

## **7 Estudo Experimental**

### **7.1 Introdução**

Os estudos dos STP's, no exterior, estão consolidados há décadas, favorecidos, entre outros fatores, pelo interesse comercial, industrial e político, e facilitados, principalmente no hemisfério norte e Japão, pela baixa diversidade dos peixes a ser contemplada e uma sociedade esclarecida, que privilegia o meio ambiente.

Os primeiros estudos experimentais significativos com STP's datam de 1950 no Laboratório da Barragem de Bonneville (Collins, 1960, Ref. [25]). Visavam otimizar estruturas de passagem para os peixes diádromos, cujas características eram e são amplamente conhecidas (velocidades atrativas, máximas do fluxo e dos peixes, resistência, indução artificial, dimensões das espécies, volume dos cardumes, épocas de reprodução, etc.). Estudos importantes foram realizados em todas as partes do mundo, pode-se citar os de Nakamura, 1995, Ref. [93], Katopodis, 1999, Ref. [69] e outros apresentados nos Simpósios de Gifu, Ref. [103].

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 e pressões são difíceis de serem obtidas por envolverem equações diferenciais parciais.

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 tridimensional 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.

Devido às particularidades específicas desse assunto, o estudo dividiu-se em duas etapas experimentais: otimização das características hidráulicas, segundo as prováveis necessidades dos peixes, e verificação da resposta dos peixes.

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.

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, elaborou-se o projeto de um modelo reduzido 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.

## **7.2 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: base, “B”, altura, “h” e declividade longitudinal, “i”, foram fixadas, respectivamente, em: 0,35, 0,40m e 1:10 (10%),

alterando-se a escala de representatividade, “esc”, de modo a possibilitar variações quanto ao tipo e espaçamento das soleiras.



Figura 7-1: Módulo do Canal do STP Experimental.

As variáveis hidráulicas devem atender às condicionantes dos peixes.

### 7.2.1 Condicionantes dos Peixes.

Devido a 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 = 2,0 a 3,0m/s;

dimensões mínimas do orifício = 0,80 x 0,60m, 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 d'água mínima sobre a soleira = 0,30m para permitir a passagem dos peixes com escamas com locomoção preferencial junto à superfície;

profundidade mínima da lâmina d'água no interior do canal = 1,00m que representa a passagem simultânea de peixes de escama e couro;

declividade longitudinal do canal = 10%, o que, segundo a pesquisa de Collins, 1960, Ref. [25], não deve produzir cansaço excessivo nos peixes;

## 7.2.2 Semelhança Dinâmica

Para que dois escoamentos geometricamente semelhantes forneçam a mesma solução é suficiente que os números de Froude e Reynolds do modelo sejam idênticos ao do protótipo (French, 1986, Ref. [36]):  $F_{r(mod)}=F_{r(proto)}$  e  $Re(mod)=Re(proto)$ .

Quando se tem dois escoamentos livres com o mesmo fluido incompressível ( $\rho$  constante), mesma altitude média ( $g$  constante) e os efeitos viscosos são desprezáveis ( $Re \gg 50.000$ , turbulento rugoso), em condutos geometricamente semelhantes, valem

as expressões:  $\frac{V_{mod}^2}{g l_{mod}} = \frac{V_{prot}^2}{g l_{prot}}$ ;  $\frac{V_{mod} l_{mod}}{\nu} = \frac{V_{proto} l_{prot}}{\nu}$ ;  $\lambda = \frac{l_{mod}}{l_{prot}}$ , onde:  $\nu$  = coeficiente de

viscosidade cinemática do fluido;  $\lambda$  = escala.

Assim derivam as relações: I) **comprimento**:  $L_{prot} = \lambda L_{mod}$ ; II) **tempo**:  $T_{prot} = \lambda^{1/2} T_{mod}$ ;

III) **velocidade**:  $V_{prot} = \lambda^{1/2} V_{mod}$ ; IV) **vazão**:  $Q_{prot} = \lambda^{5/2} Q_{mod}$ .

Adotada a semelhança de Froude, em função das dimensões disponíveis do canal e das alternativas resultaram as escalas de redução conforme Tabela 6-1.

Tabela 6-1: Escalas de Redução das Alternativas Estudadas.

Alternativa	Tipo	Escala Geométrica
1	Degraus com Orifícios	1:5
2	Degraus com Orifícios	1:8
3	Vertical Slot com um Jato	1:15
4	Vertical Slot com dois Jatos	1:8
5	Vertical Slot com um Jato	1:8

## 7.2.3 Números de Froude e Reynolds

O número de Froude é um adimensional aplicável a escoamentos livres, classificando-os segundo a sua turbulência. Relaciona a força inercial e gravitacional,

Ref's. [22, 78, 82]:  $F_r = \frac{V}{\sqrt{g y_m}}$  e  $y_m = \frac{A}{T_s}$  onde:  $F_r$  = número de Froude;  $V$  = velocidade

média do escoamento,  $g$  = aceleração da gravidade;  $y_m$  = profundidade média;  $A$  = área molhada;  $T_s$  = largura superficial.

Quando o valor do  $F_r < 1$ , 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  $F_r > 1$ , tem-se escoamento torrencial ou supercrítico, característico dos rios e condutos artificiais com altas velocidades do fluxo e altas declividades longitudinais e, finalmente, para  $F_r = 1$ , tem-se escoamento crítico, de transição entre os dois outros citados.

O número de Reynolds,  $R_e$ , é um adimensional aplicável aos escoamentos livres ou forçados e representa a relação entre as forças de inércia e a viscosa, ou seja:

$$R_e = \frac{VD_H}{\nu}, \text{ onde } V = \text{velocidade do fluido, } D_H = \text{diâmetro hidráulico e } \nu = \text{coeficiente}$$

de viscosidade cinemática da água. Para valores de  $R_e$  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.

Na natureza, durante as cheias, período de migração da maior parte dos peixes de piracema, raramente os cursos d'água permanecem fluviais, em função dos volumes d'água excepcionais, apresentam escoamento torrencial ou supercrítico e velocidades superiores a 1,00m/s, o que sugerem a obtenção de valores de  $F_r > 1$  nas dependências dos STP's e principalmente na entrada, onde o aspecto atrativo é relevante.

#### 7.2.4 Coeficiente de 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 d'água de saída e entrada, também interfere na operação e custo do sistema hidrelétrico e, portanto, pretende-se minimizá-la.

A vazão é determinada pelo nível d'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 pode ser:  $Q = C_d A \sqrt{2g\Delta y}$ , onde  $A$ = área molhada;  $g$ = aceleração da gravidade;  $\Delta y$ = diferença entre os níveis d'água de montante e jusante da soleira. e  $C_d$ = coeficiente de vazão ou descarga. Na Figura 6.2 apresenta-se uma representação básica das possíveis situações hidráulicas individualizadas.

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,  $C_d$ , que são, via de regra, determinados experimentalmente. A vazão de referência é determinada por vertedor de  $0,050\text{m}^3/\text{s}$  (50l/s). Na Figura 7-2, apresentam-se as situações hidráulicas possíveis.

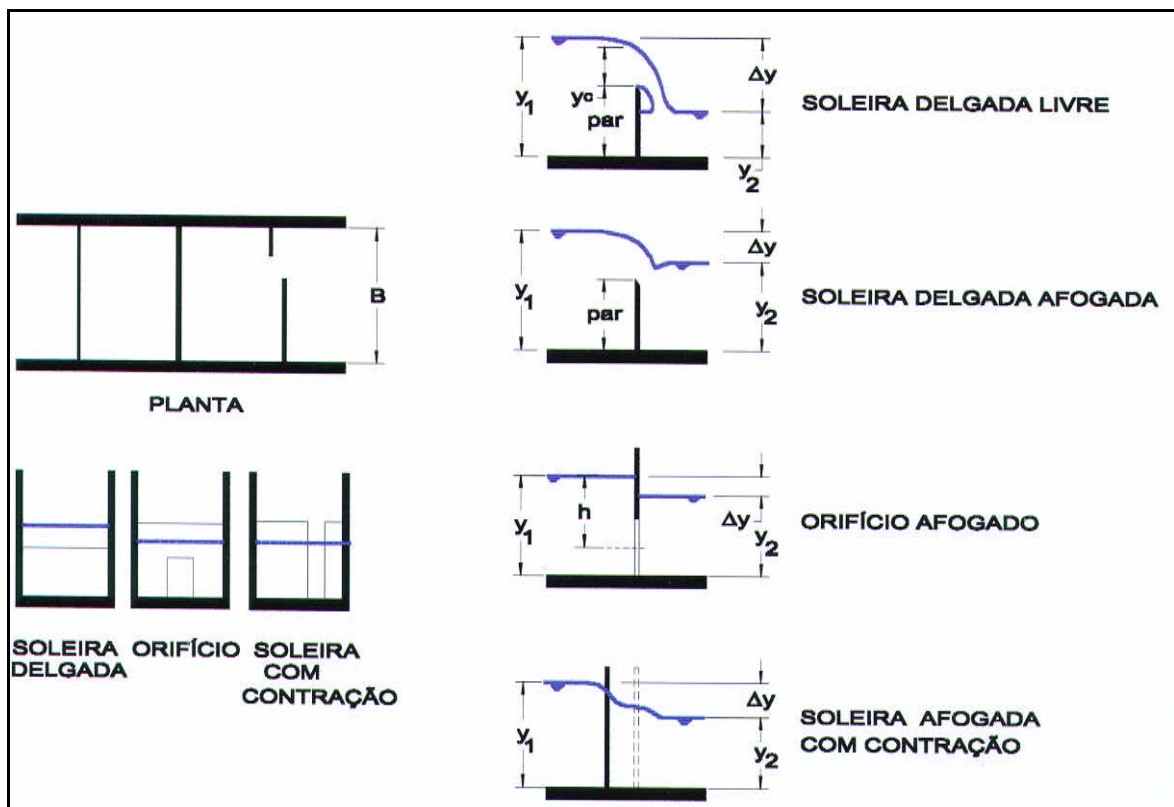


Figura 7-2: Situações Hidráulicas das Soleiras.

$B$ = base;  $y_c$ = profundidade crítica;  $y_1$ = profundidade a montante;  $y_2$ = profundidade a jusante;  $\Delta y$ = diferença entre cotas do nível d'água.

### 7.2.5 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.

A velocidade média teórica para as soleiras ou orifícios afogados de um STP, pode ser estimada pela expressão:  $V_T = \sqrt{2g\Delta y}$ , onde  $V_T$ = velocidade média teórica,  $g$ = aceleração da gravidade,  $\Delta y$ = diferença entre os níveis d'água de montante e jusante, ver Figura 7-2.

A verificação do campo de velocidades no modelo reduzido foi obtida através de micromolinetes e contadores que possibilitaram o levantamento de perfis de velocidades em função da altura da lâmina d'água.

### 7.2.6 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 os gradientes dinâmicos e 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.

As linhas de fluxo foram avaliadas qualitativamente, mediante a utilização de material flutuante para o fluxo superficial: confetes, flóculos de isopor e por meio de corantes e linhas de algodão, ver Figura 7-3. Quando possível os eventos relacionados foram registrados fotograficamente e filmados.



Figura 7-3: Linhas de Fluxo.

### 7.2.7 Superfície Livre D'Água

A linha d'água é o produto das variáveis impostas e foi analisada qualitativamente, registrada fotograficamente e filmada. Foram verificadas a turbulência, taxa de dissipação de energia e oxigenação.

## 7.3 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 outras alternativas; maior quantidade de estudos internacionais comparativos e paramétricos disponíveis; grande quantidade de estruturas implantadas com sucesso no exterior; possibilidade de manipulação das características geométrico-estruturais para adaptá-las às necessidades dos peixes nacionais e a flexibilidade de implantação, quando necessário, nos barramentos existentes sem STP's.

Foram estudadas 5 alternativas de soleiras, e suas variantes. A Alternativa 1 é composta por paredes com soleira livre parcial e orifícios dispostos em forma de labirinto, conforme Figura 7-4; a Alternativa 2 é composta por uma soleira contínua e orifícios dispostos alternadamente, 1 ou 2 orifícios, segundo a sugestão das biólogas



envolvidas no estudo, conforme Figura 7-5; a Alternativa 3 é do tipo vertical slot com um jato, implantada geometricamente segundo Katopodis, 1999, Ref. [69], conforme Figura 7-6, a Alternativa 4 é do tipo vertical slot com 2 jatos modificada, conforme Figura 7-7 e a Alternativa 5 é do tipo vertical slot com um jato disposto em forma de labirinto, conforme Figura 7-8.

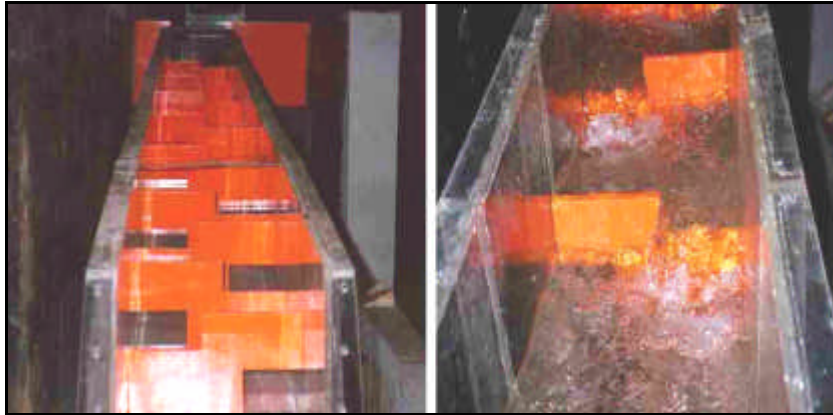


Figura 7-4: Alternativa 1.



Figura 7-5: Alternativa 2.



Figura 7-6: Alternativa 3.



Figura 7-7: Alternativa 4.

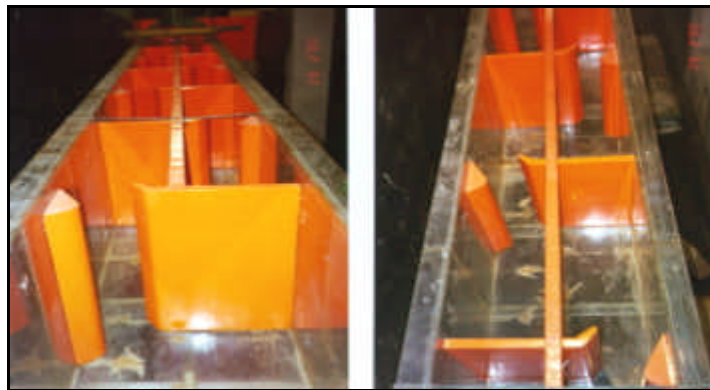


Figura 7-8: Alternativa 5.

As características hidráulicas e estruturais das alternativas estudadas estão apresentadas na Tabela 7-2.

Tabela 7-2: Características Hidráulicas e Estruturais.

ALT	I(%)	LD (m)	B (m)	SOLEIRA - DIMENSÃO (m)			Bo (m)
				SUPERFICIAL	ORIFÍCIO	DISPOSIÇÃO	
1	10	3,50	1,75	1(0,75X0,50)	1(0,60X0,80)	Labirinto	-
2		2,40	2,80	1(2,80)	1(0,80X0,80) e 2(0,80X0,80)	Seqüencial	-
3		6,40	5,00	1(0,80)	-	Seqüencial	0,8
4		4,00	2,80	2(0,80)	-	Seqüencial	2(0,80)
5		4,00	2,80	1(0,80)	-	Labirinto	0,8

LD= distância entre soleiras (degraus), B= base do canal, Bo= abertura na soleira.

## 7.4 Equipamentos

Foi utilizado o conjunto: micromolinete “apoiado” em tripé e contador aferidos para a medição das velocidades nos pontos de interesse e um vertedor, conforme Figuras 7-9 e 7-10.



Figura 7-9: Conjunto Tripé, Micromolinete e Contador.

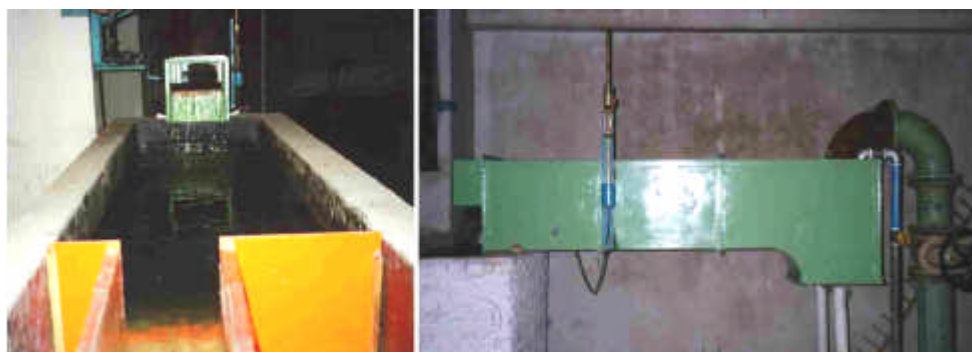


Figura 7-10: Reservatório de Amortecimento e Vertedor.

## 7.5 Modelo Tridimensional Parcial

O modelo parcial do STP é composto por um canal em acrílico transparente com dimensões de 0,35 x 0,40m, respectivamente base e altura, declividade longitudinal de 10% e um reservatório a montante para amortecimento, com um vertedor retangular com capacidade de 0,050m<sup>3</sup>/s, (50l/s), para a determinação da vazão de referência, conforme Figura 6-10.

As paredes ou soleiras ensaiadas foram confeccionadas 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 d'água, etc.

### 7.5.1 Resultados Obtidos

Os valores obtidos neste estudo experimental foram traduzidos para a escala de verdadeira grandeza, isto é, escala de protótipo.

### 7.5.2 Vazões

O coeficiente de vazão ideal tem valor igual à unidade, isto é, valores de velocidades e áreas molhadas idênticas entre o teórico e o real medido (referência). De acordo com a relação estabelecida para a sua determinação, os valores maiores do que a unidade indicam vazões superiores à de referência, que traduzem, assim, as perdas de energia (localizadas e distribuídas) não contabilizadas, conforme Tabela 7-3 e Figuras 7-11 e 7-12.

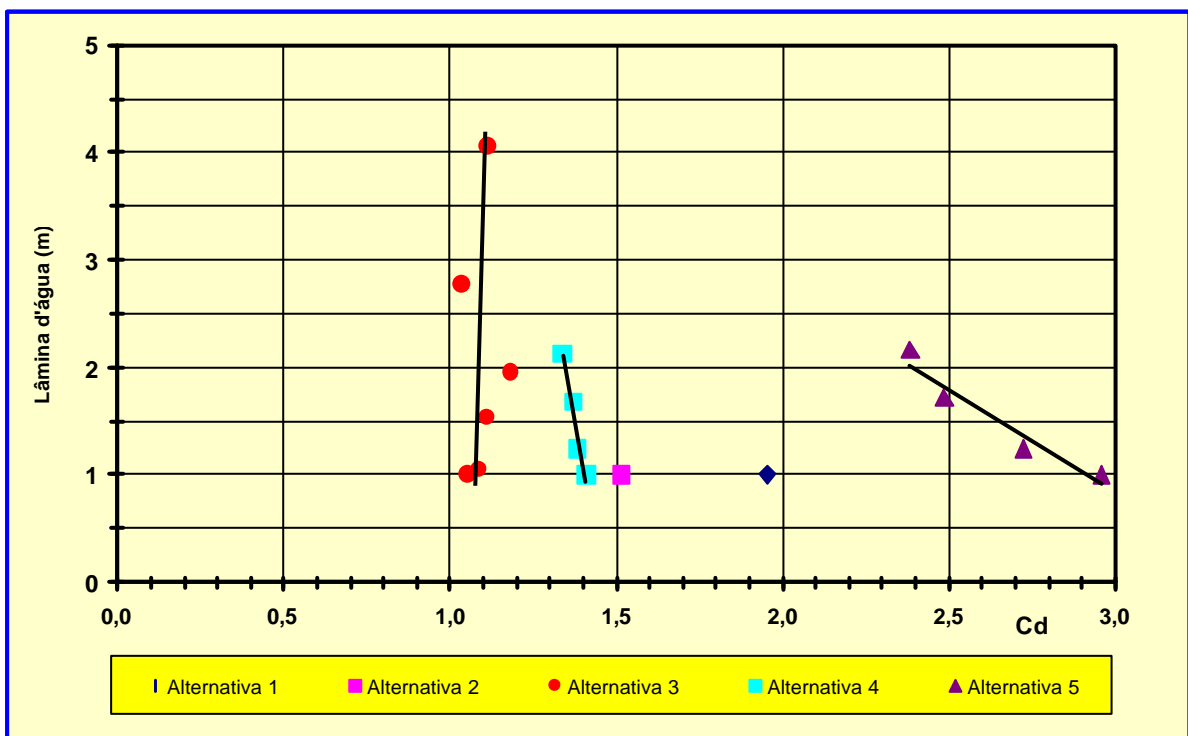


Figura 7-11: Coeficiente de Vazão e Lâmina d'água.

Tabela 7-3 : Coeficiente de Vazão

ALTERNATIVA	LÂMINA D'ÁGUA (m)	Δh (m)	VAZÃO (m3/s)		
			REAL	TEÓRICA	C <sub>D</sub>
1	1,0	0,35	0,70	1,38	1,95
2	1,0	0,24	2,58	3,90	1,51
3	1,0	0,68	2,77	2,92	1,05
	1,1		2,82	3,07	1,09
	1,5		4,02	4,47	1,11
	2,0		4,81	5,70	1,18
	2,8		7,80	8,09	1,04
	4,1		10,61	11,83	1,11
4	1,0	0,40	3,18	4,48	1,41
	1,2		4,02	5,56	1,38
	1,7		5,50	7,53	1,37
	2,1		7,10	9,50	1,34
5	1,0	0,40	0,76	2,24	2,96
	1,2		1,02	2,78	2,72
	1,7		1,55	3,85	2,49
	2,2		2,03	4,84	2,38

OBS.: a hachura indica valor extrapolado; Δh = desnível geométrico entre soleiras; VAZÃO REAL = vazão de referência obtida no modelo através do vertedor; VAZÃO TEÓRICA=  $A\sqrt{2g\Delta h}$ , onde g é a aceleração da gravidade local (9,8m/s<sup>2</sup>), A= área molhada e Δh é o desnível d'água na soleira. C<sub>D</sub>= coeficiente de vazão =  $\frac{VAZÃO\ REAL}{VAZÃO\ TEÓRICA}$ .

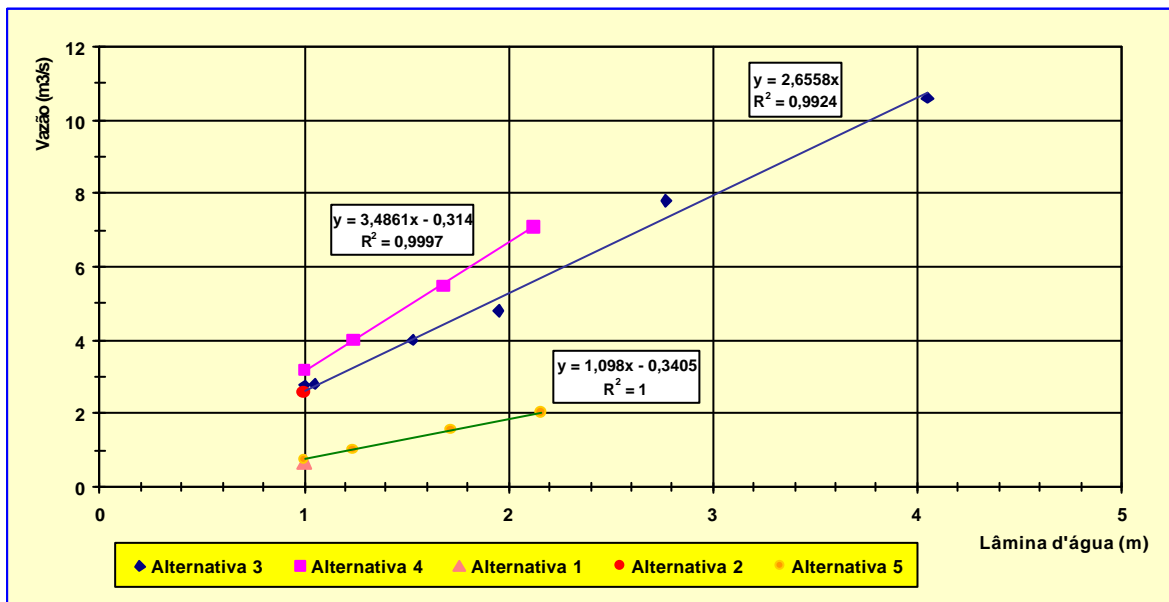


Figura 7-12: Curvas de Vazão.

### 7.5.3 Velocidades

As velocidades medidas, da Tabela 7-4, referem-se à profundidade mínima adotada como sendo igual a 1m, segundo o critério biológico.

Tabela 7-4: Velocidades Medidas.

VELOCIDADE (m/s)						VELOCIDADE (m/s)								
PONTO	ALTERNATIVA					PONTO	ALTERNATIVA							
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5			
1		1,8	0,4	1,2	2,4	0,4	8		0,2					
	a							a						
	b			2,7	2,7	0,3		b						
2		1,3	0,5	2,0	2,7	1,2	9		1,3					
	a			2,2				a						
	b			2,6	3,1	1,3		b						
3		0,7	0,3	1,2	0,8	1,6	10		1,3					
	a	0,5	0,7	1,4				a						
	b		0,5	1,8	2,0	1,4		b						
4		0,5	0,2	0,7	1,0	1,0	11		0,3					
	a	0,7	0,2	0,7				a	0,9					
	b		0,3	0,6	1,9	1,1		b	1,7					
5			0,3	0,5	1,0	2,4	12		0,4					
	a	0,6	0,5	0,5				a	1,8					
	b	1,0	0,5	0,5		2,6		b	2,0					
6			0,3		2,1	2,3	13		1,0					
	a				0,5			a	1,4					
	b					2,3		b	0,9					
7			0,3		1,4		MÁX.	1,8	2,0	2,7	3,1	2,6		
	a						MÍN.	0,5	0,2	0,5	0,5	0,3		
	b						MÉD	1,2	1,1	1,6	1,8	1,4		

OBS. : os pontos de medição não são homólogos entre alternativas e o índice alfabético representa a medição de velocidades em outros locais da mesma vertical, conforme Figuras 6-13 e 6-14. A

velocidade teórica =  $\sqrt{2g\Delta y}$ ;  $\Delta y$ = desnível d'água entre montante e jusante da soleira e  $C_v$ =

$$\text{coeficiente de velocidade} = \frac{\text{velocidade teórica}}{\text{velocidade max medida}}.$$

As velocidades teóricas superaram as intensidades das obtidas experimentalmente, podendo, assim. serem adotadas como as máximas no canal para efeito de dimensionamento biológico, com uma margem de segurança conveniente.





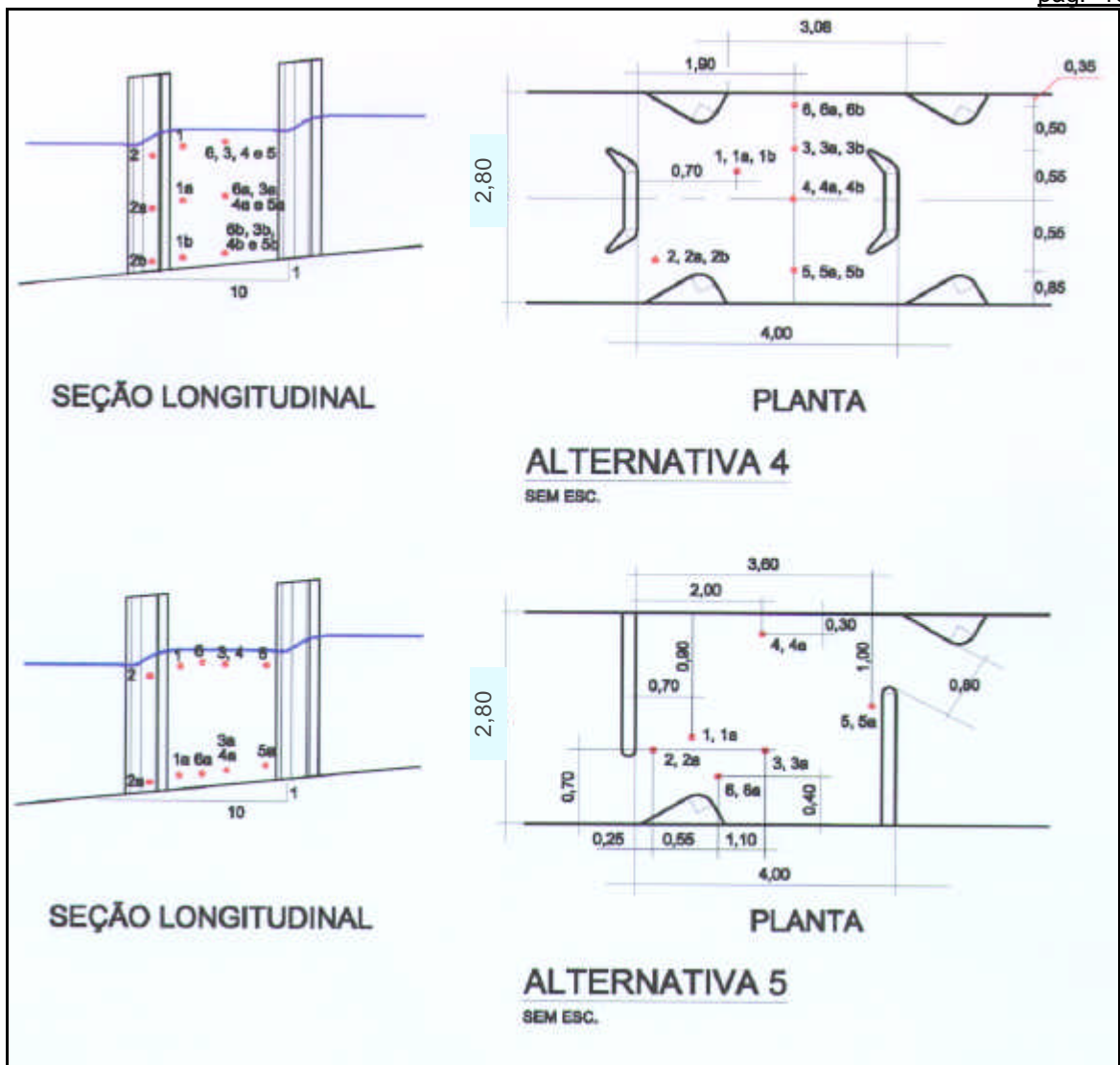


Figura 7-14: Pontos de Medição de Velocidades.

#### 7.5.4 Linhas D'Água

As linhas d'águas superficiais, devido à interface entre o fluido e o ar não estar totalmente representada pela redução de escala segundo Froude, principalmente para as profundidades menores, foi analisada qualitativamente, com destaque ao aspecto energético e ao regime de escoamento, segundo a Tabela 7-5 e 7-6 e Figura 7-15.



Tabela 7-5: Linha d'água e Energia.

ALT.	Q (m <sup>3</sup> /s)	BASE (m)	Lâmina d'água		E (W/m <sup>3</sup> )
			y (m)	intensidade	
1	0,7	1,75	1,00	M	392
2	2,58	2,80	1,00	M	904
3	2,77	5,00	1,00	A	543
	2,82		1,05		527
	4,02		1,53		516
	4,81		1,95		484
	7,8		2,77		552
	10,61		4,05		514
4	3,18	2,80	1,00	A	1114
	4,02		1,24		1136
	5,50		1,68		1147
	7,10		2,12		1173
5	0,76	2,80	1,00	B	265
	1,02		1,24		288
	1,55		1,72		316
	2,03		2,16		329

Obs.: a hachura indica valor extrapolado; y= profundidade na saída; intensidade turbulenta: (A)= alta, (M)= média e (B)= baixa; Energia dissipada,  $E = \frac{\rho g Q l}{B y}$ , onde  $\rho$ = massa específica do fluido; g= aceleração da gravidade; Q= vazão; h= desnível entre montante e jusante do fluxo; B= largura do STP; y= profundidade do fluxo e l= declividade longitudinal do canal.

As taxas experimentais de energia dissipada foram superiores aos recomendadas que são entre 150 e 200 W/m<sup>3</sup> para diádromos, indicando, assim, pouca perda e o conseqüente aumento nos campos de velocidade, mas confirmaram a sua constância independente da quantidade de fluxo, conforme Figura 7-15.

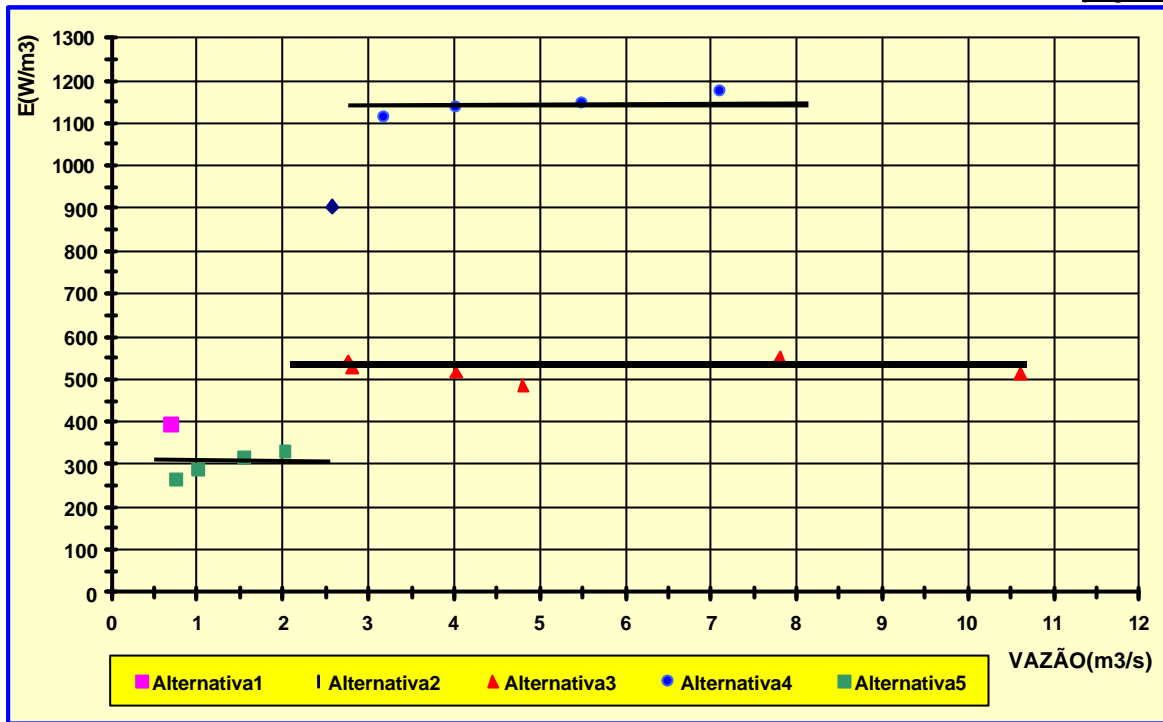


Figura 7-15: Energia dissipada.

Considerando-se o efeito de escala, principalmente para as quantidades de fluxo com baixas profundidades, a baixa energia dissipada e a análise qualitativa, era de se esperar Números de Froude torrenciais, mas que conforme Tabela 7-6, mostraram-se fluviais, ou que os escoamentos tiveram comportamento próximo ao crítico.

Tabela 7-6: Números de Froude.

ALT.	BASE (m)	Ts (m)	ÁREA MÉDIA (m <sup>2</sup> )	LÂMINA D'ÁGUA (m)		VEL. Máxima (m/s)	Fr
				REFE-RÊNCIA	ym		
1	1,750	1,350	0,525	1,000	0,389	1,800	0,9
2	2,800	2,800	1,560		0,557	2,000	0,9
3	5,000	0,800	0,800		1,000	2,700	0,9
4	2,800	1,600	1,600		1,000	3,100	1,0
5	2,800	0,800	0,800		1,000	2,600	0,8

Ts= largura superficial; ym= profundidade média; Vel.= velocidade; Fr= Número de Froude.

A análise visual acrescida pela intensidade de turbulência, taxa de dissipação, velocidades, Número de Froude e as linhas de fluxo, permitiram admitir a ocorrência de altos índices de oxigenação necessários ao caminhamento dos peixes para todas as alternativas estudadas.

### 7.5.5 Linhas de Fluxo Preferenciais

As linhas de fluxo preferenciais, recirculações e vórtices foram indicadas na Figura 7-16.

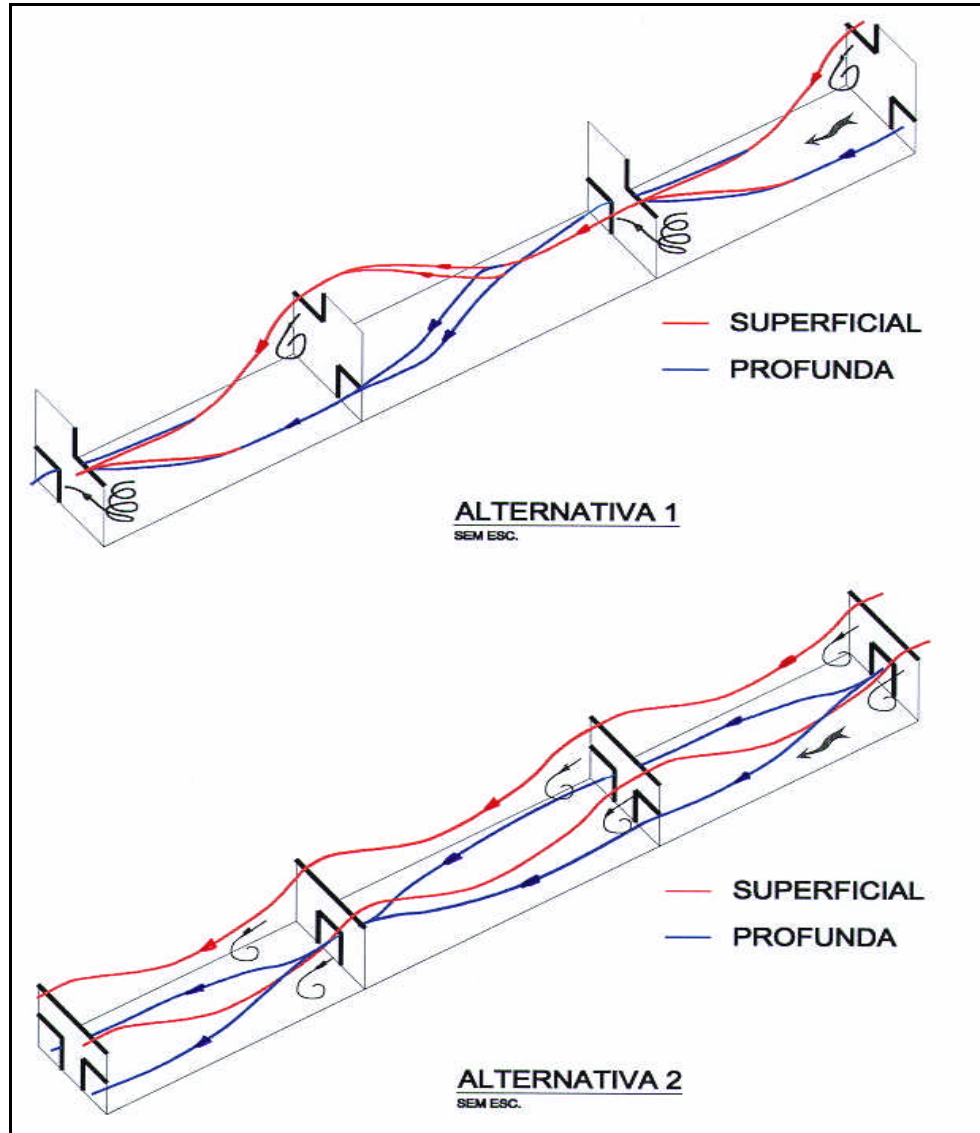


Figura 7-16: Linhas de Fluxo Preferenciais.

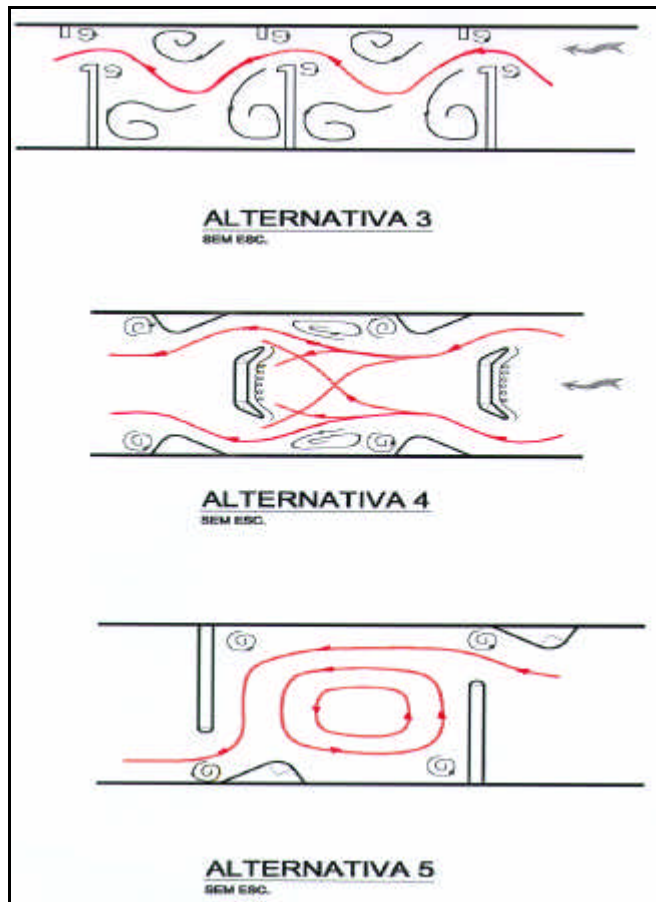


Figura 7-16: Linhas de Fluxo Preferenciais.

### 7.5.6 Comparação entre Alternativas

A alternativa 1, tipo escada com soleira superficial parcial e orifício, apresentou valores baixos de velocidades e próximas à recomendada pelo critério biológico para a locomoção dos peixes, sem causar o cansaço excessivo, vazão baixa para a profundidade mínima recomendável de 1m, o que, por conseqüência, obteve uma das mais efetivas taxas de dissipação de energia, linhas de fluxo definidas ausentes de recirculações ou vórtices comprometedores, minimizando, assim, a desorientação e concepção estrutural simples.

A alternativa 2, tipo escada com soleira superficial total e orifícios, foi, como todas as demais seguintes, melhor elaborada sob os aspectos de dimensões mínimas para suprirem a necessidade da nossa ictiofauna, valores baixos de velocidades e próximas à recomendada pelo critério biológico para a locomoção dos peixes, sem causar o cansaço excessivo, vazão baixa, porém maior que a alternativa 1, para a profundidade mínima recomendável de 1m, pouca dissipação de energia, linhas de

fluxo definidas, ausentes de recirculações ou vórtices comprometedores e concepção estrutural simples.

As alternativas 3 e 4, tipo vertical slot com 1 e 2 jatos, respectivamente, apresentaram altas vazões, altas velocidades, pouca dissipação de energia, linhas de fluxo com recirculações e vórtices e concepção estrutural sofisticada.

A alternativa 5, tipo vertical slot com 1 jato e disposição em labirinto, apresentou valores altos de velocidades, vazão baixa para a profundidade mínima recomendável de 1m, o que, por conseqüência, obteve a melhor taxa de dissipação de energia, linhas de fluxo definidas com recirculações de pequena magnitude e uma concepção estrutural simples.

Na Tabela 7-7 fez-se uma comparação entre as alternativas estudadas representada no gráfico da Figura 7-17.

Tabela 7-7: Comparação de Alternativas.

Item	Alternativa				
	1	2	3	4	5
Velocidade	a	a	c	d	c
Vazão	a	b	c	d	a
Taxa de dissipação	b	d	c	d	b
Linhas de fluxo	a	a	c	c	b
Turbulência	c	c	d	d	b
Oxigenação	a	a	a	a	a
Concepção estrutural	a	a	c	d	b
Análise visual	a	b	c	c	a

(a)= ótimo, (b)= bom, (c)= médio e (d)= ruim.

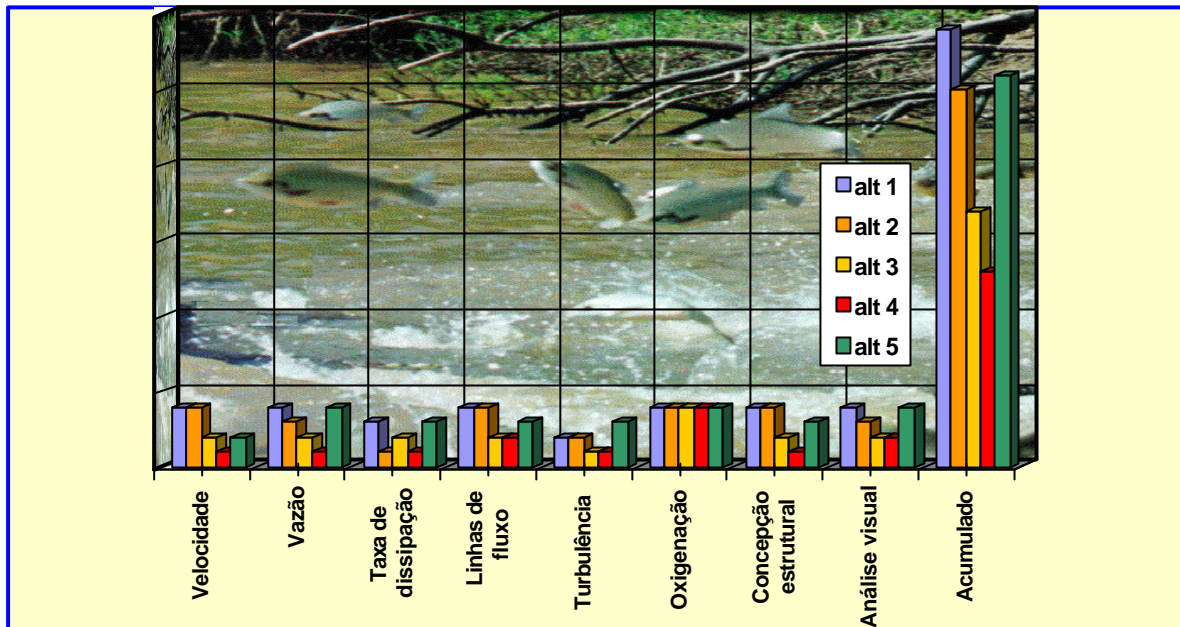


Figura 7-17: Comparação entre Alternativas.

## 7.6 Conclusões

As alternativas mais promissoras foram as 1, 2 e 5, dentro das hipóteses biohidráulicas adotadas, conforme gráfico da Figura 7-17, devendo-se prosseguir com os estudos quanto às estruturas de entrada, saída, controle de níveis, declividades longitudinais, etc., numa etapa posterior prevista.

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.

As premissas biológicas adotadas neste estudo: velocidade do fluxo, dimensão dos orifícios, lâmina d'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 a 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), padrão limnológico-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, evidencia os riscos de ineficiência e a necessidade estudos para o desenvolvimento de tecnologia nacional e profissionais específicos habilitados. Estamos recriando o “estado da arte” nacional com um atraso pelo menos secular em relação ao conhecimento internacional, ou seja, pesquisas, como os aqui realizados pela Universidade de São Paulo e outras pela Universidade Federal de Minas Gerais, devem incentivadas e divulgadas antes que seja tarde para o ambiente.

## **7.7 Estudos Futuros**

Em razão das futuras estruturas geradoras de energia possuírem quedas menores em função do potencial hídrico remanescente, dos impactos ambientais e a própria privatização do sistema energético, acredita-se que os estudos e implantações de STP's serão mais freqüentes, assim é preciso o desenvolvimento compactado entre as ciências biológicas, hidráulico-estrutural e ecológica, em tempo hábil, para consolidar às ações relacionadas ao futuro ambiental.

Pretende-se prosseguir com o estudo de STP's para o doutoramento onde, se for possível, pois depende de variáveis biológicas e ambientais não disponíveis e esclarecidas, construir um modelo em verdadeira grandeza para a introdução de elementos vivos (peixes migradores maduros), similar aos estudos desenvolvidos na UHE Bonneville, EUA (Collins, 1960, Ref. [25]) e Nakamura no Japão (1995, Ref. [93]), estudo de STP's tipo serpentina, estruturas de entrada, controle de níveis de saída, verificação de declividades longitudinais mais íngremes (Clay, 1995, Ref. [23]).

Há um campo técnico e acadêmico inexplorado que envolve a multidisciplinariedade em questões relacionadas com a hidráulica, biologia, ambiente e ecologia e socio-economia, podendo-se citar:

estudos experimentais em modelos reduzidos e matemáticos de STP's para a transposição de peixes durante a migração trófica e reprodutiva;

estudos de eficiência dos tipos de STP's em modelos reduzidos em verdadeira grandeza com elementos vivos, peixes migradores;

sistemas de instrumentação e monitoramento para contagem e identificação de espécies;

critérios para projetos de STP's que contemplem a diversidade dos peixes nacionais;

inventário com o comportamento e caracterização dos peixes migradores em ambientes natural e artificiais como nos STP's, barragens e hidroelétricas (Tomadas d'água, Vertedores, Turbinas);

estudos e alternativas para implantação de “lares de reprodução” artificiais;

técnicas de repulsão e indução de peixes com acústica, elétrica e elementos físicos;

transposição de peixes pelas turbinas, vertedores e eclusas de navegação;

impactos no sistema de geração energética hidráulica;

estudos sobre a implantação de STP's nos barramentos existentes;

análise de benefícios e impactos advindos da implantação de STP's.