 1US$ = R$ 2,73 (comercial).

Nos estudos comparativos entre as alternativas será utilizado o custo da geração de energia nova, visto que os demais são desprezáveis.

6.3.12. Capacidade de Passagem aos Peixes.

A passagem de peixes nos tanques deve ser orientada para atender aos cardumes. Os limitantes da passagem basicamente são: a velocidade do fluxo, a capacidade natatória dos peixes e a área de passagem, de modo que mesmo os peixes com capacidade de ascensão ficam escravos da área de fluxo para a sua movimentação, exceto quando saltam.

Admitindo-se, para efeito comparativo entre as alternativas, a área transversal de passagem e a velocidade máxima medida do fluxo igual, obtêm-se o valor referência, ni, que expressa a capacidade nominal de passagem, de forma que quanto maior o seu valor absoluto; maior a possibilidade de passagem de animais. A expressão não dimensional abaixo fornece o valor de ni.

$$ni = \frac{Ap}{V} \qquad \textbf{53}$$

Onde: ni = capacidade de passagem de peixes; Ap = área potencial para passagem de peixes (m²) e V = velocidade máxima do fluxo igual a 3m/s para locomoção de peixes.

6.3.13. Adequabilidade aos Peixes.

Os peixes possuem as suas preferências de locomoção e as suas necessidades quanto aos ambientes aquáticos disponíveis. Depreende-se que, no universo e na diversidade de peixes neotropicais, com as suas diferenças quanto às suas preferências no deslocamento, principalmente entre os peixes de couro e/ou placas ósseas e os com escamas, ou seja, os de couro e/ou placas ósseas locomovem-se com menos habilidade natatória e nas áreas mais próximas ao fundo, como os bentos, e os com escamas como maior desenvoltura natatória, inclusive para saltarem, elejam as áreas pelágicas, os STP's devam oferecer condições para passagem adequada.

Passagens inferiores e superiores, teoricamente para peixes de couro e/ou placas ósseas e com escamas, revelam, aliadas as velocidades do fluxo e as harmonias dos contornos hidráulicos, a adeqüabilidade aos peixes.

6.4. Resultados Obtidos.

Os valores obtidos no estudo experimental foram traduzidos para a escala de verdadeira grandeza, isto é, escala de protótipo, uma vez que há como premissa, a equivalência geométrica e dinâmica, segundo os princípios de similitude.

6.4.1. Vazões.

As vazões obtidas no modelo são os valores reais ou de protótipo mais fidedignos possíveis desde que sejam mantidas as proporções geométricas do estudo. Não há outra forma confiável de determinação que não através da experimental reconhecida universalmente.

Nas Alternativas 1 e 3, o desnível geométrico entre as paredes transversais ao canal foi de 0,40m, o que gerou uma lâmina da água mínima média de 0,30m sobre as soleiras. Nas Alternativas 2 foi garantida a profundidade mínima de 1,0m de lâmina da água nos tanques, gerando desníveis geométricos iguais a 0,27 e 0,34m, respectivamente Alternativa 2.1 e Alternativa 2.2.

Na Tabela 37 apresenta-se os valores da vazão obtida, conforme Anexo 4.

Tabela 37: Vazões Experimentais.

Alt.	Tipo	i (%)	Δy (m)	L (m)	Q (m³/s)
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	10	0,40	4,0	3,34
2.1	"Vertical Slot" Normal		0,27	2,7	3,11
2.2	"Vertical Slot" Normal		0,34	3,4	3,56
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios		0,40	4,0	3,78

Onde: i = declividade longitudinal; Δy = desnível geométrico entre soleiras; L= espaçamento horizontal longitudinal entre paredes ou soleiras transversais; Q = vazão em volume.

A Alternativa 2.3, "Vertical Slot" Alternado, foi testada com várias vazões e disposições geométricas, mas acabou descartada ao apresentar resultados insatisfatórios com oscilação de massa, instabilidade nos tanques gerando freqüências distintas e comportamentos hidráulicos desfavoráveis que fogem da premissa de similitude e que também não devem sê-los aos peixes.

6.4.2. Velocidades.

Assim como a capacidade de vazão, a velocidade experimental também é a fonte fidedigna de sua quantificação.

No Anexo 4 estão os valores das velocidades medidas e a localização dos pontos de medição no modelo, bem como as suas distribuições espaciais, para as alternativas estudadas.

Na Figura 110; Figura 111; Figura 112; Figura 113, e na Tabela 38 apresentam-se as velocidades máximas distribuídas no tanque e o seu perfil em função da profundidade além das velocidades médias, para as alternativas estudadas.

Tabela 38: Velocidades Máximas.

Alt.	Tipo	V (m/s)
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	3,1
2.1	"Vertical Slot" Normal	2,4
2.2	"Vertical Slot" Normal	2,7
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios	3,7

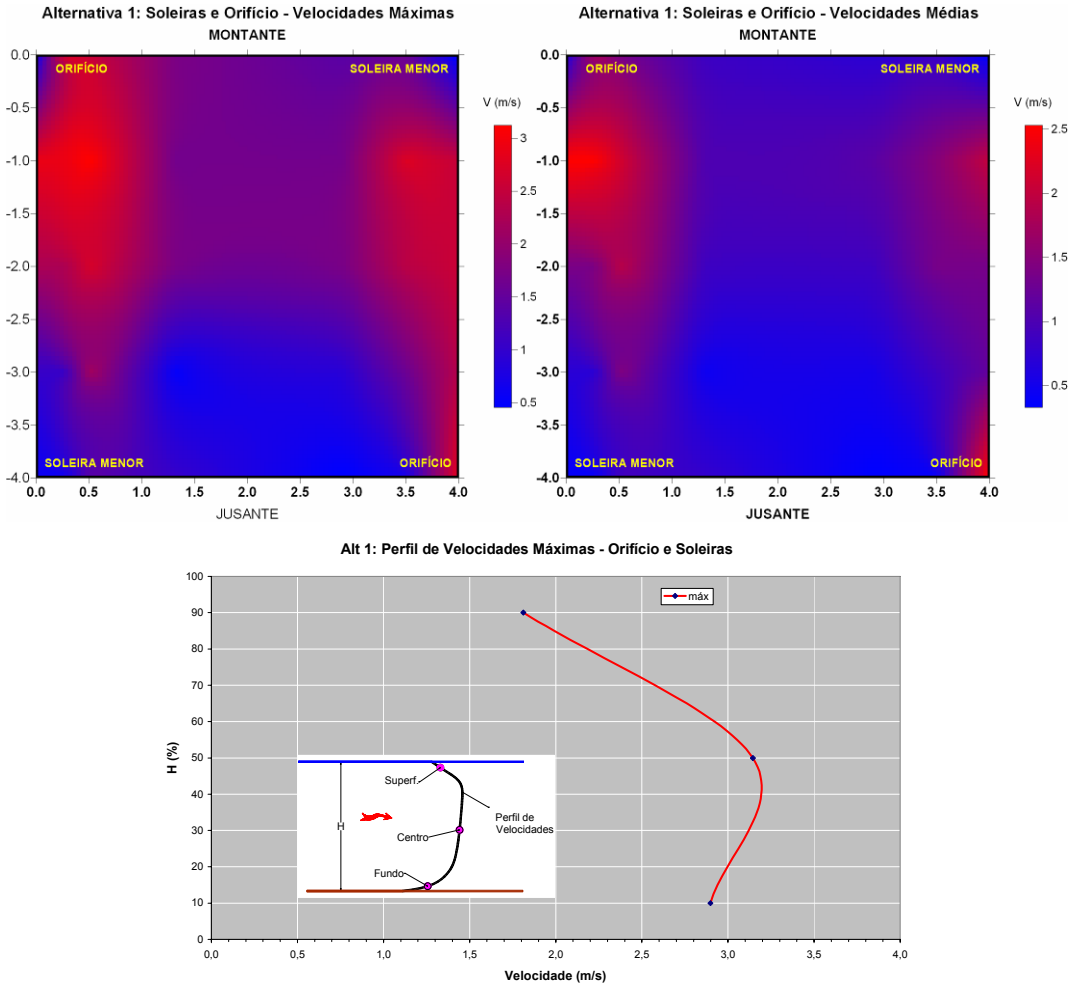


Figura 110: Alternativa 1 – Velocidades Máximas e Médias.

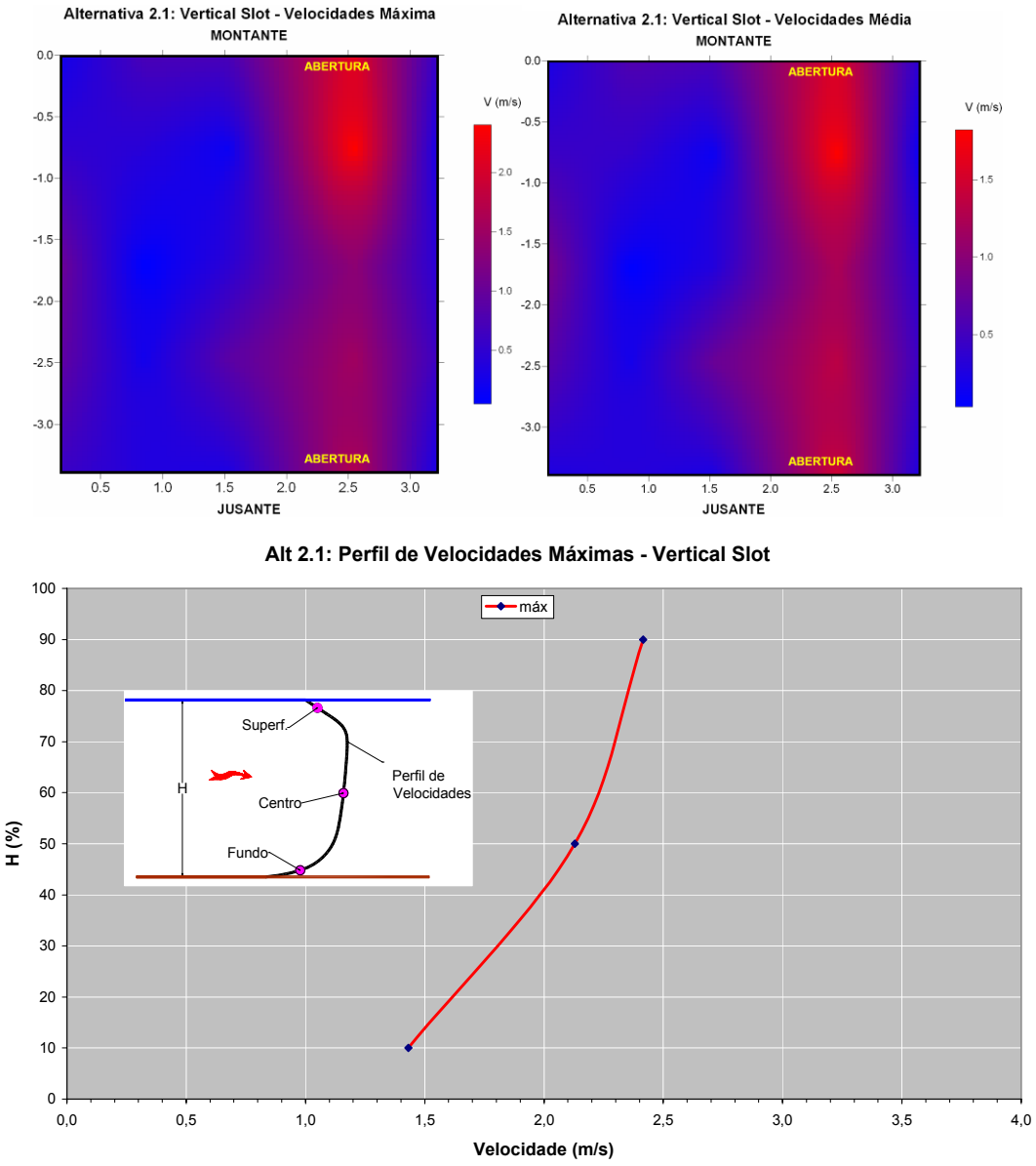


Figura 111: Alternativa 2.1 – Velocidades Máximas e Médias.

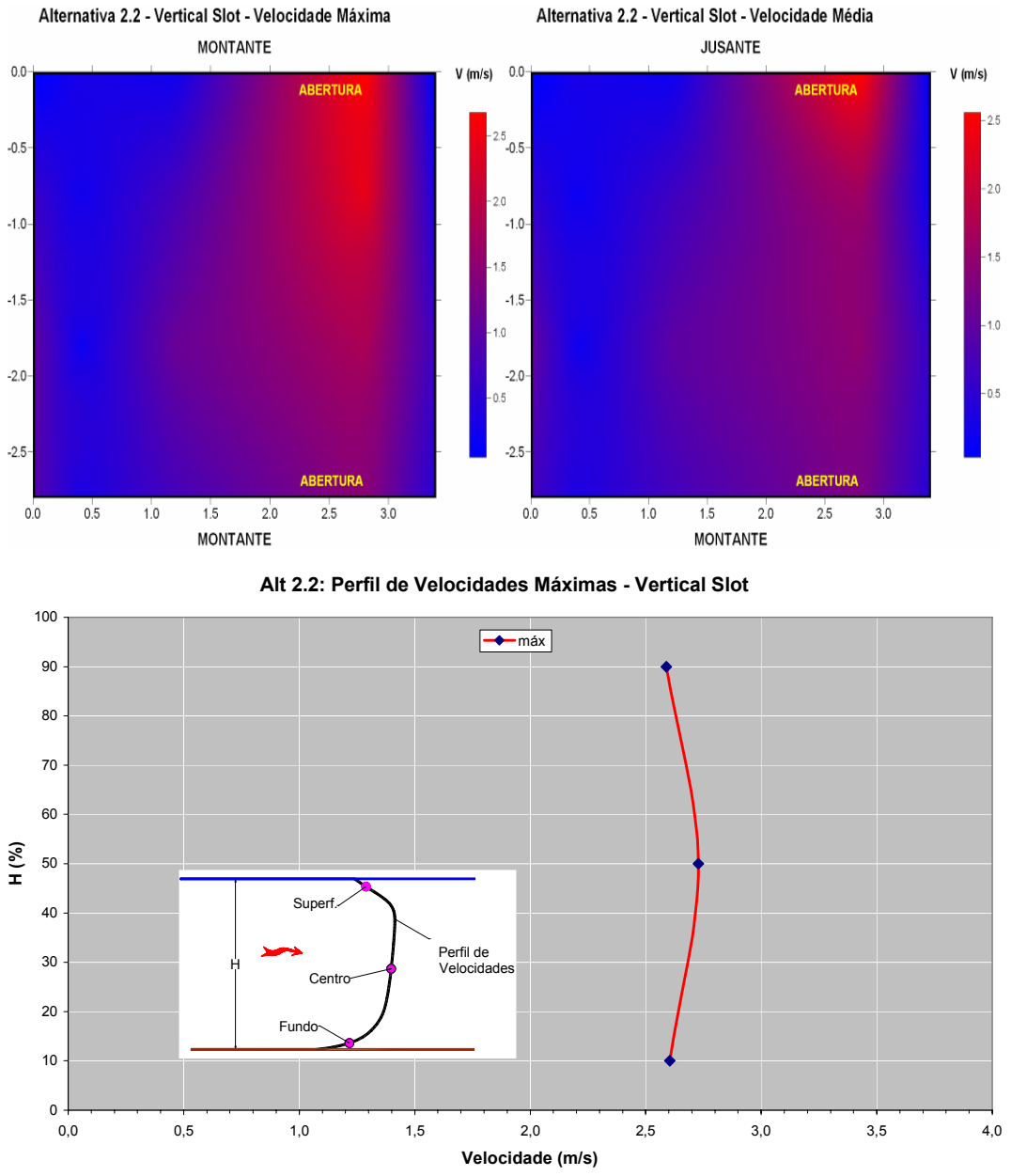


Figura 112: Alternativa 2.2 – Velocidades Máximas e Médias.

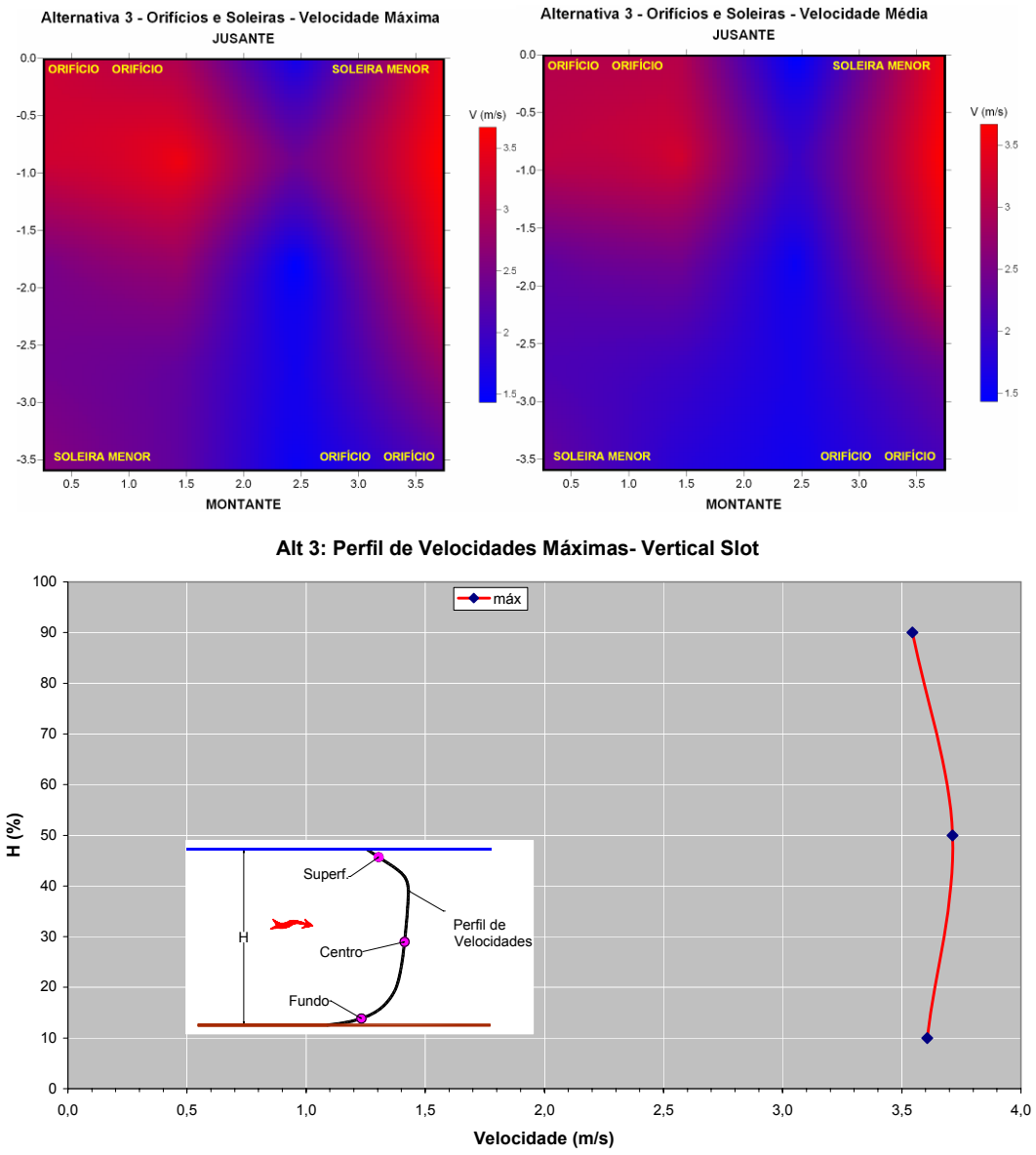


Figura 113: Alternativa 3 – Velocidades Máximas e Médias.

6.4.3. Linhas de Fluxo e Superfície D'água.

As linhas preferenciais de fluxo foram determinadas segundo o seu desenvolvimento longitudinal e superficial, conforme Figura 114; Figura 115 e Figura 116.

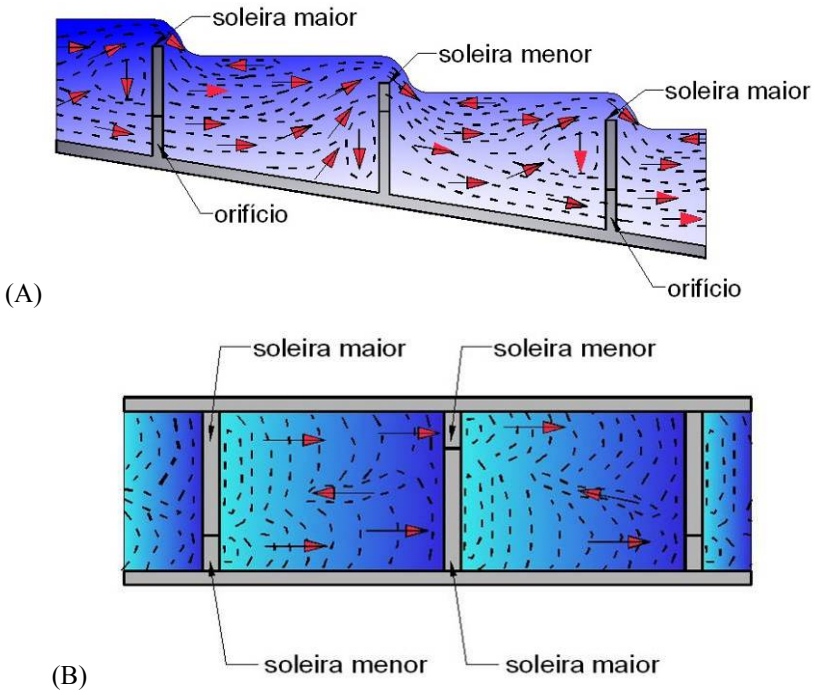


Figura 114: Alternativa 1 – Linhas Preferenciais de Fluxo Longitudinais (A) e Superficiais (B).

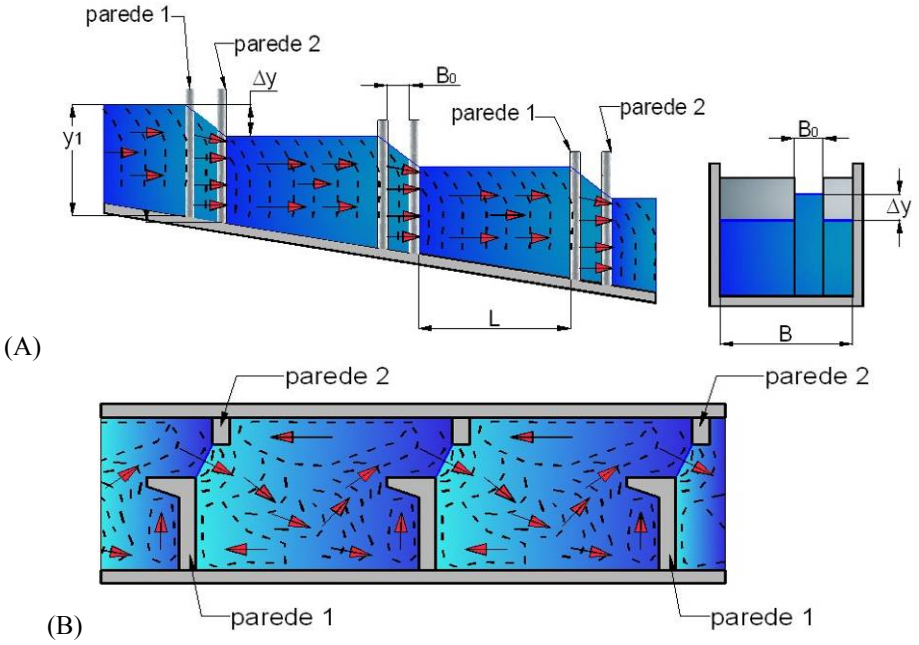


Figura 115: Alternativa 2 – Linhas Preferenciais de Fluxo Longitudinais (A) e Superficiais (B).

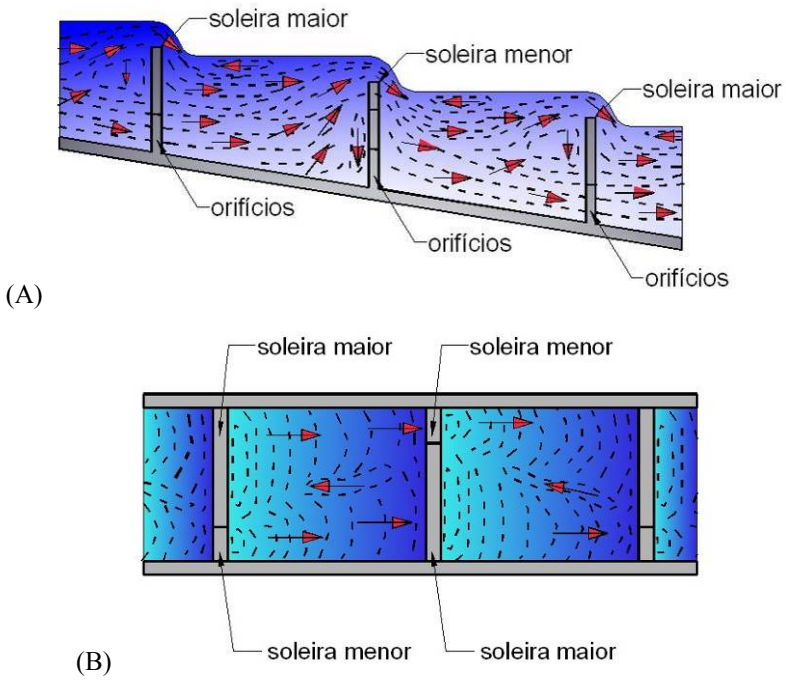


Figura 116: Alternativa 2 – Linhas Preferenciais de Fluxo Longitudinais (A) e Superficiais (B).

6.4.4. Potência do Escoamento no Tanque.

Com as características adotadas calcularam-se as potências do escoamento por unidade de volume, conforme Tabela 39.

Tabela 39: Potência do Escoamento no Tanque.

Alt.	i (%)	Δy (m)	B (m)	L(m)	p_s (m)	Q_{exp} (m³/s)	y_1(m)	y_2 (m)	y_m (m)	$V_{méd}$ (m/s)	V_T (m/s)	$\forall$ (m³)	Pot (W/m³)
1	10	0,40	4,00	4,0	0,8	3,34	1,10	0,70	0,90	0,93	2,80	14,40	909
2.1		0,27		2,7	2,5	3,11	2,21	1,94	2,08	0,37	2,30	22,41	368
2.2		0,34		3,4	2,9	3,56	2,55	2,21	2,38	0,37	2,58	32,37	367
3		0,40		4,0	0,8	3,78	1,10	0,70	0,90	1,05	2,80	14,40	1029

6.4.5. Turbulência.

As observações visuais qualitativas do escoamento qualificando-o como turbulento, principalmente superficialmente, inclusive com o fluido transporte considerável de ar. Na Tabela 40 apresenta-se os valores dos adimensionais que traduzem o estado de agitação ou turbulência do fluxo.

Tabela 40: Turbulência.

Tipo	i (%)	Δy(m)	L(m)	B (m)	$y_{méd}$ (m)	Q_{exp} (m^3/s)	Vmáx (m/s)	Vméd (m/s)	Re		Fr	
									Máx	Méd	Máx	Méd
Degraus com soleira maior e menor e orifício	10,0	0,40	4,0	4,00	0,90	3,34	3,1	0,93	7,9E+06	2,4E+06	1,26	0,38
Vertical Slot Normal		0,27	2,7		2,08	3,11	2,4	0,37	1,0E+07	1,6E+06	0,76	0,12
Vertical Slot Normal		0,34	3,4		2,38	3,56	2,7	0,37	1,2E+07	1,7E+06	0,83	0,11
Degraus com soleira maior e menor e orifícios		0,40	4,0		0,90	3,78	3,7	1,05	9,5E+06	2,7E+06	1,50	0,43

Não se calcularam os valores mínimos dos adimensionais de Reynolds e Froude, pois o objeto era a turbulência máxima.

6.4.6. Oxigenação.

As quantidades de oxigenação das alternativas não foi passível de determinação pois os medidores disponíveis são comparativos e referenciados com a plenitude anóxida do escoamento que mostrou-se inviável devido as condições dos ensaios.

Todas as Alternativas demonstraram-se satisfatórias, semelhantes as tradicionais utilizadas em estruturas internacionais (ver Figura 117).

Figura 117: Escoamento oxigenado no modelo.

6.4.7. Custo.

O custo é comparativo entre as alternativas estudadas, segundo os critérios adotados, e não devem ser extrapolados para outras alternativas que sejam estritamente iguais às desse estudo. O custo final, conforme Tabela 43, foi composto com as quantidades de água e volume de concreto nas Tabela 41 e Tabela 42, respectivamente.

Tabela 41: Custo comparativo da água no STP.

Alt.	Tipo	Q (m³/s)	Pot (kW)	Custo	
				US$/m	R$/m
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	3,34	280,56	29,18	79,66
2.1	"Vertical Slot" Normal	3,11	261,24	27,17	74,17
2.2	"Vertical Slot" Normal	3,56	299,04	31,10	84,90
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios	3,78	317,52	33,02	90,15

O custo em US$/m ou R$/m refere-se ao valor por metro de queda.

Tabela 42: Custo comparativo da estrutura do STP.

Alt.	Tipo	Volume (m³/m)	Custo	
			US$	US$/m
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	2,54	889,0	2.413,0
2.1	"Vertical Slot" Normal	3,23	1.130,5	3.068,5
2.2	"Vertical Slot" Normal	2,98	1.043,0	2.831,0
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios	2,52	882,0	2.394,0

O custo em US$/m ou R$/m refere-se ao valor por metro de extensão longitudinal.

Tabela 43: Custo Total do STP.

Alt.	Tipo	Custo	
		US$	R$/m
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	918,18	2.492,66
2.1	"Vertical Slot" Normal	1.157,67	3.142,67
2.2	"Vertical Slot" Normal	1.074,10	2.915,90
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios	915,02	2.484,15

O custo em US$/m ou R$/m refere-se ao valor por metro de extensão e desnível.

6.4.8. Capacidade de Passagem aos Peixes.

A capacidade potencial de passagem de peixes está apresentada na Tabela 44.

Tabela 44: Capacidade de Passagem.

Alt.	Tipo	A (m²)	$V_{máx}$ (m/s)	ni
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	0,45	3,1	0,15
2.1	"Vertical Slot" Normal	1,19	2,4	0,50
2.2	"Vertical Slot" Normal	1,27	2,7	0,47
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios	0,70	3,7	0,19

6.4.9. Adequabilidade aos Peixes.

É uma análise qualitativa apresentada nos resultados.

6.5. Análise dos Resultados.

6.5.1. Vazões.

As vazões teóricas foram determinadas segundo as expressões tradicionais conforme: LENCASTRE, 1983 e RAJARATMAN, 1992:

$$Q_{soleira} = 1{,}91 * L * \Delta_y{}^{2/3} \quad \textbf{54}$$

$$Q_{orifício} = 0{,}61 * \left[1 + 0{,}15 * \left(\frac{b}{2 * (a+b)}\right)\right] * A * \sqrt{2 * g * \Delta_y} \quad \textbf{55}$$

$$Q_{ranhura} = 3{,}75 * \frac{y_0}{b_0} * \sqrt{2 * i * b_0^5} \quad \textbf{56}$$

Onde: b_0 é a dimensão da abertura e y_0 é a profundidade média no tanque, a é a dimensão da altura do orifício; b é a dimensão da base do orifício; A é a área do orifício e i é a declividade longitudinal.

O orifício foi considerado afogado e as soleiras livres.

A expressão de cálculo da vazão para a soleira livre tem coeficiente de descarga igual a 1,91 que garante uma precisão esperada entre 1 e 2%, conforme LENCASTRE, 1983. Na Tabela 45, apresenta-se as vazões teóricas calculadas.

Tabela 45: Vazões Teóricas.

Alt.	Δy(m)	y_1 (m)	i (%)	L(m)	Soleira						Qtotal (m³/s)
					menor			maior			
					L (m)	Q(m³/s)	V(m/s)	L (m)	Q(m³/s)	V(m/s)	
1	0,40	1,10	10,0	4,00	1,00	0,856	2,85	3,00	2,57	2,85	3,424
2.1	0,27	2,21		2,70	-	-	-	-	-	-	-
2.2	0,34	2,55		3,40	-	-	-	-	-	-	-
3	0,40	1,10		4,00	1,00	0,856	2,85	3,00	2,57	2,85	3,424

Alt.	Δy(m)	y_1(m)	i (%)	L(m)	Orifício			
					BxH (m)	Q(m³/s)	V(m/s)	Qtotal (m³/s)
1	0,40	1,10	10,0	4,00	0,5 x0,5	0,443	1,77	0,44
2.1	0,27	2,21		2,70	-	-	-	-
2.2	0,34	2,55		3,40	-	-	-	-
3	0,40	1,10		4,00	0,5 x0,5	0,443	1,77	0,89

Alt.	Δy(m)	y_1(m)	i (%)	L(m)	Abertura - Ranhura			
					b_0(m)	Q(m³/s)	V(m/s)	Qtotal (m³/s)
1	0,40	1,10	10,0	4,00	-	-	-	-
2.1	0,27	2,21		2,70	0,50	2,902	2,63	2,90
2.2	0,34	2,55		3,40	0,50	3,349	2,63	3,35
3	0,40	1,10		4,00	-	-	-	-

Alt.	Δy(m)	y_1(m)	i (%)	L(m)	Tanque	
					Q(m³/s)	V(m/s)
1	0,40	1,10	10,0	4,00	3,87	0,88
2.1	0,27	2,21		2,70	2,90	0,33
2.2	0,34	2,55		3,40	3,35	0,33
3	0,40	1,10		4,00	4,31	0,98

A razão ou desvio entre as vazões experimentais ou reais e teóricas pode ser expressa pela equação:

$$TQ = \frac{Q_{moldelo} - Q_{teórico}}{Q_{moldelo}} \quad \textbf{57}$$

Onde: TQ é o desvio em relação à vazão de modelo ou real.

Na Tabela 46, apresenta-se os valores do desvio entre as vazões experimental e teórica.

Tabela 46: Desvio da vazão experimental.

Alt.	Tipo	Vazão (m³/s)		TQ
		modelo	teórica	
1	Degraus com soleira maior e menor e orifício	3,34	3,74	-0,1206
2.1	"Vertical Slot" Normal	3,11	2,90	0,0674
2.2	"Vertical Slot" Normal	3,56	3,35	0,0605
3	Degraus com soleira maior e menor e orifícios	3,78	4,36	-0,1535

A determinação da vazão real das Alternativas estudadas pode ser determinada pelas suas equações teóricas aplicando-se a correção TQ, conforme a expressão:

$$Q_{real} = Q_{teórico} + Q_{teórico} * TQ \qquad \textbf{58}$$

As premissas adotadas para ensaios quanto à declividade longitudinal e as características geométricas e espaciais, determinaram a equação para a vazão no protótipo ou real: $Q_{real} = Q_{teórico} + Q_{teórico} * TQ$.

No caso das Alternativas 1 com soleiras maior e menor e orifício e Alternativa 3 com soleiras maior e menor e dois orifícios, a vazão teórica apresenta valores superestimados, podendo-se obter valores reais decrescendo-a em 12 e 15%, aproximadamente e respectivamente.

No caso das Alternativas 2 com "Vertical Slot", a vazão teórica está mais bem ajustada, mas subestimada, podendo-se obter valores reais acrescendo-a, aproximadamente, em 6,5%.

A utilização desta equação para outras características do tipo soleiras menor e maior e orifício ou orifícios pode ser adotada para valores de ordem de grandeza na vazão.

Nos casos das Alternativas 1 e 3, há a composição de dois elementos extravasores com comportamentos físicos distintos cuja determinação das suas capacidades de descarga é função, entre outros fatores, de variáveis iguais, mas com potencias diferentes, ou seja, $\Delta y^{2/3}$ e $\Delta y^{0,5}$, respectivamente soleira e orifício, o que inviabiliza, ainda que através de ensaios experimentais, a determinação extrapolação de um único fator de majoração.

6.5.2. Velocidades.

As velocidades máximas teóricas do escoamento, segundo KATOPODIS (1992); ODEH (1999); OSBORNE (1995); CLAY (1995) podem ser obtidas pela expressão:

$$V_T = \sqrt{2 * g * \Delta y} \quad \textbf{59}$$

Comparando-se os valores de velocidade máxima experimentais com os teóricos, conforme Tabela 47, têm-se a expressão:

$$V_{real} = V_T + V_T * \frac{Delta}{100} \quad \textbf{60}$$

Tabela 47: Velocidades Máximas.

Alt.	i (%)	Δy (m)	V (m/s)		Delta (%)
			modelo	teórica	
1	10	0,40	3,1	2,8	9,6
2.1		0,27	2,4	2,3	4,1
2.2		0,34	2,7	2,6	4,3
3		0,40	3,7	2,8	24,3

Em todas as Alternativas os valores de velocidade teórica máxima estão subestimados. No caso das Alternativas 1 com soleiras maior e menor e orifício e Alternativa 3 com soleiras maior e menor e dois orifícios, a velocidade teórica apresenta valores subestimados menos ajustados, podendo-se obter valores reais acrescendo-a em 10 e 25%, aproximadamente e respectivamente. No caso das Alternativas 2 com "Vertical Slot", a velocidade teórica está mais bem ajustada, podendo-se obter valores reais acrescendo-a, aproximadamente, em 4,5%.

A utilização desta equação para outras características do tipo "Vertical Slot" pode ser adotada para valores de ordem de grandeza na velocidade.

Nos casos das Alternativas 1 e 3, há a composição de dois elementos extravasores com comportamentos físicos distintos cuja determinação da velocidade máxima do fluxo é função, entre outros fatores, da capacidade de vazão cujas variáveis são função do desnível da água, mas com potencias diferentes, ou seja, $\Delta y^{2/3}$ e $\Delta y^{0,5}$, respectivamente soleira e orifício, o que inviabiliza, ainda que através de ensaios experimentais, a determinação de um único fator de majoração.

Observou-se nas Alternativas 1 e 3 estudadas que o aumento da profundidade média da água favorece a formação de um campo de velocidades com valores menores que

só pode ser alcançado com o aumento no valor do paramento das paredes transversais.

Observou-se nas Alternativas 2, nos ensaios e na Figura 115, que a intensidade na velocidade do fluxo sofre uma influência relevante da profundidade da lâmina da água que funciona como um "colchão de amortecimento", gerando a partir de um determinado valor, um campo de velocidades com intensidades baixas e diferenciadas, ou seja, as Alternativas "Vertical Slot" não devem, ou melhor, não são aconselháveis, para as configurações geométricas ensaiadas, profundidades médias menores do que 2,10 e 2,40m, respectivamente Alternativas 2.1 e 2.2.

6.5.3. Linhas de Fluxo e Superfície D'água.

Nas Alternativas 1 e 3, as linhas de fluxo são semelhantes variando a intensidade no movimento e apresentam pequenos núcleos de recirculação superficial e longitudinal.

Observou-se nas Alternativas 1 e 3 estudadas que o aumento da profundidade média da água favorece a formação de um campo de fluxos com intensidades menores que só pode ser alcançado com o aumento no valor do paramento das paredes transversais.

Nas Alternativas 2, as linhas de fluxo são também semelhantes variando a intensidade do movimento e apresentam pequenos núcleos de recirculação superficial e longitudinal em quantidades levemente superior as Alternativas 1 e 3.

Observou-se nas Alternativas 2, nos ensaios e na Figura 115, que a intensidade na movimentação do fluxo sofre uma influência relevante da profundidade da lâmina da água que funciona como um "colchão de amortecimento", gerando a partir de um determinado valor, um campo de fluxos com intensidades baixas e diferenciadas, ou seja, as Alternativas "Vertical Slot" não devem, ou melhor, não são aconselháveis, para as configurações geométricas ensaiadas, profundidades médias menores do que 2,10 e 2,40m, respectivamente Alternativas 2.1 e 2.2.

Na Alternativa 2.3, "Vertical Slot Alternado", descartada, mesmo para as profundidades médias referidas, não ocorreu progresso ou melhora nas condições hidráulicas e/ou bióticas que justificasse algum registro.

6.5.4. Potência do Escoamento no Tanque.

Os valores da Potência do escoamento encontram-se acima dos valores de referência internacionais para todas as alternativas estudadas, sendo que as Alternativas 2 estão melhores.

6.5.5. Turbulência.

Depreende-se da Tabela 40 que o adimensional de Reynolds é representativo quanto ao fenômeno indicando e confirmando a análise qualitativa visual, com altos graus de turbulência para todas as Alternativas do que o de Froude que indica menor grau e até o escoamento em regime laminar ou fluvial para as Alternativas 2.

Com certas reservas, o escoamento, segundo os resultados da Tabela 40, as forças viscosas são preponderantes às gravitacionais.

6.5.6. Oxigenação.

Não existe, como era esperada, nenhuma área anóxida, em nenhuma das alternativas estudadas.

De maneira geral, os fluxos são bem oxigenados, independente da alternativa.

As Alternativas 1 e 3 devido a sua maior área de deságüe livre, apresenta um potencial de oxigenação superficial maior do que as Alternativas 2.

Qualitativamente as Alternativas 1 e 3 apresentam valores de oxigenação semelhantes, mas não excessivo ou saturado capaz de causar embolia nos peixes.

6.5.7. Custo.

Os custos, ainda que referenciais e comparativos e revelaram que, pretendendo-se minorizar os seus valores, as Alternativas 1 e 3 possuem valores equivalentes, seguidas pelas Alternativas 2.2 e 2.1.

6.5.8. Capacidade de Passagem aos Peixes.

A capacidade potencial de passagem aos peixes revelou-se tecnicamente iguais nas Alternativas 2 e superiores as Alternativas 3 e 1.

6.5.9. Adequabilidade aos Peixes.

Os contornos hidráulicos das estruturas mostraram-se adequados as passagens de peixes com contornos arredondados, mas no aspecto de locomoção de peixes as Alternativas 2 dificultam ou quase não permitem a passagem de peixes que saltem. Outro aspecto relevante é a capacidade de movimentação dos peixes frente às velocidades do fluxo, onde as Alternativas 2, com velocidades máximas menores do que a premissa adotada foi mais favorável.

6.6. Comparação entre as Alternativas.

A comparação entre as Alternativas de STP's estudadas, com a declividade longitudinal igual a 10%, foi desenvolvida com os resultados experimentais quantitativos e qualitativos obtidos, segundo a vazão, velocidade, linhas de fluxo, potência, turbulência, oxigenação, custo e a capacidade de passagem, onde: pretende-se minimizar a vazão; a velocidade e o custo; as linhas de fluxo e superfície da água pretendem-se direções e sentidos contínuos, ausentes de recirculações que possam desorientar os peixes; a potência menor do que o valor de referência de 350W/m³; turbulência ou agitação com Número de Reynolds menores; oxigenação não saturada capaz de embolia aos peixes e capacidade de passagem pretende-se maximizá-la.

Tabela 48: Resultados quantitativos obtidos.

Resultado	Alternativa			
	1	2.1	2.2	3
Vazão – Q (m³/s)	3,34	3,11	3,56	3,78
Velocidade Máxima– V (m/s)	3,1	2,4	2,7	3,7
Potência – Pot (W/m³)	909	368	367	1029
Turbulência – Re	0,8 E07	1 E07	1,2 E07	0,9 E07
Custo (US$/m)	878,5	1.184,8	1.134,0	875,0
Capacidade de Passagem – ni	0,15	0,40	0,42	0,23

Na Tabela 49 apresenta-se o quadro comparativo entre as alternativas estudadas e na Figura 119 a sua representação gráfica.

Tabela 49: Comparação qualitativa e quantitativa entre as alternativas.

Resultado	Alternativa							
	1		2.1		2.2		3	
Vazão – Q	b	3	a	4	c	2	d	1
Velocidade – V	c	2	a	4	b	3	d	1
Linhas de Fluxo	b	3	b	3	b	3	c	2
Potência – Pot	c	2	b	3	a	4	d	1
Turbulência – Re	a	4	c	2	d	1	b	3
Oxigenação	a	4	a	4	a	4	a	4
Custo	b	3	d	1	c	2	a	4
Capacidade de Passagem – ni	d	4	b	3	a	4	c	3
Adequabilidade aos Peixes	a	4	c	2	c	2	a	4
Total	29		26		25		23	

Onde:

a	*ótimo*	*4*
b	*bom*	*3*
c	*médio*	*2*
d	*ruim*	*1*

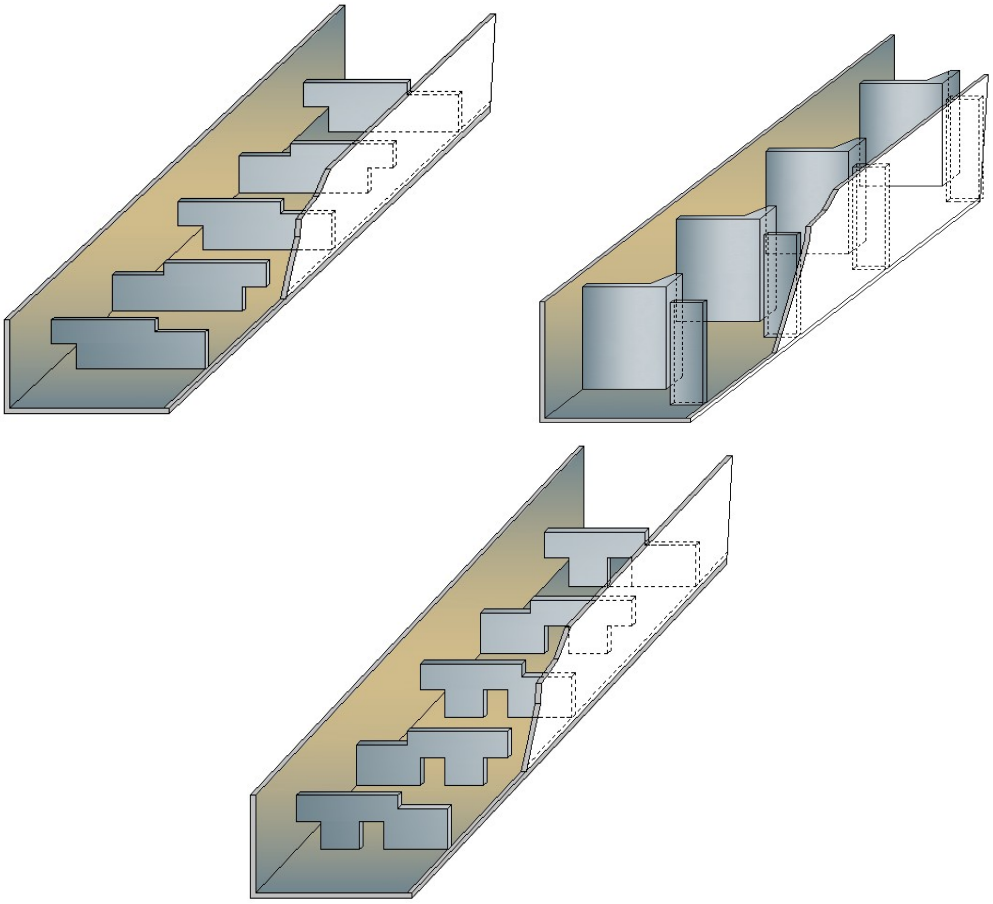


Figura 118: Alternativas 1, 2.1 e 2.2 e 3.

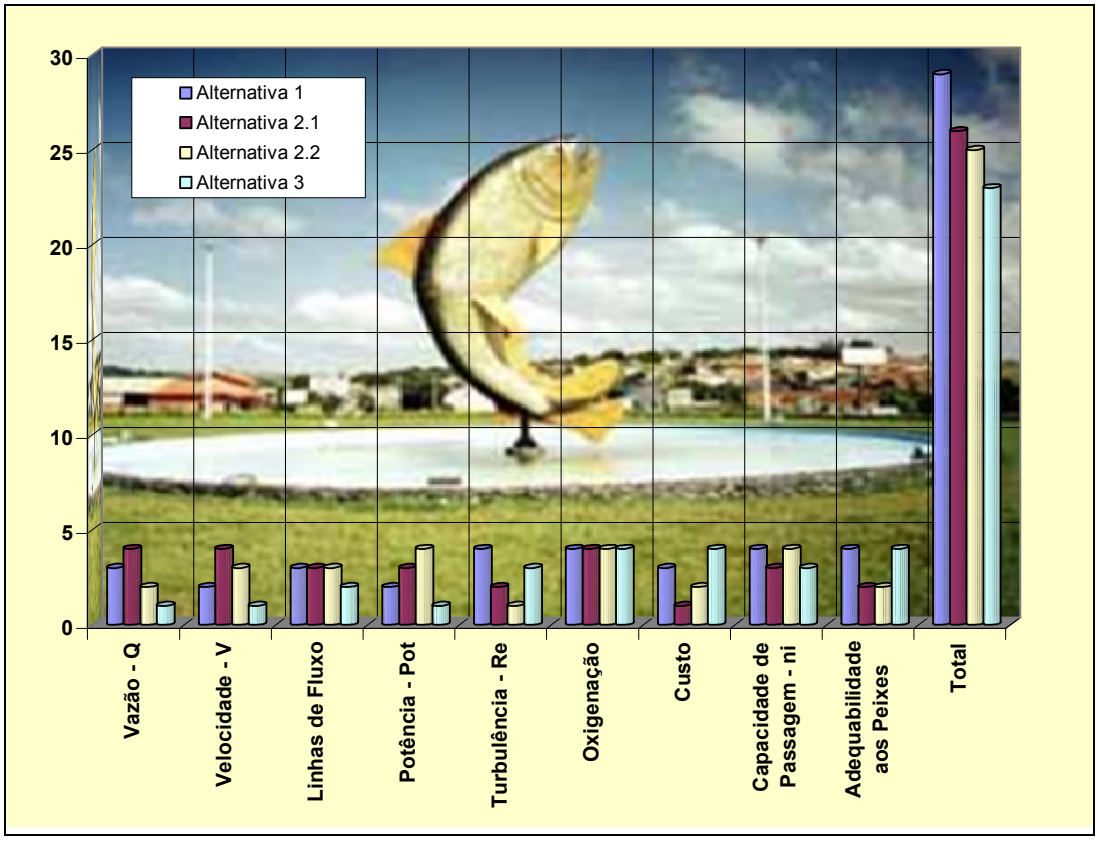


Figura 119: Gráfico comparativo entre as Alternativas estudadas com declividade longitudinal igual a 10%.

Fonte: Monumento ao migrador dourado na entrada da cidade Paulista Piraju, Estado de São Paulo.

6.7. Conclusões.

As alternativas são, tecnicamente, semelhantes, mas as mais promissoras foram, segundo o estudo e com as hipóteses adotadas, em ordem de preferência: Alternativa 1 – Soleiras e Orifício; Alternativa 2.1 – "Vertical Slot" Normal com espaçamento de 3,6m; Alternativa 2.2 – "Vertical Slot" Normal com espaçamento de 4m e Alternativa 3 – Soleiras e Orifícios.

A Alternativa 3 apresentou valores de velocidade do fluxo incompatível com a necessidade do peixe.

Todas as Alternativas apresentaram valores referentes à potência do escoamento superiores ao critério estabelecido (250W/m³) indicando que são necessárias profundidades de laminas da água nos tanques superiores as admitidas nos estudos e, consequentemente, paredes transversais mais altas, exceto nas Alternativas 2 cujas alturas já foram estabelecidas.

De acordo com as características locais dos cardumes, pode-se adotar ou preterir uma Alternativa diferente da mais promissora deste estudo.

A simples adoção de uma alternativa promissora, não é garantia de sucesso na transposição de peixes, faltando, ainda, confirmações de âmbito não experimentais, tais como as ambientais e biológicas ou, ainda, hidráulicas complementares como a atração de cardumes.

As premissas biológicas adotadas neste estudo: velocidade do fluxo, dimensão dos orifícios, lâmina da água mínima e declividade longitudinal do canal, devem ser compatibilizadas com o universo dos peixes locais habilitados a usarem o STP, podendo, inclusive, serem seletivas, como é inevitável devido à diversidade, visando maximizar o volume de peixes, porte, hábitos, privilegiar ou desprestigiar espécies segundo um conjunto de conveniências biológicas e ambientais, comerciais e locais.

A eficiência e a eficácia dos STP's dependem do conhecimento das características hidráulicas e, principalmente, biológicas das espécies de peixes que farão a transposição, tais como: habilidades natatórias dos peixes (velocidades de explosão, manutenção, navegação, atrativas e salto), padrão migratório (trófico e reprodutivo, volume e dimensões das espécies), padrões limnológico e ambiental, preservação e existência dos ambientes reprodutivos naturais ou artificiais, entre outros fatores. A real eficiência só pode ser verificada em protótipo ou, caso seja possível, em modelo em verdadeira grandeza, com a introdução de elementos vivos e similaridade dos estímulos ambientais.

A complexidade e o desconhecimento biológico e hidráulico no que se refere aos STP's evidenciam os riscos de ineficiência e a necessidade estudos para o desenvolvimento de tecnologias nacionais e profissionais específicos habilitados. Estamos recriando o "estado da arte" nacional, ou seja, pesquisas, como as aqui realizadas pela Universidade de São Paulo e outras pela Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Tocantins, devem incentivadas e divulgadas antes que seja tarde para o ambiente.

7. Proposta de Alternativa.

As dimensões do STP devem ser dimensionadas em função das espécies a serem transportadas, dessa forma a sua concepção não pode ser padronizada, pois implicará em erros. Padronizar um STP é reduzir a técnica e a ciência a um padrão secundarista, tipo "Manual de Bolso" (MARTINEZ, 2005).

Dos estudos realizados e procurando compatibilizá-los com os critérios sugere-se a alternativa composta com soleiras maior e menor e um orifício, mas com paramento das paredes verticais mais altos para aumentar a lâmina da água reduzindo a potência do escoamento e equalizando às velocidades.

Admitindo-se o valor de potência referencial igual a 250W/m³, fez-se uma análise de sensibilidade, admitindo-se constante o desnível geométrico, a vazão, a potência por unidade de volume e a dimensão da base do canal, conforme Tabela 50 e Tabela 51.

Tabela 50: Potência no Tanque com aumento da profundidade inicial y_1.

Alt.	i (%)	Δy (m)	B (m)	L(m)	p_s (m)	Q_{exp} (m³/s)	y_1(m)	y_2 (m)	y_m (m)	$V_{méd}$ (m/s)	V_T (m/s)	∀ (m³)	Pot (W/m³)
1	10	0,40	4,00	4,0	3,2	3,34	**3,47**	**3,07**	3,27	0,26	2,80	52,32	250
2.1		0,27		2,7	3,5	3,11	**3,18**	**2,91**	3,05	0,26	2,30	32,89	251
2.2		0,34		3,4	4,0	3,56	**3,68**	**3,34**	3,51	0,25	2,58	47,74	249
3		0,40		4,0	3,6	3,78	**3,90**	**3,50**	3,70	0,26	2,80	59,20	250

Tabela 51: Potência no Tanque com diminuição da declividade longitudinal i.

Alt.	i (%)	Δy (m)	B (m)	L(m)	p_s (m)	Q_{exp} (m³/s)	y_1(m)	y_2 (m)	y_m (m)	$V_{méd}$ (m/s)	V_T (m/s)	∀ (m³)	Pot (W/m³)
1	**5**	0,40	4,00	8,00	1,54	3,34	1,84	1,44	1,64	0,51	2,80	52,48	249
2.1		0,27		5,40	1,96	3,11	1,66	1,39	1,53	0,51	2,30	32,94	250
2.2		0,34		6,80	2,22	3,56	1,92	1,58	1,75	0,51	2,58	47,60	250
3		0,40		8,00	1,75	3,78	2,05	1,65	1,85	0,51	2,80	59,20	250

Depreende-se da Tabela 50, onde se alteraram os valores das profundidades y_1 e y_2, destacados com uma cor diferente, e conseqüentemente a altura do paramento, para se obter o valor da potencia referencial, resultando, para a declividade longitudinal igual a 10%, num tanque com profundidade média acima de 3m.

Depreende-se da Tabela 51, nde se alterou o valor da declividade longitudinal, i, igual a 5%, destacado com uma cor diferente, e conseqüentemente a altura do

paramento, para se obter o valor da potencia referencial, resultando num tanque com profundidade média entre 1,5 e 2,0m.

Com os valores simulados têm-se as características potencialmente ideais para as Alternativas estudadas, cujas potências específicas são 250W/m³.

Tabela 52: Dimensões e Características do STP Proposto.

Característica	Dimensão				
	i (%)	Alternativa			
		1	2.1	2.2	3
Δh (m)	10	0,3	0,3	0,3	0,3
Δy (m)		0,4	0,3	0,3	0,4
y_1 (m)		3,5	3,2	3,7	3,9
y_2 (m)		3,1	2,9	3,3	3,5
B (m)		4,0	4,0	4,0	4,0
L (m)		4,0	2,7	3,4	4,0
P_s (m)		3,2	2,9	3,4	3,6
H (m)		4,5	4,0	4,5	4,9
Soleira Maior Contínua (m)		3,0	-	-	3,0
Soleira Menor (m)		1,0 x 0,2	-	-	1,0 x 0,2
Orifício (m)		0,5 x 0,5			2 (0,5 x 0,5)
Ranhura ou Abertura Contínua (m)		-	0,5	0,5	-
Disposição Longitudinal das Paredes Transversais		Alternada	Sequencial	Sequencial	Alternada
V_{med} (m/s)		0,3	0,3	0,3	0,3
$V_{máx}$ (m/s)		2,8	2,3	2,6	2,8
Q (m³/s)		3,34	3,11	3,56	3,78
∀ (m³)		52,3	32,9	47,7	59,2
Pot (W/m³)		250	250	250	250
Δh (m)	5	0,3	0,3	0,3	0,3
Δy (m)		0,4	0,3	0,3	0,4
y_1 (m)		1,8	1,7	1,9	2,0
y_2 (m)		1,4	1,4	1,6	1,6
B (m)		4,0	4,0	4,0	4,0
L (m)		8,0	5,4	6,8	8,0
P_s (m)		1,5	1,4	1,6	1,7
H (m)		2,9	2,5	2,7	3,1
Soleira Maior Contínua (m)		3,0	-	-	3,0
Soleira Menor (m)		1,0 x 0,2	-	-	1,0 x 0,2
Orifício (m)		0,5 x 0,5			2 (0,5 x 0,5)
Ranhura ou Abertura Contínua (m)		-	0,5	0,5	-
Disposição Longitudinais das Paredes Transversais		Alternada	Sequencial	Sequencial	Alternada
V_{med} (m/s)		0,3	0,3	0,3	0,3
$V_{máx}$ (m/s)		2,8	2,3	2,6	2,8
Q (m³/s)		3,34	3,11	3,56	3,78
∀ (m³)		52,3	32,9	47,7	59,2
Pot (W/m³)		250	250	250	250

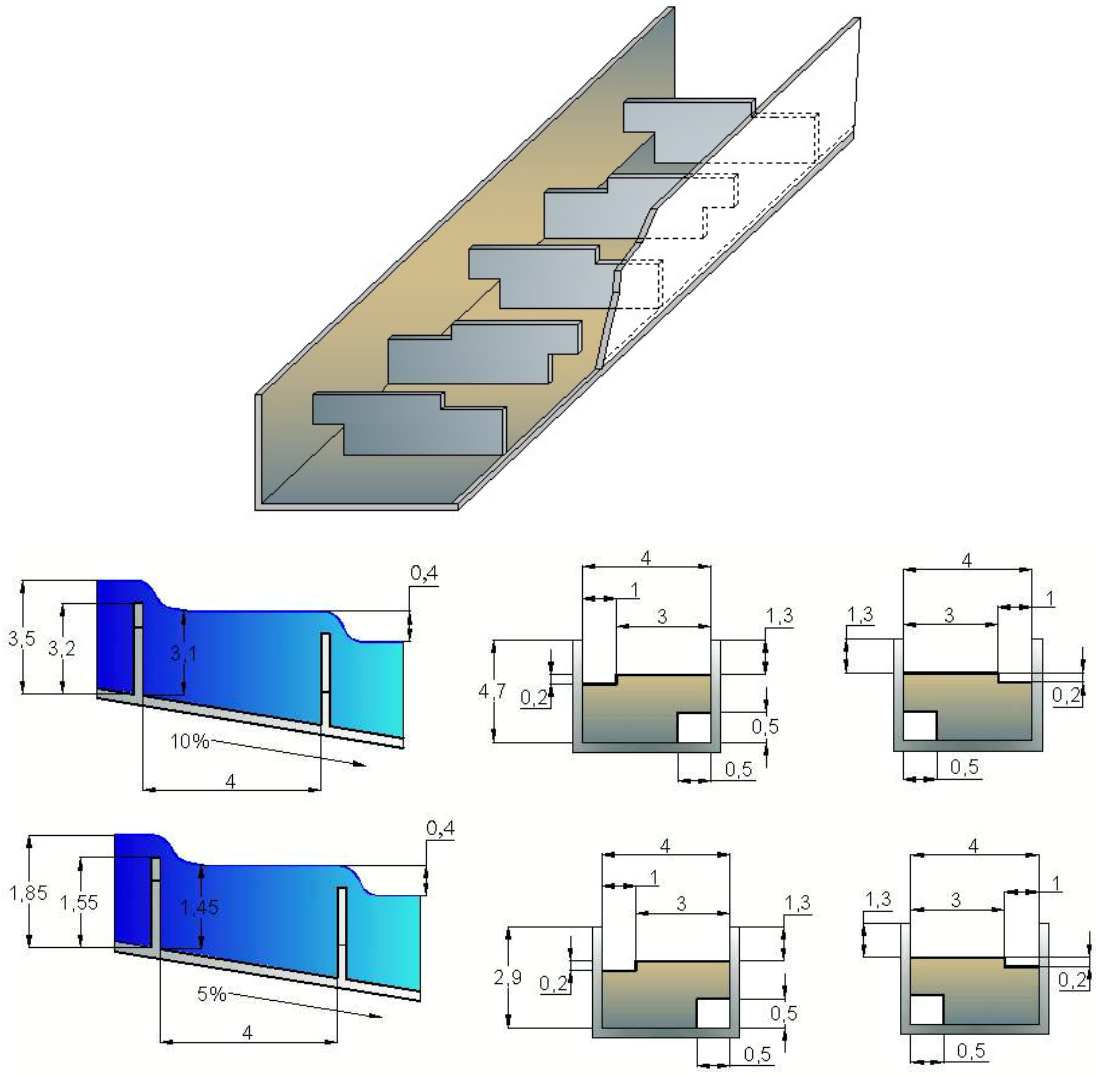
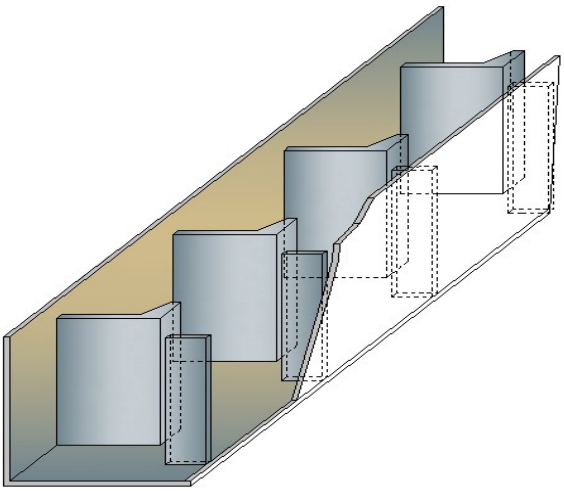
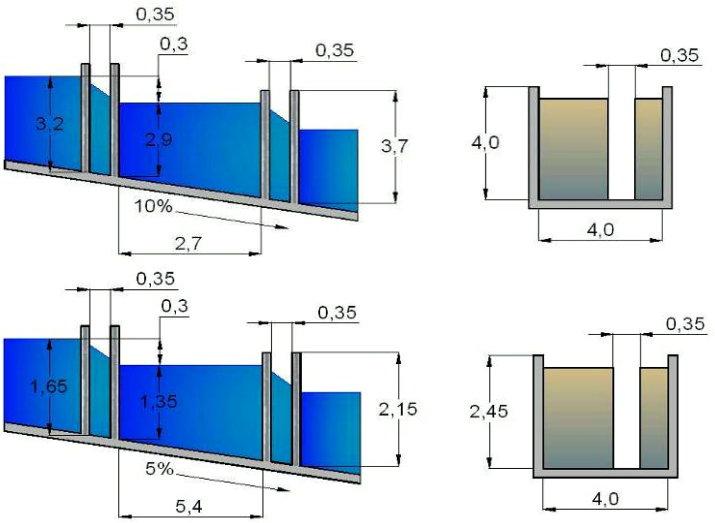
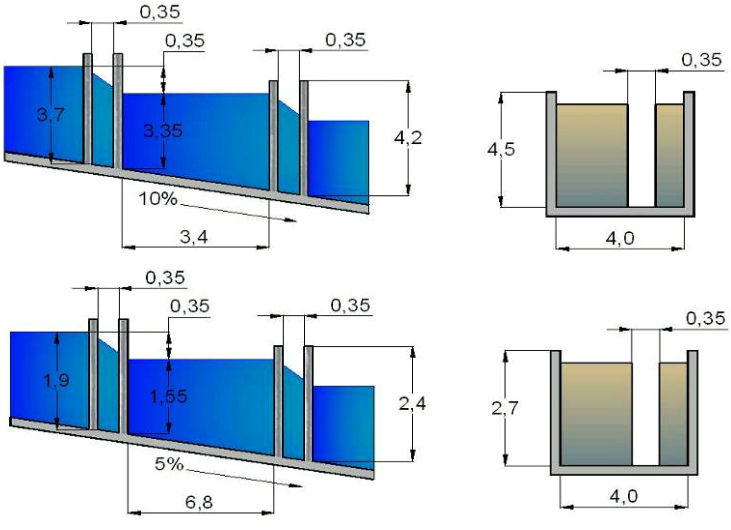


Figura 120: Alternativa 1 Proposta.





Alt. 2.1



Alt. 2.2

Figura 121: Alternativas 2 Propostas.

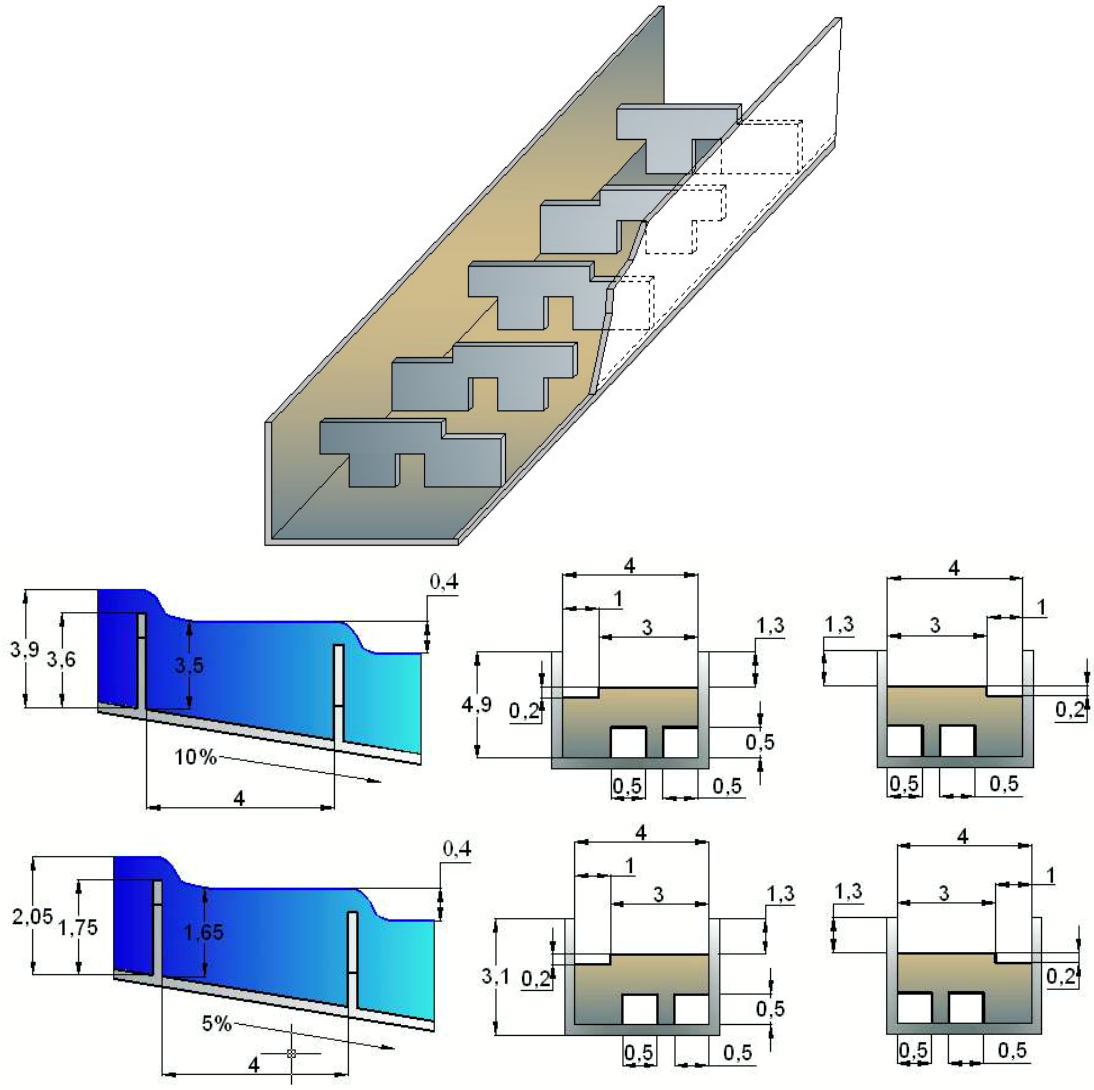


Figura 122: Alternativa 3 Proposta.

O modelo similar a Alternativa 1 é utilizado atualmente com sucesso em rios menores e/ou com riqueza e quantidades de peixes também menores como nas cabeceiras lóticas do rio Paranapanema modificado com barramentos existentes, no Estado de São Paulo, onde se localizam os STP's das Usinas Piraju, Piraju Nova, Ourinhos (em construção), Canoas I e Canoas 2.

O modelo similar as Alternativas 2 é utilizado no rio Grande no Estado de Minas Gerais, com abertura de 0,30m, onde este tipo de concepção é mais difundido.

O modelo similar a Alternativa 3 é utilizado atualmente com sucesso em rios maiores com riqueza e quantidades também maiores como os rios Paraná (UHE Porto Primavera) e Tocantins (AHE Peixe-Angical, UHE Lajeado, UHE Ipueiras).

As Alternativas propostas devem, com certa confiança, viabilizar a subida de peixes pelos STP's, mas podem ser menos atrativas e, portanto, seletivas dependendo da localização da entrada e das correntes adjacentes, necessitando, eventualmente, de sistema auxiliar de atração.

Recomenda-se, ainda, a implantação estruturas para descanso ictíico em extensões de escada para desníveis verticais entre 8 e 10m.

Os contornos internos molhados do STP devem ter acabamento hidráulico, isto é, evitar os cantos e favorecer os acabamentos circulares ou elípticos para evitar ferimentos e fluxos indesejáveis.

Para manter a profundidade mínima ou ideal da lâmina de água no interior do STP e conseqüentemente o desnível ideal entre as soleiras, independente da Alternativa Proposta ou declividade longitudinal estudadas, faz-se necessário uma estrutura de controle de níveis, exceto quando o reservatório operar e garantir um nível constante, como nas usinas geradoras de energia "a fio de água".

Com os conhecimentos disponíveis e mediante uma proposta de manejo ictíico definida o que nunca esteve disponível devido a uma carência de resultados sobre os nossos peixes é possível projetar-se STP's voltados aos peixes-alvo, com possibilidade de operações seletivas de modo a privilegiar determinadas espécies.

7.1. Recomendações para projetos de STP's para Ascenção de Peixes Nacionais.

A experiência nacional na implantação recente de STP's permitiu a recomendação de algumas características importantes para a eficiência das estruturas de passagem de peixes tipo escada.

Há empreendimentos com STP's, como de Canoas I e Canoas II, no rio Paranapanema, pertencentes à Duke Energy e CBA (SIROL, 2002), Porto Primavera no rio Paraná, da CESP e Lajeado no rio Tocantins da Enerpeixe, da ENERPEIXE (AGOSTINHO, 2004a), onde já se discute a operação seletiva de modo a se evitar o esvaziamento ictíico a jusante da barragem, uma vez que o deslocamento de peixes é unilateral, conforme já ocorrido, devido entre outros motivos, à eficácia das escadas e, principalmente, à ausência de mecanismos para permitir a passagem de peixes no

sentido descendente ou a migração trófica. Na Usina de Salto Grande, rio Uruguai, o esvaziamento ictíico foi um fato ocorrido tanto a jusante como a montante devido à falta de recrutamento (SIROL, 2002).

Nos STP´s recentes nacionais observa-se a passagem de peixes com e sem identidade migradora, com escamas e de couro ou placas ósseas, de alevinos à adultos, com os gônadas em vários estágios de amadurecimento, conforme monitoramentos das usinas de Porto Primavera, rio Paraná, Lajeado, rio Tocantins, Canoas I e II, no rio Parapanema, reforçando, assim, o princípio da biopassagem com intuito de permitir o fluxo genético e preservar a riqueza entre os ambientes aquáticos e/ou que os criadouros estão em locais mais a montante ou, ainda, que a migração ascendente não é só reprodutiva.

Faz-se necessária, ainda, a investigação comprometida com o meio ambiente, sobre a passagem e a sobrevivência de ovas, larvas, alevinos e peixes neotropicais através ou sobre as comunicações molhadas das barragens e hidroelétricas: vertedores de superfície, descarregadores de fundo, tomadas de água e turbinas para avaliar, complementar ou implememtentar as estruturas de passagem descententes.

Os STP's internacionais para permitir a passagem descendente de peixes em todas as fases de desenvolvimento são usuais e não exclusivos aos salmonídeos, pois senão ter-se-ía o empobrecimento do ecossistema aquático e a decadência ambiental, inclusive, dos salmonídeos e outros (salmões, trutas marítimas e continentais, esturjões, lampréias, enguias) motivo econômico principal das passagens do Hemisfério Norte (FRANCFORT, 1989).

O STP deve estar incorporado no contexto da macro-bacia e não como um elemento independente no corpo de um empreendimento de importância relativa maior ou menor.

7.1.1. Ictiofauna.

A migração de peixes é uma característica inerente que envolve a sobrevivência desses animais aquáticos e os identifica segundo os seus ambientes de deslocamento, conforme Figura 123.

As espécies sedentárias são aquelas aptas a desenvolver todas as atividades vitais (alimentação, reprodução e crescimento) numa área restrita da bacia. Esta categoria é mais freqüente em ambientes lênticos, onde adaptações respiratórias a períodos de baixa oxigenação, tolerando grandes variações térmicas (AGOSTINHO, 2001).

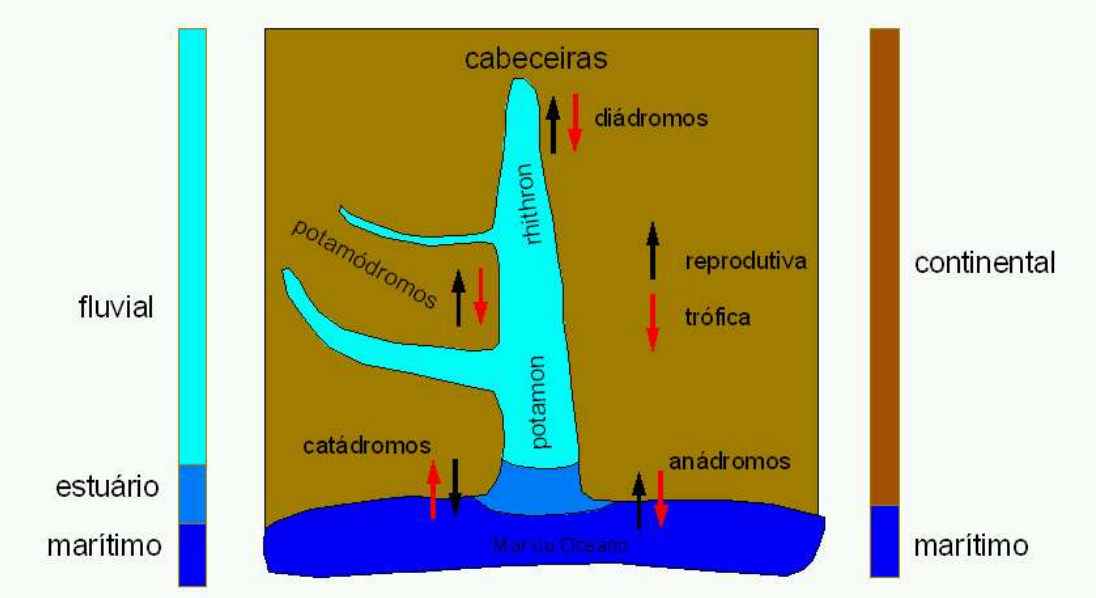
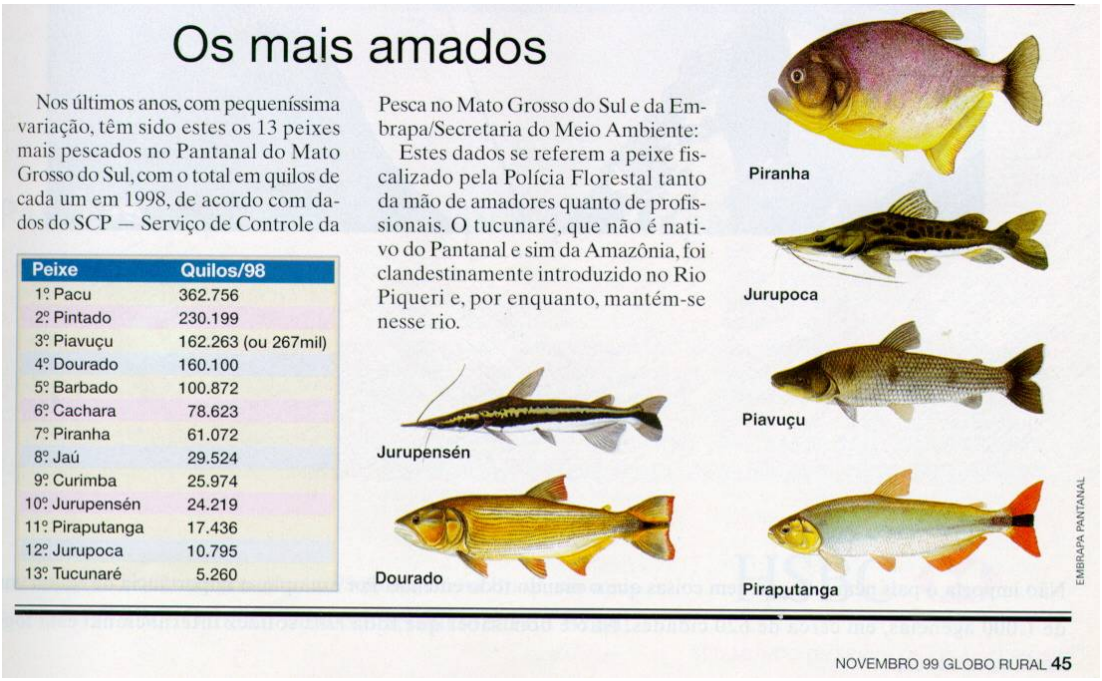


Figura 123: Migração ictíica.

A migração de peixes neotropicais ascendente não é exclusivamente reprodutiva ou pelo menos não apenas com animais de piracema ou migradores de longa distância, como demonstraram os monitoramentos dos STP's recentes.

Os migradores de longa distância são geralmente de maior porte e valor comercial e têm ovos pequenos e numerosos que são eliminados em curto intervalo de tempo (AGOSTINHO & JULIO JR, 1999 ap. AGOSTINHO, 2001, MARTINS, 2000).

Entre os principais peixes de água doce com valor comercial destacam-se os migradores, conforme Figura 124, onde se observa que dos 13 animais mais pescados, apenas os Tucunarés e as Piranhas não possuem identidade migratória. Para esse universo ictíico a interrupção dos percursos reprodutivos e tróficos podem levá-los à extinção e o conseqüente empobrecimento do ecossistema.



Os mais amados

Nos últimos anos, com pequenissima variação, têm sido estes os 13 peixes mais pescados no Pantanal do Mato Grosso do Sul, com o total em quilos de cada um em 1998, de acordo com dados do SCP — Serviço de Controle da Pesca no Mato Grosso do Sul e da Embrapa/Secretaria do Meio Ambiente:

Estes dados se referem a peixe fiscalizado pela Polícia Florestal tanto da mão de amadores quanto de profissionais. O tucunaré, que não é nativo do Pantanal e sim da Amazônia, foi clandestinamente introduzido no Rio Piqueri e, por enquanto, mantém-se nesse rio.

Peixe	Quilos/98
1º Pacu	362.756
2º Pintado	230.199
3º Piavuçu	162.263 (ou 267mil)
4º Dourado	160.100
5º Barbado	100.872
6º Cachara	78.623
7º Piranha	61.072
8º Jaú	29.524
9º Curimba	25.974
10º Jurupensén	24.219
11º Piraputanga	17.436
12º Jurupoca	10.795
13º Tucunaré	5.260

Piranha
Jurupoca
Piavuçu
Jurupensén
Dourado
Piraputanga
EMBRAPA PANTANAL

NOVEMBRO 99 GLOBO RURAL 45

Figura 124: Pesca e os Migradores.

Fonte: Globo Rural, 1999.

Os ovos derivam rio abaixo enquanto se desenvolvem, sendo lançados, geralmente na forma larval, para as depressões laterais (várzeas, baixios) durante o transbordamento da calha (GODOY, 1975; AGOSTINHO et al., 2000 ap. AGOSTINHO, 2001). Ver Figura 125 e Figura 126.

Nas depressões laterais: várzeas, baixios, lagoas marginais, lagos, canais, as larvas e alevinos encontram as condições para o seu desenvolvimento para num breve próximo período de cheias, geralmente no próximo ano hidrológico, quando jovens, alcaçam a calha principal e migrarem no mesmo sentido da correnteza da água acompanhando a movimentação de alimentos. Ver Figura 127.

Figura 125: Criatórios de Peixes Naturais, Meandros no Rio Juruá, Acre.

Figura 126: Criatórios de Peixes Naturais, Pantanal.

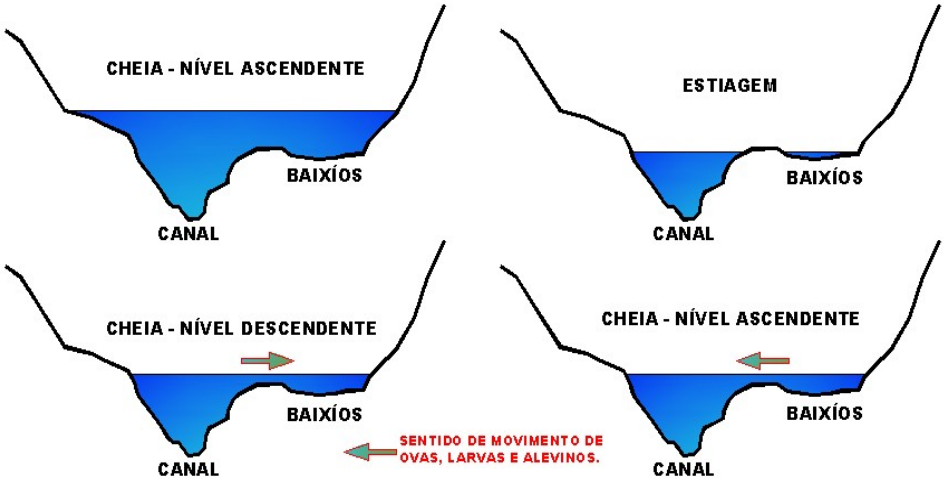


Figura 127: Sentido de deslocamento de ovas, larvas e alevinos na seção de um rio.

O processo migratório dos peixes envolve fatores de estímulos endógenos e exogêneos simultâneos que os caracterizam segundo as espécies, formas, preferências e ambientes.

A migração, devido à ausência de estímulos, pode não ocorrer durante períodos previstos, observando-a em anos subseqüentes, conforme ocorreu em 2003, nos STP´s tipo escada das UHE's Canoas I e II, no rio Paranapanema, São Paulo mas foi verificada nos STP's das UHE's Piraju e Santa Cruz, no mesmo curso de água, próximo ao barramento a montante.

Na Figura 128 e Figura 129, respectivamente, BONETTO (1981) ap. WELCOME (1985) e RIBEIRO (1983, 1983a) ap. WELLCOME (1985) apresentam a movimentação provável de peixes (*Colossoma, Brycon, Mylossoma, Triportheus, Leporinus, Schizodon, Rhytiodus, Prochilodus, Semaprochilodus, Anodus e Curimatos)*.

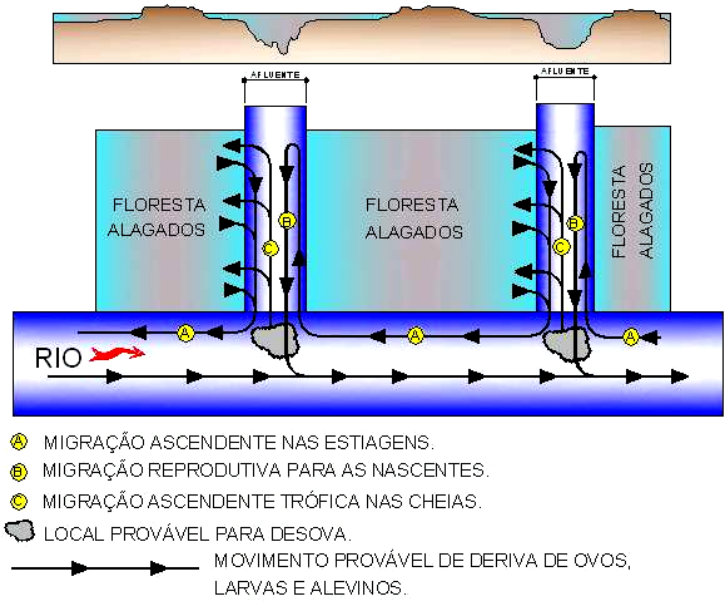


Figura 128: Migração continental provável.

Fonte: WELCOME, 1995.

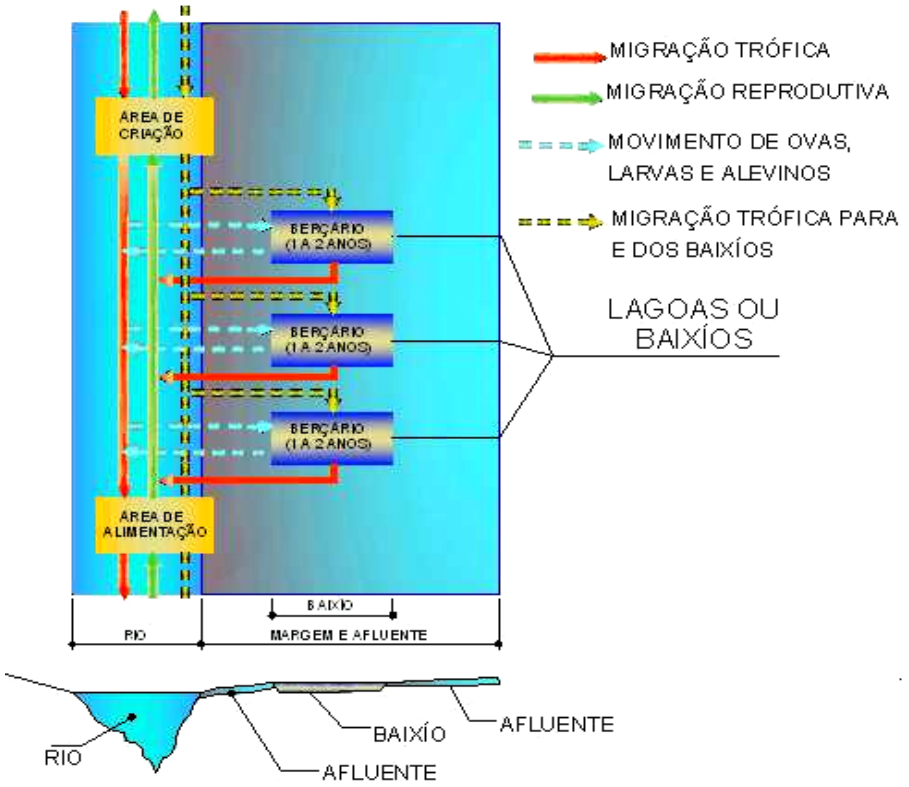


Figura 129: Deriva provável de ovas, larvas e alevinos.

Fonte: WELCOME, 1995.

"Inúmeras espécies de peixes de água doce realizam, ao longo do seu ciclo de vida, movimentos complexos conhecidos como migração. Na América do Sul, estas espécies são as mais importantes as pescas comercial e esportiva, compreendendo

principalmente Characiforme (dourados, curimbatás e piaus) e Suluriformes (surubins, mandis e jaús). Para as bacias dos rios Paraná e São Francisco, os movimentos migratórios podem ser descritos segundo os modelos apresentados por PETRERE (1985) e GODINHO & POMPEU (2004). Sazonalmente, os adultos migram dos sítios de alimentação para locais de reprodução, em processo conhecido popularmente no Brasil como piracema. Embora a piracema constitua o movimento migratório mais evidente, os deslocamentos dos peixes migradores ainda incluem o carreamento de ovos e larvas, rio abaixo, em direção às várzeas e lagoas marginais, o movimento de retorno dos adultos para os sítios de alimentação e movimentação de indivíduos jovens em direção ao rio ou a pequenos córregos". POMPEU, HORTA e MARTINEZ (2004). Ver Figura 130.

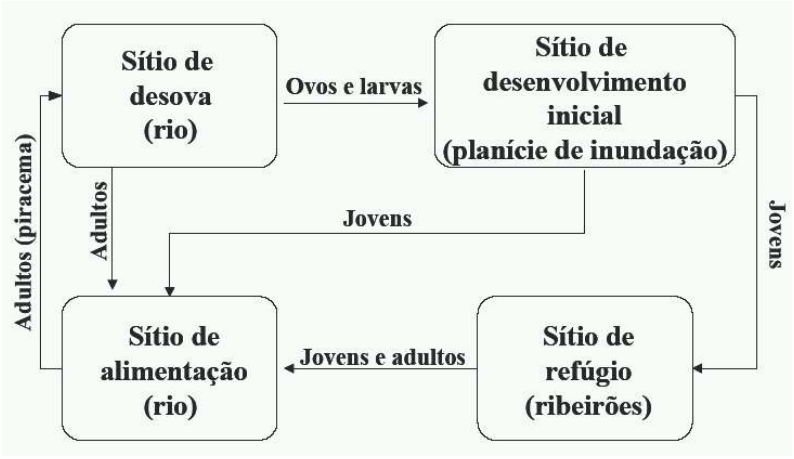


Figura 130: Migração de Peixes nas Bacias do Paraná e São Francisco.
Fonte: POMPEU, HORTA e MARTINEZ (2004).

"Em conclusão, o peixe reofílico em migração está continuamente em busca das condições ambientais necessárias para assegurar a reprodução e a posterior sobrevivência da prole. Seu "computador de bordo" vai analisando as informações enviadas pelos órgãos sensoriais ao longo da migração (nível e correnteza dos rios, substâncias específicas lixiviadas do solo e da floresta, temperatura, condutividade, etc.), até localizar uma região do rio em que a combinação de parâmetros a identifique como adequada à desova. Neste momento são ativados mecanismos hormonais de maturação final" (FERNANDEZ, 1999).

Em condições naturais, isto é, sem reservatórios, a taxa de sobrevivência dos migradores plenos (da reprodução até adulto reprodutivo) não deve ultrapassar a estimativa de 0,01% concebida para abastecer energeticamente o ecossistema na

relação presa e predador e por isso se justifica a estratégia reprodutiva de larga escala e sem proteção da prole. Tal taxa não seria semelhante às condições em ambientes modificados como os dos reservatórios, mesmo após a fatídica passagem de retorno pelas turbinas e vertedores; predação ou deposição de "ovas" em regiões anóxidas? Não se sabe.

Há passagens de peixes em todos os seus estágios no sentido trófico ou descendente, mas não se pôde quantificar e identificar as espécies, taxa de sobrevivência e origem da passagem devido aos equipamentos e métodos disponíveis de coleta e amostragem.

Na Tabela 53 apresenta-se as quantidades de ovas medidas por Rodolpho Theodor Wilhelm Gaspar Von IHERING (1942), considerado o primeiro cientista brasileiro especialista em peixes.

Tabela 53: Quantidade de ovas.

Espécie	Comprimento (cm)	Massa (g)	Quantidade de Ovas		
			Ovas	(Ovas/g)	Total
Dourado	86	9.000	900	1.281	1.152.900
Piracanjuba	69	4.000	490	1.142	568.000
Piapara		1.900	248	3.567	884.616
Piavuçu		1.435	218	3.500	759.500
Piava	38	885	138	2.996	413.448
Corimbatá		670	70,5	1.305	92.002
Peixe-cigarra	23	160	21,2	2.072	64.646
Solteira	29	318	44,5	1.856	82.592
Tabarana	33	280	23,1	2.356	54.423
Peixe-cachorro	25	145,6	15,7	1.939	30.442
Mandijuba	30	213	7,3	3.154	22.024
Mandizinho		11,7	1,15		4.056
Mandi-branco	11	8	0,725		4.102
Lambari	12	22,3	2,7	10.120	27.324
Canivete	11	11,8	0,9		3.064
Pacu		325	11	631	6.941
Tambiú		23	1,1		7.336
Sangüiru		49,3	1,7		7.040
Ferreirinha	15	37	2,9	1.608	4.663
Cascudo	12	20	0,75		118
Corimbá *	77,9				1.600.000
Dourado*	77,6				2.600.000
Corimbatá**	65				750.000
Dourado**	100				2.619.000

Fonte: * VAZZOLER, 1986; **WELCOMME, 1985.

A natureza não é ingrata, mas sim sábia com os peixes migradores nacionais, pois, apesar da aparente baixa taxa de sobrevivência em relação as suas ovas quando comparada com outros animais, por exemplo, a do salmão é 0,05%, é menor do que 0,01%, mas consiste no suficiente para equilibrar o meio aquático.

Tomando-se como exemplo um casal de peixes migradores (é necessário um casal, fêmea e macho, para desova simultânea de ovas e esperma para fertilização) de migradores da espécie dourado com portes médios, a desova e fertilização com mais de 1.000.000 de ovas (um milhão), não é incomum, o que resulta, com a taxa de estimada de 0,01%, em 100 adultos. Considerando-se, ainda, um cardume, que pode atingir quantidades surpreendentes, o resultado provável de adultos cresce em ordem geométrica (ver Figura 131).

Figura 131: Gônada de macho e ovas na fêmea, ovas de pacu, espermiação e desova.
Fonte: UPP, 2002; ITAIPU, 2004.

Em 1997, na UHE Itaipu, no mês de setembro, foram contados cardumes com peixes adultos com 8km de comprimento e uma largura entre 30 e 40m, pela margem esquerda que continham cerca de 1.000.000 (um milhão) de peixes. No rio de La Prata, Argentina, os cardumes de "Sábalos" (*Prochilodus Platensis*), uma espécie como um Corimbatá, podem conter 200.000.000 (duzentos milhões) de indivíduos (GODOY, 1998).

Existe a possibilidade de adaptação reprodutiva dos migradores às amplitudes reprodutivas menores ou aos "lares reprodutivos" modificados dos reservatórios? Não se sabe, mas a possibilidade de criadouros artificiais pode ser uma alternativa ecológica interessante.

É necessário o livre trânsito dos peixes nos dois sentidos de um curso d'água natural ou artificializado pelos barramentos, para isso:

- ✓ A instalação de dispositivos para a passagem ou retorno de animais em todas as suas fases: ovas, larvas, alevinos e adultos;
- ✓ A instalação de dispositivos para a passagem da migração ascendente;
- ✓ A preservação de ambientes de procriação e de desenvolvimento seja natural ou artificial.

7.1.2. Eficiência e Seletividade.

No caso de peixes neotropicais, devido à megabiodiversidade, a eficiência e a seletividade do STP deveria ser comparada com a condição natural, ou seja, sem a barragem, pois de outra forma pode-se estar interferindo ao se alterar a taxa de transposição de peixes (MARTINEZ, 2005). Assim os estudos de inventário e os monitoramentos antes dos empreendimentos são essenciais na determinação da eficiência e da seletividade.

Depreende-se que a eficiência e a seletividade não pode ser exportada ou importada de outros ecossistemas, caracterizando-as como particulares ao curso d'água e ao local determinado.

O padrão internacional de seletividade de um STP refere-se à quantidade de peixes-alvo fora e dentro ("out" e "in") da estrutura de passagem de peixes e, portanto relacionados com a atratividade da entrada.

Harza (1996) determina a eficiência para peixes migradores como sendo a taxa percentual entre peixes transferidos e os aptos à transferência, ou seja, a relação entre os peixes no início e final do STP.

A seletividade é importante quando se tratam de peixes-alvo, que podem ser os migradores neotropicais. A diversidade de peixes migradores são as maiores prejudicadas devido ao barramento do rio (NAKATANI, 2001).

Em países em que os peixes-alvo são os salmões, principalmente no Hemisfério Norte, um STP é eficiente quando transporta valores superiores a 75% mas não é eficaz em rios cascateados, pois, como exemplo, uma sucessão de cinco reservatórios consecutivos e, consequentemente, cinco STP's reproduzem eficiência final de apenas 24% (ODEH, 1999).

Devido à baixa eficiência dos STP's com os peixes-alvo dos salmonídeos, em rios cascateados, principalmente nos Estados Unidos da América, investe-se em criadouros artificiais, estações para desova e desenvolvimento de alevinos, tentando-se equilibrar quantitativamente a natureza (Ver Figura 132). Na UHE Itaipu, na década passada, foi realizada uma experiência com desova artificial sem nenhum resultado significativo devido à diversidade dos peixes neotropicais e outros motivos (Ver Figura 133). O Canal Jones Creek, num tributário do rio Fraser, Canal McNary e Canal Rocky Reach no rio Columbia, todas nos Estados Unidos da América e Robterson Creek, Vancouver, no Canadá, possuem essa estrutura auxiliar para a preservação ictíica (THEMAG, 1998).

Figura 132: Dosova Artificial para Salmonídeos (salmões) no Canadá.

Figura 133: Canal de Desova Experimental Artificial da UHE Itaipu.
Fonte: ITAIPU, 2004

7.1.3. Entrada do STP.

A entrada do STP é a principal estrutura do sistema responsável pela eficácia e desempenho na passagem ascendente de peixes.

Os peixes ascendentes são atraídos, principalmente, pelos gradientes de velocidade e pressão, além da oxigenação e freqüência do fluxo assim a entrada do STP deve ser, no caso das hidroelétricas, mais atrativa do que as saídas da Casa de Força e Vertedouro que são estruturas reconhecidamente atrativas e fonte de mortalidade de peixes (PAVLOV, 1989; QUIRÓS, 1988).

A literatura internacional e a experiências nacionais, indicam que a localização do eixo da estrutura de entrada deve formar um ângulo agudo, menor do que 45°, com o sentido e direção do fluxo proveniente da Barragem, gerando um "fluxo cruzado" ou turbulência capaz de atrair peixes (PAVLOV, 1989; HARZA, 1996). A literatura internacional relata o termo velocidade cruzada igual a 2m/s (0,8 a 2,0m/s - DVWK, 2002) que se supõe ser a uma parcela da soma vetorial das velocidades do fluxo do

rio e do STP, mas não há fundamento físico consistente para este pressuposto quanto à velocidade do fluxo na entrada.

Pavlov (1989) recomenda as velocidades atrativas, na entrada do STP, entre 60 a 80% da velocidade crítica da espécie-alvo e o ângulo de intersecção com fluxo preferencial do curso d'água inferior a 30°.

A experiência nacional frente a diversidade de nossos peixes indica, também que a entrada, ou melhor, o fundo do canal deve avançar no rio, formando uma aproximação preferencial aos peixes de couro ou placas ósseas, costumeiramente habitantes do fundo de rios (bentos), inclusive durante a migração. O uso de rampas tem melhorado a eficiência dos STP's, conforme Figura 134.

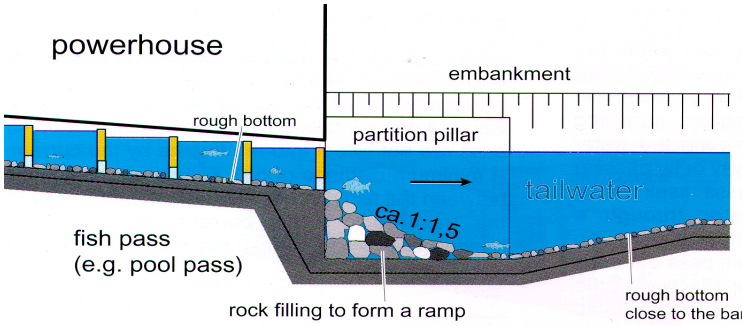


Figure 3.9:
Underwater rockfill ramp connecting the fish pass entrance with the river bottom

Figura 134: Rampa de acesso para a entrada.
Fonte: DVWK, 2002.

Em alguns casos, a suplementação da atratividade com a efluência de fluxos específicos complementares aos do STP podem ser indicados como forma de acréscimos na atratatividade e eficiência.

7.1.4. Declividade longitudinal do STP.

A declividade longitudinal do STP é o instrumento geométrico para vencer o desnível vertical da barragem, interligando os ambientes aquáticos de montante e jusante.

O valor dessa declividade interfere no custo STP, na capacidade motora do peixe e consequentemente na eficiência da estrutura.

Geometricamente a declividade determina, em função do desnível entre tanques e da lâmina de água sobre a soleira, o espaçamento entre as paredes transversais, de modo que:

$$\Delta x = \frac{1}{i} * \Delta y \qquad \textbf{61}$$

Onde: Δx é o espaçamento horizontal entre paredes transversais; i é a declividade longitudinal em m/m e Δy o desnível entre o nível de água ou geométrico entre os tanques.

No Brasil a declividade igual a 5% é encontrada em diversos empreendimentos de médio e grande porte e valores inferiores a 12% em empreendimentos menores, conforme ICOLD (2003), dependendo das espécies a serem transpostas.

No exterior há uma preferência pela declividade igual a 10%, principalmente no Japão.

A declividade longitudinal produz, indiretamente, o volume molhado responsável pela potência específica do escoamento nos tanques do STP de modo que quanto maior o valor da declividade ou quanto mais íngrime, menores são os espaçamentos, maior a quantidade de paredes transversais e maior, também, a potência implicando em maior dificuldade de ascensão para os peixes.

A potência do escoamento é um fator limitante ao movimento dos peixes no interior do escoamento, necessitando de tanques mais profundos para dissipar ou diminuí-la até valores aceitáveis aos peixes, ou seja: paredes transversais e canais mais altos.

7.1.5. Lâmina de água no interior do STP.

A lâmina de água média no interior do STP não deve ser inferior a 1m para permitir a passagem ou subida simultânea de peixes de couro ou placas ósseas e de escamas.

ICOLD (2003) recomenda que as lâminas d'água sejam suficientemente profundas para que os peixes possam se locomoverem saltando e tenham espaço para a sua impulsão. Para salmonídeos a lâmina d'agua não deve ser inferior a 1m e para os ciprinídeos, não inferior a 0,60m.

O uso de potências ótimas aos peixes neotropicais, com valores da ordem de 250W/m³, e usual em aproveitamentos nacionais (ver Tabela 31 e Tabela 32) para os peixes neotropicais, desde que fixada a vazão, produz profundidades médias

superiores a 1,5m nos tanques, independente do tipo de STP, em lâminas d'água vertentes de 0,30m e desnível geométrico de 0,40m.

As experiência laboratoriais ou experimentais com o STP tipo "Vertical Slot" demonstram que lâmina d'água inferiores a 2,0m, dependendo da abertura da ranhura, podem ser prejudiciais aos peixes, produzindo escoamentos de alta potência e macroturbulências (MARTINS, 2000).

7.1.6. Largura ou base do STP.

A base ou largura do STP deve ser concebida em função dos cardumes, da massa específica de peixe no tanque e da potência específica (HARZA, 1994; CLAY, 1995; JACSON, 1950; ICOLD, 2003).

O volume mínimo de água nos tanques por peixe (salmão), que indiretamente determina a base ou largura do STP, é 0,06m³ (60l) (CLAY, 1995). BELL (1994) sugere a taxa de volume por unidade de massa de peixe anádromos: 0,004m³/kg (4l/kg).

ICOLD (2003) recomenda o volume de água no tanque da ordem de 0,12m³ por quilograma de peixe e que piscinas (tanques) entre 1 e 3m de largura são suficientes para proporcionar zonas com correntes suaves e baixa turbulência.

CLAY (1995) recomenda as dimensões mínimas para os tanques: 2,4m x 3,0m x 1,2m, respectivamente largura ou base, comprimento e altura.

No caso brasileiro, até devido a megabiodiversidade de peixes, não estão disponíveis valores sobre os volumes dos cardumes, promevendo entre os projetistas de STP's a adoção de valores práticos utilizados com sucesso em rios de porte e ictiofauna semelhantes.

Em cursos d'água com vazões menos significativas (rios abaixo da segunda ordem) e, principalmente, com um rol de peixes-alvo também menos expressivos, em pequenos aproveitamentos, fez-se usual no Brasil a dimensão de 3m de base. Para rios de primeira e segunda ordem, onde a ictiofauna justifique, a dimensão da base é igual ou superior a 5m (ver Tabela 31 e Tabela 32).

As dimensões do tanque, inclusive a base, devem atender a um volume de fluido capaz de gerar valores da ordem de 250W/m³ de potência específica do fluxo (máximo de 350W/m³), conforme valores obtidos neste trabalho e usuais em STP's nacionais (ver Tabela 31 e Tabela 32).

7.1.7. Vazão.

A vazão escoada pelo STP é função da geometria e capacidade de transporte de peixes.

Independente do tipo de STP ou paredes transversais, as leis de descarga são funções do desnível entre os níveis de água nos tanques.

A determinação do valor efetivo da vazão depende de coeficientes experimentais que derivam da geometria e do desnível entre tanques. No caso de paredes transversais ou soleiras atípicas ou com mais de uma geometria, a determinação da vazão efetiva é empírica.

Há estudos internacionais de STP's para produzir expressões adimensionais para a determinação de vazões, mas que sempre dependem da verosemelhança entre protótipo e modelo e, quase sempre, para um padrão de extravasor único nas paredes transversais.

Neste trabalho determinaram-se esses coeficientes experimentais em função da vazão efetiva do modelo, para os tipos mais difundidos no mundo e prováveis adaptáveis a nossa ictiofauna: soleiras e orifícios e "vertical slot", mas dependentes da similitude.

Nas barragens para abastecimento ou geração energética, principalmente a última, a água possui um valor agregado ao seu uso, motivo pelo qual a vazão "cedida" ou "transferida" ao Sistema de Transposição de Peixes gera tantas opiniões e gestos na maioria das vezes injustificados sob está ótica, notadamente pelos investidores e empreendedores. A vazão só é "cedida" em aproveitamentos existentes que instalem um STP, daí então se pode, ainda que tecnicamente incorreto, considerar perdas na geração ou no abastecimento. Não há barragem brasileira, para qualquer finalidade ou uso, que tenha instalado um STP após a sua licença de operação ou inauguração, ponderando o raciocínio, a justificativa e o termo como inadequado e impróprio. Há

experiências realizadas na UFMG-CPHRH no UHE Santa Clara, rio Mucuri, para a recuperação das águas transpostas pelo STP (VIVIANE et al., 2004).

As vazões passadas nos STP's, nas barragens médias e altas, dependendo das dimensões dos cardumes e peixes e consequentemente da concepção da passagem, podem variar entre 2 e 4m³/s, que apesar do custo agregado, principalmente nas hidroelétricas, quando concebida nas instâncias iniciais de projeto (Viabilidade, Básico-Executivo), são residuais com benefícios sociais, culturais, e ambientais de maior envergadura, com eco nas mídias identificando a empresa com a proteção e o compromisso ambiental desonerando, assim, o seu passivo ambiental e valorizando o empreendimento.

As vazões passadas no STP em pequenas barragens podem alcançar valores de 1,5m³/s ou em sua maioria valores inferiores a 1m³/s devido à ictiofauna menos diversa e/ou quantitativamente e qualitativamente menor, em rios menos caudulentos (ICOLD, 2003). Esses valores são expressivos aos pequenos aproveitamentos destinados principalmente a geração energética, constituindo-se nas Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCH.

As PCH's, via de regra, são projetadas com um arranjo tipo "ferradura" ou "canal de adução lateral", ou seja, com Casa de Força (Sistema Gerador de Energia) desincorporada e afastada da Barragem, Extravasores e Reservatório (Sistema de Armazenamento e Extravasor), mas interligadas via um túnel sob pressão para aproveitar o desnível. Nesses "layouts" há um trecho de rio, entre o Reservatório e a Geração, a jusante da Barragem, com comprimento superior, geralmente, aos quilômetros, que precisa ser preservado onde um valor de vazão deve ser mantido para perpetuação das comunidades desse ecossistema, conforme Figura 136. Essa vazão possui várias denominações, entre elas: mínima, saneamento, ecológica ou ambiental.

Figura 135: PCH Gavião Peixoto, Rio Jacaré-Guaçu, São Paulo - Arranjo com Geração Isolada.
Fonte: CPFL.

Há uma tendência dos órgãos licenciadores estaduais em adotarem o valor da vazão ambiental como sendo a $Q_{7,10}$ que corresponde a mínima média diária consecutiva de sete dias, do período de estiagem, com recorrência de 10 anos (período de retorno ou risco). Essa vazão é muito variável, pode atingir valores de até 30% da vazão média de longo termo em médias e grandes bacias mas pode superar os 40% em pequenas bacias.

A ANEEL recomendava a adoção da vazão ambiental como sendo 80% da vazão mínima média mensal, mas esta em desuso pois representava, para rios de médio e grande porte, valores de grande magnitude incompassíveis com a necessidade e a realidade. A Secretaria do Meio Ambiente do Paraná, SEMA-PR, têm sugerido a vazão de saneamento como sendo 50% da $Q_{7,10}$.

Depreende-se que a vazão ambiental, no cenário nacional, não pode, até o momento, seguir um padrão, devendo ser analisada caso a caso.

Na França estabeleceu, em 1982, a vazão ambiental como sendo $0,1*Q_{média}$ para valores de vazão menores do que $80m^3/s$ e $0,05*Q_{média}$ para valores maiores do que $80m^3/s$ (ICOLD 2003).

Em outros países Europeus, o critério baseia-se na vazão média anual (Portugal: $0,1*Q_{média}$) ou na bacia hidrográfica (Itália: $2l/s/km^2$) ou ainda na vazão de estiagem (Grécia: vazão média de cheia) (ICOLD, 2003).

Seja qual for o critério ou método hidrológico para a determinação da vazão ambiental ou de saneamento ou ecológica, não há o menor fundamento científico e biológico. A determinação dessa vazão deve atender a critérios bio-hidráulicos (MARTINEZ, 2005).

Nas PCH's a passagem da vazão ambiental através do STP pode ser um medida adequada para a mitigação dos impactos a jusante devido à barragem, desonerando os custos e com os benefícios dos barramentos médios e altos retromencionados, visto que é obrigatória pela legislação vigente e exigida pelos órgãos licenciadores para não "secar" o trecho a jusante (Ver Figura 136).

É ecologicamente correto incorporar os STP aos estudos de barragens, mas otimizá-las na viabilidade técnica e econômica através da omissão ou a depreciação deste instrumento mitigador de impactos é pura ausência de compromisso ambiental que lesa e gera ônus futuro à sociedade.

Um aproveitamento que não é viável devido a uma estrutura de STP é tecnicamente frágil e inconsistente por si só e não necessitando de argumentos insustentáveis que só podem encontrar eco em licenciamentos cujos examinadores estejam mau orientados ou com interpretações tendênciosas, visto que em alguns estados a legislação obriga a implantação de passagens para peixes.

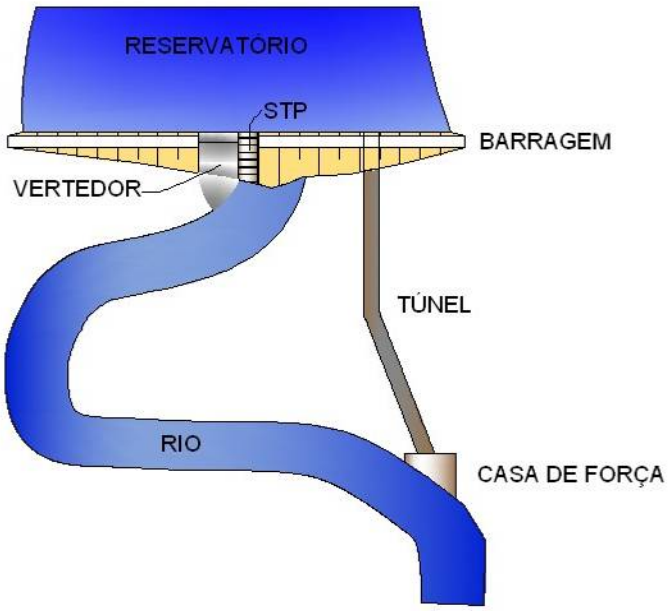


Figura 136: STP em PCH.

7.1.8. Paredes Transversais.

As paredes transversais ou defletoras ou simplesmente soleiras são elementos fundamentais para a eficiência do STP cujas concepções são hidráulicas para dissipar a energia e controlar as velocidades e o comportamento do fluxo de modo a atender a necessidade dos peixes sem causar intransponibilidade ou fadiga excessiva.

As dimensões e disposição das ranhuras, aberturas, orifícios e soleiras nas paredes transversais determinam as condições hidráulicas do sistema que devem atender ao tamanho, preferência e performance dos peixes.

As soleiras superficiais são adequadas para oxigenar o escoamento e permitir a passagem de peixes que saltem para se locomover como as branquinhas, dourados, curimbatás, piaparas, piaus, mandis, voadores, corvinas, lambaris e outros peixes de escamas.

As aberturas, ranhuras ou orifícios são adequados a todos os peixes, mas em especial aos de couro ou placas ósseas com menor habilidade natatória e preferência pelo fundo e inabilidade para saltar como os pintados, cacharras, cascudos, armaus, jurupocas, piarararas, jaús, que são, indiscutivelmente, os de maior porte no cenário nacional.

De uma maneira generalista e sujeita a identidade dos cardumes e espécies locais pode recomendar:

- ✓ Para rios pequenos:
    - Paredes transversais com soleira e orifício com disposição alternada ou em forma de labirinto, sendo a soleira contínua formando uma lâmina de 0,30m e o orifício com as dimensões mínimas de 0,5 x 0,4m, respectivamente base e altura;
    - Paredes transversais tipo “Vertical Slot” com ranhura ou abertura de 0,30m.
- ✓ Para rios médios e grandes:
    - Paredes transversais com soleiras e orifícios com disposição alternada ou em forma de labirinto, sendo a soleiras menor e maior formando uma lâmina contínua com 0,30m de altura e os orifícios com as dimensões de 0,8 x 0,8m, respectivamente base e altura;

- Paredes transversais tipo "Vertical Slot" com ranhura ou abertura de 0,50m.

As paredes transversais tipo "Vertical Slot" não são tradicionais no país sendo objeto de um empreendimento concebido através de assessoria americana: UHE Igarapava, no rio Grande, Minas Gerais, apesar de bem difundida no exterior para salmonídeos.

7.1.9. Potência Específica do Escoamento.

A potência específica do escoamento nos tanques do STP, configura-se como um dos parâmetros relacionados com a eficiência do fluxo genético.

A dificuldade de passagem dos peixes nos STP's pode ser expressa pela potência do fluxo no interior do tanque (BELL 1990; LARINIER 1990, 1999a, 1999b, 2000; OSBORN 1987, 1985a, 1985b, 1985c, 1985d; PASCHE 1995a; BEACH 1984; THEMAG 2004; MARTINS 2000, 2003), conforme a expressão:

$$Pes = \frac{\rho_{H2O} * g * Q * \Delta y}{\forall} = \frac{\gamma_{H2O} * Q * \Delta y}{\forall} \quad \textbf{62}$$

Onde: Pes = potência por unidade de volume molhado (W/m³); Q = vazão (m³/s), Δy = desnível entre os níveis a montante e a jusante da parede; ρ_{H2O} = massa específica do fluido a uma dada temperatura (kg/m³); $\gamma_{H2O} = \rho_{H2O} * g$ = peso específico do fluido numa dada temperatura (N/m³); g = aceleração da gravidade local (m/s²); e ∀ = volume médio do fluido no tanque (m³).

A potência específica é função principal da queda da lâmina da água, Δy, onde a literatura recomenda o valor de 0,30m (1 ft) que facilita a migração (OSBORN, 1985c; KATOPODIS, 1992) e da capacidade volumétrica do tanque, ∀.

Hipoteticamente, a potência motora de avanço do peixe para desenvolver a velocidade de cruzeiro ou de sustentação deve ser maior do que a do escoamento nos tanques que se opõe ao peixe, de modo a não causar intransponibilidade ou fadiga excessiva.

A potência específica do escoamento máxima admitida internacionalmente para a passagem de salmonídeos é de 200W/m³ e de 150W/m³ para as demais espécies dos ecossistemas do Hemisfério Norte (BELL 1990; LARINIER 1990, 1999a, 1999b,

2000; OSBORN 1987, 1985a, 1985b, 1985c, 1985d; PASCHE 1995a; BEACH 1984; THEMAG 2004; MARTINS 2000, 2003).

Os estudos teóricos desenvolvidos neste trabalho e a experiência nacional, (UHE Porto Primavera, UHE Lajeado, AHE Peixe-Angical, UHE Canoas I e Canoas II, PCH Piraju, PCH Ourinhos, PCH Gavião Peixoto) permitem admitir a potência específica do escoamento igual à 250W/m³ (máxima de 350W/m³) (ver Tabela 31 e Tabela 32).

Da análise do equacionamento da expressão da potência específica observa-se que o seu resultado é função, basicamente, do volume de fluido do tanque, visto que os desníveis são determinados em função da declividade e da lâmina d'água vertente.

7.1.10. Desnível entre Tanques.

O desnível entre os tanques de um STP determina, basicamente entre outros fatores, a vazão, potência especifica do escoamento e as velocidades do fluxo que devem ser superadas pelos peixes.

Teoricamente quanto maior o desnível, maiores as velocidades do fluxo e consequentemente maior a seletividade e a incapacidade de transposição.

Há alturas com desníveis característicos no exterior segundo os cardumes aptos a transposição, conforme Tabela 54 (ICOLD, 2003; OSBORNE, 1985b, 1985c).

Tabela 54: Altura dos desníveis internacionais.

Desnível (m)	Espécie Alvo
0,10	Capacidade natatória baixa
0,15	Carnívoras (Alosa)
0,30	Truta Continental, Barbo
0,45	Truta marítima
0,60	Grandes Salmonídeos

A experiência nacional recente sobre STP's (UHE Porto Primavera, UHE Lajeado, AHE Peixe-Angical, UHE Canoas I e Canoas II, PCH Piraju, PCH Ourinhos, PCH Gavião Peixoto), frente à megabiodiversidade neotropical distinta de outros continentes, recomenda o desnível máximo igual a 0,40m (0,30m de lâmina d'água sobre a soleira e 0,10m de folga entre as soleiras na direção longitudinal), que não deve produzir velocidades médias do escoamento superiores a 3m/s, compatível com a da maioria das espécies locais. Nas UHE's Porto Primavera, rio Paraná, e Lajeado,

rio Tocantins, foram realizados testes de protótipo para encontrar a condição ótima de operação do STP, onde foram variadas as alturas das lâminas d'água sobre as soleiras e medidas as velocidades nos tanques, entre outras características hidráulicas.

7.1.11. Tanques para Descanso.

Para que os peixes possam se recuperar durante a sua transposição são previstos os tanques para descanso.

Na Alemanha, os tanques para descanso não podem exceder a 50W/m³ em intervalos de desnível vertical de 2,0m entre tanques. Para STP tipo Denil os intervalos podem ser de 10m de desnível para salmonídeos e 6 a 8m para ciprinídeos (DVWK, 1995). ICOLD, 2003, recomenda um tanque a cada 6 ou 8m de desnível para as trutas e 10 a 12m para salmonídeos, sendo que a velocidade média não ultrapasse 0,3m/s.

Teoricamente a quantidade de tanques para descanso depende das espécies locais.

A experiência nacional recente sobre STP's (UHE Porto Primavera, UHE Lajeado, AHE Peixe-Angical, UHE Canoas I e Canoas II, PCH Piraju, PCH Ourinhos, PCH Gavião Peixoto), frente à megabiodiversidade neotropical distinta de outros continentes, recomenda que os tanques para descanso sejam instalados nas mudanças de direção do fluxo no interior do STP e a cada 8m ou 10m de desnível vertical, conforme experiência nacional, ver Tabela 31 e Tabela 32, preferencialmente com a declividade longitudinal do fundo do tanque nula, com dimensões tais que a potência específica do escoamento não ultrapasse 100W/m³ (valor de 50W/m³ é ótimo).

7.1.12. Velocidades do Fluxo.

Não há consenso internacional sobre as velocidades máximas do fluxo, pois estas dependem da capacidade natatória dos peixes que são diversos e dependem, principalmente, nos neotropicais, dos animais-alvo.

As velocidades médias diferem das pontuais efetivas ou instantâneas, pois podem ser significativamente menores. As velocidades médias refletem a potência do escoamento sobre as quais os peixes precisam se "motorizarem" para avançarem.

A potência motora dos peixes depende da quantidade de músculos aeróbicos e anaeróbicos das espécies locais os quais são função, entre outros fatores, diretamente proporcionais ao tamanho e massa e função da temperatura da água e hábito dos animais.

O porte dos nossos peixes, principalmente dos migradores, e a temperatura da água são superiores aos das espécies do Hemisfério Norte ou regiões frias e temperadas objetos da Tabela 24, assim admitir as velocidades médias do fluxo até 3,5m/s, de acordo com ICOLD (2003), não devem ser impeditivos ao avanço de peixes no interior dos STP's, conforme demonstram as passagens existentes nas UHE's Sérgio Motta – Porto Primavera no rio Paraná e Lajeado no rio Tocantins e as velocidades do fluxo vencidas pelos nossos peixes e observadas por GODOY (1985).

7.1.13. Níveis de Água de Jusante.

No projeto do STP a faixa de operação é definida em função da variação de níveis de água de jusante.

O nível de água mínimo de jusante determina a cota da primeira parede transversal ou soleira na entrada do STP.

O nível máximo de jusante determina o limite de operação do STP.

Os critérios adotados para a adoção do nível mínimo interferem na eficiência e operação do STP, como ocorrem em diversas estruturas nacionais.

A permanência das vazões de 95% no ano hidrológico (5% de superação), visto que o STP opera o ano inteiro, independente da piracema, fornece o nível de jusante com uma expectativa de falha aceitável.

7.1.14. Níveis de Água no Reservatório.

É prática nacional e internacional conceber o STP para operar em toda a faixa de deplecionamento do reservatório, entre o mínimo e máximo operacional, de modo que não se configurem em restrições na operação do STP.

Quando o não há deplecionamento, isto é, o reservatório opera com um nível constante ou "a fio d'água", a saída do STP precisa apenas de estrutura corta e veda

fluxo para possibilitar a limpeza e manutenção da estrutura de passagem. Em barragens com médias e altas alturas podem ser necessários ”stop-logs”.

Quando há o deplecionamento faz-se necessário uma estrutura para controle de níveis de água, de modo a oferecer uma lâmina de água constante no canal do STP concebida para um determinado desnível geométrico e declividade longitudinal entre tanques (ver Figura 140).

Nos deplecionamentos superiores a 2,0m (cinco controles com desnível de 0,40m) a alternativa de saídas múltipla seletiva é atraente evitando sucessivas cascatas com desnível operativo do STP.

7.1.15. Saída e Estrutura de controle de níveis.

A altura da lâmina de água e o desnível entre tanques no STP devem ser constantes para assegurar a transponibilidade aos peixes locais.

A saída, principalmente em hidroelétricas, deve se localizar convenientemente afastada dos fluxos das tomadas d’água e sistema extravasor, para evitar o risco de retorno ictíico involuntário, expondo-os a um risco de mortalidade desnecessário.

Preferencialmente a localização da saída deve estar na mesma margem dos criadouros naturais potenciais no reservatório ou afluentes para se evitar o percurso de cruzamento de cardumes para a outra margem minorando-se a depredação e a passagem por áreas com capacidade anóxida.

Quando a saída e o criadouro ocuparem lados ou margens iguais, possibilitá-se, também, a passagem de peixes em todas as suas fases, pelo sistema de transposição ascendente.

Nas barragens pequenas com reservatório com nível constante ou “a fio de água” ou ainda sem deplecionamentos, como na maioria das PCH’s, uma comporta e um orifício reguláveis juntamente com um conjunto de “stop-logs” para permitir o fechamento do STP para manutenção e limpeza, são as estruturas mecânicas mínimas para o controle de níveis na saída.

Nas barragens médias e grandes onde os deplecionamentos nos níveis dos reservatórios são permissíveis e comuns, assim um sistema de comportas e orifícios

são determinantes para manter a lâmina de água homogênea nos tanques. As quantidades de comportas devem ser múltiplas dos desníveis entre tanques, ou seja, 0,40m de modo a se obter quedas sucessivas no nível de água até a altura da lâmina de água ideal antes da última parede que é a soma da altura da parede transversal e a lâmina de água sobre a soleira igual a 0,30m (Ver Figura 140).

Para os grandes deplecionamentos, maiores do que 2,0m, as saídas diversas ou seletivas em função do nível de água, configuram-se como uma alternativa para se evitar estruturas longas de controle (Ver Figura 137 e Figura 138).

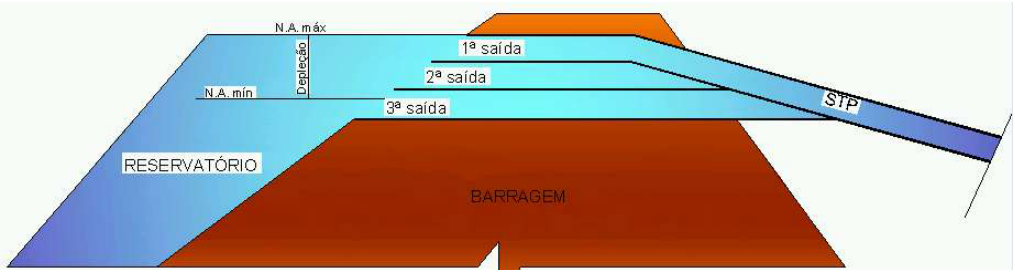


Figura 137: Corte com o Esquema de Saídas Seletivas em STP.

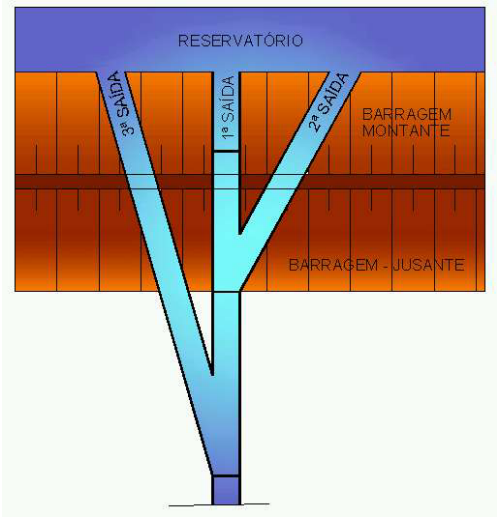


Figura 138: Planta com o Esquema de Saídas Seletivas em STP.

Parte significativa dos reservatórios transporta quantidades de macrófitas indesejáveis que comprometem os sistemas extravasor, gerador e de transposição de peixes (ver Figura 139). As grades no sistema gerador com viga pescadora apresentam-se como uma alternativa mitigadora, mas para os sistemas extravasor e de transposição, as bóias com telas submersas com manutenção e limpezas constantes são indicadas para evitar o acesso de resíduos flutuantes e macrófitas.

Figura 139: Reservatório do AHE Lajeado, rio Tocantins com macrófitas na saída do STP.

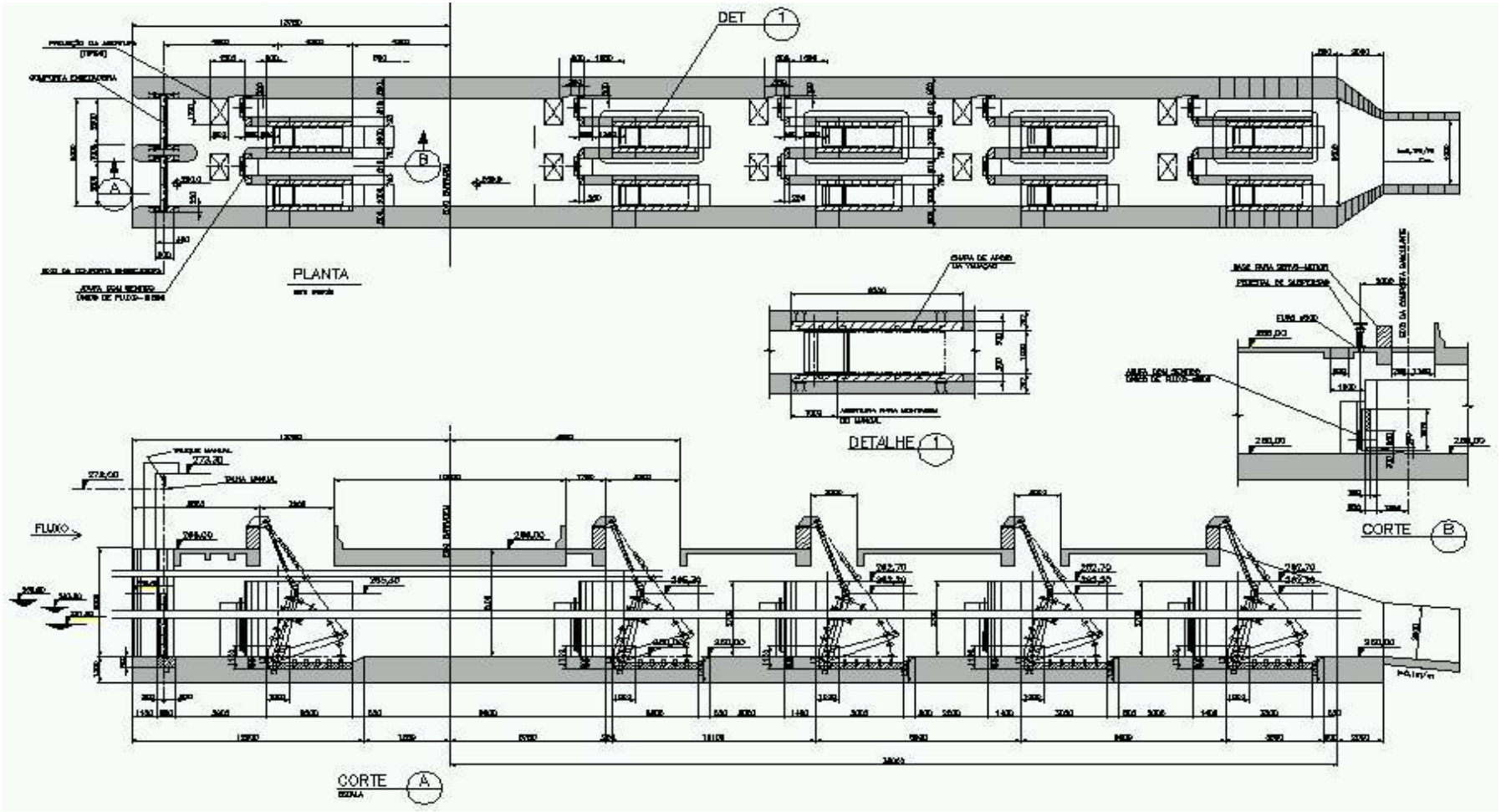


Figura 140: Estrutura de controle de níveis d'água para depleção de 2m.

Fonte: THEMAG, 2004.

7.1.16. Proteção.

O interior dos STP's devem causar o menor dano aos peixes, portanto é indispensável que os contornos sejam arrendondados, sem rebarbas ou aparas agudas, cantos vivos. A experiência nacional, conforme STP's nas UHE's Porto Primavera, Lajeado, Peixe-Angical, Canoas I e II, grades com telas de proteção para impedir o acesso de pedradores e o salto de peixes para fora dos tanques (ver Figura 141).

Figura 141: Proteção no STP.

Fonte: Porto Primavera, Peixe- Angical.

As paredes laterais do canal do STP, não precisam, como foram simuladas, serem de concreto liso, podendo-se, caso seja possível, deixá-las em rocha com acabamento para evitar "pontas", conforme já utilizado no AHE Lajeado no rio Tocantins, Estado de Goiás, aproximando-se a sua textura dos leitos naturais.

O acesso de pescadores aos STP's, apesar de já proibido nas adjacências do empreendimento, deve ser coibido.

7.1.17. Monitoramento e Educação Ambiental.

Os STP's recentes, sob jurisdição da legislação ambiental, são monitorados de onde algumas sutilezas construtivas são recomendadas para facilitar o trato ictíico e

possibilitar visitas educacionais cujos dividendos promocionais ao empreendedor são inevitáveis.

Os visores na entrada, tanques de descanso e saída do STP, conforme Figura 142, permitem o monitoramento adequado.

Figura 142: Visores para monitoramento e visita.
Fonte: Lajeado.

Iluminação para visita e monitoramento noturno, bem como acessos e plataformas de passagem superiores para observação, coleta e operação, principalmente nos tanques de descanso, são concebidas nos aproveitamentos recentes.

Figura 143: Passarelas e iluminação para monitoramento e visita.
Fonte: Lajeado.

7.1.18. Reservatório.

Estudos realizados com a marcação de peixes no reservatório de Itaipu, rio Paraná sugerem que a orientação dos peixes não é afetada pelo corpo líquido e não se constitui em limitação aos esforços de transposição de peixes a montante, conforme AGOSTINHO (2001).

Há muita polêmica sobre a passagem de peixes em todas as suas fases de desenvolvimento através da massa líquida dos reservatórios mas ainda num nível de discussão incipiente baseado em impressões pessoais ou em casos e observações que não podem ser generalizadas.

É preciso um conhecimento menos emotivo e mais científico sobre o meio aquático dos reservatórios para dele cuidar e constituí-lo no meio propício aos peixes.

A resolução CONAMA 20 (1986) é baseada em padrões internacionais da OMS (1986) e, portanto para as condicionantes dos peixes do Hemisfério Norte, conforme, respectivamente, Tabela 55 e Tabela 56.

A resolução CONAMA 20 (1986) estabelece o teor de oxigênio dissolvido na água para manutenção da vida aquática como sendo 5mg/l, mas no Hemisfério Sul, no Brasil, ambientes aquáticos semilênticos poluídos como no canal Tietê, no trecho urbano da capital paulista, sustenta peixes bentônicos em locais praticamente anôxidos (ISTOÉ, 2002) ou outro extremo do país, nos igapós amazônicos onde a privilegiada diversidade de peixes é mantida com um teor de oxigênio de 2mg/l (DAMATO, 2005).

É provável que em regiões de águas frias, como no Hemisfério Norte, a taxa de oxigênio dissolvido para manutenção da vida aquática seja maior que a necessária em águas quentes, como no Hemisfério Sul, notadamente na região neotropical, ou seja, é preciso reavaliar os valores-padrão.

Tabela 55: Padrão das Características de Qualidade da Água.

Parâmetro	Padrão	Unidade
Oxigênio dissolvido	5	mg/l
pH	6 a 9	-
Nitrato	10.000	µg/l
Nitrito	1.000	µg/l
Amônia	500	µg/l
Fósforo total	25	µg/l

Fonte: CONAMA 20 (1986).

Tabela 56: Valores de Oxigênio Dissolvido em Cursos D'água.

Peixe	Temperatura (°C)	Oxigênio Dissolvido (mg/l)			
		Estágio	ideal	moderado	fatal
Água Fria	<20	embrionária	>11	8	<8
		adulta	>8	5	<3
Água Quente	>20	embrionária	>6,5	5	<4
		adulta	>8	4	<3

Fonte: OMS, 1986.

Todo ecossistema lacustre estável, seja natural ou artificial, apresenta-se bastante fragmentado dos pontos de vista estrutural e funcional. São definidos quatro compartimentos distintos, conforme Figura 144 (ESTEVES, 1988 apud PIMENTEL, 2004).

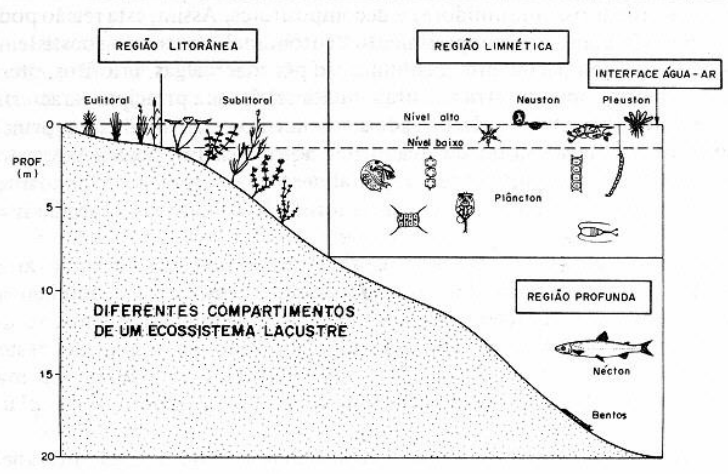


Figura 144: Compartimentos de um Ecossistema Lacustre.
Fonte: ESTEVES, 1988

"A região litorânea, é a transição entre os ecossitemas lacustre e terrestre, apresenta diversos nichos ecológicos, alta diversidade de espécies vegetais e animais e, conseqüentemente, elevado número de cadeias alimentares. A região pelágica, eufótica ou limnética é a região interior e superficial do corpo d'água e apresenta populações de algas (fitoplâncton), animais invertebrados (zooplâncton) e peixes (nécton). A região profunda dos corpos d'água não permite o crescimento de vegetais superiores (macrófitas aquáticas) e nem de algas, na maioria dos casos. A comunidade local, chamada bentos, é constituída por animais invertebrados e bactérias. Por fim, a interface ar-água apresenta grupos de pequenos animais e plantas, denominados nêustons.

Os quatros compartimentos do corpo d'água interagem continuamente, através de trocas de energia e matéria. A luz solar é absorvida pelos vegetais e transformada, com os gases carbônicos e nutrientes (fosfato, nitrato, silicato, etc.), em energia química (carboidratos, lipídios e proteínas). Esse processo é denominado "produção primária", sendo que os maiores produtores são as algas, as macrófitas aquáticas e algumas espécies de bactérias. Uma parte da produção total desses organismos é gasta na manutenção do seu próprio metabolismo e a outra parte é transformada em

biomassa (produção primária líquida), que constitui a fonte de energia para as cadeias alimentares de todo o ecossistema lacustre.

Os consumidores são os organismos que obtém energia direta ou indiretamente da matéria orgânica sintetizada pelos produtores primários. Os que se utilizam diretamente da biomassa vegetal são os herbívoros (consumidores primários ou de primeira ordem), que incluem várias espécies de zooplâncton, peixes e insetos aquáticos. Os que obtêm sua energia a partir dos consumidores primários, como várias espécies de microcrustáceos e peixes, são chamados de carnívoros (consumidores secundários ou de segunda ordem) e assim sucessivamente.

Os organismos detrívoros alimentam-se dos restos de plantas e animais e participam da cadeia de detritos, localizam-se nos sedimentos e formam a comunidade bentônica. Os decompositores são as bactérias e fungos que decompõem a matéria orgânica, sais minerais, água e gás carbônico, promovendo a circulação de nutrientes e possibilitando seu reaproveitamento pelos organismos produtores. Portanto, são responsáveis pela reciclagem de nutrientes.

"Os organismos produtores e os consumidores localizam-se na zona eufótica ou iluminada do corpo d'água, os detrívoros e os decompositores predominam na zona afótica ou não iluminada." (PIMENTEL, 2004).

Como se depreende os peixes é parte constituinte importante do ecossistema aquático dos reservatórios, independente da sua identidade migratória ou preferências, sem os quais o empobrecimento e a degeneração são perspectivas prováveis.

Na Tabela 57 consta as principais diferenças entre lagos naturais e reservatórios artificiais.

Tabela 57: Comparação das Características de Lagos e Reservatórios

Diferenças Qualitativas (absolutas)		
Característica	Lagos	*Reservatórios*
Natureza	Natural	*Artificial*
Idade geológica	Velho (>= pleistoceno)	*Jovem (<50 anos)*
Envelhecimento	Lento	*Rápido*
Formado pelo preenchimento	Depressões	*Vales dos rios*
Forma	Regular	*Dendrítica*
Perímetro	Baixo	*Alto*
Profundidade máxima	Próxima ao centro	*Na extremidade/Barragem*
Sedimentos do fundo	Autóctone	*Alóctone*
Gradiente longitudinal	Causado por ventos	*Causado pelo escoamento*
Profundidade da saída	Superficial	*Profunda*
Diferenças Quantitativas (relativas)		
Característica	Lagos	*Reservatórios*
Bacia/Área do lago	Pequena	*Grande*
Tempo de residência	Alto	*Baixo*
Integração com a bacia	Menor	*Maior*
Morfometria	Forma de "V"	*Forma de "U"*
Flutuação dos níveis d'água	Pequena	*Grande*
Hidrodinâmica	Mais regular	*Altamente variável*
Causas dos pulsos	Naturais	*Operação humana*
Suprimento de água	*Raro*	*Comum*

Fonte: STRASKRABA (1993).

7.1.18.1. Eutrofização.

O processo de eutrofização de lagos e reservatórios é natural e significa o enriquecimento das águas com os nutrientes necessários ao crescimento da vida vegetal aquática (BRAGA et al., 2002 apud PIMENTEL, 2004). É um processo de maturação de um ecossistema lacustre, que tende a se transformar num ecossistema terrestre, utilizando a interação do corpo d'água com o meio terrestre que o circunda.

"Milhares de anos podem ser necessários para que um corpo d'água apresente as condições ideais para a proliferação de peixes e ostente plantas aquáticas superiores, como as que flutuam na superfície. Quando isso ocorre, diz-se que o corpo d'água passou de oligotrófico para eutrófico. Em condições naturais ou quando controlada, a eutrofização é desejável, pois permite a multiplicação das algas que servem de alimento para os microcrustáceos, que, por sua vez, alimentam as larvas da maioria dos peixes. É um processo reproduzido artificialmente desde o século XIX na Europa, em tanques e lagoas de piscicultura, para aumentar a produtividade de trutas e outros peixes." (PIMENTEL, 2004).

Quando a eutrofização é intensa, no entanto, com abundância de nutrientes, em especial o fósforo, a produção biológica do corpo d'água aumenta descontroladamente, resultando na proliferação de algas e outros vegetais aquáticos superiores, especialmente os flutuantes, como a alface d'água e o aguapé. De acordo com a produtividade biológica pode-se ter um reservatório oligotrófico, eutrófico ou mesotrófico, conforme descrito a seguir e resumido na Figura 145:

- ✓ oligotróficos: corpo d'água com baixa produtividade biológica e baixa concentração de nutrientes;
- ✓ eutróficos: corpo d'água com produção vegetal excessiva e alta concentração de nutrientes;
- ✓ mesotróficos: corpo d'água com características intermediárias entre oligotróficos e eutróficos.

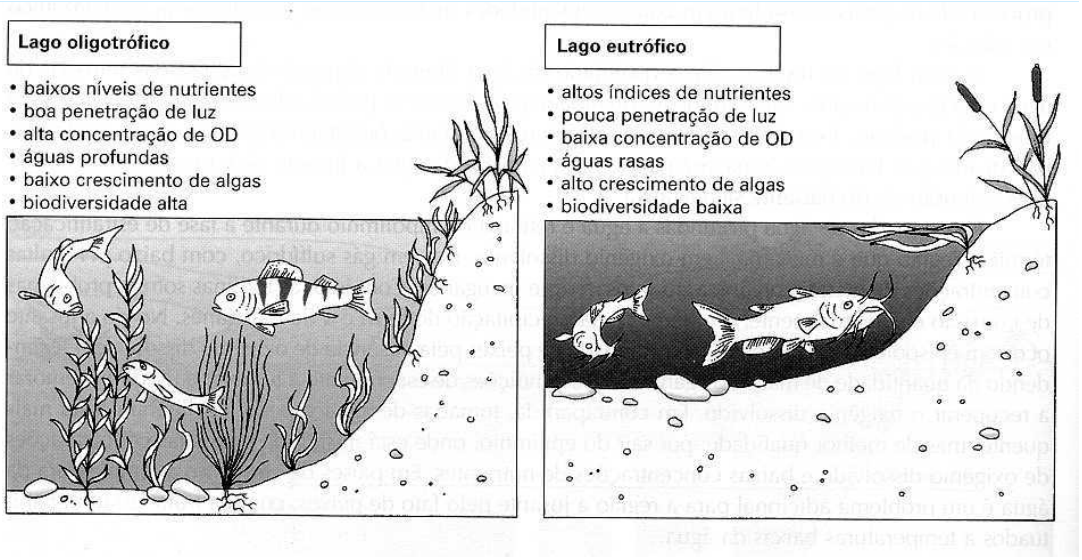


Figura 145: O Processo de Eutrofização.

Fonte: BRAGA et al., 2002

A eutrofização natural é um processo demorado, que tem sido acelerado pela intervenção do homem, através de atividades industriais, agrícolas e adensamento das áreas urbanas existentes nas bacias contribuintes aos reservatórios ou lagos naturais. A essa eutrofização dá-se o nome de eutrofização cultural ou acelerada, que é mais problemática que a natural, uma vez que a alteração morfológica não tem tempo de ocorrer. Verifica-se apenas a fertilização das águas e a proliferação excessiva da vegetação aquática.

Em ambientes naturais, o crescimento e proliferação dos organismos fotossintetizantes aquáticos dependem de diversos nutrientes, como: oxigênio, carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio, etc., principalmente dos quatro primeiros. A insuficiência de qualquer um desses elementos limita o crescimento dos organismos. Em geral, o nutriente limitante na natureza é o fósforo, cuja fonte exclusiva é o desgaste das rochas que contêm fosfato. O escoamento superficial das águas de chuva conduz o fosfato até o corpo d'água e daí até o lago ou reservatório. Quanto ao nutriente nitrogênio, que em geral se apresenta na forma de nitrato dissolvido na água, também é processado na forma gasosa, por alguns seres fotossintetizantes.

Além dos nutrientes, outros fatores que interferem na eutrofização são a radiação solar e a temperatura. Assim, reservatórios localizados em latitudes e altitudes elevadas – com baixas temperaturas e pouca radiação solar – são menos sujeitos à eutrofização que aqueles situados em regiões tropicais – quentes e com alta incidência de radiação solar.

Interferem também as características morfológicas do corpo d'água, sendo que os mais suscetíveis à eutrofização são os rasos, por permitirem maior influência da radiação solar, os de forma dendrítica, por disporem de maior zona litorânea e os de maior tempo de residência, pois possuem um escoamento mais lento, que favorece o crescimento das algas.

Na Eutrofização Acelerada ocorre um aporte adicional de fósforo, proveniente dos esgotos domésticos, industriais e dos fertilizantes agrícolas. As fontes de fósforo de áreas urbanas são as matérias orgânicas e os detergentes e, nas áreas rurais, além dos fertilizantes, as atividades antrópicas que podem acelerar as erosões.

Outras fontes de nutrientes são as poluições do ar e queda de material da atmosfera, sob a forma de partículas ou água de chuva, e a vegetação remanescente em reservatórios não desmatados antes do enchimento. Na Figura 146 e Figura 147 tem-se, esquematicamente, o processo de eutrofização artificial em reservatórios e os efeitos da eutrofização no metabolismo do sistema lacustre.

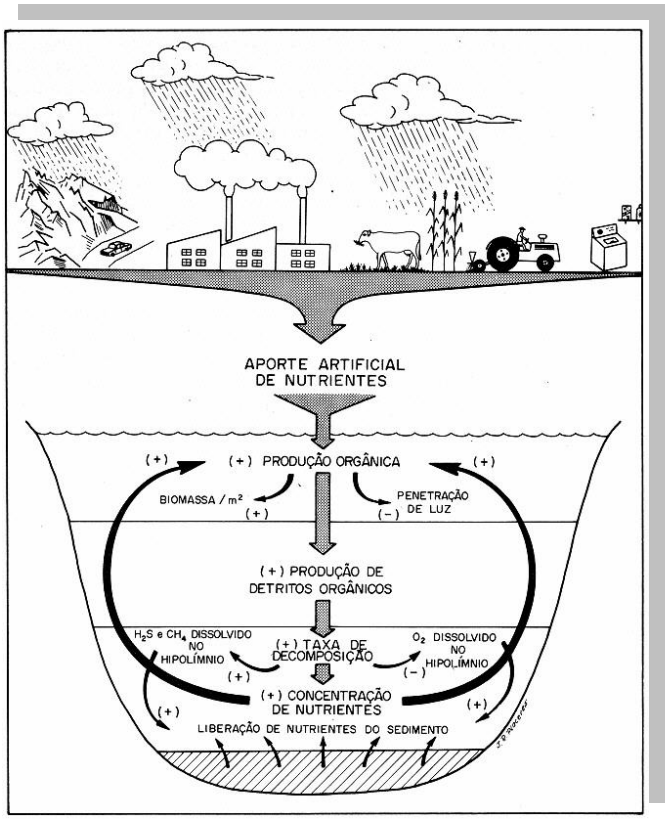


Figura 146: Eutrofização Acelerada.

Fonte: ESTEVES, 1988

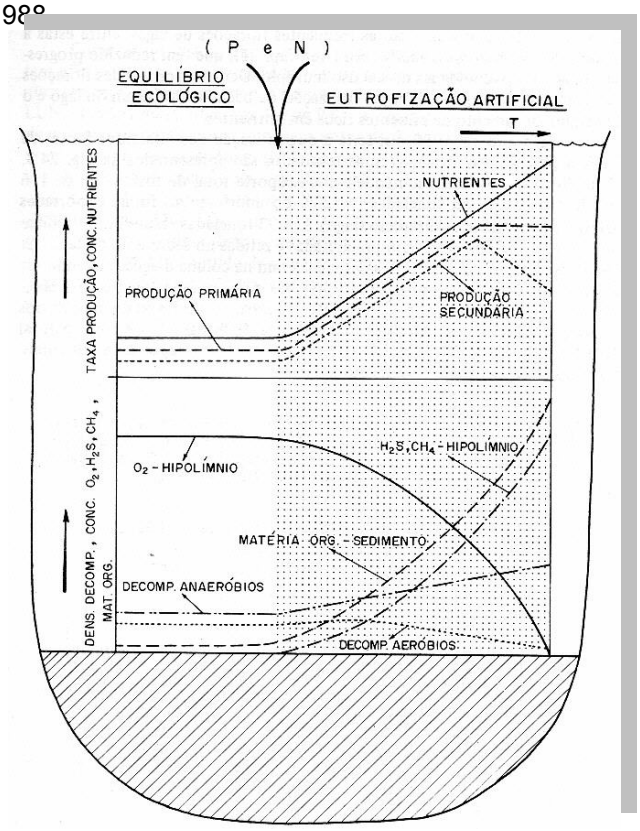


Figura 147: Conseqüências da Eutrofização no Sistema.

Fonte: ESTEVES, 1988

As principais alterações produzidas pela eutrofização dizem respeito às condições físico-químicas do meio (aumento da concentração de nutrientes e gases, como metano e gás sulfídrico, alterações significativas no pH) e às condições biológicas (alterações na diversidade e na densidade dos organismos).

O excesso de nutrientes que atinge o reservatório provoca o aumento da biomassa vegetal e alterações qualitativas, com o surgimento de novas espécies e desaparecimento de outras, com a conseqüente diminuição da penetração da luz e da aeração superficial. A camada superior do reservatório passa a ser a zona "produtora" de oxigênio, devido à presença de algas, e a camada inferior à zona "consumidora" de oxigênio, devido à presença de decompositores. Em vista da grande quantidade de matéria orgânica a ser decomposta, os peixes passam a competir com os decompositores pelo oxigênio disponível.

Nessas condições, surgem gases resultantes da atividade anaeróbica, como o gás sulfídrico e o metano, que são extremamente venenosos para a maioria dos organismos aquáticos, especialmente para os peixes, que morrem por asfixia, como ocorre com freqüência na Lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro, RJ.

Com o prosseguimento do processo, mesmo as espécies menos exigentes acabam desaparecendo, a camada inferior se torna anóxica, todo o oxigênio dessa camada é consumido e o fósforo assume uma forma solúvel em água, que facilita sua recirculação e provoca uma realimentação do processo. Predominam no fundo do reservatório as bactérias anaeróbicas e facultativas e, na estreita camada superficial, com oxigênio disponível, predominam as algas, macrófitas (aguapés) e organismos mortos flutuando. A camada superficial, além de mudança na cor (de azul para amarelo-esverdeado), tem sua transparência fortemente reduzida, devido ao aumento da densidade de fitoplâncton.

As conseqüências da eutrofização que afetam as comunidades de peixes, segundo PIMENTEL (2004), podem ser quanto aos impactos sobre o ecossistema e a qualidade da água: redução da biodiversidade, pois poucas espécies sobrevivem em condições adversas; alteração das espécies de algas sensíveis à disponibilidade de nitrogênio sob a forma de nitrato, sendo que a escassez do nitrato propicia o crescimento excessivo de algas azuis; alteração das espécies de peixes, pois

sobreviverão apenas os que suportam baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água; comprometimento do sabor e odor da água e redução de sua transparência em função das elevadas concentrações de compostos orgânicos dissolvidos, alguns deles precursores de compostos halogenados, como os trihalometanos, potencialmente cancerígenos, que são produzidos quando a água sofre desinfecção por cloro; alteração das características químicas da água do fundo do corpo d'água, como o pH, decorrente da decomposição anaeróbica, que libera metano, gás sulfídrico, amônia, fósforo, ferro, manganês, etc.

7.1.18.2. Abundância de Peixes.

O reservatório é um elemento redutor de abundância de peixes tanto que num passado recente, quando as questões ambientais não eram relevantes, procurou-se mitigar os seus impactos adversos sobre as comunidades de peixes com as estações de piscicultura cujos resultados não foram significativos, principalmente com os de piracema ou migradores.

Após o enchimento e os primeiros anos de operação dos reservatórios, há uma explosão temporal na abundância de peixes, devido, entre outros fatores, a farta disponibilidade de alimentos confinados no recinto molhado.

As espécies lacustres ou sedentárias vorazes, mais adaptáveis aos escoamentos semilênticos dos reservatórios, que protegem a sua prole, tendem a monopolizar o ambiente com possibilidade da sua exclusividade em detrimento das demais.

No reservatório da UHE Tucurui no rio Tocantins Baixo, por exemplo, há como dizem os pescadores, uma explosão de "Tucunarés Gigantes", mas com sinais evidentes de empobrecimento da sua riqueza.

A retração na abundância de peixes nos reservatórios é uma realidade reconhecida internacionalmente, conforme Figura 148, onde, ainda como uma alternativa, os SPT's e os criadouros artificiais no corpo do reservatório ou em afluentes com identidade com a desova, sejam elementos importantes para mitigar esses efeitos adversos. Não há disponíveis estudos nacionais, com a mesma temporabilidade, sobre abundância em reservatórios, pois foram alterados com o lançamento de alevinos e/ou exóticos, descaracterizando as suas produções "naturais".

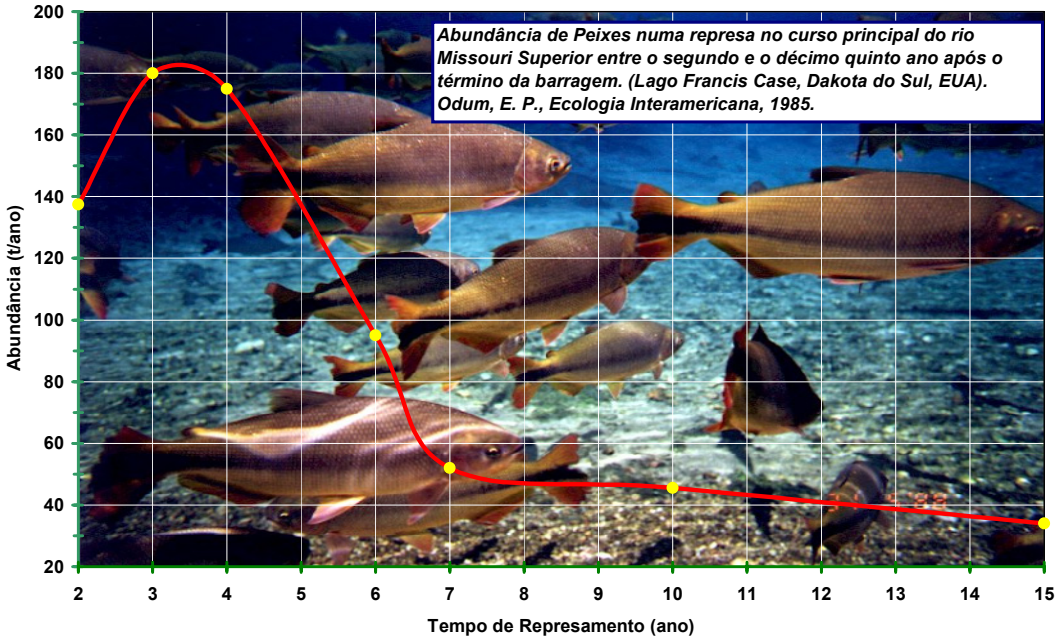


Figura 148: Abundância de peixes com o tempo de represamento.

7.1.18.3. Criadouros Artificiais.

Nos ambientes aquáticos modificados pelos reservatórios, os seus afluentes são preservados na sua porção superior, dependendo da sua localização longitudinal em relação ao desenvolvimento do reservatório.

Os monitoramentos em STP's recentes (UHE Porto Primavera, UHE Lajeado, PCH Canoas I e Canoas II) demonstram, nas amostragens de peixes ascendentes, que as suas gônadas não estão maduras indicando que não estão ainda habilitados à desova ou o seu criadouro está muito distante. Aventa-se, ainda, a possibilidade remota de atresia de algumas espécies (AGOSTINHO, 2001, 2004).

Geralmente as áreas de reprodução localizam-se na parte superior do afluente onde as ovas derivam devido ao seu peso específico ser menor que o da água, no sentido e a vontade da correnteza, nas cheias, provavelmente nos repiques, quando o nível d'água está ascendente (NAKATANI, 2001; AGOSTINHO, 2000, 2001, 2004; GODOY, 1975).

As desovas nas áreas de reprodução são maciças e contínuas porque a taxa de sobrevivência é baixa, estima-se que menos de 0,01% (valor sugeito a confirmação) das ovas transformem-se em peixes adultos.

A deriva ou flutuação das ovas, durante a ascensão das águas, com o extravasamento da calha principal do rio, as conduz aos baixios, várzeas ou alagadiços, onde se podem desenvolver até alevinos, pois ficam “aprisionados” e protegidos até a próxima cheia do próximo ano quando podem migrar para jusante de onde, quando maduros sexualmente (na maioria das espécies migradoras entre 2 e 3 anos de idade), iniciam o ciclo reprodutivo conhecido como piracema (NAKATANI, 2001; AGOSTINHO, 2000, 2001, 2004; GODOY, 1975).

Nos ambientes reprodutivos dos peixes, quando não há a jusante os criadouros naturais, as ovas derivam devido ao gradiente de pressão (a flutuação de ovas deve ocorrer no sentido da pressão maior para a menor) para as margens ou para o fundo quando saturadas devido ao fenômeno da osmose do meio.

No meio líquido, principalmente junto as margens, local físico preferencial, as ovas e larvas ficam expostas à depredação constante e esperadas, também uma das suas missões valiosas e imprescindíveis à natureza, visto que a águas no reservatório são mais límpidas.

Apesar da agressividade que os reservatórios expõem as ovas, larvas e alevinos, os monitoramentos indicam as suas presenças junto à barragem de onde a sua passagem, principalmente das ovas e larvas, quando possível, traz uma mortalidade grande ainda não determinada visto que os equipamentos disponíveis para as suas coletas e monitoramento, nesse estágio frágil, são agressivos e agentes de seqüelas (AGOSTINHO, 2004a).

Os alevinos e adultos, apesar serem alvos de altas taxas de mortalidade quando do retorno migratório, na passagem pela barragem através dos canais de comunicação molhados disponíveis: Sistema para a Transposição de Peixes quando existir, exceto quando do tipo elevadores, Sistema Extravasor Superficial ou de Fundo, Sistema de Captação (Abastecimento ou Irrigação) ou de Geração (Tomada D’Àgua e Turbina, exceto quando tipo Pelton e algumas Francis, devido as suas características geométricas e operativas), possuem uma possibilidade de sobrevivência significativa. Os monitoramentos realizados com marcação de peixes indicam que há passagem ou retorno de peixes do reservatório não se conseguindo identificar o meio utilizado

para a sua transposição e nem a taxa de seqüelas ou mortalidade (FERNANDEZ, 1999, 2005).

Nos reservatórios, principalmente durante as cheias, há oscilações no nível d'água entre o mínimo e o máximo operacional o que, mesmo nas "a fio d'água" ou nível constante, é possível induzir a pequenas variações. Estas flutuações que ocorrem nas operações do reservatório, são benéficas a ictiofauna enquanto indutoras da desova e abrigo de ovas e larvas nos criadouros.

Na calha do rio principal ou nos seus afluentes com a ausência do remanso, isto é, fora da influência dos reservatórios, as variações nos níveis d'água, principalmente durante as cheias, sempre ocorrem como na natureza.

Nos reservatórios a legislação vigente, CONAMA 302 (2002), impõe ao empreendedor de uma barragem a compra de uma faixa para preservação além da molhada e circundando-a, mas de sua responsabilidade, com extensão de 100m quando em local rural, 30m em urbano e 15m em pequenos barramentos em que o espelho d'água seja inferior a 10 hectares.

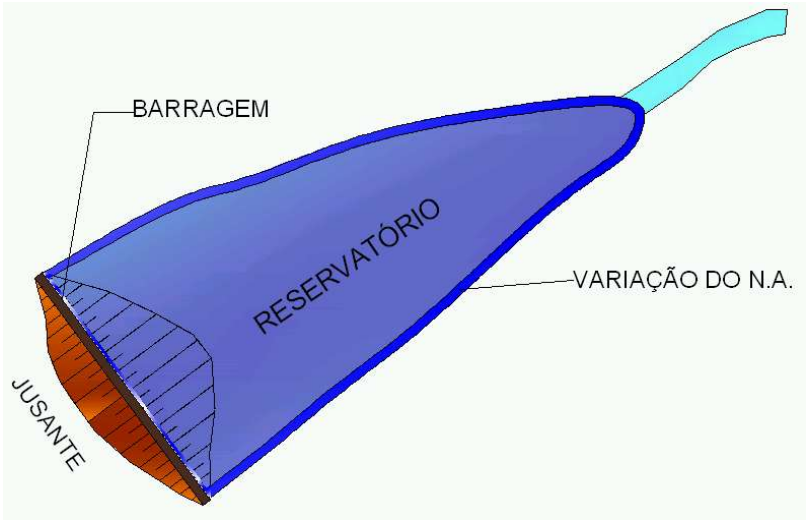


Figura 149: Planta da oscilação do nível d'água no reservatório.

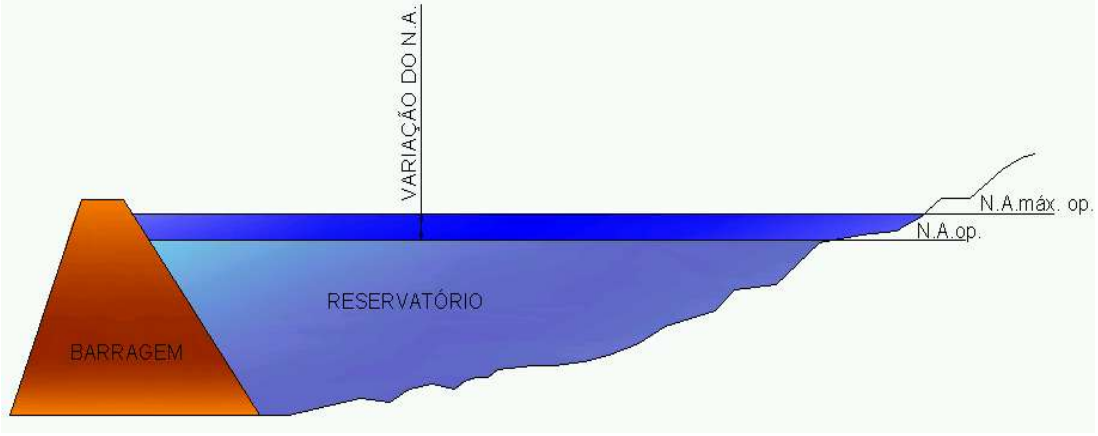


Figura 150: Perfil da oscilação do nível d'água no reservatório.

Dependendo da localização dos criadouros de peixes, as ovas e larvas, podem derivar aos baixios e/ou ao reservatório e assim expostos a depredação mais intensa no ambiente semilêntico do reservatório. Os monitoramentos recentes identificam quantidades substanciais de ovas e larvas junto à barragem cujas passagens para jusante, nestas fases de desenvolvimento, são traumáticas e com baixa taxa sobrevivência, apesar da inexistência de equipamentos de coleta para garantirem à integridade e a identificação das amostras a jusante conforme já dito.

No Hemisfério Norte, se fosse possível abstraírem-se os salmonídeos, especificamente os anádromos da espécie salmão, o problema com as ovas e larvas é menos grave, pois a postura desses animais é protegida, ou melhor, enterrada no leito pedregoso das cabeceiras dos rios e migram retornando aos oceanos e mares adultos, irrelevando a deriva ou passagem de ovas e larvas para jusante da barragem.

No exterior, conforme Figura 151, os criadouros artificiais (“Rearing Area”) simulando a natureza não se constituem numa novidade e são incorporados nos projetos de manutenção e restauração ambiental, conforme CALIFORNIA SALMONID STREAM HABITAT RESTORATION MANUAL (1994).

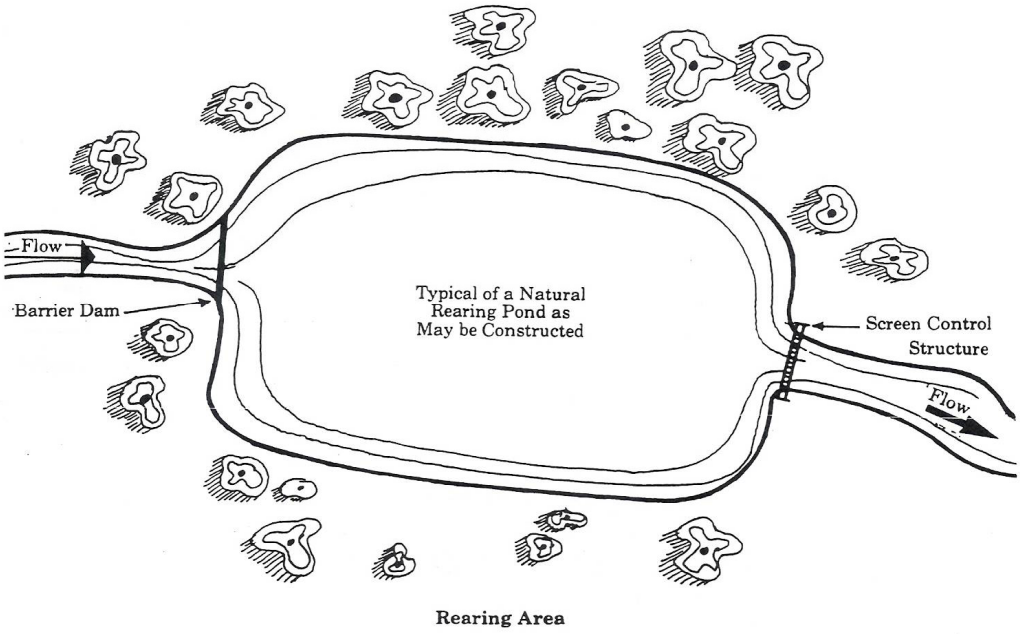


Figura 151: Criadouro Artificial no corpo do afluente.

Fonte: BELL (1991).

As estruturas de controle ("Screen Control Structures") objetivam criar várzeas inundadas durante as cheias, e permanentemente molhadas na estiagem, conforme Figura 152, Figura 153, Figura 154 e Figura 155.

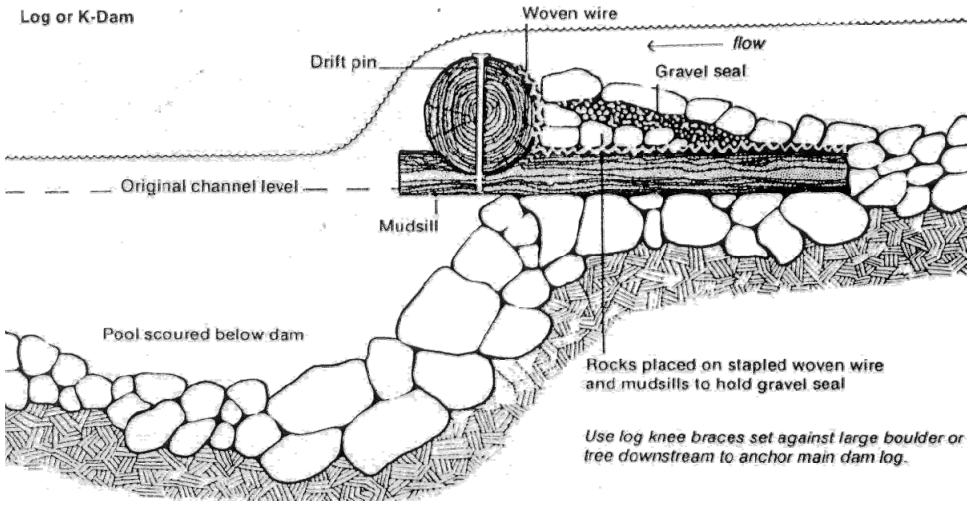


Figura 152: Estrutura de controle tipo "K-Dam".

Fonte: Design Of Small Dams (1987).

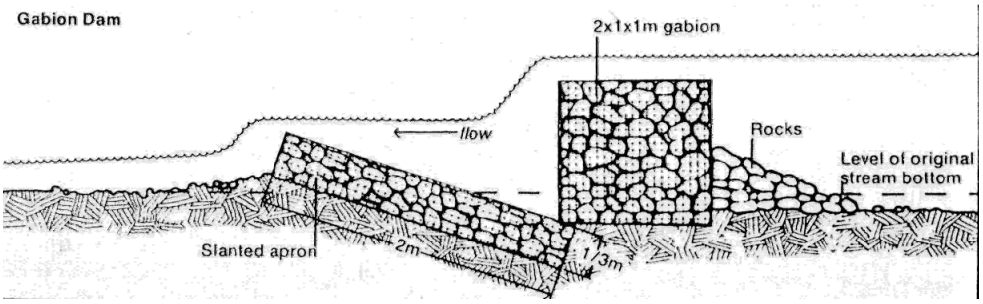


Figura 153: Estrutura de Controle tipo "Gabion Dam".

Fonte: Design Of Small Dams (1987).

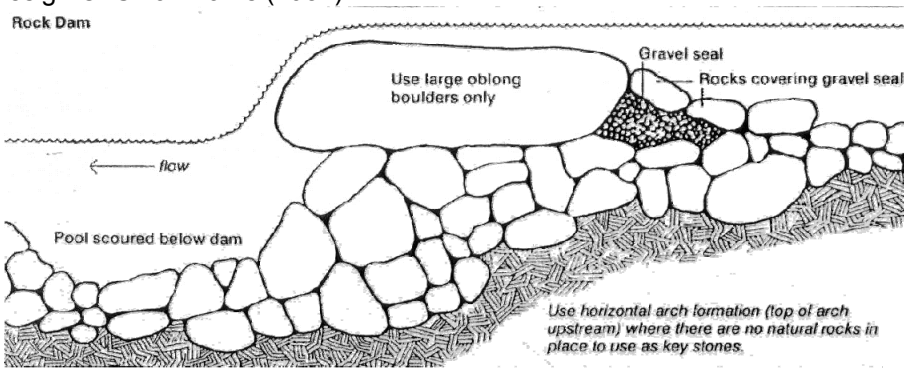


Figura 154: Estrutura de Controle tipo "Rock-Dam".

Fonte: Design Of Small Dams (1987).

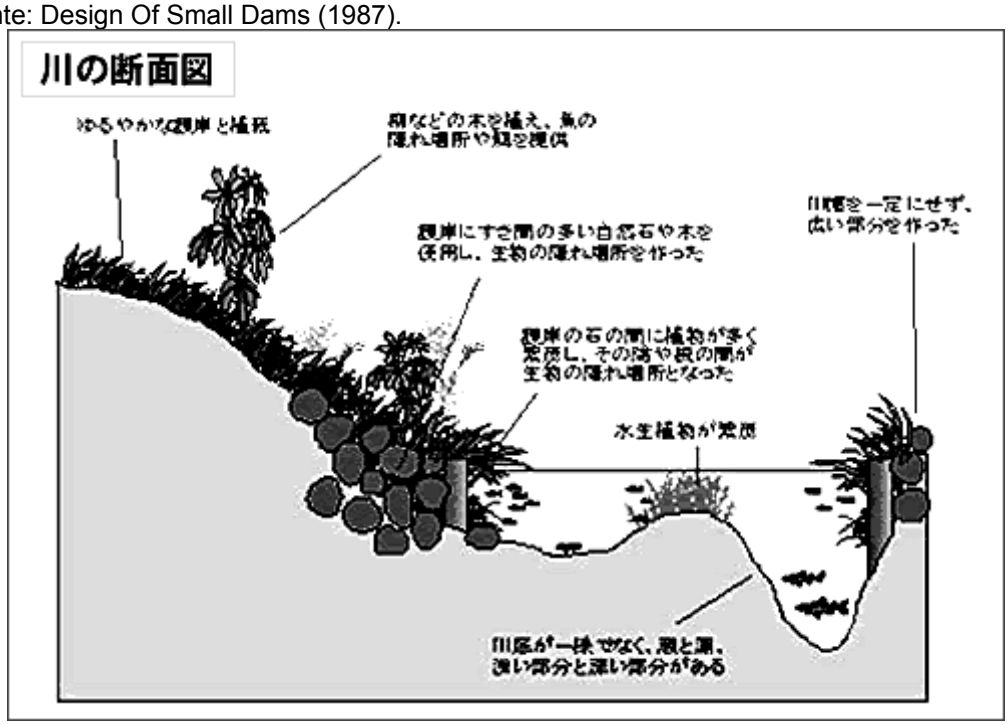


Figura 155: Estrutura de Controle tipo "like a river".

Nas margens dos criadouros, para conforto, abrigo e desenvolvimento dos peixes de águas frias (Hemisfério Norte) em todas as suas fases, utiliza-se uma piscina ou várzea, conforme Figura 156.

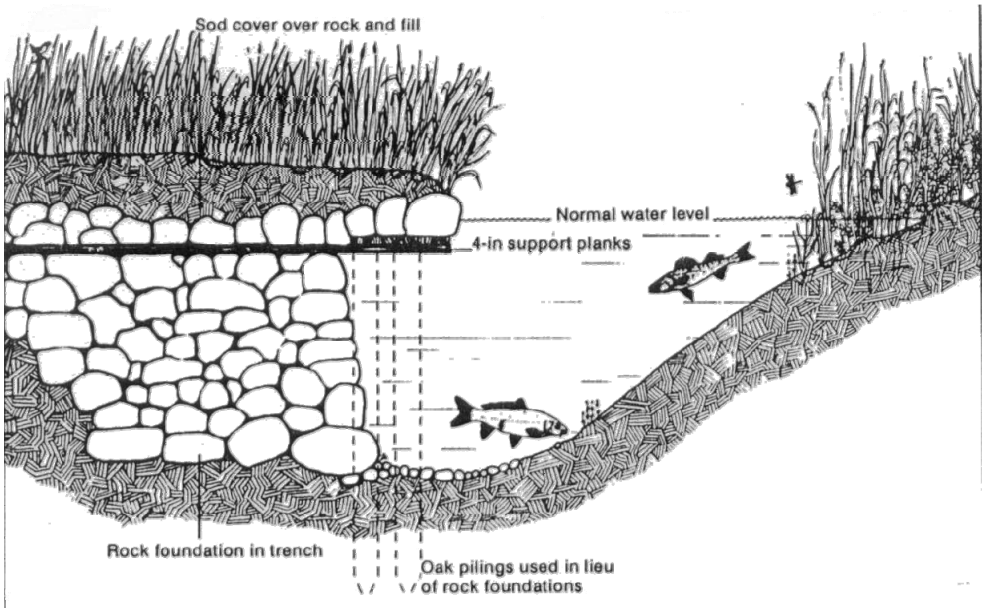


Figura 156: Várzea de conforto, abrigo e desenvolvimento de peixes.
Fonte: Design Of Small Dams (1987).

Visando-se minorar a mortalidade de larvas, ovas e alevinos e maximizar a passagem de peixes para jusante da barragem nos reservatórios neotropicais, os criadouros artificiais são uma alternativa de mitigação de impactos adversos, com baixo custo de implantação e manutenção, aproveitando a caracterização dentrítica das formas dos reservatórios.

Os criadouros situados na margem devem ser os destinos de ovas e larvas de peixes, visto que a flutuação ocorre devido à diferença entre pesos específicos vivo e do meio molhado e com sentido favorável ao gradiente de pressão, ou seja, o movimento deve ocorrer da maior para a menor pressão de coluna líquida.

Os criadouros neotropicais simulam as várzeas inundando-se durante as cheias e transportando e abrigando as ovas e larvas para o seu interior, mantendo-as para o seu desenvolvimento durante parte do ano, durante a estiagem, até a próxima vazante, quando num grau de desenvolvimento cuja taxa de mortalidade para a passagem na barragem deve ser substancialmente melhor, reduzindo-se, assim, a possibilidade de esvaziamento ictíico a jusante (SIROL, 2002; NAKATANI, 2001).

As macrófitas devem ser transportadas abundantemente para o recinto dos criadouros, fornecendo abrigo e proteção para as diversas fases de desenvolvimento dos peixes e reduzindo a depredação.

Simulando-se a natureza, os criadouros podem ser instalados nas margens do reservatório pertencente ao empreendedor e sobre sua responsabilidade de manutenção e preservação, segundo a CONAMA 302 (2002), aproveitando o desnível da água durante as cheias sem a necessidade de operações do reservatório penalizantes ao sistema de geração ou de outra finalidade qualquer.

Na Figura 157 e Figura 158 apresentam-se a planta e seção típicas de um criadouro instalado na margem de um reservatório, aproveitando-se a tendência topográfica existente com uma estrutura de controle para permitir a passagem de água, ovas, larvas e macrófitas durante as cheias. É possível tornar esta passagem seletiva de modo que os depredadores aquáticos naturais não tenham acesso.

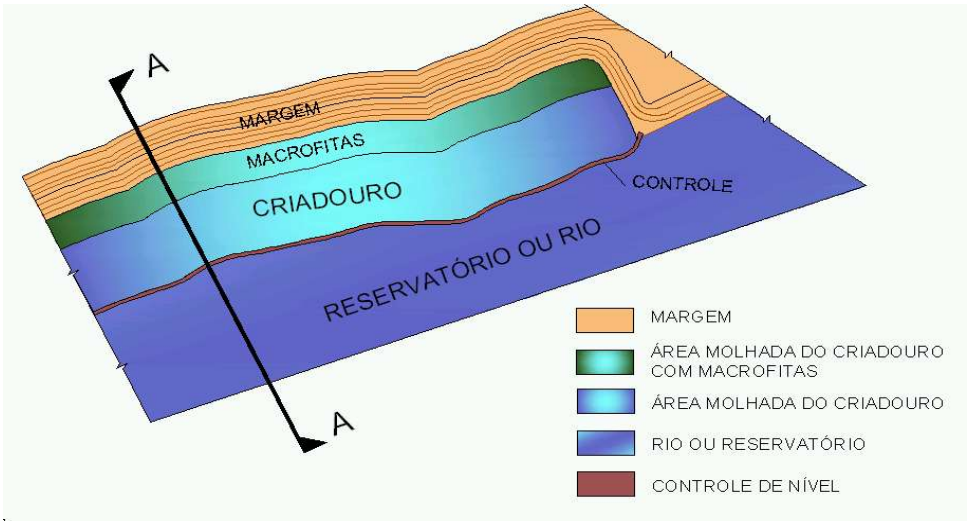


Figura 157: Planta do criadouro proposto.

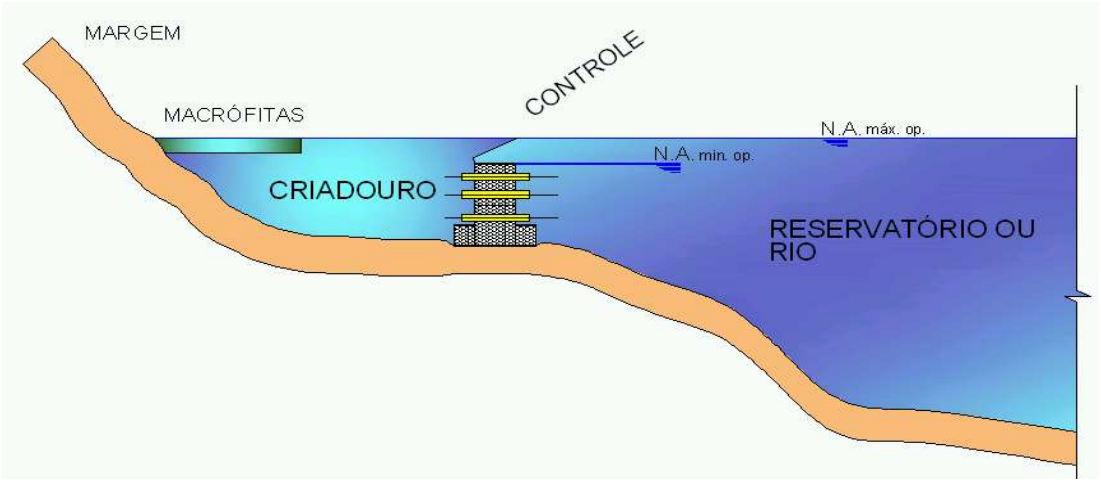


Figura 158: Seção transversal do criadouro – AA.

As estruturas de controle, ao contrário das barragens que exige a estanqueidade, devem as mais permeáveis possíveis, inibindo os esforços hidráulicos e permitindo a

continuidade do nível d'água no recinto. Tubos vazantes seletivos permitem a troca líquida interferindo-se com menor intensidade na qualidade da água e permitindo a similitude de níveis d'água entre o reservatório e no criadouro.

As estruturas de controle consistem em diques longitudinais ao reservatório, nas margens, aproveitando-se, desde que existentes, os baixios.

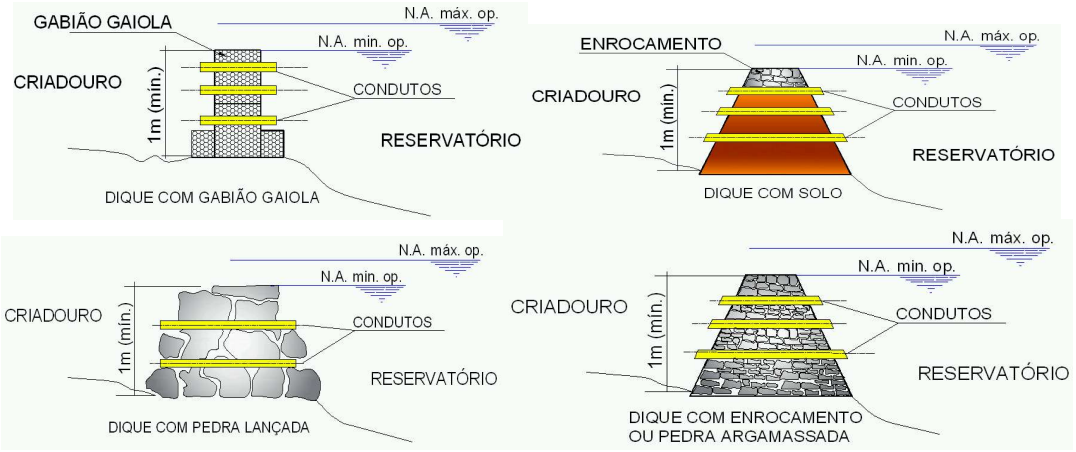


Figura 159: Diques do criadouro – Tipos.

Não, no Brasil, nenhum criadouro artificial ou mesmo iniciativa de fazê-lo. É necessário, antes de sua efetiva aplicação, pesquisas com criadouros artificiais experimentais para determinação da sua eficiência e viabilidade.

7.1.18.4. Aeradores.

Com a formação do reservatório, principalmente nos mais profundos ou com maior espelho de água, há áreas pontuais anóxidas.

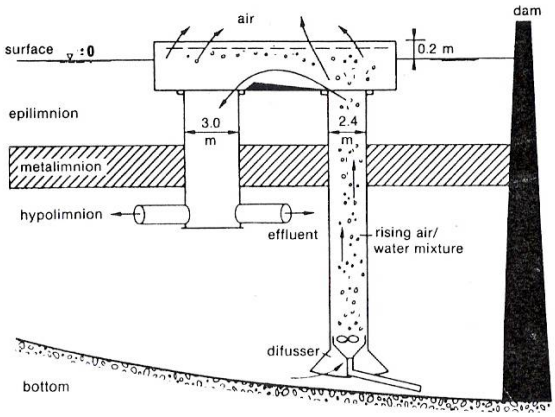


Fig. 4. Device for hypolimnic aeration of lakes and reservoirs "System Wahnbachtalsperrenverband"

Figura 160: Aeração

Fonte: ING & IIMHOFF, 1986.

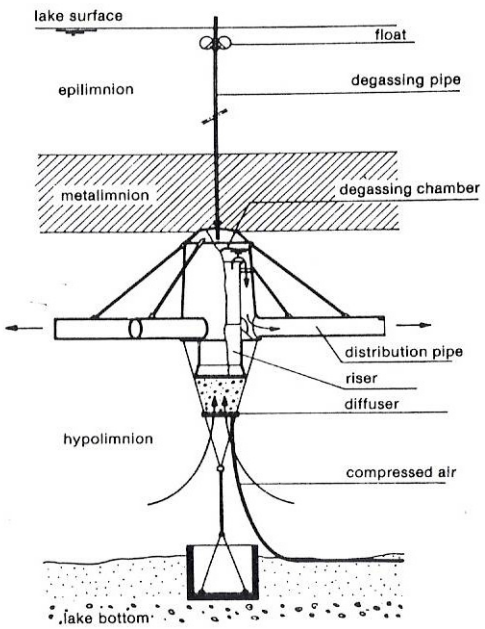


Fig. 5. "Limno" device for hypolimnic aeration of stratified lakes and reservoirs

Figura 161: Aeração de coluna estratificada.
Fonte: ING & IIMHOFF, 1986.

Quando o processo de eutrofização já se encontra em estado avançado, são necessárias medidas para "Recuperação de Corpos D'Água", medidas corretivas, preconizadas após uma pesquisa limnológica detalhada, e que devem ser associadas à medidas preventivas. As medidas corretivas podem ser de três tipos: físicas, químicas e biológicas. Em muitos casos são combinadas várias medidas para a recuperação do corpo d'água (ESTEVES, 1988).

Retirada seletiva de massas d'água do hipolímnio, mais fria, rica em nutriente e pobre em oxigênio, é retirada por mangueiras, pelo princípio dos vasos comunicantes. No seu lugar, entra a água do metalímnio ou do epilímnio, mais quente, com maior teor de Oxigênio Dissolvido, OD, e menor concentração de nutrientes. A água retirada pode ser aproveitada na irrigação.

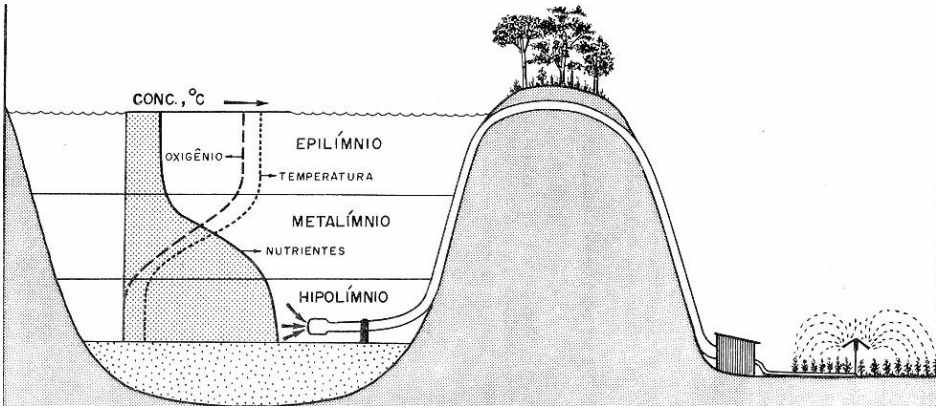


Figura 162: Retirada Seletiva de Massas d'Água.
Fonte: ESTEVES, 1988

A aeração da camada inferior do corpo d'água visa manter o fósforo contido nos sedimentos na sua forma insolúvel. Pode-se aerar apenas o hipolímnio, apenas o epilímnio ou toda a coluna d'água. No primeiro caso, aplicável a reservatórios profundos, com mais de 8m de profundidade, a intenção é aerar a região inferior sem misturar as camadas, no caso de reservatórios que estratificam, pois a mistura traria a suspensão de nutrientes do fundo até a zona de luz, aumentando a produção primária e agravando a eutrofização. A mistura elevaria a temperatura do hipolímnio e, em conseqüência, aumentaria a taxa de decomposição e o déficit de oxigênio. É empregado um aparelho com duas câmaras, colocado no fundo do corpo d'água, com um compressor nas margens, conforme Figura 163. É um método caro, que se aplica apenas a pequenos corpos d'água.

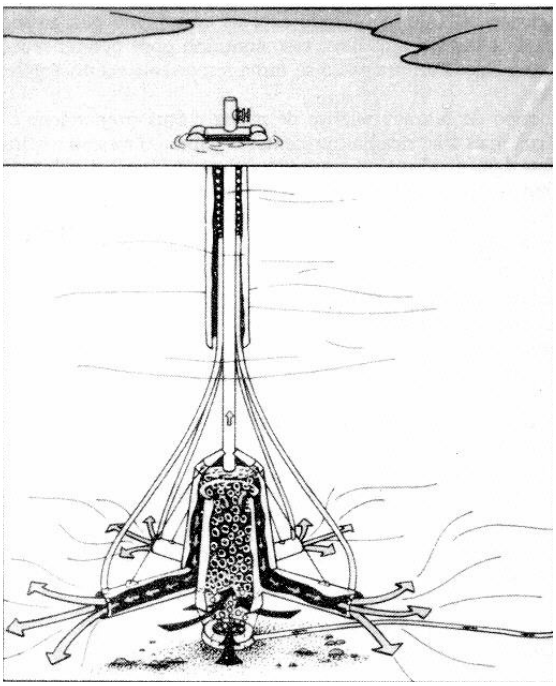


Figura 163: Aeração do Hipolímnio

Fonte: ESTEVES, 1988

No caso de corpos d'água rasos, de menos de 7m de profundidade, que não estratificam termicamente ou cuja estratificação possa ser desprezada, é mais adequado aerar toda a coluna d'água, por meio de mangueiras colocadas no fundo, conforme Figura 164.

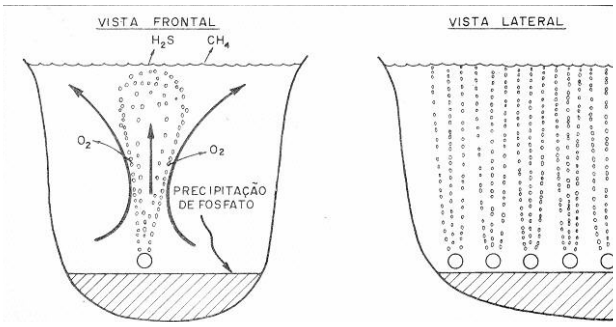


Figura 164: Aeração de Lagos Rasos por Meio de Mangueiras.

Fonte: ESTEVES, 1988

A aeração do epilímnio é aplicada para inibir o crescimento de fitoplâncton, através da mistura de uma camada mais espessa que a região eufótica, onde ocorre a fotossíntese, com vistas a minimizar a produção líquida de fitoplâncton.

Remoção do sedimento por sucção. Tendo em vista que o sedimento é o principal armazenador de nutrientes de um corpo d'água, sua retirada é um mecanismo eficiente para reduzir a "fertilização interna"; aplicável a corpos d'água rasos,

devido, inclusive, aos altos custos do procedimento. Na Figura 165 tem-se detalhes do procedimento: o sedimento é retirado por balsa de sucção (1) e lançado em tanque de sedimentação (2). A água retirada junto com o sedimento é encaminhada por conduto (3) até uma estação de tratamento, onde recebe sulfato de alumínio (4a), é aerada (4b) e colocada em tanque para precipitação do fosfato (4c). O fosfato é retirado (4d) e a água retorna para o corpo d'água (5), enquanto que o sedimento é utilizado em hortas, jardins, etc (6).

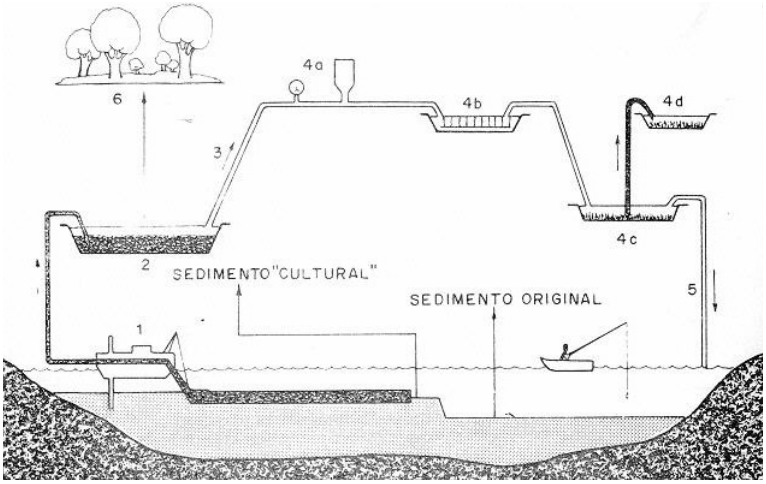


Figura 165: Remoção de Sedimentos por Sucção
Fonte: Esteves, 988

Retirada de macrófitas aquáticas. Consiste na retirada da biomassa aérea e subterrânea de macrófitas, que proliferam de maneira exagerada nos reservatórios eutrofizados e reduzem sua profundidade e qualidade.

Retirada da biomassa planctônica. As algas armazenam nutrientes e sua retirada através de micropeneiras ou por centrifugação de grandes volumes de água pode dar bons resultados; aplicável a corpo d'águas pequenos.

Sombreamento. Consiste na redução do crescimento de algas e macrófitas por meio de anteparos, corantes ou plantio de árvores nas margens do corpo d'água, visando reduzir a incidência de radiação solar; aplicável apenas a corpo d'águas pequenos.

Redução do tempo de residência da água. Provoca a redução da biomassa de algas, mas depende da disponibilidade hídrica do reservatório e dos riscos de enchentes a jusante.

Oxidação química dos sedimentos. Através da introdução, nos sedimentos, de solução de ferro, seguida pela neutralização do pH e pela oxidação da matéria orgânica, conforme Figura 166.

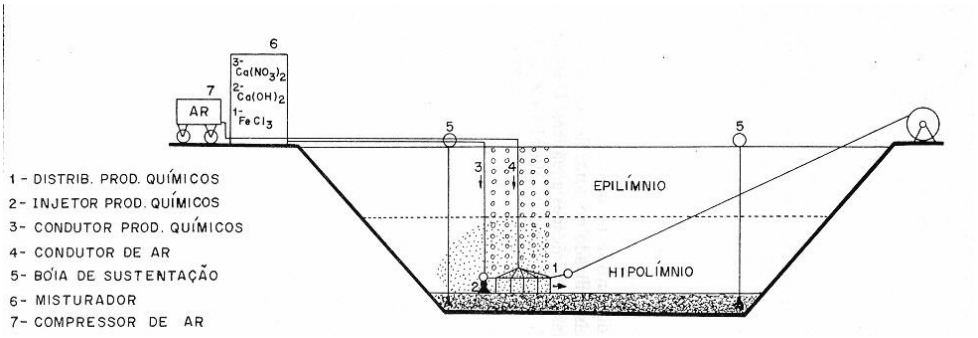


Figura 166: Oxidação Química dos Sedimentos

Fonte: ESTEVES, 1988

Emprego de herbicidas. Utiliza-se o sulfato de cobre ou oxidocloreto de cobre para controle de algas, por serem pouco tóxicos para os invertebrados e vertebrados aquáticos.

Floculação. Para floculação de algas e demais composto suspenso na água, utiliza-se sulfato de alumínio ou sais de ferro, cálcio ou zinco.

Inativação de nutrientes por precipitação. É o mesmo princípio da floculação, agindo em especial sobre o fosfato, retirando-o da coluna d'água ou controlando sua liberação do sedimento.

Cobertura do sedimento. Com argila, como forma de reduzir a fertilização interna do reservatório.

O controle de algas e de macrófitas aquáticas pode ser realizado através de herbívoros e de agentes patogênicos. No primeiro caso tem-se a ação do zooplâncton, moluscos (caramujos) e peixes (carpa e tilápia), que se alimentam de macrófitas aquáticas, conforme Figura 167. A introdução desses herbívoros pode trazer conseqüências danosas para as comunidades autóctones e, como atuam na movimentação dos sedimentos do fundo, pode agravar a eutrofização. A eficiência da utilização de agentes patogênicos, como fungos, bactérias e vírus ainda não estão bem comprovados. Plantas aquáticas como o aguapé também tem sido utilizado no controle da eutrofização, com resultados discutíveis.

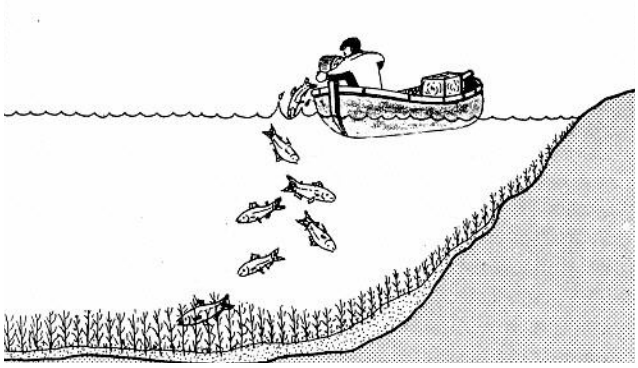


Figura 167: Utilização de Peixes (Carpa Ou Tilápia) para Controle das Macrófitas
Fonte: ESTEVES, 1988

No estudo de arranjo pode-se otimizar a posição da Casa de Força, de modo que a água efluente possa ser oxigenada logo à saída do Canal de Fuga. Para tanto, pode-se estudar um arranjo com vertedouro entre dois blocos da Casa de Força ou a implantação de soleira no rio, a jusante. Nesse caso, a medida deve ser temporária, já que haverá redução na queda, e conseqüentemente, na energia gerada.

Uma das mais baratas opções para melhorar a qualidade da água de reservatórios envolve a regulação hidráulica que é escolher a camada de melhor profundidade, ao longo do tempo, para a retirada da água a ser lançada para jusante ou consumida. É uma solução usual para tomadas d'água de sistemas de abastecimento, mas de aplicação mais complexa no caso de tomadas para geração hidrelétrica. É uma providência a ser contemplada na fase de projeto, podendo-se prever aberturas múltiplas com tubos de saída espaçados verticalmente a cada 5 m, por exemplo, ou, no mínimo, duas saídas, uma mais superficial e a outra mais profunda.

A operação de tomadas desse tipo apresenta aspectos positivos e negativos:

- ✓ A saída superficial pode ser usada para escoar algas em excesso do epilímnio, mas vai aumentar a concentração de fósforo nas camadas superficiais do reservatório;
- ✓ A saída inferior pode ser usada para lançar a água do hipolímnio, pobre em oxigênio e rica em fósforo, ferro e manganês, melhorando a qualidade do reservatório e reduzindo o risco de eutrofização, mas pode reduzir a estratificação térmica;
- ✓ Criando uma corrente de densidade, um pico de vazão afluente rica em fósforo (no início das chuvas, por exemplo), pode passar rapidamente pelo reservatório.

Por outro lado, camadas com turbidez elevada podem atingir tomadas de água para abastecimento.

- ✓ Combinação de fluxos, tomando água de duas camadas distintas, a superior, com água mais quente, de elevado teor de OD (oxigênio dissolvido) e melhor qualidade, e a inferior, com água mais fria e de pior qualidade. A combinação permite o controle da temperatura da água lançada à jusante, que pode ser fundamental para a sobrevivência de algumas espécies de peixes.

Na Figura 168 tem-se um exemplo de tomada com comporta móvel, atendendo à variações do NA do reservatório e captando sempre a água de melhor qualidade. Na Figura 169 tem-se um exemplo de tomada d'água rasa, com dispositivo anti-vórtices.

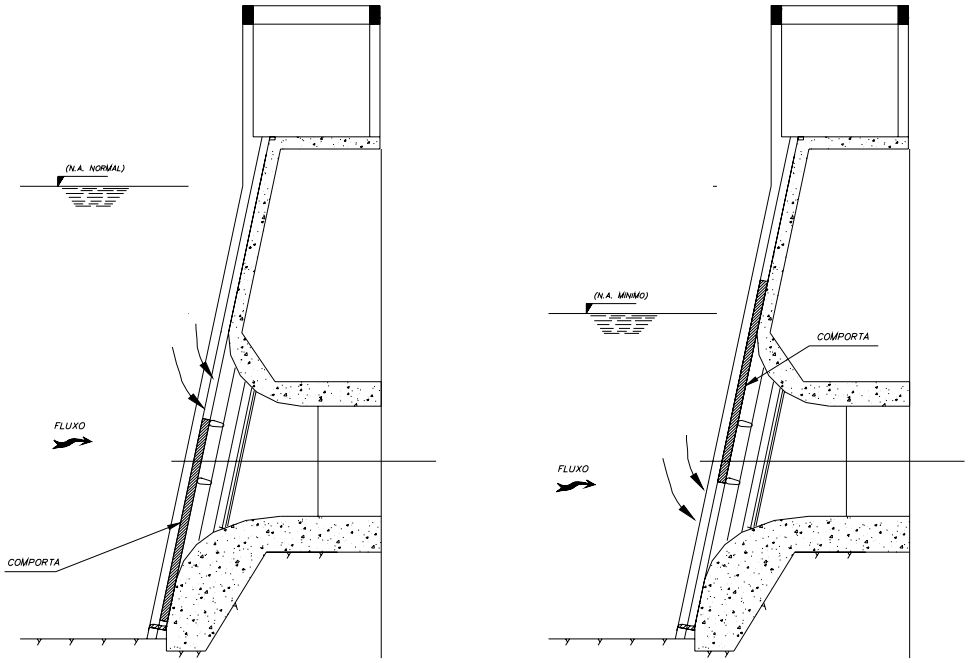


Figura 168: Tomada d'Água com Comporta Adaptável ao NA.

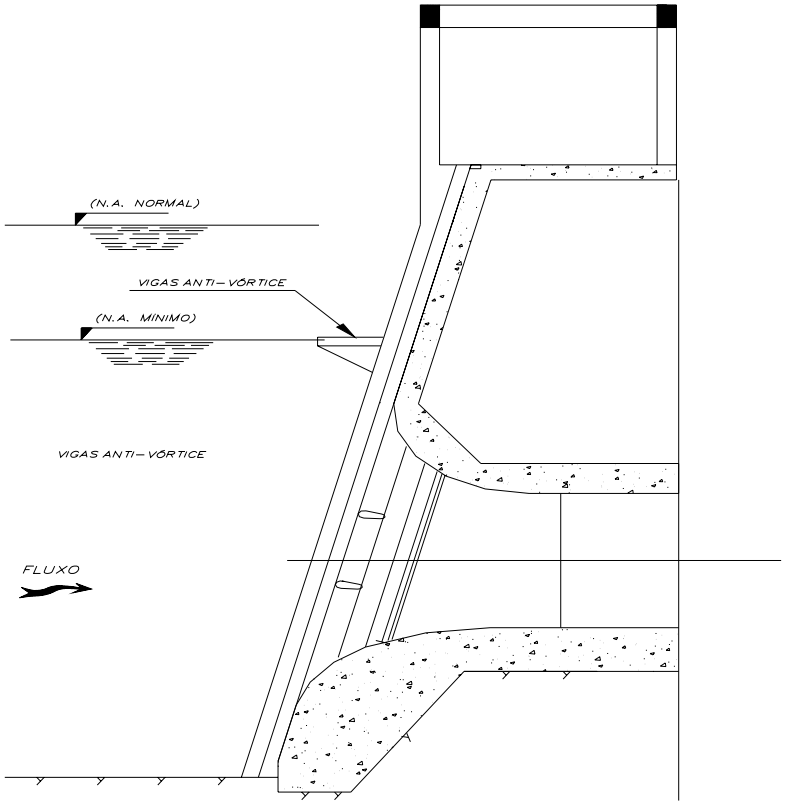


Figura 169: Tomada d'Água com Viga Anti-vórtice.

Caso a solução em tomada seletiva não se apresente viável para grandes empreendimentos hidrelétricos, dado o conflito de interesses, já que a água superficial é melhor do ponto de vista de qualidade da água e a profunda é melhor do ponto de vista da geração, ao menos se deve estudar o melhor arranjo das obras, de forma que, à saída da Casa de Força, haja uma topografia favorável, que possibilite a aeração natural do fluxo. Ou então se deve prever aeração artificial desse fluxo ou mistura periódica com águas superficiais do reservatório, através da operação do vertedouro.

7.1.18.5. Passagem de Peixes para Jusante.

A passagem de peixes em todas as suas fases de desenvolvimento para jusante da barragem é fundamental para preservar a riqueza e a biomassa entre ambientes aquáticos. Só privilegiar a subida dos peixes não restabelece ou garante a minimização de impactos adversos, ao contrário, pode constituir-se num agravante.

O conjunto verdade ambiental para minimizar parte dos impactos devido às barragens constitui-se na livre passagem em todos os sentidos dos peixes em todas as

suas fases de desenvolvimento e, no caso dos peixes neotropicais, com os criadouros artificiais.

A ausência ou ineficiência desses dispositivos pode caracterizar um impacto adverso que em casos isolados podem causar o "esvaziamento ictíico a jusante" (SIROL, 2002; NAKATANI, 2001).

Entre os dispositivos de passagem estão às turbinas e extravasores amigáveis e os "bypasses".

As turbinas tipo Kaplan com eixo vertical e principalmente com eixo horizontal, tipo Bulbo, são mais amigáveis do que o tipo Pelton ou Francis. A taxa de mortalidade de peixes em todas as suas fases de desenvolvimento decresce com o tamanho do rotor e cresce com a velocidade de rotação. A variação de pressão também é um fator pouco pesquisado para peixes neotropicais, mas que deve configurar-se como um agente de danos nos peixes.

A variação de pressão em peixes neotropicais é um dos temas estudados na UFMG-CPHRH (POMPEU, 2004).

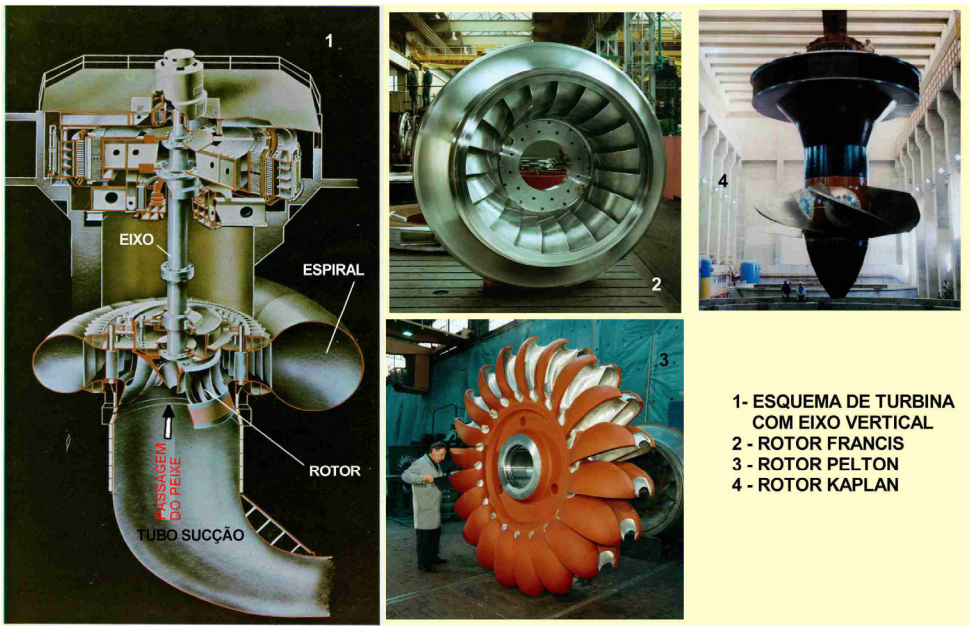


Figura 170: Rotor de Turbinas típicas de Hidroelétricas.
Fonte: MARTINS, 2000.

Na Figura 171 apresenta-se uma estimativa dos tipos de danos aos peixes durante a passagem pela turbina em função da fase de desenvolvimento, tipo de espécie e do comprimento.

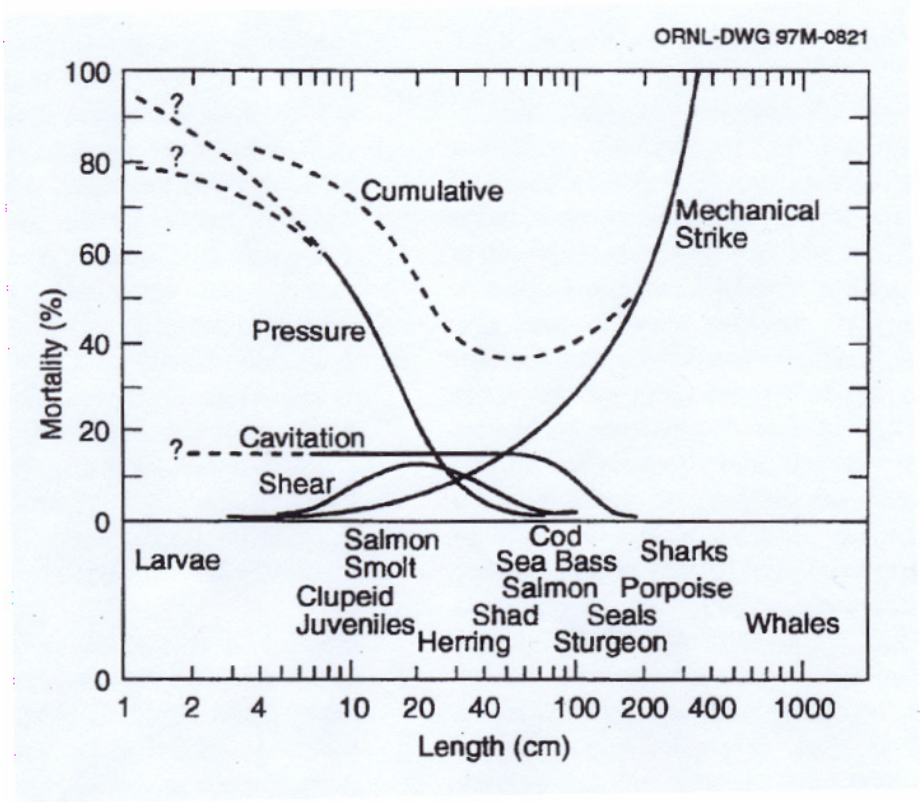


Figura 171: Mortalidade de peixes na passagem pela turbina.
Fonte: DADSWELL & RULIFSON, 1994 apud CADA, 1997.

A passagem de peixes pelas turbinas hidráulicas apresenta diversos fatores que contribuem com a mortalidade: choques com as partes fixas e móveis das turbinas, a celeração e desacelerações brutais (3 a 5m/s na entrada do rotor e 10 a 30m/s na saída do rotor) e variações grandes de pressões (LARINIER, 1999).

A mortalidade de peixes em turbinas tipo Pelton é plena ou total (100%) e nas Kaplan e Francis, é variável em função do diâmetro, velocidade de rotação, posição do eixo, etc. As taxas de mortalidade variam de 5% a 90% nas turbinas Francis e 5% a 20% nas Kaplan (LARINIER, 1999; ICOLD, 2003).

Na Tabela 58, conforme BOURGEOIS (2000) apresenta-se a taxa percentual de mortalidade de peixes na sua passagem pelas turbinas.

Tabela 58: Mortalidade de Peixes do Hemisfério Norte na Passagem pelas Turbinas.

Espécie	Mortalidade (%)	
	Turbina Kaplan	Turbina Francis
Residentes		
Selvagem	6,3	5,8
Introduzida na turbina - Teste	30,2	37,0
Migradores		
Salmonídeos: Salmão e Trutas	7,6	18,2
Clupeideos: Shad e Alewife - adultos	3,6	16,0
Clupeideos: Shad e Alewife - alevinos	19,1	28,6
Centrarchideos: Crappie e Bass	8,5	11,7
Percídeos: Walleye, Darter, Perca	-	23,6
Esocideos: Northern pike	-	22,3
Catostomídeos: Suckers	-	24,0
Ciprinídeos: Shiner	-	20,0
Ictalurídeos: Bullhead	11,3	-

A grande variação de velocidades acarreta em efeitos sérios nos peixes, como no caso da passagem pelas turbinas. A aceleração longitudinal “estica” e a tansversal “curvam” os corpos dos peixes. A variação de pressão é considerada perigosa quando a queda de pressão for maior do que 5 a 6m de coluna de água, quando pode provocar ruptura da bexiga natatória e produzir embolia gasosa. Peixes pelágicos (escama) são mais vulneráveis a variação de pressão do que os bentos (couro e/ou placas ósseas) (ICOLD, 2003).

A instalação de “bypasses” é comum no exterior de modo a preservar a passagem para peixes em todas as suas formas de desenvolvimento (Ver Figura 172, Figura 173). Não há nenhum dispositivo desse tipo na América Latina.

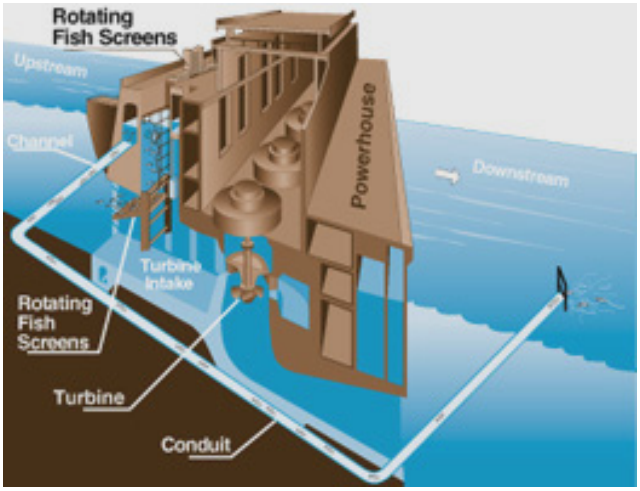


Figura 172: "Bypass" para Turbinas.

Fonte: BPA, 2004.

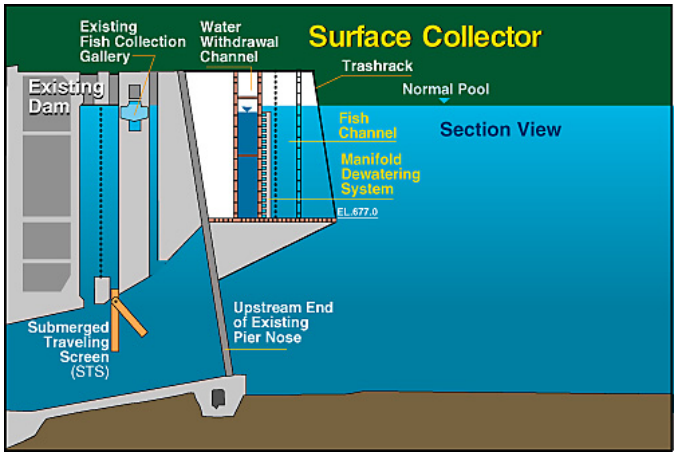


Figura 173: "Bypass" na Tomada D'água da Turbina.
Fonte: BPA, 2004.

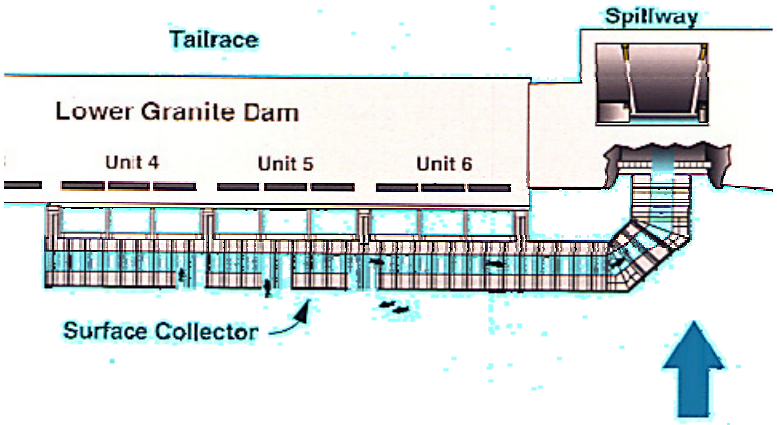


Figura 174: "Bypass" na Tomada D'água da Turbina com Desvio para o Vertedor.
Fonte: BPA, 2004.

Os peixes, em suas várias fases de desenvolvimento, são conduzidos para os vertedores de superfície sendo a taxa de mortalidade função da altura da queda. Nas alturas inferiores a 10m a mortalidade é baixa. Quando a queda dos vertedores é maior, a mortalidade é maior devido aos choques com as estruturas, as variações de velocidades e pressões do fluxo. Quando a velocidade do fluxo no vertedores ultrapassa a 16m/s considera-se letal aos peixes. Os vertedores com bacia de dissipação plana são benéficas aos peixes (ICOLD, 2003).