SIDNEY LAZARO MARTINS

**SISTEMAS PARA A TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES
NEOTROPICAIS POTAMÓDROMOS**

**Tese apresentada à Escola
Politécnica da Universidade
de São Paulo para obtenção
do Título de Doutor em
Engenharia.**

VOLUME 1

**São Paulo
2005**

SIDNEY LAZARO MARTINS

**SISTEMAS PARA A TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES
NEOTROPICAIS POTAMÓDROMOS**

**Tese Apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia.**

**Área de Concentração:
Engenharia Hidráulica**

**Orientador: Prof. Dr. Eng. Kikuo
Tamada**

**São Paulo
2005**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original,
sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu
orientador.

São Paulo, 01 de setembro de 2005.

Dr. MSc. Eng. Prof. Sidney Lazaro Martins

Dr. Eng. Prof. Kikuo Tamada

FICHA CATALOGRÁFICA

MARTINS, Sidney Lazaro

Sistemas à Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos.
/Sidney Lazaro Martins; orientador: Prof. Dr. Kikuo Tamada - São
Paulo, 2005.

468 f.- 2 Volumes.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia,
Área de Concentração: Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo.

1. Transposição para Peixes Neotropicais Potamódromos. **2.**
Escadas para Peixes Neotropicais **3.** Piracema **4.** Mitigação de
Impactos Ambientais devido aos Reservatórios e Barragens.

DEDICATÓRIA

Esta tese, como tudo, é para a minha família: Sueli, Guilherme e Fernando, com a pretensão de um país melhor, harmônico com a natureza, pois as mudanças nas concepções e no mundo começam e devem ocorrer primeiro nas pessoas.

Dedico, também, aos meus pais, que, no universo de suas simplicidades, me fizeram imagem de tudo que considero bom, honesto e justo.

Este trabalho presta uma homenagem póstuma ao Naturalista e Historiador Manoel Pereira de Godoy, nosso primeiro professor e o “escrivinhador-bandeirante” sobre a nossa história, ictiologia e o meio ambiente.

Não há como não lembrar o jornalista, educador, poeta, jornalista, escritor, ator e boêmio, não necessariamente nesta ordem, ao acaso meu primo, Wagner Costa, que desempenha seu escrito com uma intensidade sentimental e brilho emocional que me servem de inspiração e admiração.

Não lembrar do meu irmão de afinidade e admiração: Dr. Adv. Newton Cândido da Silva, seria uma injustiça e ingratidão a tudo que me tem proporcionado e ao pouco que posso oferecer.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Eng. Kikuo Tamada pelas diretrizes seguras e os constantes incentivos que valorizaram o trabalho e me humanizaram.

Enquanto soldado do saber, compromissado com um futuro melhor; sou um produto dos que me incentivam e acreditam. Há uma parte significativa minha existência devida aos amigos e/ou profissionais, aos quais agradeço: Prof. Dr. Kokei Uehara; Prof. Dr. Eng. José Rodolfo S. Martins; Dr. Eng. Pedro D. Jensen; Dr. Eng. Rubens T. Barth; Eng. José Roberto dos S. Vieira; Prof. MSc. Eng. Danny D. de Oliveira; Prof. MSc. Eng. Jane L. Vieira; MSc. Eng. Paulo C. Gonçalves Serra; MSc. Eng. Virgínia C. Pimentel; Dr. Eng. Aluisio Pardo Canholi; Dr. Adv. Francisco Gimenez; Dr. Adv. Newton C. da Silva; sábio Josef Kadlec; Naturalista, Historiador e Prof. Manoel Pereira de Godoy; em suma: sou um eterno devedor a todos, que variáveis em suas intensidades e formas, deixaram um pouco de suas impressões, condutas e técnica nesta minha efêmera passagem.

Agradeço à família FCTH pelo apoio técnico.

Agradeço à Escola Politécnica e ao Departamento de Energia Elétrica do Estado de São Paulo com os estudos experimentais de similitude física tridimensional.

Agradeço a vida e as oportunidades de superar aos desafios oferecidos, à falta de eco as minhas idéias e propostas, à frustração no almejo de ambições e vontades e às adversidades, pois se traduziram e compuseram, assim acredito na formação de um humano melhor.

RESUMO

Os Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais são, ainda, temas multidisciplinares polêmicos envolvendo cultura ambiental, engenharia, biologia, ecologia, política e economia. Nesse universo de interesses, o econômico diverge do ambiental, principalmente no escopo dos investimentos corporativos em energia hídrica, nos quais a busca de lucros suplanta o compromisso ambiental, deixando o ônus à sociedade e irrelevando o bem renovável dos peixes nos ecossistemas aquáticos.

Há um grande interesse corporativo nacional para mistificar e irrelevar as estruturas para passagens de peixes em barramentos de modo à desjustificá-las como alternativa de mitigação de impactos e assim não expandi-las, tornando-as não obrigatórias principalmente em empreendimentos existentes, em que pese às questões ictiológicas abertas e não esclarecidas que deveriam estar em grau de consistência e confiança mais desenvolvidas.

Os Estudos de Impactos Ambientais e os relicenciamentos dos barramentos são os instrumentos para disciplinar os STP's, mas deixam a desejar quando os empreendedores ou investidores são também os agentes que financiam os estudos. As agências licenciadoras contam com uns corpos técnicos inexperientes e susceptíveis a informações parciais e com forte empenho político e econômico.

A concepção, projeto, manuseio de vazões, níveis, velocidades, potência do escoamento são de natureza hidráulica para as quais os engenheiros, atendendo as premissas biológicas dos peixes, são os agentes indicados para o tratamento dos sistemas para a transposição de peixes em barragens.

Neste trabalho há as propostas para STP's nacionais baseadas em de estudos de similitude tridimensional; a apresentação de recomendações e critérios baseados na experiência nacional além da proposta experimental de criadouros artificiais em reservatórios e afluentes simulando-se os baixios e lagoas marginais.

Para que as informações contidas neste trabalho não sejam reproduzidas erroneamente: as dimensões do STP devem ser concebidas em função das espécies a serem transportadas, que variam segundo as variáveis ambientais locais. O projeto de um STP não pode ser padronizado, pois implicará em erros. Padronizar um STP é reduzir a técnica e a ciência a um padrão primário, tipo "Manual de Bolso", o que não atenderia aos peixes, fadando a concepção ao insucesso.

Palavras-chave: Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais; Escadas para Peixes; Migração de Peixes; Impactos Ambientais de Barramento de Rios; Piracema.

ABSTRACT

The theme “Systems for Neo-tropical Fishes Transposition” is a multidisciplinary subject: it encompasses the fields of engineering, biology, ecology, politics, economy and environmental culture. It is also a polemic subject: in a broad range of interests, most of the time the economical overtake the environmental ones. This is especially true when corporative investments in hydroelectric energy are under consideration, where seek for profits supersedes the environmental commitments, leaving to the community the liability of endangering fish species’ renewal in aquatic ecosystems.

In fact, there is a strong corporative interest, in the national context, to obstacle fish passage devices, not only for new dam structures, but also for the existing ones. Among the local entrepreneurs there is a tendency to mystify and underestimate fish passage structures, as a way to disqualify them as effective mitigative measures. The development of a “fish passages culture” in the country becomes even more difficult. Additionally, there are several non-clarified questions related to neo-tropical fish species; those issues should already be in a more developed consistency and soundness stage.

Environmental Impact Assessments and existing dams Re-licensing Processes should play a disciplinary role for fish passage structures, but they usually fail when the investors and/or entrepreneurs are the ones who financially support those studies. Even worse, licensing agencies’ technical staffs frequently lack on reliable information and let themselves be guided by political and economical interests.

The treatment of discharges, water levels, velocities, energy of flow, dimensions and layout or, in a broader sense, the conception and design of fish passage structures, should only be carried out by specialist engineers, with the invaluable supervision of biologists.

The objective of this Thesis is the proposition of fish passage structures adapted to the conditions of Brazilian rivers and following the results of studies with reduced scale tri-dimensional models. Also some recommendations and criteria are presented, supported by the feedback from nationwide experience. Finally, a proposition is presented for the experimental implementation of artificial breeding farms along reservoirs and tributaries, where the conditions of swamps and peripheral ponds could be reproduced.

The dimensions of the STP must be function of the species to be transponding, of this form its conception cannot be standardized, therefore it will imply in errors. To standardize a STP is to reduce the technique and science to a secundarista standard, Manual of Pocket, what it would not take care of to the fish, predestinateing the conception to failure.

Key-words: Systems for Neo-tropical Fishes Transposition; Fish Ladders; Fish Passage Structures; Fishways; Fish Migration; Dam related Environmental Impacts; Piracema.

SUMÁRIO

1. APOLOGIA.....	1
2. INTRODUÇÃO.	13
3. ESTADO DA ARTE DOS SISTEMAS PARA A TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES.....	25
3.1. Introdução.	25
3.2. História dos STP's.	46
3.3. Custo do STP.....	72
3.4. Tipos de STP's mais utilizados.	75
3.5. Comparação entre os Tipos de STP's.....	81
4. CARACTERÍSTICAS E PREFERÊNCIAS BIOFÍSICAS DOS PEIXES NEOTROPICAIS.....	84
4.1. Velocidade dos Peixes.	84
4.1.1. Massa Muscular Ictíca	98
4.1.2. Forças de Resistivas	100
4.1.3. Forças propulsoras	113
4.2. Potência do Escoamento no STP.....	117
5. ESTUDOS FUTUROS.	123
6. ESTUDO EXPERIMENTAL.....	130
6.1. Introdução.	130
6.2. Alternativas Estudadas.....	138

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicals Potamódromos

6.3.	Variáveis Envolvidas e Princípios Hidráulicos.....	140
6.3.1.	Condicionantes dos Peixes.....	141
6.3.2.	Similitude.....	142
6.3.3.	Números de Froude e Reynolds.....	150
6.3.4.	Vazão.....	152
6.3.5.	Velocidades.....	154
6.3.6.	Linhas de Fluxo.....	155
6.3.7.	Superfície Livre D'água.....	157
6.3.8.	Potência do Escoamento no Tanque.....	158
6.3.9.	Turbulência.....	159
6.3.10.	Oxigenação.....	160
6.3.11.	Custo.....	160
6.3.12.	Capacidade de Passagem aos Peixes.....	162
6.3.13.	Adequabilidade aos Peixes.....	163
6.4.	Resultados Obtidos.....	163
6.4.1.	Vazões.....	163
6.4.2.	Velocidades.....	164
6.4.3.	Linhas de Fluxo e Superfície D'água.....	168
6.4.4.	Potência do Escoamento no Tanque.....	170
6.4.5.	Turbulência.....	170
6.4.6.	Oxigenação.....	171
6.4.7.	Custo.....	171
6.4.8.	Capacidade de Passagem aos Peixes.....	172
6.4.9.	Adequabilidade aos Peixes.....	172
6.5.	Análise dos Resultados.....	173
6.5.1.	Vazões.....	173
6.5.2.	Velocidades.....	176
6.5.3.	Linhas de Fluxo e Superfície D'água.....	177
6.5.4.	Potência do Escoamento no Tanque.....	178
6.5.5.	Turbulência.....	178
6.5.6.	Oxigenação.....	178
6.5.7.	Custo.....	178
6.5.8.	Capacidade de Passagem aos Peixes.....	178
6.5.9.	Adequabilidade aos Peixes.....	179
6.6.	Comparação entre as Alternativas.....	179
6.7.	Conclusões.....	181

7. PROPOSTA DE ALTERNATIVA.183

7.1. Recomendações para projetos de STP's para Ascensão de Peixes Nacionais..... 189

7.1.1.	Ictiofauna.	190
7.1.2.	Eficiência e Seletividade.	198
7.1.3.	Entrada do STP.	200
7.1.4.	Declividade longitudinal do STP.	201
7.1.5.	Lâmina de água no interior do STP.....	202
7.1.6.	Largura ou base do STP.	203
7.1.7.	Vazão.	204
7.1.8.	Paredes Transversais.	208
7.1.9.	Potência Específica do Escoamento.	209
7.1.10.	Desnível entre Tanques.	210
7.1.11.	Tanques para Descanso.	211
7.1.12.	Velocidades do Fluxo.	211
7.1.13.	Níveis de Água de Jusante.....	212
7.1.14.	Níveis de Água no Reservatório.....	212
7.1.15.	Saída e Estrutura de controle de níveis.....	213
7.1.16.	Proteção.....	217
7.1.17.	Monitoramento e Educação Ambiental.	217
7.1.18.	Reservatório.	218
7.1.18.1.	Eutrofização.	222
7.1.18.2.	Abundância de Peixes.	227
7.1.18.3.	Criadouros Artificiais.	228
7.1.18.4.	Aeradores.	236
7.1.18.5.	Passagem de Peixes para Jusante.	244

ANEXO 1: PANORAMA INTERNACIONAL DOS SISTEMAS PARA A TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES.247

ANEXO 2: PANORAMA NACIONAL.295

ANEXO 3: PEIXES NEOTROPICAIS.....319

ANEXO 4: DADOS EXPERIMENTAIS – MODELO REDUZIDO.....354

ANEXO 5: ARTIGOS.....367

REFERÊNCIAS.	372
---------------------	------------

GLOSSÁRIO.	393
-------------------	------------

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

As figuras, genericamente atribuídas às ilustrações, fotos, gráficos e desenhos, apresentados nesta tese, estão relacionados abaixo:

	Pág.
Figura 1: Resgate de Peixes no tubo de sucção.....	6
Figura 2: Região Neotropical.....	14
Figura 3: Proibição de Soltura de Peixes de laboratório.....	18
Figura 4: Cascadeamento dos principais rios paulistas.....	19
Figura 5: Previsão de cascadeamento do rio Tocantins.....	20
Figura 6: Estruturas de um STP tipo escada: A) Arranjo; B) Seção Longitudinal e Transversal.....	26
Figura 7: Barragem sem STP.....	27
Figura 8: Barragem com STP – movimento migratório ascendente.....	27
Figura 9: Barragem com STP – movimento migratório descendente.....	27
Figura 10: Grau Ambiental de Complexidade.....	29
Figura 11: STP tipo escada com soleira ou degrau.....	31
Figura 12: STP tipo escada com soleira e orifício.....	32
Figura 13: STP tipo escada Denil.....	33
Figura 14: STP tipo “Vertical Slot” com 1 e 2 jatos.....	34
Figura 15: STP tipo eclusa.....	35
Figura 16: STP Tipo Elevador para Peixes.....	36
Figura 17: STP tipo embarcação transportadora.....	37
Figura 18: STP tipo “Trap and Truck”.....	38
Figura 19: STP tipo "like a river".....	39
Figura 20: STP tipo canal lateral.....	40
Figura 21: STP tipo escada em serpentina.....	41
Figura 22: STP tipo escada alternada.....	42
Figura 23: Bomba para peixes.....	42
Figura 24: Engrenagem com Caçamba.....	43
Figura 25: Passagem de peixes pelas Tomadas D'água.....	44

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicals Potamódromos

Figura 26: Passagem na Tomada de Água e Turbina.	45
Figura 27: STP tipo escada primitivo (Marshall MacDonald).	49
Figura 28: STP tipo escada Vertical Slot com um jato.....	50
Figura 29: STP tipo escada Denil.....	52
Figura 30: STP's em Bonneville e John Day, rio Columbia, EUA.	53
Figura 31: STP tipo "Vertical Slot" com 1 jato.....	54
Figura 32: STP tipo "Vertical Slot com 2 jatos" ("Hell's Gate").....	55
Figura 33: STP tipo escada (Ice Harbor).....	56
Figura 34: UHE Ice Harbor, EUA.....	57
Figura 35: STP Tipo Alaska.....	59
Figura 36: STP tipo espiral.....	60
Figura 37: Seção e planta do STP da Barragem Badush, rio Tigres, Iraque.	60
Figura 38: Custo de STP's.	74
Figura 39: Fischtreppe im Kanton Bern, Alemanha; Rocky Reach, EUA; Bazacle, França.....	85
Figura 40: Estudos de percurso ictíco.	86
Figura 41: Velocidade Referencial dos peixes versus tempo.	87
Figura 42: Velocidade do Peixe versus Comprimento.	88
Figura 43: Ciclo de vida do salmão.....	89
Figura 44: Migração do Salmão.....	91
Figura 45: Salmão Chinook.....	92
Figura 46: Velocidade Crítica do Peixe versus Comprimento.	93
Figura 47: Velocidade de explosão.	94
Figura 48: Velocidade Crítica.	94
Figura 49: Velocidade Referencial dos Peixes.....	95
Figura 50: UHE Porto Primavera durante o desvio com STP Provisório.....	96
Figura 51: Cascudo vencendo altas velocidades do fluxo.....	97
Figura 52: Correlação entre a massa e comprimento de Peixes de Escamas.....	99
Figura 53: Correlação entre a massa e comprimento de Peixes de Couro ou Placas Ósseas.....	99
Figura 54: Forças resultantes num peixe.....	100

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicals Potamódromos

Figura 55 : Forças de arraste no avanço de um peixe.....	101
Figura 56: Forma em Planta de Peixes: a) anguiforme, b) fusiforme e c) bentoforme.....	101
Figura 57: Forma Longitudinal e Transversal de Peixes.....	102
Figura 58: Composição de forças contra o movimento de peixes no STP.	103
Figura 59: Sistema Propulsor dos Peixes	114
Figura 60: Mecanismo Propulsor dos Peixes.	114
Figura 61: Número de Strouhal.....	114
Figura 62: Número de Strouhal ictícos ótimos.....	115
Figura 63: Número de Strouhal ictícos ótimo.	116
Figura 64: Frequência versus temperatura.	116
Figura 65: Alternativas de STP para estudo.....	123
Figura 66: Tela corta fluxo dos peixes e monitoramento no STP da UHE Lajeado.....	125
Figura 67: Estudos de Similitude na FCTH.	125
Figura 68: Estudos com monitoramento na UHE Itaipu.	126
Figura 69: Monitoramento na UHE Porto Primavera, massa de gônadas.	127
Figura 70: Estudos de monitoramento do STP na UHE Igarapava.	127
Figura 71: Marcação de um dourado e retirada de um Jaú do Elevador, UHE Funil, rio Grande, MG.	127
Figura 72: Macrófita Eichornia azurea e Eichornia crassipes.	128
Figura 73: Coleta de peixes: Espinhel, Peneirão, Pesca Elétrica, Rede de Espera, Rede de Arrasto, Tarrafa.	128
Figura 74: Coleta de ovas e larvas e noturna com rede de plâncton.....	129
Figura 75: Fiscalização.....	129
Figura 76: Modelo Reduzido Hellgates, rio Missisipi, EUA, 1943. Escala 1:50.	131
Figura 77: Laboratório no Japão – “Fishway”. Escala 1:1.	131
Figura 78: Modelo Reduzido escada Tipo Denil – Japão.....	132
Figura 79: Estudos em Modelo Reduzido de uma escada, Universidade Oulu, Finlândia, 1999.	132
Figura 80: Laboratório da FCTH, USP, SP, escalas 1:8 e 1:15.....	132
Figura 81: rio Mondego, Barragem Coimbra, Portugal.....	133

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicals Potamódromos

Figura 82: Hydrolabor der Bauhaus-Universität in Schleusingen - Alemanha, Estudo de Modelagem com vários tipos de STP's.	133
Figura 83: Canal de Piracema em Itaipu - LACTEC e CEHPAR.	134
Figura 84: Estudo do movimento do peixe.....	135
Figura 85: Modelo Tridimensional Parcial.....	137
Figura 86: Alternativa 1 – soleira livre maior e menor e um orifício.....	139
Figura 87: Alternativa 2 – “Vertical Slot”.....	139
Figura 88: Alternativa 3 – soleira livre maior e menor e dois orifícios.....	140
Figura 89: Seção tipo constante do canal do STP experimental (1,0 x 0,8m).	141
Figura 90: Declividade longitudinal do canal.	141
Figura 91: Alternativa 1 – Soleiras maior e menor e orifício.....	143
Figura 92: Alternativa 2 – “Vertical Slot”.....	143
Figura 93: Alternativa 3 – Soleiras maior e menor e orifícios.	144
Figura 94: Alternativa 1 – Soleiras maior e menor e orifício, espaçamento de 4,0m.....	145
Figura 95: Alternativa 2.1 – “Vertical Slot” Normal com espaçamento de 2,7m.	146
Figura 96: Alternativa 2.2 – “Vertical Slot” Normal com espaçamento de 3,4m.	147
Figura 97: Alternativa 2.3 – “Vertical Slot” Alternado com espaçamento de 3,4m.....	148
Figura 98: Alternativa 3 – Soleiras maior e menor e orifícios, espaçamento de 4,0m.	149
Figura 99: Situações Hidráulicas das Soleiras.....	152
Figura 100: Quadro manométrico diferencial mercúrio e água.....	153
Figura 101: Tanque de Tranqüilização, Alimentação principal e complementar.....	153
Figura 102: Medidor deprimogênico de vazões em condutos forçados tipo “permetube inserido”. ...	154
Figura 103: Medidores de Velocidade: contador, conjunto de medição: carrinho, régua, haste, hélice e amplificador.....	155
Figura 104: Peixes Salmões desorientados devido às correntes incomuns.	156
Figura 105: Linhas de Fluxo.	156
Figura 106: Linhas de Fluxo num STP.	157
Figura 107: Superfície da água no rio prata/MS e a jusante da Cachoeira Olho D'água no rio prata/MS.	157
Figura 108: Superfície da linha da água, A) reservatório; B) canal; C) ondas.	158

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicals Potamódromos

Figura 109: Relações geométricas do tanque: (A) Alternativas 1 e 3 e (B) Alternativas 2	159
Figura 110: Alternativa 1 – Velocidades Máximas e Médias.....	165
Figura 111: Alternativa 2.1 – Velocidades Máximas e Médias.....	166
Figura 112: Alternativa 2.2 – Velocidades Máximas e Médias.....	167
Figura 113: Alternativa 3 – Velocidades Máximas e Médias.....	168
Figura 114: Alternativa 1 – Linhas Preferenciais de Fluxo Longitudinais (A) e Superficiais (B).	169
Figura 115: Alternativa 2 – Linhas Preferenciais de Fluxo Longitudinais (A) e Superficiais (B).	169
Figura 116: Alternativa 2 – Linhas Preferenciais de Fluxo Longitudinais (A) e Superficiais (B).	170
Figura 117: Escoamento oxigenado no modelo.	171
Figura 118: Alternativas 1, 2.1 e 2.2 e 3.	180
Figura 119: Gráfico comparativo entre as Alternativas estudadas com declividade longitudinal igual a 10%.....	181
Figura 120: Alternativa 1 Proposta.	186
Figura 121: Alternativas 2 Propostas.	187
Figura 122: Alternativa 3 Proposta.	188
Figura 123: Migração ictica.	191
Figura 124: Pesca e os Migradores.....	192
Figura 125: Criatórios de Peixes Naturais, Meandros no Rio Juruá, Acre.	192
Figura 126: Criatórios de Peixes Naturais, Pantanal.	193
Figura 127: Sentido de deslocamento de ovas, larvas e alevinos na seção de um rio.	193
Figura 128: Migração continental provável.	194
Figura 129: Deriva provável de ovas, larvas e alevinos.	194
Figura 130: Migração de Peixes nas Bacias do Paraná e São Francisco.	195
Figura 131: Gônada de macho e ovas na fêmea, ovas de pacu, espermição e desova.	197
Figura 132: Desova Artificial para Salmonídeos (salmões) no Canadá.	199
Figura 133: Canal de Desova Experimental Artificial da UHE Itaipu.	200
Figura 134: Rampa de acesso para a entrada.....	201
Figura 135: PCH Gavião Peixoto, Rio Jacaré-Guaçu, São Paulo - Arranjo com Geração Isolada.	206
Figura 136: STP em PCH.....	207

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicals Potamódromos

Figura 137: Corte com o Esquema de Saídas Seletivas em STP.....	214
Figura 138: Planta com o Esquema de Saídas Seletivas em STP.....	214
Figura 139: Reservatório do AHE Lajeado, rio Tocantins com macrófitas na saída do STP.....	215
Figura 140: Estrutura de controle de níveis d'água para depleção de 2m.....	216
Figura 141: Proteção no STP.	217
Figura 142: Visores para monitoramento e visita.....	218
Figura 143: Passarelas e iluminação para monitoramento e visita.	218
Figura 144: Compartimentos de um Ecossistema Lacustre.....	220
Figura 145: O Processo de Eutrofização.	223
Figura 146: Eutrofização Acelerada.....	225
Figura 147: Conseqüências da Eutrofização no Sistema.....	225
Figura 148: Abundância de peixes com o tempo de represamento.	228
Figura 149: Planta da oscilação do nível d'água no reservatório.....	230
Figura 150: Perfil da oscilação do nível d'água no reservatório.....	231
Figura 151: Criadouro Artificial no corpo do afluente.....	232
Figura 152: Estrutura de controle tipo "K-Dam".	232
Figura 153: Estrutura de Controle tipo "Gabion Dam".	233
Figura 154: Estrutura de Controle tipo "Rock-Dam".	233
Figura 155: Estrutura de Controle tipo "like a river".	233
Figura 156: Várzea de conforto, abrigo e desenvolvimento de peixes.....	234
Figura 157: Planta do criadouro proposto.	235
Figura 158: Seção transversal do criadouro – AA.....	235
Figura 159: Diques do criadouro – Tipos.....	236
Figura 160: Aeração.....	236
Figura 161: Aeração de coluna estratificada.	237
Figura 162: Retirada Seletiva de Massas d'Água.....	238
Figura 163: Aeração do Hipolímnio.....	239
Figura 164: Aeração de Lagos Rasos por Meio de Mangueiras.....	239
Figura 165: Remoção de Sedimentos por Sucção	240

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 166: Oxidação Química dos Sedimentos	241
Figura 167: Utilização de Peixes (Carpa Ou Tilápia) para Controle das Macrófitas	242
Figura 168: Tomada d'Água com Comporta Adaptável ao NA.....	243
Figura 169: Tomada d'Água com Viga Anti-vórtice.....	244
Figura 170: Rotor de Turbinas típicas de Hidroelétricas.....	245
Figura 171: Mortalidade de peixes na passagem pela turbina.....	246
Figura 172: "Bypass" para Turbinas.....	247
Figura 173: "Bypass" na Tomada D'água da Turbina.....	248
Figura 174: "Bypass" na Tomada D'água da Turbina com Desvio para o Vertedor.....	248
Figura 175: Rotas migratórias de peixes na França.....	248
Figura 176: STP's Americanos.....	252
Figura 177: SPT's Dinamarqueses.....	266
Figura 178: SPT's Tailandeses.....	266
Figura 179: SPT's Canadenses.....	267
Figura 180: SPT's Australianos.....	271
Figura 181: STP's Escoceses.....	271
Figura 182: STP's Poloneses.....	272
Figura 183: STP's Alemães.....	273
Figura 184: STP's Portugueses.....	278
Figura 185: STP's Franceses.....	278
Figura 186: STP's Nepalenses.....	283
Figura 187: STP's Espanhóis.....	283
Figura 188: STP's Japoneses.....	284
Figura 189: STP's Dinamarqueses.....	290
Figura 190: STP's Noruegueses.....	290
Figura 191: STP's Desconhecidos.....	291
Figura 192: AHE Lajeado, rio Tocantins, TO.....	298
Figura 193: UHE Porto Primavera, rio Paraná, SP/PR.....	301
Figura 194: UHE Igarapava, rio Grande, MG.....	304

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 195: PCH Braço Norte, rio Braço Norte, MS.	306
Figura 196: UHE Canoas, rio Paranapanema, SP.	306
Figura 197: PCH Dourados, rio Sapucaí Mirim, SP.	308
Figura 198: PCH Cachoeira de Emas, rio Mogi Guaçu, SP.	309
Figura 199: PCH Piraju Nova, Rio Paranapanema, SP.	309
Figura 200: UTE Paraopeba, rio Paraopeba, MG.	310
Figura 201: PCH Piraju, rio Paranapanema, SP.	310
Figura 202: PCH São Joaquim, rio Sapucaí Paulista, SP.	311
Figura 203: UHE Itaipu, rio Paraná.	311
Figura 204: Escada Experimental de Itaipu.	313
Figura 205: Fazenda Santa Luzia, rio Urubu, GO.	313
Figura 206: PCH Quatiara, rio do Peixe, SP.	314
Figura 207: PCH Reinaldo Gonçalves, Ribeirão dos Porcos, SP.	314
Figura 208: PCH Salto Grande, rio Atibaia, Campinas, SP.	315
Figura 209: PCH da Barragem do 29, São Carlos, SP.	316
Figura 210: Salto Grande, rio Atibaia, SP.	317
Figura 211: UHE Mogi.	317
Figura 212: UHE Peixe Angical, rio Tocantins, GO.	317
Figura 213: Padrão visual semelhante: Jatuarana e Matrinxã.	321
Figura 214: <i>Lepidorisen paradoxa</i> . AM/TO. LT= 100cm.	329
Figura 215: <i>Arapaima gigas</i> . Arapaima AM. LT= 200cm.	329
Figura 216: <i>Osteoglossom bicirrhosum</i> . Aruanã AM/TO. LT= 100cm.	329
Figura 217: <i>Aguarunichthys tocantinsensis</i> . TO. LT= 45cm.	329
Figura 218: <i>Brachyplatysoma vaillanti</i> . Piramutaba AM. LT= 200cm.	329
Figura 219: <i>Brachyplatystoma filamentosum</i> . Piraíba, Filhote. AM/TO. LT= 250cm.	329
Figura 220: <i>Brachyplatystoma flavicans</i> . Dourada. AM. LT= 150cm.	330
Figura 221: <i>Hemisorubim platyrhynchus</i> . Juropoca. TO. LT= 55cm.	330
Figura 222: <i>Lophiosilurus alexandri</i> . SF. LT= 80cm.	330
Figura 223: <i>Pauliceia lutkenii</i> . Jaú.	330

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 224: <i>Pinirampus pinirampu</i> . Barbado AM/TO/PR. LT= 70cm.	330
Figura 225: <i>Piramutana pitramuta</i> . Piramutana. TO. LT= 30cm.	330
Figura 226: <i>Pseudopimelodus fowleri</i> . SF. LT= 70cm.	331
Figura 227: <i>Pseudoplatistoma fasciatus</i> . Cachara. TO/AM/PR. LT= 100cm.	331
Figura 228: <i>Pseudoplatystoma coruscan</i> . Pintado, Surubim. AM/TO/PR/SF. LT= 100cm.	331
Figura 229: Sorubim lima. AM. LT= 45cm.	331
Figura 230: <i>Zungaro zungaro</i> . Jaú Pedra. AM/TO. LT= 20cm.	331
Figura 231: <i>Brochis multiradiatus</i> . AM. LT= 15cm.	331
Figura 232: <i>Hoplosternum sp.</i> AM. LT= 12cm.	331
Figura 233: <i>Megalechis thoracata</i> . PR. LT= 20cm.	331
Figura 234: <i>Corydoras barbatus</i> . RJ. LT= 10cm.	331
Figura 235: <i>Corydoras kronei</i> . SP. LT= 13cm.	332
Figura 236: <i>Oxydoras kneri</i> _Armado. Armado. PR/TO/AM.	332
Figura 237: <i>Oxydoras kneri</i> . Armado. Armau. PR/TO/AM. LT= 85cm.	332
Figura 238: <i>Pterodoras granulosus</i> . Abotoado PR/TO. LT= 90cm.	332
Figura 239: <i>Acanthodoras spinosissimus</i> . AM. LT= 15cm.	332
Figura 240: <i>Rhynchodoras xingui</i> . AM. LT= 10cm.	332
Figura 241: <i>Trachydoras paraguayensis</i> . TO. LT= 12cm.	332
Figura 242: <i>Tracydoras atripes</i> . AM. LT= 12cm.	332
Figura 243: <i>Lithodoras dorsalis</i> . Bacu-pedra AM. LT= 80cm.	333
Figura 244: <i>Platydoras costatus</i> . AM/TO. LT= 20cm.	333
Figura 245: <i>Pseudodoras niger</i> . AM. LT= 100cm.	333
Figura 246: <i>Rhinodoras dorbignyi</i> . TO. LT= 20cm.	333
Figura 247: <i>Ageneiosus brevifilis</i> . Manduba AM. LT= 40cm.	333
Figura 248: <i>Arius Jordani</i> . BR. LT= 40cm.	333
Figura 249: <i>Bagre bagre</i> . Bagre BR. LT= 60cm.	333
Figura 250: <i>Acanthicus Adonis</i> . AM. LT= 80cm.	333
Figura 251: <i>Acanthis histrix</i> . AM. LT= 70cm.	333
Figura 252: <i>Aphanotorulus frankei</i> . TO. LT= 40cm.	334

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 253: <i>Baryancistrus niveatus</i> . TO. LT= 25cm.	334
Figura 254: <i>Loricaria simílima</i> . AM. LT= 25cm.	334
Figura 255: <i>Megalancistrus gigas</i> . TO. LT= 50cm.	334
Figura 256: <i>Parancistrus aurantiacus</i> . TO. LT= 20cm.	334
Figura 257: <i>Pseudacanthicus serratus</i> . TO. LT= 60cm.	334
Figura 258: <i>Pseudacanthicus spinosus</i> . AM. LT= 35cm.	334
Figura 259: <i>Leporinus maculatus</i> . AM. LT= 15cm.	334
Figura 260: <i>Pseudorinelepis genibarbis</i> . AM. LT= 40cm.	335
Figura 261: <i>Acestrorhynchus</i> sp. Sul. LT= 25cm.	335
Figura 262: <i>Leporinus megalepis</i> , AM. LT= 20cm.	335
Figura 263: <i>Acnodon normani</i> . Pacu TO. LT= 15cm.	335
Figura 264: <i>Brycon breviceauda</i> . AM/PR. LT= 45cm.	335
Figura 265: <i>Brycon breviceauda lundii hilarii</i> , matrinxá, orbignyanus. Matrinxã. SF/AM. LT= 60cm.	335
Figura 266: <i>Brycon lundii</i> . Piracanjuba. PR. L= 50cm.	335
Figura 267: <i>Brycon orbignyanus</i> . Pirapitinga. SF/A. LT= 60cm.	335
Figura 268: <i>Brycon</i> sp. Piraputanga PR. LT= 40cm.	336
Figura 269: <i>Colossoma brachypomum</i> . Pirapitinga. PR. LT= 50cm.	336
Figura 270: <i>Colossoma macrapomum_Myloplus schomburgkii</i> . Tambaqui. AM/TO/PR. LT= 60cm.	336
Figura 271: <i>Colossoma mitrei</i> . Tambaqui. Pacu. Caranha. AM/TO/PR. LT= 60cm.	336
Figura 272: <i>Colossoma mitrei</i> . Tambaqui. Pacu. Caranha. AM/TO/PR. LT= 60cm.	336
Figura 273: <i>Piaractus brachypomus</i> , redpacu.	336
Figura 274: <i>Piaractus mesopotamicus</i> . Pacu amarelo.	336
Figura 275: <i>Colossoma mitrei</i> . Tambaqui. Pacu. Caranha. AM/TO/PR. LT= 60cm.	336
Figura 276: <i>Leporinus macrophelus</i> . Piavuçu. AM/SF/PR. LT= 50cm.	337
Figura 277: <i>Leporinus piapara, obtusidens</i> . Piapara. AM/SF/PR. LT= 50cm.	337
Figura 278: <i>Leporinus piapara, obtusidens</i> . Piapara. AM/SF/PR. LT= 50cm.	337
Figura 279: <i>Leporinus piau</i> . Piau. PR. L= 20cm.	337

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 280: <i>Salminus hilarii</i> . Tabarana. AM/TO/PR. LT= 60cm.	337
Figura 281: <i>Salminus maxillosus</i> . Dourado PR/SF/TO. LT= 100cm.	337
Figura 282: <i>Salminus maxillosus</i> . Dourado PR/SF. LT= 100cm.....	337
Figura 283: <i>Prochilodus scrofa</i> . Curimbatá. SF/PR. LT= 80cm.	337
Figura 284: <i>Prochilodus</i> . AM. LT= 40cm.	338
Figura 285: <i>Cynodon gibbus</i> . Cachorro AM/TO. LT=30cm.	338
Figura 286: <i>Hydrolycus armatus</i> . Cachorra AM. LT= 100cm.	338
Figura 287: <i>Hydrolycus scomberoid-Raphidon vulpinus</i> . Cachorra AM/TO. LT= 70cm.	338
Figura 288: <i>Hydrolycus scomberoid-Raphidon vulpinus</i> . Cachorra AM/TO. LT= 70cm.	338
Figura 289: <i>Bouleengerella maculata</i> . Bicuda AM/TO.	338
Figura 290: <i>Boulengerella Lucia</i> . Palmito TO. LT= 30cm.	338
Figura 291: <i>Astronotus ocellatus</i> . PR. LT= 40cm.	338
Figura 292: <i>Retroculus lapidifera</i> . TO. LT= 40cm.	339
Figura 293: <i>Adontosternarchus balasenops</i> . AM. LT= 20cm.....	339
Figura 294: <i>Micropterus salmonoides</i> . Blackbass. PR. LT= 60cm.	339
Figura 295: <i>Crenicichla lenticulata</i> Jacunda.....	339
Figura 296: <i>Crenicichla lenticulata</i> Jacunda-coroa.	339
Figura 297: <i>Ilisha amazônica</i> . Apapa AM. LT= 15cm.	339
Figura 298: <i>Lampetra fluviatilis</i> . Lampreia.	339
Figura 299: <i>Pellona castelnaena</i> . Apapá AM/TO. LT= 50cm.	339
Figura 300: <i>Pellona flavipinnis, castelnaeana</i> . Apapá. AM/TO. LT= 50cm.	339
Figura 301: <i>Phractocephalus hemiliopterus</i> Pirarara.	340
Figura 302: <i>Plecostumos commersoni</i> . Cascudo. LT= 50cm.	340
Figura 303: <i>Phractocephalus hemiliopterus</i> . Pirarara.	340
Figura 304: <i>Pinirampus pirinampu</i> . Barbado. AM/TO/PR. LT= 80cm.	340
Figura 305: Tabatinga.	340
Figura 306: <i>Pterodoras granulosus</i> . _Abotoado.	340
Figura 307: <i>Oxydoras Kneri</i> . Armau.	340
Figura 308: <i>Cichla monoculus</i> . Tucunaré.	341

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 309: <i>Plecostomus commersoni</i> . Cascudo. LT= 50cm.	341
Figura 310: <i>Colossoma macropomu</i> . Pacu Negro.	341
Figura 311: <i>Plagioscion pachypops</i> . Corvina.	341
Figura 312: Salto do Peixe durante uma Piracema.	341
Figura 313: Cardume com Piraputangas.	341
Figura 314: Cardume com Dourados.	341
Figura 315: Cardume com Pacus.	342
Figura 316: Cardume com Dourado e Piraputangas.	342
Figura 317: Subida de Cardumes: Piracema.	342
Figura 318: Subida de Cardumes: Piracema, rio Urubu, GO.	342
Figura 319: Rio Morato, Cardumes.	342
Figura 320: <i>Astyanax bimaculatus</i> . Lambari-do-rabo-amarelo. LT= 17cm.	342
Figura 321: Piracema.	342
Figura 322: Cardume no Pantanal.	343
Figura 323: Cardume com Pacu Prata.	343
Figura 324: Cardume com Pintados.	343
Figura 325: Cardume de bagres e cascudos.	343
Figura 326: Cardume de Corimbatás.	343
Figura 327: Cardume tentando vencer um obstáculo: extrasor.	343
Figura 328: <i>Abramites hypselonotus</i>	344
Figura 329: <i>Acanthicus Adonis</i>	344
Figura 330: <i>Acanthodoras spinosissimus</i>	344
Figura 331: <i>Acestrorhynchus pantaneiro</i>	344
Figura 332: <i>Acnodon normani</i>	344
Figura 333: <i>Aphanotorulus frankei</i>	344
Figura 334: <i>Aphyocharax anisitsi</i>	344
Figura 335: <i>Apistogramma trifasciata</i>	344
Figura 336: <i>Arapaima gigas</i>	345
Figura 337: <i>Arius jordani</i>	345

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 338: <i>Astronotus ocellatus</i>	345
Figura 339: <i>Baryancistrus niveatus</i>	345
Figura 340: <i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	345
Figura 341: <i>Brachyplatystoma flavicans</i>	345
Figura 342: <i>Brochis multiradiatus</i>	345
Figura 343: <i>Brycon orbignyanus</i>	345
Figura 344: <i>Cichla monoculus</i>	346
Figura 345: <i>Cichla ocellaris</i>	346
Figura 346: <i>Cichla temensis</i>	346
Figura 347: <i>Corydoras barbatus</i>	346
Figura 348: <i>Corydoras kronei</i>	346
Figura 349: <i>Hyphessobrycon eques</i>	346
Figura 350: <i>Hypophthalmus edentatus</i>	346
Figura 351: <i>Leporinus elongatus</i>	346
Figura 352: <i>Leporinus fasciatus</i>	346
Figura 353: <i>Leporinus lacustris</i>	347
Figura 354: <i>Leporinus obtusidens</i>	347
Figura 355: <i>Leporinus piau</i>	347
Figura 356: <i>Leporinus striatus</i>	347
Figura 357: <i>Liposarcus anisitsi</i>	347
Figura 358: <i>Lophiosilurus alexandri</i>	347
Figura 359: <i>Loricaria simílima</i>	347
Figura 360: <i>Megalancistrus gigas</i>	347
Figura 361: <i>Megalechis thoracata</i>	347
Figura 362: <i>Moenkhausia intermedia</i>	347
Figura 363: <i>Moenkhausia sanctaefilomenae</i>	348
Figura 364: <i>Myleus schomburgkii</i>	348
Figura 365: <i>Oligosarcus paranensis</i>	348
Figura 366: <i>Oncorhynchus mykiss</i>	348

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 367: <i>Oreochromis niloticus</i>	348
Figura 368: <i>Osteoglossum bicirrhosum</i>	348
Figura 369: <i>Oxydoras niger</i>	348
Figura 370: <i>Parancistrus aurantiacus</i>	348
Figura 371: <i>Pellona castelnaeana</i>	348
Figura 372: <i>Pimelodus blochi</i>	348
Figura 373: <i>Pimelodus maculatus</i>	349
Figura 374: <i>Platydoras costatus</i>	349
Figura 375: <i>Platynemichthys notatus</i>	349
Figura 376: <i>Plecostomus commersoni</i>	349
Figura 377: <i>Prochilodus platensis</i>	349
Figura 378: <i>Pseudacanthicus histrix</i>	349
Figura 379: <i>Pseudacanthicus serratus</i>	349
Figura 380: <i>Pseudacanthicus spinosus</i>	349
Figura 381: <i>Pseudodoras niger</i>	349
Figura 382: <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> . Sorubim, Pintado.....	349
Figura 383: <i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	350
Figura 384: <i>Pseudorinelepis genibarbis</i>	350
Figura 385: <i>Pygocentrus nattereri</i>	350
Figura 386: <i>Rhinodoras dorbignyi</i>	350
Figura 387: <i>Rhynchodoras xingui</i>	350
Figura 388: <i>Salminus hilarii</i> . Tubarana.	350
Figura 389: <i>Satanoperca pappaterra</i>	350
Figura 390: <i>Serrasalmus nattereri</i>	350
Figura 391: <i>Serrasalmus rhombeus</i>	351
Figura 392: <i>Serrasalmus spilopleura</i>	351
Figura 393: Sorubim lima. Bico de Pato.	351
Figura 394: <i>Sorubimichthys planiceps</i> . Sorubim Chicote.	351
Figura 395: <i>Sternarchus albifrons</i>	351

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 396: <i>Tetragonopterus argenteus</i> . Olho de Boi.....	351
Figura 397: <i>Trachydoras paraguayensis</i>	351
Figura 398: <i>Triportheus albus</i>	352
Figura 399: <i>Triportheus angulatus</i>	352
Figura 400: <i>Triurobrycon lundii</i>	352
Figura 401: <i>Utiaritchthys sennaebragai</i> – Pacu Ferrugem.....	352
Figura 402: <i>Zungaro zungaro</i> - Jaú.....	352
Figura 403: <i>Zungaro zungaro</i> - Jaú.....	352
Figura 404: <i>Brycon orbygnianus</i> - Piracanjuba.....	352
Figura 405: <i>Hypostomus regani</i> - Cascudo.....	352
Figura 406: <i>Iheringichthys labrosus</i> - Mandi beicudo.....	352
Figura 407: <i>Leporellus vitatus</i> - Timboré.....	352
Figura 408 <i>Leporinus elongatus</i> - Piapara.....	353
Figura 409: <i>Leporinus friderici</i> - Piau-três-pintas.....	353
Figura 410: <i>Leporinus octofasciatus</i> - Flamenguinho.....	353
Figura 411: <i>Pimelodus maculatus</i> - Mandi Amarelo.....	353
Figura 412: <i>Prochilodus lineatus</i> - Curimba.....	353
Figura 413: <i>Surubim_cachara</i>	353
Figura 414: <i>Astyanax bimaculatus</i> - Lambari do rabo amarelo.....	353
Figura 415: <i>Astinax faciatus</i> - Lambari do rabo vermelho.....	353

LISTA DE TABELAS

As Tabelas apresentadas nesta Tese estão relacionadas abaixo:

	Pág.
Tabela 1: Ictiofauna mundial nos STP's.....	7
Tabela 2: Espécies e Riqueza de Peixes.....	15
Tabela 3: Riqueza de Peixes em Bacias Mundiais.....	15
Tabela 4: Barramentos Nacionais.....	22
Tabela 5: Peixes contados no STP de Bonneville.....	30
Tabela 6: Quantidade aproximada de STP's.....	46
Tabela 7: STP's Nacionais.....	66
Tabela 8: Altura dos STP's Tipo Escada.....	68
Tabela 9: Custo de STP's.....	74
Tabela 10: Tipos de STP's em Países.....	75
Tabela 11: Parte dos comprimentos dos STP's no Japão.....	77
Tabela 12: Parte das declividades longitudinais dos STP's no Japão.....	78
Tabela 13: Quantidade de STP na Noruega.....	78
Tabela 14: Desnível de STP na Noruega.....	78
Tabela 15: Tipos de STP's na Suíça.....	78
Tabela 16: Características Hidráulicas de STP's Brasileiros.....	80
Tabela 17: Comparação entre os Tipos de STP's.....	82
Tabela 18: Características entre Salmonídeos Americanos e Migradores Nacionais.....	92
Tabela 19: Velocidades Observadas em Peixes Neotropicals (GODOY, 1985).....	97
Tabela 20: Coeficientes de arraste de peixes (HIRATA, 2001).....	102
Tabela 21: Porcentagem de energia utilizada.....	105
Tabela 22: Valores da declividade longitudinal.....	109
Tabela 23: Velocidades Ictícas Teóricas de Sustentação e Explosão.....	109
Tabela 24: Velocidade do Fluxo.....	110
Tabela 25: Velocidade Natatória de Peixes.....	110
Tabela 26: Velocidade Crítica para Salmões "Sockeye".....	110

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicals Potamódromos

Tabela 27: Velocidades de Explosão e Sustentação de Salmonídeos.....	111
Tabela 28: Velocidade Crítica Experimental de Peixes Neotropicals.....	111
Tabela 29: Análise de Sensibilidade da Potência Específica.....	118
Tabela 30: Potência Específica Máxima Hipotética.....	119
Tabela 31: Potência Específica de aproveitamentos nacionais.....	121
Tabela 32: Potência específica em Tanques para Descanso Nacionais.....	122
Tabela 33: Alternativas Estudadas.....	139
Tabela 34: Características Hidráulicas e Estruturais.....	140
Tabela 35: Escalas de Redução das Alternativas Estudadas.....	143
Tabela 36: Custo da água no STP.....	162
Tabela 37: Vazões Experimentais.....	164
Tabela 38: Velocidades Máximas.....	164
Tabela 39: Potência do Escoamento no Tanque.....	170
Tabela 40: Turbulência.....	171
Tabela 41: Custo comparativo da água no STP.....	172
Tabela 42: Custo comparativo da estrutura do STP.....	172
Tabela 43: Custo Total do STP.....	172
Tabela 44: Capacidade de Passagem.....	172
Tabela 45: Vazões Teóricas.....	174
Tabela 46: Desvio da vazão experimental.....	175
Tabela 47: Velocidades Máximas.....	176
Tabela 48: Resultados quantitativos obtidos.....	179
Tabela 49: Comparação qualitativa e quantitativa entre as alternativas.....	180
Tabela 50: Potência no Tanque com aumento da profundidade inicial y_1	183
Tabela 51: Potência no Tanque com diminuição da declividade longitudinal i	183
Tabela 52: Dimensões e Características do STP Proposto.....	185
Tabela 53: Quantidade de ovas.....	196
Tabela 54: Altura dos desníveis internacionais.....	210
Tabela 55: Padrão das Características de Qualidade da Água.....	219

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Tabela 56: Valores de Oxigênio Dissolvido em Cursos D'água.....	219
Tabela 57: Comparação das Características de Lagos e Reservatórios	222
Tabela 58: Mortalidade de Peixes do Hemisfério Norte na Passagem pelas Turbinas.....	247
Tabela 59: Quantidade aproximada de STP	249
Tabela 60: Sistemas à Transposição de Peixes Internacionais com altos desníveis.....	250
Tabela 61: Estruturas Nacionais à Transposição de Peixes.....	296
Tabela 62: Características de Peixes Neotropicais.....	323

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Apresentam-se as principais abreviaturas e siglas, em ordens alfabéticas, utilizadas nesta Tese:

ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos;
Adv.	Título de Advogado;
AFS	“American Fisheries Society”;
AHE	Aproveitamento Hidroelétrico – vide UHE;
ALDEN	“Alden Laboratory”. ALDEN, 30, Shrewsbury Street. Holden, MA 01520-1843 USA;
ANA	Agência Nacional de Águas;
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica;
ap.	vide apud;
apud	citado em;
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica;
BG	Sistema Britânico de unidades;
BPA	“Bonneville Power Administration”;
Cach.	Cachoeira;
CBA	Companhia Brasileira de Alumínio – Grupo Votorantim;
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens;
CCRH	“Center of Columbia River History”;
CEHPAR	Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza;
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais;
CEPTA	Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros Continentais;
CESP	Centrais Elétricas de São Paulo;
CGH	Central Geradora Hidroelétrica;
CHESF	Centrais Hidroelétricas do São Francisco;
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;
CODEVASF	Companhia do Desenvolvimento do Vale do São Francisco;
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente;
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura;
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz;

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicals Potamódromos

CPHRH	Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos - UFMG
CREA	Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia;
CTP	Centro de Transposição de Peixes;
DAEE	Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo;
DOSD	“Design of Small Dams”
Dr.	Título de Doutor;
e.g.	por exemplo (“exempli gratia”);
EIA-RIMA	Estudos de Impactos Ambientais e Relatório de Impactos Ambientais;
Eng.	Título de Engenheiro;
et al.	e outros autores (“et alii”);
etc.	e outros (“etcétera”);
EUA	Estados Unidos da América – vide USA;
FAO	“Food and Agriculture Organization of the United Nations”
Faz.	Fazenda;
FCTH	Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica;
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis;
ICOLD	“International Comity of Large Dams”;
ISBN	indicativo numérico universal para identificação de livros (“International Standard Book Number”);
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento;
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal;
MD	margem direita;
ME	margem esquerda;
mod.	Modelo;
MRFFS	“Margaree River Fly Fishing Specialists”;
MSc.	Título de Mestre originário do inglês “Master of Science”, sem representação nacional;
OESP	Jornal “O Estado de São Paulo”;
OMS	Organização Mundial de Saúde;
PAB	Projeto Ambiental Básico;
Pág.	Página;
PCH	Pequena Central Hidroelétrica;

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

POLI	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;
Prof.	Título de Professor;
Prot.	Protótipo;
PWRI	“Public Works Research Institute” – Japan;
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo;
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente;
SI	Sistema Internacional;
SNFT	“Systems for Neotropical Fishes Transposition”;
STP	Sistema para a Transposição de Peixes;
STP’s	Sistemas para a Transposição de Peixes;
Trad.	Tradutor;
UB	UB – “University of Bochum” – Alemanha;
UHE	Usina Hidroelétrica – vide AHE;
USA	“United State of América” – vide EUA;
USACE-NWD	“United State Army Corps of Engineers – Northwestern Division”;
USP	Universidade de São Paulo;
WDFW	“Washington State Department of Fish and Wildlife”;
WESTEC	“Westec International Equipament Ltd.”;
WFT	“World Fisheries Trust”;
WREE	“Water Resources and Environmental Engineering Laboratory”, University of Oulu, Finland;
WSDOT	“Washington State Department of Transportation”;
WWB	“Willkommen im Wasserwirtschaftsamt Bayreuth” – Alemanha;
YSEYA	“YSEYA Manufacturing Co” – Japan;

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES.

Apresentam-se os principais símbolos e unidades (O Sistema Internacional, SI, é legalmente adotado no Brasil por força do decreto-lei nº 63.233 de 12 de setembro de 1968, visando-se a padronização global) em ordem alfabética crescente, utilizados nesta Tese (alguns símbolos estão apresentados de forma diferente ao convencional para evitar duplicidade e interpretações errôneas):

η	eficiência (%);
∇	volume (m ³);
ΔH	desnível geométrico vertical (m);
ν_{H_2O}	viscosidade cinemática da água (m ² /s);
Δy	desnível entre as cotas d'água a montante e jusante da parede transversal ou soleira (m);
A	área (m ²);
A_p	área potencial de passagem de peixes (m ²);
B	base (m);
B	largura do tanque da escada (m);
B_0	dimensão da abertura (m);
cal	unidade padrão de calor denominada a caloria;
C_d	coeficiente de arrasto (adimensional);
C_D	coeficiente de vazão ou descarga (adimensional)
C_Q	coeficiente de vazão ou descarga;
D_H	diâmetro hidráulico (m);
dur	duração ou permanência de peixe em determinada velocidade de locomoção (s);
E	energia (J);
E	energia total armazenada;
Fr	número de Froude (adimensional);
ft	unidade padrão de comprimento no BG denominada o pé ("feet");
g	aceleração da gravidade (m/s ²);
ρ_{H_2O}	massa específica da água (kg/m ³);
γ_{H_2O}	peso específico da água (N/m ³);
H_{man}	altura manométrica (m _{H₂O});
i	declividade longitudinal (m/m, %, 1V:mH);

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

J	unidade padrão de energia, calor e trabalho denominados o Joule;
kg	unidade padrão de massa denominada o quilograma;
L	distância ou comprimento (m);
LT	comprimento total do peixe (m);
M _{ESCAMA}	massa de musculatura propulsora ictíica para peixes de escama (kg);
M _{COURO}	massa de musculatura propulsora ictíica para peixes de couro ou placas ósseas (kg);
M	massa (kg);
m	unidade padrão de comprimento denominado o metro;
m/s	unidade padrão de velocidade escalar;
m/s ²	unidade padrão de aceleração da gravidade;
m ² /s	unidade padrão de viscosidade dinâmica;
m ³ /s	unidade padrão de vazão em volume;
N/m ²	unidade padrão de pressão;
N/m ³	unidade padrão de peso específico;
ni	capacidade de passagem de peixes;
P	perímetro (m);
Pa	unidade padrão de pressão denominada o Pascal;
Pc	potência química necessária às funções de locomoção ictíica (W);
Pe	potência específica mássica necessária às funções de locomoção ictíica (W/kg);
Pes	potência específica do escoamento (W/m ³);
pH	potencial hidrogeniônico, índice que constata a concentração de hidrogênio em meios líquidos;
Pm	potência necessária para a movimentação ou deslocamento ictíica (W);
Pot	potência (W);
ps	altura do paramento (m);
ps	altura do paramento da parede transversal na escada (m);
Q	calor (J);
Q	vazão em volume (m ³ /s);
Re	número de Reynolds (adimensional);
R _H	raio hidráulico (m);

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

rpm	rotações por minuto;
s	unidade padrão de tempo denominada segundo;
t	tempo (s);
t	unidade de massa denominada tonelada correspondente a 1.000 kg;
T_E	tempo desenvolvido durante o desenvolvimento da velocidade de explosão ictíica (s);
TL	comprimento total do peixe, inclui rabo e cabeça;
T_S	tempo desenvolvido durante a velocidade de sustentação ictíica (s);
V	velocidade (m/s);
V_C	velocidade de cruzeiro ictíica;
V_{CR}	velocidade crítica ictíica;
V_{COURO}	velocidade de peixes de couro e placas ósseas;
V_e	velocidade de explosão ictíica;
V_{ESCAMA}	velocidade de peixes de escama;
$V_{m\acute{a}x}$	velocidade máxima ictíica;
$V_{m\acute{e}d}$	velocidade média;
V_S	velocidade de sustentação ictíica;
W	trabalho (J);
W	unidade padrão de potência;
y_1	altura da lâmina de água imediatamente a montante da parede transversal ou soleira sem o termo cinético (m);
y_2	altura da lâmina de água imediatamente a jusante da parede transversal ou soleira sem o termo cinético (m);
y_C	profundidade crítica (m);
y_m	profundidade média (m);
$y_{m\acute{e}d}$	profundidade média (m);

1. Apologia.

"A porta da verdade estava aberta,
mas só deixava passar
meia pessoa de cada vez.

Assim não era possível atingir toda a verdade,
porque a meia pessoa que entrava
só trazia o perfil de meia verdade.

E sua segunda metade
voltava igualmente com o mesmo perfil.
E os meios perfis não coincidiam.

Arrebentaram a porta. Derrubaram a porta.

Chegaram ao lugar luminoso
onde a verdade esplendia seus fogos.

Era dividida em metades
diferentes uma da outra.

Chegou-se a discutir qual a metade mais bela.

Nenhuma das duas era totalmente bela.

E carecia optar. Cada um optou conforme
seu capricho, sua ilusão, sua miopia”.

Carlos Drummond de Andrade

O tema Sistemas para a Transposição de Peixes, STP's, é multidisciplinar, mas no Brasil, encontra-se fracionado ou monopolizado entre áreas distintas da ciência, ora pelos engenheiros que detêm o manuseio das concepções de planejamento, viabilidade econômica, estruturais e hidráulicas, ora pelos biólogos, veterinários, ambientalistas e ecólogos, especialistas no trato ictiológico e ambiental.

Dada à complexidade e importância do tema deste trabalho fez-se necessário uma interpretação cognitiva, isenta de interesses pessoais, corporativos ou econômicos onde se incorporam as diversas ciências a favor do nosso bem maior que é o meio ambiente.

Raramente a interdisciplinaridade é desenvolvida nos projetos de STP's, aumentando-se os riscos de insucessos plenos ou a seletividade e/ou ineficácia indesejada em que pese à ausência de dados básicos sobre os nossos peixes e estudos científicos sobre questões ainda polêmicas.

“Qualquer tecnologia para favorecer a passagem de peixes pelas barragens é vista com cautela pelos gerenciadores de estoque pesqueiros e profissionais da área. Entretanto, à luz do conceito intuitivo da comunidade em geral, a implantação de tecnologias ecológicas são bem saudadas e, por si só, valorizam a imagem do agente empreendedor responsável pelo impacto ambiental”. (TROVATI et al., 2000).

“A cautela e ceticismo dos especialistas sobre a efetividade biológica de certas tecnologias para a passagem de peixes em barragens são decorrentes da própria confusão dos resultados reportados na literatura especializada, onde frequentemente não são apresentados os dados originais com uma análise científica cuidadosa. Isso é particularmente comum quando os resultados são apresentados pela parte com interesse revestido no sucesso da tecnologia. Exemplos são as publicações para satisfazer os requisitos de licença ambiental onde podem ser ditados relatórios de inventário, cuja série de dados não possui o comprimento adequado para uma avaliação crítica.” (TROVATI et al., 2000).

Os profissionais militantes na área evoluem as suas interpretações ambientais no tempo, conforme abaixo relatado, deixando os seus conhecimentos não consolidados e sem respaldo as prováveis alternativas de mitigação de impactos quanto aos ecossistemas aquáticos modificados pelas barragens:

- ✓ Na década de 1920 e 1930, os STP's eram irrelevantes, por mais absurdo que possa parecer atualmente, pois nossos peixes não eram diádromos ou anádromos (migram dos oceanos para as cabeceiras dos rios) como os do Hemisfério Norte e não possuíam constituição física para transporem desníveis verticais formados pelas barragens, superiores a 8m (QUIRÓS, 1988; GODOY, 1985; MENDES, 1969);
- ✓ Posteriormente, comprovada a passagem de peixes pelos STP e a capacidade biofísica dos peixes para vencer desníveis superiores a 8m, estes animais não encontravam, no ambiente semilêntico dos reservatórios, as condições

favoráveis para prosseguirem a migração, tornando os STP's desnecessários (TORNOLI, 1984);

- ✓ Depois, passada mais onda de conhecimento sensitivo, na década de 1980, os STP's eram seletivos, não atendendo a biodiversidade neotropical, onde eficiência era a relação entre peixes fora e dentro do STP – “in and out” (AGOSTINHO et al., 2004);
- ✓ A polêmica continua sobre a ausência de locais para desova dos peixes a montante das barragens ou sobre a não passagem de ovas, larva, alevinos e/ou peixes para jusante das barragens (AGOSTINHO et al., 2001);
- ✓ Ausência de Rotíferos nos reservatórios, essenciais à vida de larvas dos peixes, descaracterizam a necessidade de STP's (SIROL, 2002);
- ✓ O esvaziamento ictíco a jusante da barragem é uma das conseqüências atuais que podem ser atribuídas aos STP's, ocorrendo em algumas usinas hidroelétricas como em Canoas I, rio Paranapanema (SIROL, 2002), Salto Grande, rio Uruguai (NAKATANI, 2001), fruto da grande quantidade de passagens de peixes, mas que precisa ser tratado com mais relevância, implementando STP's para o retorno ictíco como são obrigatórios no exterior, instalação de criadouros artificiais no reservatório para propiciar uma taxa de sobrevivência maior nas passagens de retorno de peixes pois já na fase de desenvolvimento de adultos ou alevinos, conforme ocorrem no Hemisfério Norte com os salmonídeos ou ainda numa medida paliativa momentânea com as operações temporárias do STP's;
- ✓ Recentemente circula, na clandestinidade do conhecimento, que os STP's possibilitam a passagem de muitos peixes, mas não atendem aos migradores plenos ou de piracema que são os peixes-alvo (agora só os plenos são relevantes) (AGOSTINHO et al., 2004);
- ✓ Raras as indicações, segundo a ótica biótica e ecológica, de STP's como alternativa de manejo e mitigação de impactos devido aos efeitos adversos de barragens em rios (TROVATI et al., 2000).

- ✓ A privilegiada megabiodiversidade ictífica neotropical não pode ser tratada como uma represália da natureza, um castigo sem solução ao bem renovável ou um ônus devido às necessidades expansionistas humanas. Não há problema ambiental insolúvel ou pelo menos mitigável aos graus toleráveis.

Sob a ótica da Engenharia de STP's: dadas às condições de contorno da barragem e as preferências biofísicas dos peixes-alvo, mesmo em suas fases de desenvolvimento (ovas, larvas e alevinos), durante a ascensão ou descensão, a solução é hidráulica e estrutural, mas não há respaldo científico para se projetar nesse mar de polêmicas sem rumo, sem definições, sem os estudos mínimos sobre a ictiofauna neotropical.

Os engenheiros devido a sua formação essencialmente racional e de mínimo custo encontram dificuldades para conviver harmonicamente com questões que não possam ser mensuradas, quantificadas e valorizadas como no âmbito ambiental, cultural e social, em que pese à ausência, principalmente nas gerações passadas, de uma formação acadêmica com ênfase humano, social e ambiental. Os engenheiros, como outros profissionais afeitos à área, foram omissos quanto aos STP's. Ainda hoje, não há no nosso órgão regulador de atividades profissionais: CREA e CONFEA, quando da atribuição de ART - Anotação de Responsabilidade Técnica, conforme Lei Federal nº 6.496/77, atividade na natureza Meio Ambiente, o que caracteriza uma ausência de sintonia com as questões ambientais.

O comportamento desejável dos profissionais envolvidos e engajados na preservação, manejo e mitigação de impactos devido às barragens, seria polarizarem os seus agudos sentidos críticos previsíveis, esperados, decisivos e verídicos em parte, quanto: à seletividade dos STP's para favorecer a ascensão de peixes; minorar o esvaziamento ictífico a jusante de barragens, a mortalidade de ovas, larvas, alevinos e adultos no seu retorno para jusante e, entre outras observações, impulsionar a preservação de "criadouros artificiais" para o desenvolvimento de peixes em suas primeiras fases, agregando os seus valiosos conhecimentos para favorecer o ecossistema aquático, que não devem passar pela inoperância ou ausência de STP's, mas sim pelo seu aprimoramento segundo as premissas ambientais que nunca foram fornecidas aos idealizadores e aos projetistas, antes ou após as concepções de passagens para peixes, mas são cobradas e responsabilizadas "à posterior".

Espera-se que biólogos, ecólogos, planejadores e gerentes de estoque pesqueiro atuem “exigindo” nas barragens existentes e futuras, a viabilidade do retorno de ovas, larvas, alevinos e peixes dentro de um padrão mais tolerável ambientalmente, isto é, com uma taxa de sobrevivência maior em todas as fases de desenvolvimento, através de estruturas facilitadoras com “by passes”, tomadas de água, turbinas e extravasores amigáveis; passagens seletivas para peixes-alvo neotropicais na ótica ambiental focada para a macrobacia; criadouros artificiais como lagoas com nível seletivo em baixios adequados; vegetação marginal nos reservatórios, etc.

Seguindo-se a premissa de maximizar a passagem de peixes em todas as suas fases de desenvolvimento para jusante da barragem, evitando-se ou minorando, assim, o “esvaziamento ictíco”, propõe-se a implantação de criadouros com baixo custo de implantação e manutenção em áreas destinadas a preservação segundo a resolução CONAMA 302/02. A localização e a necessidade desses criadouros podem ser determinadas nos estudos de monitoramento ictiológicos, mas dar-se-á, basicamente, em afluentes e reservatórios, onde funcionariam como as várzeas inundadas durante as cheias devido ao extravasamento da calha do rio, com capacidade de retenção de ovas, larvas e alevinos durante a estiagem, de modo a promover os seus desenvolvimentos até o próximo período de cheias, que pode ser anual, quando já juvenis, reduzindo-se as taxas de mortalidade durante as suas transposições para jusante.

Outro problema constantemente aventado é sobre as áreas anóxicas pontuais sobre as quais, onde se fizer necessário, há soluções de baixo custo e manutenção baseadas na oxigenação eólica, pelo menos para as camadas mais superficiais, que podem melhorar sensivelmente a qualidade da água.

Que as barragens são fontes de impactos negativos aos peixes, em especial aos migradores, é indiscutível e opinião unânime entre os especialistas, mas o que é pior ao ambiente: ter uma estrutura com potencial de mitigação de impactos sobre a ictiofauna, como o STP, ou sem, deixando a deriva do tempo, do incerto e das consequências negativas ou adversas?

O que fazer nas operações de manutenção inevitável de turbinas quando milhares de peixes instalam-se na saída da casa de força e no tubo de sucção das turbinas? Nos

dia 28 e 29 de janeiro de 2005, na recém inaugurada usina hidroelétrica Funil, no rio Grande, Minas Gerais, durante a manutenção emergencial não programada da unidade geradora 1, cerca de 40 toneladas de peixes mandis (migradores) obstruiu a turbina (OESP, 2005). Os danos aos peixes não foram maiores devido à intervenção dos técnicos da operadora de energia: CEMIG. Essa operação para manutenção é usual nas usinas hidroelétricas onde a mortandade de peixes é alarmante devido, principalmente, as intervenções manuais de resgate e o tempo de ciclo (ver Figura 1). Não é preferível, mesmo que ecologicamente incorreto, a possibilidade desses peixes sobreviverem ascendendo aos reservatórios?

Figura 1: Resgate de Peixes no tubo de sucção.

Fonte: ITAIPU, 2005.

Sabe-se, em relatos não oficiais, que as hidroelétricas antigas, com raras exceções, em vários períodos de suas construções ou na operação, durante a limpeza e manutenção programada de suas turbinas, mas principalmente durante as paradas involuntárias ou emergenciais, promoveram mortalidades exageradas de peixes, da ordem de toneladas. Os peixes eram retirados com trator e caçamba e posteriormente conduzidos sigilosamente com caminhões aos “cemitérios clandestinos” nas proximidades onde eram aterrados como material orgânico degenerativo.

O projeto do sistema de geração da UHE Peixe Angical, no rio Tocantins, em fase de construção, numa iniciativa pioneira nacional, prevê a remoção amigável, em tempo real dos peixes, durante as inevitáveis manutenções de turbinas, com elevadores munidos de “bag”, também oxigenados, que alcançam o tubo de sucção diretamente do coroamento externo da Casa de Força, esvaziamento controlado do tubo de sucção, sistema fixo de injeção de oxigênio, tentando reduzir a mortalidade ictíica. O tempo de ciclo esperado neste sistema não deve superar os 5 minutos.

A CEMIG, CESP e ITAIPU, realizam experiências com intuito de minorar a taxa de mortalidade de peixes durante o processo de manutenção de turbinas, mas o tempo de ciclo ainda supera os 30 minutos.

Apesar das divergências intelectual e popular nacionais, no exterior os STP's continuam sendo construídos, reformados, implementados, onde há, numa leitura preliminar, 14.550 unidades, entre facilidades para ascensão e descensão, com experiências seculares.

Os STP's são concebidos no mundo para atender a ictiofauna local, segundo as premissas ambientais de manejo para mitigar os efeitos danosos das barragens, em que pese o custo ao empreendedor, tornando a hipótese de ineficiência, independente dos animais alvo, discutível. Há nos estudos internacionais a identidade com a preservação dos seus bens renováveis e auto-sustentação. Na Tabela 1, apresenta-se algumas das espécies e famílias de peixes atendidas com os STP's.

Tabela 1: Ictiofauna mundial nos STP's

Local	Rio	Tipo	Peixes Principais	Ref.
África do Sul			Mullet; Ciprinídeos; Enguias; Shad.	WFT (2003) LARINIER (2000).
Alemanha	Rhine e Tributários; Vários	“Like a River”; Soleira e Orifícios; Vários	Salmão do Atlântico; Truta marítima; Ciprinídeos; Percídeos; Enguia; Potamódromos.	WFT (2003) LARINIER (2000).
América Latina	Vários	Soleira e Degrau; Soleria e Orifícios	Charanídeos; Silurídeos.	WFT (2003) QUIRÓS (1988)
Austrália	Murray Darling	Soleira e Degrau; Soleira e Orifícios; “Vertical Slot” “Like a River”;	Catamódromos; Striped Mullet; Barramundi; Várias espécies.	WFT (2003) LARINIER (2000).
Áustria	Vários	“like a river”; Vários	“Brown Truta”; Ciprinídeos.	WFT (2003)
Bangladesh	Vários	Soleira e Degrau; Estruturas amigáveis.	Espécies locais.	WFT (2003)
Brasil	Paraná, Tocantins Paranapanema, Grande.	Soleiras e Orifícios; “Vertical Slot”	Migradores.	MARTINS (2000)
China		Soleira e Degrau	Carpas; Enguia Japonesa.	WFT (2003) LARINIER (2000).

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Local	Rio	Tipo	Peixes Principais	Ref.
Escócia		Soleira e Degrau; Soleira e Orifícios; Eclusa	Salmão do Atlântico; Truta Marítima.	WFT (2003)
Espanha		Soleira e Degrau (87%); “Denil” (5%)	Salmão do Atlântico; Truta marítima.	THERRIEN (2000)
EUA e Canadá	Columbia; Snake; Connecticut; Merrimack; Susquehanna	“Vertical Slot”; Soleira e Degrau; Elevador (8); “Denil” (100); “Ice Harbor”; “Hell Gates”; “Alaska”;	Salmão do Pacífico; Clupeídeos (Alosa, Shad); Salmão do Atlântico, Alewife; Striped bass, Truta, Smelt; outros.	WFT (2003); ODEH (1999); LARINIER (2000).
França	Dordogne; Garonne; Rhine; Pyrenees	Elevador; “Bypass”; “Vertical Slot”	Salmão do Atlântico; Clupeídeos (Alosa, Shad); Potamódromos.	WFT (2003) THERRIEN (2000) LARINIER (2000).
Índia	Vários	Elevador; “Denil”	Alosa (Shad)	WFT (2003)
Inglaterra		Soleira e Degrau; “Denil”	Salmão do Atlântico; Truta marítima.	WFT (2003) THERRIEN (2000) LARINIER (2000).
Japão	Vários	Soleira e Degrau (95%); “Vertical Slot”; “Denil”	Salmonídeos; Enguia Japonesa; Gobies Ayu.	WFT (2003) LARINIER (2000).
Lituânia		“Vertical Slot”; “Denil”; Eclusas; “Bypass”	Salmonídeos; <i>Vimba Vimba</i> .	WFT (2003)
Marrocos	Oum er Rbia	“Denil”	Alosa (Shad)	WFT (2003)
Nepal	Vários	Soleira e Degrau	Thor.	WFT (2003)
Noruega	Vários	Soleira e Degrau (460) “Denil” (6); outros (33)	Salmão do Atlântico; Truta Marítima; Potamódromos.	GRANDE, 1995, 2001
Nova Zelândia		Soleira e Orifícios	Enguia; Salmão exótico; Lampréia; Galaxiídeos; Smelts; Bullies; Torrentfish; Grey Mullet.	WFT (2003) LARINIER (2000).
Rússia	Volga, Don, Kuban Mar Cáspio,	Soleira e Orifícios Eclusas; Elevadores.	Acipenserídeos; Clupeídeos; Ciprinídeos; Percídeos; Silurídeos.	LARINIER (2000).

Os STP's no exterior, principalmente no Hemisfério Norte, são para os peixes-alvo dos salmonídeos, mas não exclusivamente, talvez num estágio embrionário, mesmo

porque esse privilégio teria produzido a falência, degeneração e colapso dos ecossistemas aquáticos americanos, europeus, japoneses, australianos e outros, pois os elos energéticos da cadeia viva aquática são frágeis e não resistiriam à tamanha interferência humana de segregar animais, como se já não bastassem os impactos do barramento do rio. É um argumento insustentável afirmar que os STP's funcionam apenas no Hemisfério Norte ou para os salmonídeos ou para os anádromos.

CAROLSFELD (2003) do World Fisheries Trust do Canadá, num projeto desenvolvido pelo Banco Mundial para a América Latina, afirma: que os peixes migradores sul americanos possuem uma história de vida tão ou mais importante do que a dos salmões, mas que é desconhecida, exceto pelos especialistas que estudam os trópicos.

No Japão, um dos peixes-alvo para preservação são os “ayus”, em outros países as trutas marítimas ou continentais, na China as carpas, na Rússia os esturjões, ou as enguias e as lampreias, mas os ecossistemas preservam-se ou há o esforço para que assim seja, mas não há a remoção ou ausência de STP's, mas sim evolução, aprimoramento, refino tecnológico dessas estruturas.

Adotando-se o extremo do radicalismo, a solução ambiental imaculável é a não interferência, ou seja, não implantar as barragens, o que é uma utopia, mas há um movimento significativo americano e europeu a favor de remoção de barragens (“Dam Removal”), cujos motivos podem ser vencimento da vida útil, assoreamento e falta de capacidade de reservação, inviabilidade de remotorização ou mesmo preservação ambiental. Nos EUA, desde 1912, mais de 465 barragens, com alturas de 0,6 a 42,4m, foram removidas (ODEH, 2000). Por que não ao invés complementá-las com STP's, remove-las ou deixar de construí-las? Sabe-se que isso é uma utopia incompatível com o desenvolvimento tecnológico e humano.

Os Sistemas para a Transposição de Peixes, STP's, podem não ser a única solução, mas é uma das alternativas que deve ser considerada e não há outra para dar continuidade ao fluxo genético e manter a riqueza ictíica entre os ambientes aquáticos a montante e a jusante da barragem, desde que também viabilizados para favorecer os fluxos de animais em todas as suas fases de desenvolvimento durante a migração trófica ou descendente preservando-se os locais para desova ou criadouros.

As divergências e polêmicas são devidas às ausências de estudos consistentes e de ambientes múltiplos que impedem uma generalização ou padronização de comportamentos, frutos da clandestinidade com a qual o tema foi tratado para defender políticas, economias e interesses, principalmente nos segmentos hidroenergéticos, que não privilegiaram o meio ambiente.

O empreendedor encara o STP ou qualquer outra medida mitigadora impactos como uma penalização sem valor ambiental e custo operacional alto e, portanto, com menor retorno econômico (AGOSTINHO, 2004). Hoje o empreendedor, em especial o hidroenergético, é tratado pelos licenciadores ambientais e pela sociedade, como um vilão capaz ou com capacidade de benefícios ilimitados, mas estão colhendo dividendos de suas passadas ações descomprometidas com o ambiente.

Há evidências que indicam que os estudos de impacto ambiental nos barramentos de cursos de água são conduzidos a inviabilizarem ou postergarem as implantações de STP's, alegando-se justificativas nem sempre cabíveis, mas que são aceitas pelos organismos reguladores e licenciadores ambientais evidenciando a parcialidade nas decisões, com um teor de incapacidade gerencial e técnica, baseadas em estudos escassos em recursos e espremidos na razão espacial e temporal, ou ainda que as decisões sejam econômicas e dirigidas ao benefício do empreendedor.

O processo protelatório, aplicado com uma frequência indesejável, é a necessidade primeira de estudos de monitoramento ictíco antes, durante e após o barramento, pois não são conclusivos e estabelecendo um estado permanente no arranjo do empreendimento.

A economia do empreendedor é a do capitalismo com lucros rápidos com o menor investimento onde o passivo ambiental é um ônus assumido pela sociedade cujos efeitos serão uma das heranças ou fardo às futuras gerações. Estamos na contra mão da história ambiental.

O empreendedor, apesar de cumprir a lei da maneira mais conveniente, busca o menor valor para investir com rápido retorno, mas não pode transferir os impactos adversos para uma sociedade carente, com educação deficiente e mal estruturada, principalmente quando se pensa em meios auto-sustentáveis e renováveis como os peixes são. Cabe, então, ao poder judiciário, aos órgãos licenciadores ambientais, as

comunidades científicas e aos núcleos de estudos no corpo das universidades, compromissadas com um ambiente melhor, a missão de escudeiros da razão nacional na defesa de interesses ambientais e ecológicos.

Há Estados em que suas legislações obrigam ou estimulam a implantação de STP's (Espírito Santo: Lei nº 4.489-N; Minas Gerais: Lei nº 12.488; Pará: Lei nº 5.886; São Paulo: Lei nº 9.798), mas não são implantados devido ao descompromisso ambiental de alguns profissionais, sem generalizar, que alugam o seu nome por alguns trocados, por vaidade, necessidade ou desconhecimento. Raros são os profissionais que possuem algum respaldo científico ou experiência específica para uma análise descomprometida e justa.

As Universidades, onde se deve ter o foco do debate, não incorporavam estudos envolvendo ciência aplicada como reflexo da escassez de recursos, preferindo os acadêmicos e/ou o atendimento à iniciativa privada e assim o tema não despertou interesse dos nossos pesquisadores.

Os Sistemas para a Transposição de Peixes, especificamente no tipo escada voltados ao trânsito dos peixes, são uma alternativa relevante na mitigação dos impactos ambientais devidos às barragens, que deve ou pode operar com outros instrumentos de manejo preservacionistas, não se excluindo as estações de piscicultura desde que equilibrada e com estudos representativos.

Enquanto os STP's não forem obrigatórios pela legislação em todas as esferas do poder e incorporados à cultura ambiental nacional, os sentimentos, as impressões e os desejos corporativos serão os agentes inibidores do seu desenvolvimento.

Não há, nesta Tese, um tratado de matemática, derivadas, integrais, para o desespero dos engenheiros, preparados nos caminhos da lógica, física, matemática e economia; dos biólogos afeitos aos detalhes micro imperceptíveis da vida, mas com complicações e inter-relações macroscópicas e dos ecólogos com a simpatia e identidade com a negação e as discussões filosóficas sobre tudo que não lhe é de domínio. Defende-se uma alternativa ambiental de mitigação de impactos sobre ecossistemas aquáticos, especificamente dos peixes, devido aos barramentos de cursos de água.

O contato com o tema traz o sentimento inerente da valorização da natureza e a sua sustentabilidade como um dos mecanismos necessários à sobrevivência humana.

2. Introdução.

A água doce é um bem natural essencial à vida, mas devido, entre outros fatores, ao descomedido crescimento populacional e ao descompromisso ambiental mundial, tornou-se escassa em sua quantidade como, principalmente, em boa qualidade. É provável que as próximas disputas internacionais destinem-se à sua posse (BRAGA et al., 2002).

A biodiversidade está intimamente ligada à disponibilidade de água continental e marítima: há 30 milhões de espécies vivas, incluindo as que não foram descritas, sendo 1,4 milhão descritas. A megadiversidade continental é classificada como sendo, por ordem de relevância e quantidade: Brasil; Indonésia; Colômbia; México e Austrália (MORANDI & GIL, 2001).

O Brasil possui 12% da água doce mundial distribuída em múltiplos ambientes distintos (a bacia hidrográfica amazônica movimenta 70% da água da América Latina), o que, conseqüentemente, privilegiou, também, a maior diversidade de animais, plantas, frutos, ambientes onde se podem destacar os peixes.

O peixe no ambiente aquático faz 480 milhões de anos (AQUARIUM FISH, 2004) enquanto a humanidade apenas 2 milhões. Os peixes representam, aproximadamente, 50% dos vertebrados, englobando 28.491 espécies, sendo 12.036 continentais em água doce ou potamódromos; 13.779 são marinhos e 2.675 são diádromos ou catádromos (FISHBASE, 2004). Entre as espécies 96% são teleósteos (VAZZOLER, 1996).

O Brasil possui a maior diversidade (megadiversidade) e riqueza mundial de peixes potamódromos, com cerca de 1/4 do total das espécies, ocasionando, como exemplo, que a maioria dos nossos pequenos cursos de água: córregos, riachos, ribeirões, possuam uma riqueza de peixes maior do que a maioria dos rios europeus ou norte-americanos.

Cerca de 3.000 espécies de peixes de água doce habitam as águas continentais da América do Sul, sendo que as duas ordens mais abundantes são Chariciformes e Siluriformes e os Perciformes são minorias (NAKATANI et al., 2001).

Só os migradores Curimatás, que na América do Sul soma cerca de 30 espécies, ocupam cerca de 50% dos estoques pesqueiros de muitos rios, com uma história de vida, importância ambiental, comercial e esportiva, semelhante aos salmonídeos do Hemisfério Norte (salmão, truta) e justificam as intervenções para mitigar os impactos devido às barragens e consequentemente a possibilidade da sua livre passagem para acesso aos criadouros e o seu retorno aos ambientes de jusante.

Em pesquisas recentes para o novo Catálogo das Espécies de Peixes de Água Doce do Brasil, em reportagem publicada no Jornal OESP (2004), apresentam-se as quantidades de peixes na região neotropical, destacando-se o Brasil com 2.122 espécies conhecidas e 720 desconhecidas numa estimativa conservadora, perfazendo um total de 2.842 espécies.

Na mesma reportagem do Jornal OESP (2004), revela-se que o Brasil produz cerca de 700.000 toneladas de peixe anual, das quais 30%, cerca de 200.000 toneladas, são retiradas de águas doces ou continentais.

Figura 2: Região Neotropical.

Fonte: SURDELSUR (2005); MONGABAY (2005).

A região neotropical de interesse incorpora os macroclimas tropical e subtropical, podendo-se excluir o temperado latino e a região andina.

Na Tabela 2 apresenta-se a quantidade de espécies de peixes de água doce de alguns países onde se observa a incomparável diversidade nacional.

Tabela 2: Espécies e Riqueza de Peixes.

País	Espécies	Ref.
Brasil	2.842	OESP (2004)
África	2.000	LARINIER (2000)
Tailândia	1.500	
Colombia	241	CAROLSFELD (2003)
Lago Tanganica (África)	214	PINTO-COELHO (2000)
Austrália	200	LARINIER (2000)
Europa	192	PINTO-COELHO (2000)
Grandes Lagos (EUA e Canadá)	172	PINTO-COELHO (2000)
Japão	127	MITCHELL (1995)
Alemanha	70	PASCHE (1995)
Iraque	43	GODOY (1992)
Nova Zelândia	28	MITCHELL (1995)

Na Tabela 3, conforme MCALLISTER (1999), apresenta-se a riqueza de peixes em algumas das principais e maiores bacias do globo:

Tabela 3: Riqueza de Peixes em Bacias Mundiais.

Bacia	País	Continente	Espécies	Riqueza (espécies/10 ⁵ km ²)
Kapuas	Indonésia	Ásia	320	360
Chao Phrya	Tailândia	Ásia	222	124
Amazonas	Brasil	América do Sul	3.000*	49
Tocantins	Brasil	América do Sul	330	44
São Francisco	Brasil	América do Sul	270	43
Orinoco	Colombia e Venezuela	América do Sul	318	33
Mekong	China	Ásia	244	30
Paraná	Brasil	América do Sul	355	14
Congo	Congo	África	700	13
Nilo e Lago Victoria	Vários	África	432	12
Mississipi	EUA	América do Norte	375	12
Yangtze	China	Ásia	322	19

* valor aproximado.

A diversidade de espécies ictíicas continentais neotropicais nacionais incorpora os anádromos, potamódromos e catádromos; com comprimentos entre o centímetro e os metros; com massa entre os gramas e os quilogramas; nos ambientes: lóticos, semilênticos ou lênticos; bentônicos ou pelágicos; exóticos ou endêmicos; com diversas preferências alimentares (frugívoro, herbívoro, insetívoro, necrófago, ictiófago, iliófago ou onívoro); com pele formada com escamas, couro ou placas ósseas; estratégias e táticas reprodutivas diversas; sedentários ou migradores plenos ou parciais; preferências e capacidades motoras variadas (nadando, saltando, arrastando-se); com sustentação térmica e pigmentações distintas; com formatos corpóreos desenvolvidos em função dos seus ambientes (bentônicos são achatados ou

espalmados: mais largos do que altos e geralmente com barbilhões e pele de couro ou placas ósseas, o que resultam numa menor capacidade natatória, mas com necessidades de oxigenação menores; pelágicos são afusados no sentido de seu comprimento: mais longos do que altos e pele de escamas, o que resultam numa maior capacidade natatória, necessidades de oxigenação maiores e a possibilidade de saltarem); aglutinam-se em cardumes ou não (geralmente os migradores, os quais representam um universo significativo ainda não bem definido dos nossos peixes potamódromos e com maior valor esportivo, comercial e ambiental (THEMAG, 1999), durante períodos específicos do ano, nos repiques de cheias, formam os cardumes para a subida contra a correnteza dos rios, com a missão de reproduzirem, configurando-se num fenômeno típico neotropical brasileiro denominado como piracema).

Os ecossistemas estruturados com os peixes, como qualquer outro, devem estar em equilíbrio energético, ou seja, é necessário manter a biodiversidade e a biomassa sem as quais os elos desfazem-se com o desequilíbrio na cadeia alimentar e conseqüências imprevisíveis, mas nefastas para todos, inclusive aos humanos.

Como exemplo, os centros urbanos cruzados por cursos de água abertos ou fechados, via de regra, são invadidos por insuportáveis enxames de pernilongos, moscas e outros insetos devidos, entre outros fatores, pela ausência de predadores, isto é, ocorrem “quebras” nos elos energéticos da cadeia alimentar. Os peixes são consumidores ativos nesta cadeia, passíveis de consumir cerca de 200 larvas ou insetos dia por indivíduo (GODOY, 1998), agindo como agentes profiláticos sanitários, além de “semeadores” de vegetais, limpeza de resíduos, bioindicadores, enriquecedor protéico aos humanos e para outros animais, etc.

As mudanças nos ecossistemas aquáticos continentais, entre outros fatores como a poluição e os represamentos nos cursos de água, a ocupação humana desenfreada das margens, lagoas, lagos, mangues, braços e nascentes, a retificação e canalização, a erosão devido ao desmatamento com o aporte de sedimentos aos rios, a ausência de mata ciliar, as mudanças no regime hidrológico e atmosférico, a pesca predatória, a introdução de espécies exóticas e as estações de piscicultura, são fatores importantes

do inegável declínio da biodiversidade e biomassa de peixes nacionais fluviais ou continentais.

Os peixes fluviais constituem-se numa fonte protéica renovável, com importâncias esportivas, comerciais e ambientais consideráveis. Pode-se afirmar, com um comedido ufanismo, que a nossa ictiofauna é um patrimônio nacional e internacional pouco divulgado e que as futuras gerações têm o direito de conhecê-los e a atual o compromisso de preservá-la.

O Brasil desperta culturalmente e investe nas questões ambientais, como um reflexo do que acontece no mundo, buscando o seu desenvolvimento sustentável. A discussão sobre o meio ambiente desce do patamar da intelectualidade e dos gabinetes para as ruas, as salas de aula, as universidades, as populações e as mídias.

Apesar da presença constante nas mídias poucos recursos são aplicados efetivamente no meio ambiente nacional. Segundo o "World Bank", menos de US\$ 3.000 são aplicados por habitante/ano no Brasil enquanto em países desenvolvidos este valor pode ser 10 vezes superior.

Os humanos não reconhecem os seus limites de interferência no meio ambiente, e assim, comprometem a sua sobrevivência porque são parte do mesmo macro sistema e planeta e suas ações, como qualquer outra, são retroativas ("feedback").

Parte das mudanças nos ecossistemas aquáticos começou a ser atenuada devido à consciência dos habitantes, dos estudos e avaliações de impactos ambientais com amparo legal e em constante evolução, os comitês de bacias e a valorização crescente da água enquanto produto limitado e escasso.

As estações de pisciculturas destinadas originalmente ao repovoamento e mitigação dos efeitos danosos das barragens sobre a fauna dos peixes, não puderam suprir a natureza durante décadas de prioridade e exclusividade, sem resultados expressivos e acumulando produtos insatisfatórios sobre a comunidade de peixes, apesar da evolução na indução, tratamento e reprodução de espécies sedentárias e migradoras, principalmente os de piracema, ver Figura 3 (ARGUMENTO AD SCIENTIS, 2002). A capacidade das estações e, conseqüentemente, a quantidade de alevinos produzidos e parte introduzidas nos reservatórios foi insuficiente (MARTINS, 2000). Os alevinos lançados em "águas claras" dos reservatórios, sem o "extinto selvagem de

sobrevivência” formaram um plantel para forragem aos predadores (NAKATANI, 2001). A história das estações induz a compreendê-las como uma alternativa político-econômica, sem compromisso com o ecossistema, para mitigar os impactos das barragens.

Figura 3: Proibição de Soltura de Peixes de laboratório.

Fonte: ARGUMENTO AD SCIENTIS (2002).

Os represamentos nos cursos de água para as múltiplas utilidades: energia, retificação, abastecimento, contenção e amortecimento de cheias, irrigação, industrial, lazer, rejeito, navegação ou multiuso, que através da barragem, interrompem o curso de água natural, originam dois ambientes aquáticos distintos: lótico a jusante e semilêntico a montante, no reservatório, separados com um determinado desnível entre os seus corpos de água.

A comunicação “molhada” entre esses ambientes aquáticos ocorre através de extravasores ou vertedouros de modo descontínuo, segundo as suas premissas operativas e/ou pela casa de força quando nas hidroelétricas e/ou pelas estruturas de transposição de embarcações quando há eclusas, também de modo descontínuo.

O desnível físico entre os níveis de água a montante e jusante, ocasionado pela barragem e a comunicação “molhada” inadequada e descontínua, constituem-se num obstáculo ao trânsito de peixes e reduzindo, através da inibição de fluxo genético, a biodiversidade e a biomassa entre os ambientes aquáticos. Essa incomunicabilidade forma, ao longo do tempo, ambientes aquáticos distintos e mais pobres em sua riqueza como aconteceu nos reservatórios dos rios Paranapanema, Tietê, Grande, entre outros, no Estado de São Paulo (CESP, 1996), conforme Figura 4, ou em outros tantos prováveis em outros estados como: rio Iguaçu, rio Grande, rio São Francisco, rio Uruguai.

O rio que está sendo cascadeado e desbravado para geração de energia, cujo potencial não se encontra esgotado, é o rio Tocantins, mas cuja previsão e tendência são a de

seguir os exemplos de outras divisões de quedas em rios, isto é, sem STP's, conforme Figura 5.

Figura 4: Cascadeamento dos principais rios paulistas.

Figura 5: Previsão de cascadeamento do rio Tocantins.

Os Sistemas para a Transposição de Peixes são uma das alternativas importantes para mitigar os efeitos danosos dos barramentos dos cursos de água sobre as comunidades de peixes, consolidados e em constante evolução no exterior há séculos, para favorecer a subida e a descida de peixes, mas não deve ser utilizado para os peixes neotropicais indiscriminadamente, sem estudos específicos, sob risco de insucessos como demonstraram: a nossa experiência de outrora (MENDES, 1969; GODINHO, 1991; CLAY, 1995; QUIRÓS, 1988 e outros) e em países como: Austrália (CLAY, 1995; MALLIN-COOPER, 1999), Nova Zelândia (CLAY, 1995), China (CLAY, 1995), Ásia (CRAIG, 1999), Tailândia (PHOLPRASITH, 1995), entre outros.

Os dispositivos de passagem para peixes internacionais foram desenvolvidos, principalmente, para anádromos: salmões e trutas e algumas outras para esturjões e enguias, mas os utilizam, fortalecendo o princípio da biopassagem, outros peixes e organismos não necessariamente migradores ou reofílicos.

Algumas ações impeditivas ao desenvolvimento dos STP's nacionais, no século passado, quando o meio ambiente podia ser irrelevante, referiam-se de forma pueril e leviana, com ausência de respaldo científico, mas recheados com impressões pessoais e políticas, quanto a: incapacidade física dos peixes em ultrapassarem obstáculos com desnível superior a 8m; alta seletividade dos dispositivos de passagem para peixes perante a grande biodiversidade e riqueza dos nossos peixes; ausência de anádromos e a presença de potamódromos; alto custo das estruturas; preferência pelas estações de piscicultura para repovoamentos de reservatórios; inadequabilidade dos peixes migradores aos ambientes aquáticos semilênticos nos reservatórios, entre outros pressupostos (MENDES, 1969; QUIRÓS, 1988; MACHADO et al, 1976; GODOY, 1998, 1999, 1992).

“O desconhecimento da habilidade das espécies em transpor escadas, aliado as observações e experimentos localizados de curta localização levou, principalmente entre as décadas de 1960 a 1980, à crença generalizada, tanto no âmbito do setor elétrico como no meio científico, de que as escadas seriam ineficientes como mecanismos de transposição para desníveis superiores a 8m. Essa crença, aliada aos aspectos legais, contribuiu para que a construção de escadas para peixes fosse abandonada” (THEMAG, 1999).

Apesar da importância das águas no mundo, não se sabe a quantidade de barramentos existentes no país sejam cadastrados ou não, independentes da sua finalidade, evidenciando, assim, o descontrole oficial nas intervenções sobre a água com exceção parcial no setor energético desenvolvido principalmente sobre a plataforma hídrica. Os valores quantitativos desses empreendimentos encontram-se, na maioria das vezes, quando há, interiorizada nas instituições públicas “independentes” locais sem o aparente interesse informativo, defendendo posturas corporativas ou mesmo devido ao desconhecimento, desinteresse e ausência de compromisso cívico e ambiental.

Há cerca de 840 aproveitamentos energéticos operando, em construção ou outorgados até 2002 (ANEEL, 2003) e cerca de 70.000 açudes só no nordeste (CIÊNCIA HOJE, 2004, ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997). Contando-se com os barramentos menores, caseiros e/ou não cadastrados, as barragens para irrigação, lazer, rejeito de sedimentos, contenção ou retenção, abastecimento e com usos múltiplos, o total deve ser significativamente maior (ver Tabela 4).

Tabela 4: Barramentos Nacionais.

Barramento	Operando	Construção	Outorgado	Total	Ref.
UHE	140	17	27	184	ANEEL, 2003
PCH	242	28	187	457	ANEEL, 2003
CGH	159	1	40	200	ANEEL, 2003
Açude (Nordeste)	70.000			70.000	CIÊNCIA HOJE, 2004
Abastecimento					
Irrigação					
Contenção ou Regularização					
Rejeito (MG)	434			434	GAZETA MERCANTIL, 2003
Total				71.275	

É indiscutível a relevância da nossa ictiofauna, mas apesar da quantidade de barramentos, seguramente superior aos 72.000, não há mais do que 35 estruturas para a transposição de peixes operando, sendo que uma parte significativa foi implantada entre as décadas de 1920 e 1950 no século passado, com desnível inferior a 8m.

A importância dos dispositivos para a passagem de peixes tem se revelado com as estruturas recentes implantadas com sucesso em diversas regiões do país gerando estudos e pesquisas como as desenvolvidas pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS e Universidade Federal do Tocantins – UNITINS, além da constância crescente de artigos em seminários e simpósios nacionais e internacionais incorporados em áreas distintas da ciência.

Nos projetos atuais de uso da água, o Estudo de Impactos Ambientais e o Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente, EIA-RIMA (Decreto 99.274/90, CONAMA 001/86 e CONAMA 006/86), são os instrumentos legais que disciplinam a

implantação e monitoramento de um STP, desde que necessários. Ingestões nos empreendimentos existentes sem estas estruturas são necessárias.

Os Estados de São Paulo com a Lei nº 9.798, 1997 Minas Gerais com a Lei nº 12.488, 1997, Pará com a Lei nº 5.886, 1995 e Espírito Santo com a Lei nº 4.489-N, 1999, possuem legislações que obrigam a implantação de STP's nas Barragens. Há, em tramitação na esfera federal, um projeto de lei, para obrigatoriedade nacional dos STP's.

Apresenta-se neste trabalho, prosseguindo os estudos realizados durante o mestrado do autor (MARTINS, 2000) o Estado da Arte sobre STP's, algumas discussões e sugestões preliminares sobre peixes e estruturas de passagem, os estudos experimentais com dispositivos de transposição do tipo escada promissores à realidade nacional dos recursos escassos, das barragens estabelecidas, das políticas ainda pouco sensíveis ao meio ambiente e a necessidade da nossa ictiofauna. Foram desenvolvidas teoricamente algumas premissas ictiológicas necessárias para a concepção, planejamento e implantação de STP's, visto que a comunidade científica composta com biólogos, zoólogos, veterinários e ecólogos não as possuem e também nunca se interessaram, pelo menos num passado recente, em produzi-las, mesmo no seio das universidades onde seria o palco natural de pesquisas acadêmica e aplicada.

Por fim e como objetivo, apresenta-se as alternativas de STP's com as declividades longitudinais de 10 e 5%, segundo as premissas experimentais e a potência específica de 250W/m^3 , acompanhadas de sugestões quanto as suas implantações.

As dimensões do STP, apesar das alternativas apresentadas como modelos, devem ser concebidas em função das espécies a serem transportadas, dessa forma o seu projeto não pode ser padronizado, pois implicará em erros. Padronizar um STP é reduzir a técnica e a ciência a um padrão primário, tipo "Manual de Bolso" o que de forma alguma é a intenção deste trabalho.

Apresentam-se, também, anexos com o panorama ilustrado internacional e nacional com alguns dos STP's existentes; ilustração fotográfica com alguns peixes neotropicais; metodologia e dados experimentais e um banco de artigos em mídia eletrônica disponibilizada em forma de CD-Rom, para pesquisa dos interessados sobre o tema.

Devido à multidisciplinariedade está disponível um glossário que tenta homogenizar os conhecimentos nas diversas áreas envolvidas.

3. ESTADO DA ARTE DOS SISTEMAS PARA A TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES.

3.1. Introdução.

Há diversos tipos de dispositivos utilizados para facilitar a migração de peixes nos barramentos ou obstáculos naturais no exterior. O nome genérico desses dispositivos, no Brasil, ou pelo autor adotado, é Sistema para a Transposição de Peixes: STP.

Não são usuais os estudos, projetos e a implantação de obras, como no caso dos STP's, cujos benefícios diretos não se destinem aos humanos. Essa constatação é mais contundente nos países do bloco intermediário ou terceiro mundo, onde os valores com educação, cultura e preservação ao meio ambiente são constantemente ultrapassados pelos mais eminentes como a sobrevivência e a voracidade econômica.

Os STP's, principalmente no Brasil, ainda são tratados como obras irrelevantes, inaptas aos nossos peixes e com efeitos duvidosos. Os defensores dos STP's são tratados como visionários que desejam retardar o progresso, apesar de já ultrapassarmos os nossos limites racionais de interferência na natureza.

Seja qual for o tipo de STP nacional, o seu uso ainda é considerado um gasto desnecessário e conflitante com a finalidade do barramento, geralmente para geração hidroelétrica, desviando água, particularmente das que tenham alguma limitação de vazão.

O Brasil não consegue vislumbrar o potencial comercial, ambiental e esportivo do peixe perante a nossa megabiodiversidade.

“O fato é que as equipes de consultoria brasileiras estão defasadas e não conseguem visualizar o que é um STP, como ele pode reverter-se em benefício para o empreendimento, apesar de não ser esse o objeto de um STP.” MARTINEZ (2005).

Nos Estados Unidos da América, os valores envolvidos com as atividades econômicas do bem renovável peixe, giram em torno de US\$ 25 bilhões anuais (ODEH, 2000).

O comércio mundial legal de caviar (ovas) do esturjão movimenta valores da ordem de US\$ 100 milhões anuais. Os preços no mercado ilegal estão na faixa de US\$ 150 o quilo, enquanto no mercado legal é de US\$ 500 (ENVOLVERDE, 2004).

Há, basicamente, os tipos de STP's: escadas, elevadores, eclusas, híbridos e outros alternativos ou complementares.

Um STP tipo escada, objeto principal dessa tese, é composto, na ordem preferencial dos peixes, pelas estruturas de entrada, tanques para percurso, tanques para descanso e estrutura de saída e controle de níveis e vazões, conforme Figura 6.

Figura 6: Estruturas de um STP tipo escada: A) Arranjo; B) Seção Longitudinal e Transversal.

O material constituinte dos STP's tipo escada, visto que, via de regra, estão sujeitos aos esforços hidrostáticos e dinâmicos com pequena magnitude, podem ser os mais variados. Na fase embrionária do seu desenvolvimento a madeira teve destaque mas devido a sua pouca vida útil e as manutenções constantes, cedeu a vez para o

concreto. Há, no exterior, para baixas quedas, cardumes e peixes pequenos, pré-moldados em alumínio utilizados em regiões inóspitas, geralmente em cachoeiras ou cascatas naturais. Há, também no exterior, uma tendência para as estruturas mais harmônicas com a natureza (“like a river”, “nature like a fishway” ou “close-to-nature”) onde os canais artificiais, o enrocamento e a pedra argamassada possuem destaque.

Os STP’s objetivam favorecer a migração longitudinal de peixes nos dois sentidos: ascendente e descendente ou, respectivamente, reprodutiva e trófica (Ver Figura 7, Figura 8, Figura 9), sem as quais os sistemas aquáticos a montante e a jusante de barramentos empobrecem diminuindo a sua riqueza e em muitos casos conduzindo a extinção de espécies, notadamente das migratórias.

Figura 7: Barragem sem STP.

Figura 8: Barragem com STP – movimento migratório ascendente.

Figura 9: Barragem com STP – movimento migratório descendente.

A denominação internacional na língua inglesa para o tipo escada é: “fishway”, “fishladder”, “fishpass”, “fish passage” ou ainda, “fish facilities”; para o tipo eclusa é: “fishlock” e para elevador é: “fishelevator” ou “fishlift”; na língua francesa: “passe à poissons” para o tipo escada, “echelle à poissons” para o tipo eclusa, “dispositifs à levage” ou “ascenseurs à poissons” para os elevadores; na língua alemã: “fischpasses” ou “fischtreppe” ou “fischaufstieg” para o tipo escada, “fischschleuse” para a eclusa e “fischhaufzug” para elevadores, em sueco: “fiskepas” para escadas, em espanhol: “escala pesquera”, ou “pesaje de peces”, em japonês: “gyodo” ou 魚道, em russo: “rybopropusknye sooruzheniya” ou “проход рыб”.

Sob a ótica da engenharia, esses dispositivos destinam-se a facilitar a migração reprodutiva ou trófica dos peixes vencendo obstruções naturais ou não, mediante a passagem de um volume de água, de montante para jusante, favorecidos pelo gradiente hidráulico, em condições controladas no que se referem à vazão, níveis, velocidades, linhas de fluxo e geometria da estrutura, de modo a atender e maximizar às necessidades intrínsecas dos peixes-alvo, sem causarem o seu cansaço excessivo ou fadiga (“stress”).

LARINIER (1999) define um STP como sendo um dispositivo para atrair e conduzir seguramente a migração de peixes: trófica e reprodutiva, aos seus ambientes.

Segundo uma ótica integrada ao meio ambiente, MORISHITA (1995), recomenda a ampliação da concepção simplista de um STP como sendo uma passagem para peixes migradores, pois se exclui outros importantes organismos que também utilizam este sistema. Sugere que o termo adequado seja biopassagem (“biopath”) definida como estrutura artificial em águas continentais, que os organismos utilizam para migração reprodutiva, trófica ou simplesmente deslocamento, que incorpora conceitos de biodiversidade, biomassa e riqueza.

OSBORN (1985c) classificou a migração ou a passagem de peixes segundo o grau de complexidade ambiental, conforme Figura 10.

Figura 10: Grau Ambiental de Complexidade.

Fonte: OSBORN, 1985c

No exterior, principalmente no hemisfério norte, os STP's estão consolidados, sendo objetos indiscutíveis em todos os projetos fluviais ou marítimos, mesmo nos temporários, que envolvam a sobrevivência dos peixes. Inicialmente devido ao valor econômico agregado aos Salmonídeos (salmão, truta), aos Acipencerídeos (esturção) e as Lampréias e Enguias, os STP's eram voltados a estas famílias de peixes, mas as consequências desse privilégio geraram a diminuição da riqueza e biomassa, assim, hoje, os STP's são menos seletivos e mais eficientes, incorporando a filosofia da biopassagem ("biopath"), independente da identidade migratória dos peixes e outros organismos.

É pueril admitir que nos STP's internacionais transitam apenas salmonídeos. A Tabela 5, apresenta as quantificações de peixes em Bonneville durante os anos de 1938 e 1939 (SUMNER, 1940), quando a riqueza de peixes americana no rio Columbia foi mais expressiva. Observa-se que há na composição dos peixes que transpuseram a barragem, migradores, sedentários e outros.

Tabela 5: Peixes contados no STP de Bonneville.

Ano	mês	Salmão				Truta Steelhead	Shad	Suckers	Chubs	Squawfish	Lampreys
		Chinook	Blueback	Silver	Chum						
1938	maio*	22.371	1.025			6.622		34.273	2.197	2.948	7.502
	junho	8.221	17.811			2.382	39	83.684	4.116	9.698	23.831
	julho	6.556	53.864			19.455	3.185	122.910	7.711	26.955	130.818
	agosto	34.765	2.097	3.070		29.231	1.502	22.952	3.122	8.818	60.821
	setembro	197.294	235	10.995		46.618	527	12.201	1.776	6.668	4.452
	outubro	2.302	6	972	1.245	2.264	21	5.399	442	2.379	172
	novembro	263	2	141	799	339		454	101	76	19
	dezembro	27		7	73	92					2
1939	janeiro	6		3	2	23					
	fevereiro	12				19					
	março	121				370		48		1	7
	abril	51.410	48			8.110		29.350	40	745	750
	maio	25.159	189			1.587	14	33.648	368	7.822	10.132
	junho	5.602	29.386			1.490	1.589	48.980	2.855	33.936	95.844
	julho	17.845	43.124			36.581	3.065	12.057	1.754	11.418	103.725
	agosto	32.919	616	1.810		38.062	157	7.929	1.102	6.749	15.795
	setembro	150.851	19	19	6	33.891	28	4.947	627	3.074	3.349
	outubro	2.197			700	1.264		2.322	239	628	73
	novembro	78			411	216		257	21	22	
	dezembro	16			49	119		20	1		
total		558.015	148.422	17.017	3.285	228.735	10.127	421.431	26.472	121.937	457.292

7 a 31 de maio de 1938.

Fonte: Stanford Ichthyological Bulletin Vol 1.

A migração ascendente é contrária ao fluxo do curso de água e objetiva, basicamente, à reprodução em locais apropriados. A migração descendente, isto é, na direção da foz do rio, objetiva a procura de locais favoráveis quanto à alimentação, temperatura e às condições físico-químico-biológicas. O STP deve contemplar o movimento dinâmico ictífico nos dois sentidos longitudinais.

O STP mais simples é o tipo **escada com soleira ou degrau**, “pool & weir”, constituindo-se numa série de reservatórios ou tanques escalonados seqüencialmente em forma de degraus. Os reservatórios são separados por soleiras ou degraus. Os peixes, na migração, transpõem os degraus ou soleiras, passando entre os reservatórios ou tanques, nadando pela lâmina de água descendente ou saltando. Na Figura 11 apresenta-se uma representação deste tipo. As soleiras ou degraus possuem a finalidade de controlar a permanência de níveis de água e dissipar a energia na forma de perdas localizadas com a turbulência nos tanques. A energia é dissipada de modo a favorecer a ascensão dos peixes sem causar o seu cansaço.

Figura 11: STP tipo escada com soleira ou degrau.

Fonte: NAKAMURA, 1991; MARTINS, 2000.

Atendendo-se à necessidade dos peixes que migram pelo fundo e minorar o dispêndio de energia durante a ascensão, introduziu-se, na soleira entre tanques, um orifício, de modo a favorecer a passagem destes peixes, evitando-se a intransponibilidade e seu cansaço prematuro. Esse tipo de estrutura é conhecido como **escada com soleiras e orifício**, “weir & orifice”. Na Figura 12 apresenta-se uma representação deste sistema.

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 12: STP tipo escada com soleira e orifício.

Fonte: MARTINS, 2000; ODEH, 1999; BONNEVILLE, 2004.

Na Bélgica, por volta de 1920, o cientista especializado em peixes G. Denil, propôs um STP composto por soleiras especiais, que dissipavam energia através do refluxo do escoamento devido à forma das soleiras centrais. Estas soleiras foram concebidas para proporcionarem velocidades máximas no centro do STP e menores nas adjacências, de modo a favorecer a ascensão de peixes específicos. Essa estrutura possui o nome de seu autor, tipo **escada Denil**, foi desenvolvida para espécies do hemisfério norte, que migram no sentido dos oceanos para as cabeceiras dos rios (anádromos ou diádromos), vencendo as distâncias com a atividade natatória de fundo ou superficial. Na Figura 13 apresenta-se uma representação deste sistema.

Figura 13: STP tipo escada Denil.

Fonte: LARINIER, 1999; MARTINS, 2000; MEEHAN, 2003.

Um dos STP's mais utilizados é a escada “**Vertical Slot**”, “Hell’s Gate” ou “pool & jet”. Neste tipo de estrutura, a soleira ocupa parte do canal, permitindo a passagem do fluxo e dos peixes por canais laterais livres, com um ou dois jatos. Foi desenvolvida para peixes que migram nadando pelo fundo ou superficialmente. Na Figura 14 apresenta-se uma representação deste sistema.

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 14: STP tipo “Vertical Slot” com 1 e 2 jatos.

Fonte:ODEH, 1999; LARINIER, 1999; MEEHAN, 2003.

O sistema mecânico denominado: **eclusa para peixes**, “fish lock”, funciona com um conduto interligando montante com jusante, de forma adequada para atrair os peixes, operando em fases de transposição: fechamento da saída e favorecimento ao acesso das espécies pela entrada; fechamento da entrada, com o conseqüente aprisionamento dos peixes; abertura da saída com inundação do recinto e a passagem das espécies. Na Figura 15 apresenta-se uma representação deste sistema.

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 15: STP tipo eclusa.

Fonte: Martins, 2000.

O elevador dos peixes, “fishlift” ou “fishelevator”, é outro sistema mecânico, como também a eclusa, que consiste em caçamba-tanques posicionadas no corpo d’água a jusante, de forma adequada para atrair os peixes e que opera em fases de transposição: abertura da caçamba para acesso das espécies; alteamento ou içamento da caçamba com os peixes; transporte e deposição dos peixes à montante. Na Figura 16 apresenta-se uma representação deste sistema.

Figura 16: STP Tipo Elevador para Peixes

Fonte: MARTINS, 2000; St Stephen Power, 2000.

Outros tipos de STP's surgiram para atender às necessidades específicas. Alguns alternativos como a **embarcação transportadora** de peixes indicada para altas

quedas de barramento onde há eclusas para embarcações, conforme Figura 17, ou **misto**, como, por exemplo, atração e armazenamento em caçambas transportadas por veículos, “Trap and Truck” conforme Figura 17.

Figura 17: STP tipo embarcação transportadora.

Fonte: BONNEVILLE, 2004; MARTINS, 2000.

Figura 19: STP tipo "like a river".

Fonte: DVWK, 2002, WWB, 2004.

Os tipos, variantes e detalhes dos STP's são intermináveis dependendo das características locais, dos cardumes e das condições de contorno o que impedem a generalização e universalização dos conhecimentos. Ver Figura 20, Figura 21, Figura 22.

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Figura 20: STP tipo canal lateral.

Fonte: NAKAMURA, 1991; WWB, 2004; MEEHAN, 2003.

Figura 21: STP tipo escada em serpentina.

Fonte: NAKAMURA, 1991; UB, 2004.

Figura 22: STP tipo escada alternada.

Fonte: HIRAMATSU , 1990; NAKAMURA, 1991.

Há a transposição de retorno tão importante quanto a ascendente para manter a riqueza e o ecossistema, comum no Hemisfério Norte, mas que não obteve eco na comunidade nacional. A ausência desses mecanismos pode gerar riquezas diferentes entre os ambientes aquáticos de jusante e montante (reservatório), quando disponível a estrutura para ascensão de peixes. Passagens de peixes pelos sistemas extravasores e gerador podem ser admitidas, dependendo do desnível de água, tipo de extravasor ou dissipador de energia e equipamento gerador cuja mortalidade pode atingir valores significativos. Ver. Figura 23, Figura 24, Figura 26.

Figura 23: Bomba para peixes.

Fonte: SWIMTHRUFISHWAY, 2004; HERDMAN; 1995, WESTEC, 2004.

O sistema de transposição através de “recalque” ou bomba, conforme Figura 23, é pouco utilizado em barragens, e destinam-se, geralmente, para operações em “fish farm”, ou seja, em estações de piscicultura, onde a concentração e tamanho dos animais são adequados. A Usina hidroelétrica Ice Habor, rio Snake, EUA, conforme Figura 176, possui vários dispositivos para a passagem de peixes, entre eles um sistema tipo “Fish Pump”, composto com vários recalques, mas não estão disponíveis dados sobre a sua eficiência ou mesmo se o mecanismo é para a remoção de peixes durante o processo de manutenção de turbinas. A SWIMTHRUFISHWAY (2004) possui a patente americana do sistema para a transposição de peixes com bombas em barragens que favorece a migração de adultos e alevinos de salmonídeos nos dois sentidos, onde as pás “amigáveis” possuem uma velocidade de 1rpm ou menos.

O mecanismo para a transposição de peixes tipo engrenagem com caçamba, conforme Figura 24, carece de informações técnicas sobre o seu desempenho ou mesmo de implantações recentes. Numa análise grosseira pode-se verificar que este mecanismo é passível de manutenções constantes e inviabiliza a passagem de peixes para jusante na migração trófica ou descendente.

Figura 24: Engrenagem com Caçamba.

Fonte: CLAY, 1991.

A passagem de peixes pelas tomadas d'água durante a migração descendente ou trófica, conforme Figura 25 é utilizada para salmonídeos no Hemisfério Norte. Para

as espécies de peixes neotropicais são necessárias pesquisas para verificar a adequabilidade desses sistemas à nossa diversidade. As experiências preliminares realizadas na UFMG, CTP (2005) e segundo observações do pesquisador MARTINEZ (2005), indicam pouca aceitação ou utilização desse sistema pela nossa ictiofauna.

Figura 25: Passagem de peixes pelas Tomadas D'água.

Fonte: CLAY, 1991; BPA, 2004.

A passagem de peixes pelas turbinas, conforme Figura 26, é uma realidade, mas com taxas de mortalidades e eficiência não previsíveis em função do tipo de turbina, desnível geométrico ou carga de pressão, velocidade de rotação, disposição do eixo e das características da ictiofauna. Os monitoramentos com marcação de peixes a jusante das usinas hidroelétricas de Itaipu, no rio Paraná, antes da operação do seu Canal de Piracema, e Porto Primavera, também no rio Paraná mais a montante, indicam, através da recaptura a montante (reservatório), a passagem de pequena taxa

de peixes através das turbinas nas suas migrações ascendentes ou descendentes. (FERNANDES, 1999; AGOSTINHO, 2001, 2004).

As turbinas amigáveis aos peixes encontram resistência quanto a sua implantação em usinas hidroenergéticas devido, principalmente, a perda no seu potencial de geração, que pode ser significativo, com valores maiores do que o 30%.

Figura 26: Passagem na Tomada de Água e Turbina.

Fonte: BPA, 2004; USACE-NWD, 2004.

No Anexo 1 é apresentado um Panorama Internacional dos Sistemas para a Transposição de Peixes onde se verifica a diversidade e porte das estruturas

existentes, evidenciando a sua relevância e importância como mitigador de impactos sobre a comunidade aquática.

3.2. História dos STP's.

O início dos STP's ocorreu quando o homem observou a dificuldade dos peixes de se locomoverem diante dos obstáculos geológicos naturais, fossem elas as quedas abruptas, tipo cachoeiras ou corredeiras íngremes, e resolveu facilitar sua movimentação, visando sua sobrevivência no ecossistema e a perpetuação das reservas pesqueiras para atividades esportivas ou profissionais.

O número de STP's implantados no mundo é de cerca de 14.500 unidades concentrado em países desenvolvidos, conforme Tabela 6. Incluindo-se as quantidades atualizadas dos países com tradição ou não nestas estruturas como a Rússia, Finlândia, Escócia, Suíça, Dinamarca, Bélgica, Holanda, Alemanha, Lituânia, Índia, Nepal, Bangladesh, Nova Zelândia, Austrália, Irlanda e outros, o valor total pode ser significativamente maior.

Tabela 6: Quantidade aproximada de STP's.

País	Un	Fonte
Alemanha	47	SALZBURG, 2004
Argentina	6	QUIRÓS, 1988
Austrália	72	LARINIER 2001
Áustria	200	MADER, 2004
Bangladesh		
Brasil	35	MARTINS, 2004
Bélgica		
Canadá	540	LARINIER, 2004 THERRIEN, 2000
China	80	LARINIER, 2001 WANG, 1990
Dinamarca	1.000	HELGREN, 2003
Espanha	200	ELVIRA, 2002 HORVÁTH, 1998
Escócia		
EUA	411	FRANCFORT, 1994
França	500	LARINIER, 2001
Finlândia		
Holanda		
Índia		
Inglaterra	380	LARINIER, 2001
Iraque	5	GODOY, 1985, 1992
Irlanda	17	GODOY, 1985, 1992
Islândia	72	EINARSSON, 2001
Japão	10.000	LARINIER, 2001 KUMAR, 1995
Nepal		
Noruega	496	GRANDE, 2001
Nova Zelândia		

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

País	Un	Fonte
Oceania	29	AGOSTINHO, 2001
Portugal	18	PINHEIRO, 2001
Rússia	30	PAVLOV, 2001
Suíça	400	LARSSON, 2001
Uruguai	1	QUIRÓS, 1988
Total		14.539

Com o desenvolvimento tecnológico e das necessidades humanas, o homem passou a interferir sistematicamente no ambiente, principalmente no hídrico, alterando-o segundo as suas necessidades e prioridades, nas quais, raramente, o ecossistema mereceu atenção relevante. Os barramentos artificiais passaram a se multiplicar visando irrigação, lazer, contenção de cheias e, principalmente, a geração energética, tornando inacessível à transposição de peixes e a sua reprodução nas águas de montante o que, juntamente com a degradação ambiental crescente, resultou em conseqüências desastrosas aos ecossistemas. Assim os STP's começaram a serem construídos para minimizarem, em parte, os efeitos da intervenção humana.

Na fase embrionária internacional alguns STP's fracassaram devido ao desconhecimento tanto dos peixes como da engenharia básica necessária. Assim, como uma das alternativas possíveis, optou-se pelas estações de piscicultura para repovoamento interferindo-se mais ainda no ambiente. No exterior as estações de piscicultura existem nas fazendas de peixes voltadas ao comércio e indústria.

No século XVII, na década de 1640, isto é, há mais de 360 anos, na Europa, Suíça, na cidade de Bern, rio Aar, (GODOY, 1992), tem-se o registro do primeiro STP, com pouco mais de 2m de altura vertical, em um obstáculo natural, construído com base na sensibilidade do proponente, sem um fundamento científico consistente, para peixes anádromos.

O primeiro STP num barramento artificial foi construído para peixes anádromos, no rio Thiet, em Perth, Escócia, no século XVIII, década de 20, em 1828, (GOBIN & GUÉNAUX, 1907 apud GODOY, 1985), tipo escada com degraus. O projeto e a execução foram da iniciativa privada, proprietária de outras usinas neste rio. A sua forma foi idealizada por M. Smith Deanston (GODOY, 1985). O sucesso deste empreendimento fomentou a iniciativa em barramentos existentes, novos ou em obstáculos naturais, em outros países.

A França iniciou a construção desses sistemas em data anterior a 1789, pois, nesta data, em Pontgibaud, no rio Sioule, foram contados 1.200 Salmões que migraram através de um STP, tipo escada com degraus (GOBIN & GUÉNAUX, 1907 apud GODOY, 1992). Outros STP's foram instalados em barramentos franceses, preferencialmente, para peixes anádromos. Segundo LARINIER, 1990, há mais de 300 STP's construídos nos últimos 20 anos, resultado de estudos em modelos reduzidos e verificações de protótipo, sendo ainda insuficientes frente aos 8 000 barramentos.

A Noruega é o país europeu com a maior quantidade de STP's, tendo cerca de 420 unidades (GRANDE, 1996) ou 496 (GRANDE, 2001), a maioria tipo escada com degraus e tipo Denil. Em 1872, foi construído e opera o STP Osfossen com desnível de 11,5m e declividade longitudinal igual a 25%, tipo escada com soleiras e degraus, para um obstáculo natural, no rio Gaular, para peixes anádromos (GRANDE, 1990, 2001). No rio Sire instalou-se um STP tipo escada com degraus, para peixes anádromos, em madeira, em 1880, com 285m de comprimento e uma altura vertical de 27m, através da iniciativa privada, (LANDMARK, 1983).

Em 1873, em Enfield, rio Connecticut, o primeiro STP na América do Norte, com um desnível de 2m em forma de rampa (MOFFITT et al., 1982). Em 1880 na Barragem Holyoke do mesmo curso d'água, foi instalado um STP tipo soleira (RIZZO, 1968, 1971 apud ODEH, 1999). Em 1879, Virginia, pois já existia legislação estadual desde 1866 requerendo dispositivos para permitir a passagem de peixes anádromos em obstruções de rios, conforme ODEH, 1999, o Sr. Marshall MacDonald, segundo a literatura (ORSBORN, 1984), disponibilizou, aos interessados em investir, um STP tipo escada original usando uma declividade longitudinal de 1V:3H, com redutores de velocidades superficiais na saída e no interior do canal. Este dispositivo não foi detalhadamente analisado devido às suas nuances construtivas, sendo abandonado, mas marcou pela inovação (ver Figura 27).

Figure 10. Macdonald's steep slope Fishladder of 1879 in Virginia.

Figura 27: STP tipo escada primitivo (Marshall MacDonald).

Fonte: ORSBORN, 1985.

No mesmo período, em 1890, na Europa, Noruega, o Sr. A. Landmark apresentou um novo modelo de STP tipo escada vertical slot, com um jato, com o degrau inclinado em relação ao canal sem encontrar a parede oposta do canal, formando aberturas verticais laterais, (McLEOD, 1941; LANDMARK, 1883), conforme Figura 28.

Até o ano de 1900, os projetos dos STP's resumiram-se, quase exclusivamente aos anádromos com dispositivo tipo escada com degraus, concebida intuitivamente e uma pequena parcela de conhecimento da bioengenharia. Muitas patentes foram registradas, mas o objetivo era apenas o de dissipar a velocidade no interior do canal, para permitir a passagem dos peixes, sem respeitar as necessidades dos maiores interessados: os peixes.

Figure 11. Plan view and section of Landmark's first slotted Fishway (Norway, circa 1890).

Figura 28: STP tipo escada Vertical Slot com um jato.

Fonte: ORSBORN, 1985.

Segundo OSBORN (1987, 1985), os estudos internacionais relevantes, propulsores do desenvolvimento dos STP's, todos voltados aos peixes anádromos, foram:

- ✓ G. Denil, Bruxelas, Bélgica, 1908 a 1932;
- ✓ British Institution of Civil Engineers, Committee on Fish Passes in England, 1936 a 1938;
- ✓ McLeod e Nemenyi na Universidade de Iowa, 1939 a 1940;
- ✓ Bell e outros, no desenvolvimento de degraus para STP's, no rio Fraser, British Columbia, 1943 a 1946;
- ✓ COLLINS & ELLING. Bonneville Fisheries Engineering Research Laboratory, Washington, 1951 a 1972.

Pode-se acrescentar ainda:

- ✓ Fish Pass Design, Criteria for Design and Approval of Fish Passes and Other Structures to Facilitate the Passage of Migratory Fishes in River. M. H. BEACH. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Fisheries Research Technical Report no 78, Lowestoft, England, 1984;
- ✓ New Concepts in Fish Ladder Design. – Final Project Report, Part I of IV. ORSBORN, John F. Washington State University. Department of Civil and Environmental Engineering. Portland, Oregon, EUA; 1985;
- ✓ New Concepts in Fish Ladder Design. Results of Laboratory and Field Research on New Concept in Weir and Pools Fishways. – Final Project Report, Part II of IV. ORSBORN, John F., AASERUDE, Robert G. Washington State University. Department of Civil and Environmental Engineering. Portland, Oregon, EUA, 1985;
- ✓ New Concepts in Fish Ladder Design. Fishways An Assessment of their Development and Design. ORSBORN, John F.; POWERS, Patrick D.; Bumstead, Thomas W.; Klinger-Kingsley, Sharon; Mih, Walter C. Final Project Report, Part III of IV Washington State University. Department of Civil and Environmental Engineering. Portland, Oregon, EUA; 1985;
- ✓ New Concepts in Fish Ladder Design: Analysis of Barriers to Upstream Fish Migration. Investigation of the Physical and Biological Conditions Affecting Fish Passage Success at Culverts and Waterfalls. – Final Project Report, Part IV of IV. ORSBORN, John F; POWERS, Patrick D. Inglês. Pág. 120. Washington State University. Department of Civil and Environmental Engineering. Portland, Oregon, EUA, 1985;
- ✓ Design of Fishways. Shunroku NAKAMURA. Japonês. 1991;
- ✓ Passes à Poissons, Expertise et Conception des Ouvrages de Franchissement. LARINIER, Michel TRAVADE, François, GOSSET C., PORCHER, J. P. Francês. Conseil Supérieur de la Pêche. Paris, France. 1999.

Em 1909, na Europa, Bélgica, Bruxelas, o cientista G. DENIL, 1909, publicou um artigo sobre um novo STP tipo escada, baseado nos princípios científicos disponíveis, em que utilizou a dissipação de energia para favorecer a ascensão dos peixes anádromos. Ao longo do tempo este tipo de sistema foi otimizado por outros estudos, com as ênfases físico-biológicos e que resultaram na sua concepção atual

desenvolvida para facilitar a transposição de Trutas e Salmões, principalmente. Denil foi o primeiro cientista a estudar o hábito e a capacidade mecânica dos peixes anádromos e aplicar os princípios da engenharia hidráulica para facilitar a sua ascensão, Figura 29 (CLAY, 1995).

Figure 13. Denil's fishway modifications with emphasis on wall roughness and smooth floor.

Figure 29. Institution of Civil Engineers modified Denil Fishway. (dimensions are in feet)

Figura 29: STP tipo escada Denil.

Fonte: ORSBORN, 1985.

O Instituto Britânico de Engenharia Civil, Comitê para STP's, desenvolveu estudos importantes, antes da 2ª Guerra Mundial, 1942. Há um apêndice com as investigações realizadas por White e Nemenyi sobre os STP's para: dispersão do jato, tanques, capacidade natatória dos peixes anádromos, relação entre a declividade, profundidade e vazão no canal e jatos submersos. Foi, também, objeto deste comitê, a otimização do STP tipo Denil, para chegar à forma em que são utilizados até hoje (CLAY, 1995; ODEH, 1999).

A construção da barragem Bonneville, rio Columbia, EUA, entre 1937 e 1938, propiciou o desenvolvimento de novos STP's. A concepção deste projeto aglutinou a experiência de engenheiros e biólogos especialistas em peixes anádromos, que resultou num sistema com dimensões maiores do que as até aquela data apresentadas,

adequadas ao pico de migração, complexas e eficientes. Foram implantados vários pontos de atração dos peixes, inclusive no sistema gerador de energia: Casa de Força. Durante a sua construção foram operadas eclusas provisórias para transposição ascendentes e também, dispositivos para garantirem a migração descendente dos peixes (ver Figura 30).

Figura 30: STP's em Bonneville e John Day, rio Columbia, EUA.

Fonte: NWPPC.

A Universidade de Iowa patrocinou um estudo sistemático sobre os STP's consistindo em testes com cinco variações de escada: degrau, orifício, soleiras dissipadoras sequenciais e alternadas, "Vertical Slot" e Denil, onde as necessidades e as preferências dos peixes anádromos foram priorizadas. NEMENYI, 1941, publicou suas anotações bibliográficas sobre parte dos STP's existentes na Europa e Estados Unidos onde se depreende que nenhum dos empreendimentos listados foi elaborado com base científica consistente (Ver Figura 31).

Figure 31. Two vertical slot baffle systems developed at the Bonneville Fisheries-Engineering Laboratory for controlling fishway flow when forebay elevation fluctuates.

Figura 31: STP tipo “Vertical Slot” com 1 jato

Fonte: LARINIER,1999; OSBORNE, 1985.

Durante 1945 e 1946, depois de exaustivas verificações em modelo reduzido, foi construído o STP tipo escada com soleira e orifícios denominado “Hell’s Gate”, “Vertical Slot” com dois jatos, no rio Fraser, British Columbia, EUA, com soleiras verticais para reduzir a velocidade central do canal, duas aberturas laterais verticais e dissipadores verticais para as aberturas. Este tipo de estrutura foi projetado para locais onde há grande flutuação dos níveis de água, que podem comprometer à operação do STP, ver Figura 32 (CLAY, 1995).

Figure 15. Hell's Gate double-slotted fishway on the Fraser River in British Columbia. (dimensions in feet)

Figura 32: STP tipo “Vertical Slot com 2 jatos” (“Hell’s Gate”)

Fonte: MARTINS, 2000; OSBORNE, 1985.

O STP tipo escada “Hell’s Gate” considerou, na sua concepção e no seu dimensionamento: o pico de peixes anádromos migratórios, o volume de água mínimo por unidade de peixe, fatores biológicos que interferem ou podem induzir a passagem dos peixes, tais como: odor, hormônio, etc.

O programa do projeto do STP tipo escada “Hell’s Gate”, de 1951 a 1972, envolveu estudos de monitoramento dos anádromos, comportamento, estímulos, sensibilidade e reprodução dos peixes, efetuados por técnicos da engenharia e biologia e auxiliados

por modelos reduzidos para testes experimentais. Os estudos importantes referem-se à luminosidade necessária, principalmente durante a noite, capacidade, declividade longitudinal e velocidade do fluxo. O programa, em 1962, desenvolveu o STP tipo escada para a barragem Ice Harbor, no rio Snake, EUA, composto por soleiras superficiais laterais duplas e orifícios, sendo que a região central não galgável, possui uma aba para montante destinada amortecer o fluxo. Este tipo de estrutura, devido ao sucesso alcançado, foi implantado em várias outras barragens do sistema dos rios Columbia e Snake. Ver Figura 33 e Figura 34 (COLLINS, 1960).

Figura 33: STP tipo escada (Ice Harbor).

Fonte: LARINIER, 1999; OSBORN, 1985.

Figure 16. Ice Harbor fishladder design with double weir and double port. (dimensions in feet)

Figura 34: UHE Ice Harbor, EUA.

Fonte: NWPPC.

Nos países baixos, principalmente a Holanda, há uma identidade nítida com a água, com origem perdida no tempo. A experiência com STP's vem desde 1925, com a finalidade de facilitar a passagem de peixes anádromos e de enguias, objetos de industrialização importante na economia local e para exportação.

Na Dinamarca, segundo LONNEBJERG (1990), há muitos STP's utilizados em hidrelétricas e principalmente em 600 reservatórios para criação de peixes ("fish farms"), podendo chegar a 700 unidades. O principal STP utilizado é o tipo escada Denil e o com degraus.

Na Rússia, um dos primeiros STP's foi construído no rio Volkhov, em 1926, mas sem o desejado sucesso. Em 1938, no rio Tuloma, implantou-se, com êxito, um STP tipo escada com degraus, com altura vertical de 20m, comprimento de 513m, visando o livre acesso e a reprodução de enguias, Salmões, Trutas e Esturjões para manutenção do estoque pesqueiro, abastecimento alimentar local e industrialização

para exportação, principalmente do caviar e enguias defumadas (KIPPER, 1967). O peixe diádromo Esturjão russo pode atingir até 3m de comprimento.

Na Austrália, até 1982, existiam mais de 55 STP's em operação para migração fluvial, (HARRIS, 1984). O projeto e a construção dos STP's está incorporado na legislação nacional, porém Harris relata que na costa leste havia 29 STP's sendo 18 com alturas inferiores a 2m e os demais superiores a 8m e indica que: 75% destes dispositivos operavam insatisfatoriamente devido ao projeto ser baseado na experiência Européia e Norte Americana, esquecendo-se das espécies nativas, que possuem capacidade natatória, ciclos e necessidades diferentes (CLAY, 1995). Há, também, devido as suas fronteiras marítimas, uma preocupação com STP's em barragens para comunicações marítimas e fluviais o que, segundo JACKSON, 1996, resultou em 1000 passagens de peixes.

Na China, apesar da vasta malha hídrica com barragens, chegando às quantidades superiores a 85.000 (XIANGKE LU, 1986), sendo 4.546 com a finalidade de geração energética (25 Usinas de grande porte: potência superior a 250MW, 95 médias: potência entre 25 e 250MW e 4.426 pequenas: potência entre 0,5 e 25MW), há poucos STP's, cerca de 50, dos quais poucos funcionam satisfatoriamente (WANG, 1990). O maior STP de 15m de altura produziu resultados insatisfatórios e foi abandonado. O peixe principal deste país é a carpa adaptada aos ambientes lênticos, como os dos reservatórios. Há segundo a literatura referida, intervenções para evitar a mortalidade de peixes pelo acesso às tomadas d'água e turbinas com a utilização de elétrodos criando malhas repulsivas (LARINIER, 1999, 1999a). Há nesse país, em construção, a maior Hidroelétrica do mundo em potência de geração: Três Gargantas, no rio Yangtse, onde, entre outros problemas ambientais, há possibilidade de extinção dos esturjões (peixe anádromo caracterizado como de grande porte e dos quais as ovas produzem o refinado produto de consumo denominado caviar), fonte alimentar dos ribeirinhos e produto industrial importante, devido à inexistência de um sistema para a transposição de peixes (YVWRPB, 1999).

Os estudos sobre STP's evoluíram sob a ótica biológica e hidráulica nas últimas cinco décadas, fruto da preocupação mundial com o ecossistema e do interesse de preservação das espécies e da atividade pesqueira profissional e/ou esportiva, ou

seja: a permissão ao livre acesso dos peixes significa a reprodução e a possibilidade da perpetuação das espécies.

O primeiro manual significativo para projetos de STP's foi publicado por CLAY, em 1961, definindo um STP como uma passagem de água que contorna ou atravessa uma obstrução, onde, pela dissipação da energia, favorecesse a ascensão dos peixes, sem causar o seu cansaço excessivo.

O Canadá possui mais STP's que os EUA. No Alaska, devido às montanhas inóspitas e clima desfavorável, o Dr. ZIEMER, 1962, apud ODEH, 1999, desenvolveu um STP baseado no tipo Denil, em alumínio pré-moldado, para locais onde o acesso só é viável por estradas de ferro ou pelo ar. Este modelo é conhecido como STP tipo escada Alaska (ver Figura 35). A AEROCEANICS FISH CORPORATION, 1976, desenvolveu e patenteou um modelo similar construído com fibras de vidro reforçadas e iluminação artificial, destinado aos locais com carência espacial ou de acesso difícil (ver Figura 36). THERRIEN & BOURGEOIS (2000) afirma que há cerca de 500 STP's marítimos usados pelos peixes migradores.

Figure 2. Alaska Steeppass fishway; another form of the Denil fishway with the baffles arranged slightly differently from the original or modified designs and the entire fishway made portable.

Figura 35: STP Tipo Alaska.

Fonte: OSBORNE, 1985.

Figure 18. Aeroceanics spiral fishway. (dimensions in feet)

Figura 36: STP tipo espiral.

Fonte: OSBORNE, 1985.

No Iraque, rio Tigris, Barragem Badush, na cidade de Mosul, há um STP para vencer um desnível de cerca de 20m, para passagem dos migradores principais: Gattan (*Barbus zantopterus*) com comprimento e massa máximas de 1,0m e 20kg, Shabbut (*Barbus scheich*) com 1,0m e 15kg e Bizz (*Barbus escocinus*) com 2,0m e 200kg. O canal da escada possui um trecho com “Vertical Slot” para uma abertura 1m e outro com soleira e orifício com 1m de lado. A declividade longitudinal é igual a 22% com degraus e 0,3m, ver Figura 37 (PETKOVIC, 1990). No rio Eufrates, berço da civilização neolítica há 6.000 anos, com seus 1.213km de comprimento, possui 43 espécies de peixes fluviais, possui 4 STP’s tipo escada em operação (GODOY, 1992).

Fig 3. VERTICAL SLOTS

Fig 4. WEIRS AND POOLS

Figura 37: Seção e planta do STP da Barragem Badush, rio Tigres, Iraque.

Fonte: PETKOVIC, 1990.

Na América do Sul, só no final do século passado, começa-se a valorizar a sobrevivência dos peixes migradores e as conseqüências derivadas de alterações no ecossistema.

A Venezuela, de acordo com informações não tão recentes, possui apenas um STP no rio Guanare, com 5m de altura vertical, e com funcionamento abaixo do desejável; o Uruguai possui um STP tipo eclusa, no rio Uruguai, barragem de Salto Grande, com uma altura vertical de 35m; a Argentina, no rio Carcaranã, afluente do rio Paraná, possui três STP's operando durante décadas, nas barragens de Andino, Lucio V. Lopes e Carcaranã, além da Usina Yacyretá e nos projetos Binacionais de Corpus e Garabi. No Brasil há menos de 50 STP's, sendo que a maior parte em açudes no nordeste, em rios não perenes. Nos demais países não há registros bibliográficos disponíveis (QUIRÓS, 1988; GODOY, 1992).

No Brasil, quando as primeiras barragens hidroelétricas começaram a ser construídas, no início do século XX, preocupou-se em proteger cardumes de peixes de piracema, potamódromos, com a implantação dos STP's tipo escada. Em 1911, numa iniciativa pioneira latino-americana, no rio Pardo, Santa Rosa de Viterbo, São Paulo, na Usina Itaipava, foi construído um dos primeiros STP's tipo escada com degraus, com 7m de altura vertical, pela iniciativa privada - Grupo Matarazzo (GODOY, 1985).

Os primeiros STP's nacionais atendiam a legislação existente de 1927 que obrigava as suas implantações em todas as barragens, sem argumentação, ocasionando que empreendimentos a montante de grandes obstáculos naturais, cachoeiras com altas quedas, com ictiofauna distintas e consolidadas, possuísem sistema para passagem de peixes, como a PCH da Barragem do 29, no Ribeirão dos Negros, São Carlos, São Paulo (QUIRÓS, 1988 apud MARTINS, 2000).

A legislação dos primeiros STP's foi atualizada, a partir de 1929, através do parecer de um consultor americano, J. H. Brunson, com evidente desconhecimento e descompromisso com a nossa ictiofauna, pois continha erros de natureza biológica básica, desobrigando a passagem de peixes, deixando a critério do empreendedor a melhor alternativa de mitigação o que foi traduzido em linguagem econômica, optando pelas estações de piscicultura, contribuindo para a paralização do

conhecimento sobre os peixes e a sua transposição em barragens por cerca de um século (MACHADO, 1994; MENDES, 1969, GODOY, 1985, 1988; ALZUGUIR, 1994; QUIRÓS, 1988; MARTINS, 2000).

A legislação retro referida fez da exceção à regra ferindo os princípios legais democráticos universais e descincronizando o país do desenvolvimento e preservação ambiental mundial cujos reflexos ou ônus restaram à sociedade.

Os biólogos MACHADO & ALZUGUIR (1976, 1994) apud QUIRÓS (1988), protagonistas da exclusividade das estações de piscicultura para mitigação dos impactos das barragens sobre a ictiofauna, resumem os seus argumentos discutíveis e polêmicos que marcaram décadas de conformismo e oposição aos STP's no território nacional:

- ✓ Os peixes nas grandes bacias hidrográficas brasileiras não são anádromos. Vivem e se reproduzem em ambientes de pouca circulação de água com exceção dos peixes de piracema que formam grandes cardumes na época de desova que realizam migrações nos rios. Quando encontram uma barreira natural ou artificial que impedem o seu livre transito, tentam superá-lo e se não conseguem se reproduzir num local adequado antes do obstáculo;
- ✓ As escadas para peixes permitem a passagem de um grande número de espécies, restando as pobres;
- ✓ O custo da escada para peixes é muito elevado;
- ✓ A entrada da escada, a jusante, deve estar num nível de água mínimo, pois na estiagem os peixes podem não entrar, assim a escada funcionaria como um vertedor permanente. A entrada da escada com nível flutuante é muito caro de construir, operar e manter;
- ✓ As escadas em reservatórios com desnível superior a 8m são ineficientes;
- ✓ As escadas não permitem a seleção de espécies;
- ✓ Nos reservatórios predominam as espécies nocivas (piranhas – *Serrasalmus sp.*, por exemplo) e com pouco valor. As estações de piscicultura podem restabelecer o equilíbrio original;
- ✓ Os estudos básicos para introduzir espécies no novo ambiente produzem efeitos secundários benéficos como o controle das águas para consumo, recreação, etc.;

- ✓ A piscicultura em tanques e laboratórios permite escolher as espécies mais aptas, a seleção qualitativa e a reprodução quantitativa que pode atingir a 100% do seu potencial enquanto em ambientes naturais raramente alcança 2%;
- ✓ A piscicultura é mais útil e exige uma intervenção menor do que uma escada para peixes;
- ✓ A seleção de espécies, de acordo com os objetivos propostos, conduz ao desenvolvimento da pesca, a evolução sócio-econômica da região;
- ✓ A piscicultura não interfere na operação do reservatório e outros usos;
- ✓ A exploração racional da pesca, além da função social e econômica, permite a diversificação do pescado e estimula novas experiências de piscicultura para introduzir novas e melhores espécies.

Alinhados com o mesmo pensamento, outros pesquisadores deixaram as suas impressões:

- ✓ A teoria de que deslocamentos dos cardumes rio acima, no verão, estão condicionados à desova é discutível (MENDES, 1969);
- ✓ Os peixes brasileiros migradores, reofílicos, não possuem capacidade fisiológico-biológica para vencerem alturas superiores a 8m, implicando que apenas os pequenos barramentos devem possuir STP's (TORLONI, 1984);
- ✓ Para os reservatórios altamente modificados e estabilizados, a melhor alternativa conservacionista é a Estação de Piscicultura (TORNOLI, 1984);
- ✓ A ictiofauna dos nossos rios é qualitativamente eclética, mas pobre de espécies de valor econômico (MENDES, 1969);
- ✓ Para nossos peixes reofílicos, obstáculos não são empecilhos à reprodução e à sobrevivência (MENDES, 1969; TORNOLI, 1984);
- ✓ Peixes reofílicos passam por um processo de adaptação aos ambientes lênticos ou semi-correntosos, o que descaracteriza a necessidade de STP's (PAIVA, 1983; MENDES, 1969; TORNOLI, 1984);
- ✓ Os peixes utilizam, para se deslocamento, os vertedores e as eclusas para embarcações (PAIVA, 1983);
- ✓ Entre as soluções propostas, Sato descarta as “escadas” e “elevadores” para peixes. Em sua opinião, muitos peixes não conseguem subir os níveis, e os que conseguirem, encontrarão condições desfavoráveis para reprodução e não

poderão voltar. A água no reservatório está parada, é transparente, tem temperatura diferente da ideal, falta de oxigênio, entre outros problemas apontados por ele (SATO, 2005);

- ✓ Precisamos conhecer os interesses por trás dessas ações. Se você perguntar para qualquer morador das cidades da região, todos serão a favor das tais escadas, mas não conhecem a real situação. As autoridades optam por este tipo de obra porque querem dar uma resposta à população. Acho que as escadas são um pretexto para dar dinheiro para as empreiteiras. (SATO, 2005).

As estações de pisciculturas nacionais destinadas originalmente ao repovoamento e mitigação dos efeitos danosos das barragens sobre a fauna dos peixes, não puderam suprir a natureza durante décadas de prioridade e exclusividade, sem resultados expressivos e acumulando produtos insatisfatórios sobre a comunidade de peixes, apesar da evolução na indução, tratamento e reprodução de espécies sedentárias e migradoras, principalmente as de piracema (ARGUMENTO AD SCIENTIS, 2002). A capacidade das estações e, conseqüentemente, a quantidade de alevinos produzidos e parte introduzidas nos reservatórios foi insuficiente (MARTINS, 2000). Os alevinos lançados em “águas claras” dos reservatórios, sem o “extinto selvagem de sobrevivência” formaram um plantel para forragem aos predadores (SIROL, 2002). A história das estações induz a compreendê-las como uma alternativa político-econômica, sem compromisso com o ecossistema, para mitigar os impactos das barragens.

O injusto último suspiro dos STP's nacionais foi o estudo de GODINHO et al. (1971) no STP tipo escada instalado na UHE Salto Morais, no rio Tijuco, onde foi estigmatizada e generalizada a ineficiência das escadas para os peixes neotropicais. A escada possui 25 tanques, 78,3m de comprimento e desnível de 10,8m o que perfaz uma declividade longitudinal com cerca de 14%. Das 41 espécies da região, 34 ocorreram na escada, mas apenas 2% conseguiram atingir o terço médio da escada e os pimelodídeos são os mais sofreram restrições. Não há no estudo referências as velocidades do fluxo, que pela declividade adotada, deve ter sido um dos impeditivos a migração de peixes, e, talvez, mais uma vez, a adoção de modelos internacionais ou mesmo uma estrutura meramente hidráulica sem compromisso biológico e ambiental para o universo neotropical.

“O desconhecimento da habilidade das espécies em transpor escadas, aliado as observações e experimentos localizados de curta localização levou, principalmente entre as décadas de 1960 e 1980, à crença generalizada, tanto no âmbito do setor elétrico como no meio científico, de que as escadas seriam ineficientes como mecanismos de transposição para desníveis superiores a 8m. Essa crença, aliada aos aspectos legais, contribuiu para que a construção de escadas para peixes fosse abandonada” (THEMAG, 1999).

Na história recente nacional, com as iniciativas da Itaipu Binacional e da CESP, com a escada experimental de Itaipu e a Escada e o Elevador para Peixes da Usina Sérgio Motta ou Porto Primavera, ambas no rio Paraná, respectivamente nos anos de 1992, 1999 e 2000, ou da Escada tipo “Vertical Slot” na UHE Igarapava, no rio Grande, da CEMIG, a comunidade científica e os ambientalistas acordaram da hibernação induzida que engessou e postergou o desenvolvimento dos STP’s.

Recentemente, no ano de 2004, foi inaugurada na UHE Itaipu, rio Paraná, um STP’s denominado “Canal de Piracema”, aproveitando uma estrutura aquática destinada aos esportes, ao lazer e ao turismo, com 8km de extensão, vencendo um desnível de 127m (misto de rio natural, canal, escadas e lagos). O conjunto de estruturas, pelas megadimensões e a concepção, como “like a river” ou um rio artificial. A sua implantação como ação mitigadora ambiental é discutível, pois existiam os obstáculos naturais de sete quedas onde se criaram ambientes aquáticos distintos com ictiofauna consolidadas. Este sistema, independente das polêmicas, atende a sua missão de transporte genético permitindo a passagem de cardumes, segundo observações pessoais, nos dois sentidos num tempo de percurso estimado em 3 semanas (FERNANDES, 2005).

Desde o início do século XXI, os STP’s nacionais têm sido construídos em novos empreendimentos com maior frequência, em parte devido aos estudos obrigatórios de impacto ambiental, mas ainda aquém do necessário devido às incertezas que persistem frutos do desconhecimento e de pesquisas aplicadas.

Restam os barramentos existentes que continuam sendo obstáculos à passagem de peixes, aliados aos vários fatores como a poluição, desmatamento, erosão, resultando no empobrecimento da riqueza e biomassa aquática das bacias, como nos principais

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

rios paulistas cascadeados: rio Paranapanema, Tietê, Pardo, Paraná, Grande ou outros como o rio São Francisco; rio Iguaçu; rio Paraíba do Sul; rio Tocantins.

Na Tabela 7 apresenta-se os STP's em operação ou em fase de implantação no cenário nacional.

Tabela 7: STP's Nacionais.

ANO	RIO	LOCAL	BARRAGEM	STP		Empreendedor
				TIPO	Δy (m)	
1.906	Atibaia	SP	Salto Grande	D	<8	CPFL
1.911	Pardo	SP, Sta Rosa de Viterbo	Itaipava	D	7	Grupo Matarazzo
1.911	Sapucaí Paulista	SP, Guará	São Joaquim	D	<8	CPFL
1.913	Jacaré Guaçu	SP, São Carlos	Gavião Peixoto	D	<8	CPFL
1.920	Mogi Guaçu	SP, Pirassununga	Cachoeiras de Emas	O	3	Central Electrica Rio Claro
1.926	Sapucaí Mirim	SP, Mupuranga	Dourados	D	<8	CPFL
1.928	Ribeirão dos Negros	SP, São Carlos	Barragem do 29	D	<8	CPFL
1.942	Sorocaba	SP, Tatuí	Fazenda Cachoeira	D	6	Cia. Fiação e Tecidos Santa Adélia
1.943	Tibagi	PR, Monte Alegre	Salto Mauá	D	6	Indústrias Klabin
1.959	Triunfo	PB, Antenor Navarro	Pilões	D	4	DNOCS
1.960	Piranhas	PB, Souza	São Gonçalo	D	7	DNOCS
1.971	Paranapanema	SP, Piraju	Piraju	O	16	Cia de Força e Luz Santa Cruz
1.972	Tijuco	MG, Salto Moraes	Salto Moraes	D	11	CEMIG
1.973	Taquari	RS, Bom Retiro do sul	Bom Retiro do Sul	D	9	Portobrás
1.973	Jacuí	RS, Amarópolis	Amarópolis	D	5	Portobrás
1.973	Jacuí	RS, Anel de Dom Marcos	Anel de Dom Marcos	D	5	Portobrás
1.973	Jacuí	RS, Cachoeira do Sul	Fandango	D	5	Portobrás
1.973		RN, Açu	Mendubim	D	7	DNOCS
1.980		CE, Morada Nova	Poço do Barro	O	15	
1.985	Itapocu	RN.	Guaramirim	D	2	
1.992	Paraná	PR, Itaipu	Itaipu	O	27	Itaipu
1.994	Mogi	SP, Mogi Guaçu	Mogi Guaçu	D	11	
1.999	Grande	MG,	Igarapava	V	17	CEMIG
1.999	Paraná	SP, Porto Primavera	Sergio Motta	E	24	CESP
2.000	Paraná	SP, Porto Primavera	Sergio Motta	O	24	CESP
2000	Paranapanema	SP,	Canoas I	O	23	Duke Energy, CBA
2000	Paranapanema	SP,	Canoas II	O	23	Duke Energy, CBA

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

ANO	RIO	LOCAL	BARRAGEM	STP		Empreendedor
				TIPO	Δy (m)	
2.001	Tocantins	MG, Lajeado	Lajeado	O	32	Investco
2003	Paranapanema	SP, Piraju	Piraju	O	26	CBA
2004	Paraná	PR, Itaipu	Itaipu	C	127	Itaipu Binacional
2004	Grande	MG, Lavras	Funil	E	35	CEMIG

Tipo: D= degraus; E= elevador; O= orifícios; C= canal; V= “vertical slot”

Nos EUA há mais de 1.825 barramentos para geração de energia, sendo que 9,5% e 13% apresentam STP's para favorecerem, respectivamente, a ascensão e a descensão dos anádromos: Salmões, Trutas, além das enguias (FRANCFORT, 1994). Só o rio Columbia possui mais de uma centena de STP's (WILLIAMS, 1995). São considerados como um dos centros desenvolvidos sobre o tema, depreendendo-se uma preocupação comprometida com o ambiente e balizada por regras legais rígidas, inclusive com obrigatoriedade de instalação e manutenção de passagens da ictiofauna. Os projetos de STP's passam por estudos ictiológicos severos de concepção e monitoramento. Nenhum barramento é construído em cursos de água onde há peixes migradores, sem que a sobrevivência dos peixes esteja perfeitamente equacionada. Há uma comunhão explícita entre a engenharia, biologia e a ecologia no trato destas questões. Existem barramentos com vários STP's, como por exemplo, no rio Colúmbia, a barragem de Bonneville, com 60m de altura, possui 3 STP's tipo escada com degraus, 3 STP's tipo eclusa e 6 passagens secundárias, tipo “bypass” (CLAY, 1995). A manutenção dos diádromos é essencial para a economia americana movimentando US\$ 25bilhões/anuais, gerando 300.000 empregos diretos e 17milhões indiretos (ODEH, 1999).

O Japão, com uma superfície territorial limitada, com menos de 5% da área do Brasil, privilegia os recursos naturais auto-renováveis, como o caso dos peixes e possuem mais de 10.000 STP's, alguns com mais de 20m de altura, que favorecem tanto à ascensão quanto à descensão (KUMAR, 1995; CLAY, 1995). Há STP's de todos os tipos, portes, para todas as modalidades de barramento e obstáculos naturais. A importância desse tema é tal que acontecem simpósios quinquenais internacionais na cidade de Gifu desde 1990.

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

As alturas dos barramentos aumentaram, principalmente dos que visavam à geração de energia, acompanhando o desenvolvimento tecnológico, e os STP's, seguindo essa tendência, transpuseram desníveis da mesma ordem de grandeza, ver Tabela 8 .

Tabela 8: Altura dos STP's Tipo Escada.

BARRAMENTO			STP				Ref.
PAÍS, LOCAL	RIO	FINALIDAD E NOME	TI-PO	L (m)	i (%)	Δy (m)	
Brasil, Itaipu	Paraná	Energia	C*	8.000	2	127	ITAIPU, 2004
Nova Zelândia		Patea				75	ICOLD, 2003
EUA, Oregon	Columbia	Energia, John Day	I	440	6	70	BANYS TERAZONO, 1995
EUA, Oregon	Columbia	Energia, McNary	I	335	5	67	BANYS TERAZONO, 1995
EUA, Oregon	Columbia	Energia, The Dalles	I	381	6	61	BANYS TERAZONO, 1995
EUA, Oregon	Columbia	Energia, Bonneville	I	375	6	60	BANYS TERAZONO, 1995
EUA, Oregon	Clackamus	Energia	D	2.720	2	59	
EUA, Washington	Columbia	Energia, Wells	I	580	10	58	BANYS TERAZONO, 1995
Noruega, Mattisfossen	Mattis	Energia, Mattisfossen	O	460	10	47	GRANDE, 2001
Noruega, Lærdalselva	Lærdalselva	Energia,				44	GRANDE, 1995
Japão	Nita	Energia, Mehoro	O			40	TERAZONO, 1995
Japão	Oyodo	Energia, Takaoka	O			39	TERAZONO, 1995
Noruega, Fiskumfossen	Namsen	Energia, Fiskumfoss	O	290	12	35	GRANDE, 1995
Noruega, Modalselva	Modal	Energia, Hellandsfossen	S		10	35	GRANDE, 1995, 2001
Brasil, Lavras, MG	Grande	Energia, Funil	E				CEMIG, 2005
EUA, Maryland	Susquehanna	Energia Conowingo	E			32	Francfort, 1995
Japão	Saru	Energia, Nibudani	O			32	TERAZONO, 1995
Japão, Ogaki	Ibi	Energia, Nisidaira	O I	316	12,5 10	32	HIRAMATSU, 1990 TERAZONO, 1995
EUA, Washington	Columbia	Energia/Eclusa Lower Monumental	I			30	Francfort, 1994
Brasil, Lajeado	Tocantins	Energia, Lajeado	O	700	5	30	THEMAG, 1999
EUA, Washington	Snake	Energia, Lower Monumental	I			30	CIGB/ICOLD, 2003
Japão	Hida	Energia				27	TERAZONO, 1995

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

BARRAMENTO			STP				
PAÍS, LOCAL	RIO	FINALIDAD E NOME	TI- PO	L (m)	i (%)	Δy (m)	Ref.
França	Garonne	Energia, Golfech	E			27	TERAZONO, 1995
Japão	Tama	Energia, Shiromaru	I	316	10	26	TARIMOTO, 1995
Japão	Tamagase	Hoshiyama	O			25	TARIMOTO, 1995
Japão	Tenryu	Funagira	O			25	TARIMOTO, 1995
Japão, Ikeda-cho.	The Yosino	Energia, Ikeda	O	165	12	24	YOKOTA, 1990 TERAZONO, 1995
Brasil, São Paulo	Paraná	Energia, Porto Primavera	E			24	MARTINS, 2003
Brasil, São Paulo.	Paraná	Energia, Porto Primavera	O	120	5	24	MARTINS, 2003
Suécia, Stornorrfor	Umeälven	Energia	D	260	9	23	
Noruega, Malselvossen.		Energia, Malselvossen	O	500	5	23	GRANDE, 1995
URSS	Tuloma	Energia		513	4	20	
Brasil, Minas Gerais.	Grande	Energia, Igarapava	V	280	6	17	VOLNEY, 2004
Brasil, São Paulo	Paranapa-nema	Energia, Piraju	O	84	17	15	CBA, 2003

Tipo: O= escada com orifícios, I= escada tipo "Ice Harbor", D= escada com degraus, VA= vários, C= canal; V= "Vertical Slot", S= Serpentina; E= Elevador; B= base do canal, L= extensão, Δy = desnível, i= declividade longitudinal.

* Canal de Piracema composto por um curso de rio, canais tipo escada e lagos intermediários.

Os STP's tipo: Eclusa ou Elevadores são recentes. É creditado ao Sr. Mallach, em Perth, Escócia, próximo ao ano de 1900, o início da possibilidade de utilização dos elevadores e eclusas como um STP, mas devido à carência tecnológica da época e à própria altura dos barramentos, que raramente superavam os 10m, onde os STP's convencionais eram mais adequados, a utilização dos elevadores e eclusas ficou latente, em compasso de espera (CLAY, 1995).

A partir de 1920 surgiram barramentos superando os 10m de desnível, o que, aliado ao conhecimento científico em desenvolvimento acentuado (tecnológico, hidráulico, biológico e mecânico) permitiu a utilização dos elevadores e eclusas, pois os STP's convencionais, para barramentos altos, tornaram-se desfavoráveis devido às grandes distâncias longitudinais para vencer as alturas, alta taxa de mortalidade dos peixes devido ao cansaço excessivo, custo da operação, manutenção e o grau de desconhecimento (CLAY, 1995).

Em 1924, no rio White Salmon, nos Estados Unidos, foi testado e patenteado o Elevador de Peixes. Na Europa, por volta de 1933, na Finlândia, segundo a

bibliografia, foram instalados os primeiros elevadores, seguido pela Alemanha, no rio Rhine, em Kembs (NEMENYI, 1941)

Após a Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento dos Elevadores e Eclusas intensificou-se, principalmente na Europa: Irlanda e Holanda. Na Irlanda, rio Liffey, há 17 eclusas tipo Borland para permitir a passagem de peixes e alturas que variam entre 3 e 42m (CLAY, 1995).

Estruturas, tipo Elevadores de Peixe e Eclusas tipo Borland, não tem sido utilizadas no Brasil, excetuando-se na UHE Eng^o Sergio Motta, conhecida como Porto Primavera e na UHE Funil.

O Elevador para Peixes da Usina Hidroelétrica Sérgio Motta - Porto Primavera, no rio Paraná, foi concebido com um fluxo de água promovido com quatro conjuntos de motobombas (260kW e 1.750rpm e vazão unitária entre 3,2 e 4,2m³/s, com H_{man} de 2,5 a 6m_{H₂O}) e um sistema elevatório de uma caçamba com capacidade de 15m³. A entrada ao elevador ou canal de atração é regulada por uma porta Mitra onde as velocidades do fluxo variam entre 1,5 e 2,5m/s. A saída do elevador é em forma de um “tobogã” metálico com 0,75m de diâmetro e 20m de extensão, por onde peixes e água são despejados, sob ação da gravidade, no reservatório. O sistema de transposição, considerando uma altura de 29m, consome cerca de 1MW da potência instalada, constituindo-se um custo operacional considerável. As manutenções e falhas são uma constante indesejável (TROVATI, 2000; THEMAG, 1999a; THEMAG, 1994b).

Na UHE Yacyretá, rio Paraná, Bacia Platina, entre Argentina e Paraguai, foi implantado um sistema tipo elevador com início de operação em 1991, com capacidade para elevar 16t/dia de peixes, atendendo espécies com comprimentos superiores a 1,5m e 70kg. O elevador é alimentado por um canal que injeta água para atração dos peixes na câmara coletora, com vazão variando entre 0,3 e 2,4m³/s. Quando há concentração na caçamba do elevador com capacidade de 15m³, pode elevar 1,5t de peixes.

“Em relação aos elevadores para peixes, não há consenso acerca da eficiência, tendo sido observados resultados distintos em diferentes locais. Assim CLAY (1995) ressalta que, nos Estados Unidos, a prioridade de instalação de elevadores foi

abandonada há cerca de 40 anos e cita o exemplo da represa de Bonneville no rio Columbia, onde esse mecanismo foi substituído por escada. LARINIER (1998), entretanto, chama atenção para o relativo sucesso na transposição de peixes em rios franceses, ressaltando, contudo que modificações estruturais visando a adequação à ictiofauna local foram necessárias.” (AGOSTINHO et al., 2001).

Há pouca informação sobre Sistemas para Transposição de Peixes tipo eclusa. A primeira eclusa instalada nos EUA foi no rio Connecticut, próximo à cidade de Holyoke, mas os resultados foram insatisfatórios e foi substituída por um elevador.

Na UHE Salto Grande, rio Uruguai, Bacia Platina, consórcio binacional: Argentina e Uruguai há uma eclusa para peixes, com desnível de 37m de altura; as estruturas são constituídas por um canal fechado com aberturas controladas por comportas que permitem um fluxo de água permanente. A turbulência da água atrai os peixes migratórios para uma câmara, que é periodicamente fechada e preenchida com água vertida de montante. Os peixes nadam contra o fluxo das águas até saírem no reservatório. Completada a operação, fecham-se as comportas de montante, esvazia-se a câmara inferior, preparando uma nova operação de atração dos peixes. A eficiência deste sistema diminui gradativamente com a altura, tornando-se seletiva quanto à quantidade de peixes que a transpõe e às suas espécies. Alguns autores consideram ser o único sistema eficiente para transpor números elevados de peixes, tanto em quantidade quanto em variedade, para alturas superiores a 25m. Outros autores argumentam que as Eclusas possuem sistema de operação intermitente e sujeito às falhas devido às partes mecânicas e à intervenção humana (GODOY, 1992; MALEVANCHIK, 1984).

PAVLOV, 1989, diz que na União Soviética utilizam-se os STP's tipo escada com degraus para os barramentos com até 10m de desnível e os tipo escadas com orifícios pode ser utilizados para desníveis até 40m, dependendo da capacidade natatória e resistência das espécies.

No que se refere aos custos de implantação, na transposição de desníveis até cerca de 20m, os custos de Elevadores do tipo captura e transporte terrestre e eclusas, seriam equivalentes (CLAY, 1994). Para desníveis de 20 a 60m, o custo das Eclusas equivaleria ao dos Elevadores. Para alturas superiores a 60m, o custo de Elevadores

seria inferior ao de Eclusas. Os custos de operação de Elevadores apresentam menores custos de implantação do que as escadas, embora a presença de um maior número de equipamentos, tais como comportas e grades, impliquem em maiores custos de operação e manutenção (LARINIER, 1987 apud MARTINEZ, 2000).

3.3. Custo do STP.

SALE et al. (1991) apud TROVATI, estimou, a partir de 280 Projetos Hidroelétricos Americanos, o custo de capital médio para a construção de um STP tipo escada como sendo de US\$ 7,6 milhões, com uma perda média de 194MWh de produção de energia anual. Outros custos da passagem de peixes para montante, somam US\$ 51.000 para estudos ambientais e US\$ 80.000 para o monitoramento.

FRANCFORT et al. (1994) utilizaram 60 estudos de caso para demonstrar que os custos de vários métodos de mitigação e manejo da ictiofauna em hidroelétricas americanas com potência entre 400kW e 840MW variam entre 0,1% e 2,1% do kWh.

CADA & FRANCFORT (1995) apud HARZA (1996) examinaram o custo e o benefício de 16 STP's para ascensão de peixes em Usinas Hidroelétricas Americanas, incluindo escadas e elevadores, encontrando valores entre US\$0,90/MWh e US\$10,60/MWh.

A utilização da Energia Produzida como valor de custo é um parâmetro que deve ser analisado com critério individualizado por usina, pois depende da variação do nível d'água no reservatório ('fio d'água', com depleção, capacidade de reservação, etc.) e dos excedentes não gerados, vertidos ou de outra natureza do aproveitamento nos períodos de estiagem e cheia. A vazão sanitária ou ambiental também deve ser considerada neste custo.

O Boletim 116, ICOLD (2003), apresenta um fórmula francesa para uma estimativa grosseira do custo de um STP:

$$C = K * L * Q \quad 1$$

Onde: L é o comprimento (m); Q é a vazão do fluido em volume (m³/s); K é uma constante (na França o valor de K é 0,005) e C é o custo do STP em milhões de francos.

O CTP (2005) comenta que os mecanismos de transposição de peixes têm custo variável, em função das características do barramento e do tamanho do rio. O seu custo pode variar de poucas centenas de milhares de reais, em barragens de pequena altura, até alguns poucos milhões de reais, nas barragens de maior desnível, acima de mais ou menos 10m... Para a transposição de desníveis de até cerca de 20m, os custos de eclusas, elevadores e de mecanismos do tipo captura e transporte, são equivalentes. Para desníveis da ordem de 20 a 60m, o custo das eclusas e dos elevadores seria equivalente, superior ao dos mecanismos do tipo captura e transporte. Para alturas superiores a 60m, o custo de mecanismos tipo captura e transporte é bastante inferior aos dos demais e, geralmente, o único cuja implantação seria economicamente viável. Os custos de operação de elevadores são superiores aos de eclusas. Eclusas e elevadores apresentam menores custos de implantação do que as escadas, embora a presença de um maior número de equipamentos implique em maiores custos de operação e manutenção.

Os custos de um STP são muito diversificados e com ordem de grandeza diversa, função de:

- ✓ É implantado numa barragem existente que implica em mudanças no “layout”, custo do desvio de vazão para o STP, enscadeiras, demolição, e os custos inerentes ao empreendimento propriamente dito;
- ✓ É concebido e executado simultaneamente com a barragem;
- ✓ Para migração ascendente e/ou descendente de peixes;
- ✓ Há variações significativas nos níveis de montante e/ou jusante obrigando a utilização de equipamentos mecânicos de controle ou ainda diversas entradas e/ou saídas;
- ✓ Desnível a ser vencido com um determinado tipo de STP.

As variáveis envolvidas nos custos, via de regra, não permitem a identificação de uma tendência de confiança aceitável, demonstrando que cada empreendimento possui o seu custo personalizado.

Na Tabela 9 apresenta-se custos por metro de desnível para STP's sem discriminações importantes onde se observa, conforme Figura 38, a ausência de um padrão do qual possa extrair-se uma correlação aceitável, deduzindo-se assim, que a

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

variável custo depende das características locais da estrutura, impossibilitando a sua generalização.

Tabela 9: Custo de STP's.

Aproveitamento	Rio	Desnível (m)	Tipo	Custo Investimento		Fonte
				(MUS\$)	(US\$/m)	
Brunswick	Androscoggin	11,9	E	4,318	362.857	CIGB-ICOLD (2003)
Buchanan		4,6	E	3,457	756.455	CIGB-ICOLD (2003)
Leaburg	McKenzie	6,1	E	0,604	99.016	CIGB-ICOLD (2003)
Lowell	Merrimack	4,6	E	1,742	381.182	CIGB-ICOLD (2003)
Lower Monumental, Oregon, EUA	Snake	30,5	E	11,100	363.934	CIGB-ICOLD (2003)
Wells, Oregon, EUA	Columbia	56,4	E	20,100	356.383	CIGB-ICOLD (2003)
West Enfield	Penobscot	6,4	E	3,500	546.875	CIGB-ICOLD (2003)
Thornbury Fishlock, Ontario, Canada		7,0	E	0,272	38.746	KATOPODIS (1992)
Walkerton fish bypass channel, Ontario, Canada		2,2	E	0,074	33.945	KATOPODIS (1992)
Haimes fish bypass channel, Ontario, Canada		1,7	E	0,055	32.934	KATOPODIS (1992)
Grand River at Freeport, Ontario, Canada		3,3	E	0,050	14.970	KATOPODIS (1992)
Fairford Denil Fisway, Manitoba, Canada		2,5	E	0,114	45.783	KATOPODIS (1992)
Cowan Denil Fishway, Saskatchewan, Canada		3,2	E	0,125	39.063	KATOPODIS (1992)
Kampsack, Saskatchewan, Canada		2,8	E	0,075	26.786	KATOPODIS (1992)
Arbuckle Mountain, California, EUA	Middle Fork Cottonwood Creek	3,7	E	0,109	29.746	FRANCFORT (1994)
Conowingo, Maryland, EUA	Susquehanna	32,0	EI	3,024	94.488	FRANCFORT (1994)
T. W. Sullivan, Oregon, EUA	Willamette	14,6	E	1,440	98.409	FRANCFORT (1994)
Porto Primavera, SP, SP, Brasil	Paraná	22,0	E	2,814	127.929	THEMAG (1994a)
Canoas I, SP, Brasil	Paranapanema	17,0	E	0,267	15.686	DUKE, CBA
Canoas II, SP, Brasil	Paranapanema	17,0	E	0,267	15.686	DUKE, CBA
Piraju, Piraju, SP, Brasil	Paranapanema	15,0	E	0,333	22.222	DUKE, CBA
Ourinhos, Ourinhos, SP, Brasil	Paranapanema	12,0	E	0,333	27.778	DUKE, CBA
Lajeado, Lajeado, GO, Brasil	Tocantins	30,0	E			THEMAG
Peixe, Peixe, GO, Brasil	Tocantins	20,0	E			THEMAG
Porto Primavera, SP, SP, Brasil	Paraná	22,0	EI	4,243	192.865	THEMAG (1994b)
Garabí, Argentina e Brasil - projeto	Uruguai	32,0	EC	1,400	43.750	QUIRÓS (1988)
Salto Grande, Argentina e Uruguai - projeto	Uruguai	30,0	EC	1,200	40.000	QUIRÓS (1988)
Yacyretá, Argentina	Paraná	20,0	EL	18,000	900.000	QUIRÓS (1988)
McNary, EUA	Columbia	67,0	E	28,000	417.910	GODOY (1985)

Onde: E é tipo escada; EI é o tipo elevador e EC é o tipo eclusa.

Figura 38: Custo de STP's.

3.4. Tipos de STP's mais utilizados.

Os SPT's são utilizados e desenvolvidos segundo as premissas adotadas nos países de origem relacionadas a confiança sobre eficiência para a ictiofauna local e os modelos internacionais disponíveis.

Na Tabela 10 apresenta-se um panorama parcial dos tipos de STP's e algumas de suas características.

Tabela 10: Tipos de STP's em Países.

Local	Rio	Tipo	Peixes Principais	Observação	Ref.
África do Sul			Mullet; Ciprinídeos; Enguias; Shad	Estruturas ineficientes baseadas em modelos Europeus e Americanos	WTF (2003) LARINIER (2000).
Alemanha	Vários	“Like a River”; Soleira e Orifícios; Vários	Salmão do Atlântico; Truta marítima; Ciprinídeos; Percídeos; Enguia; Potamódromos		WTF (2003) LARINIER (2000).
América Latina		Soleira e Degrau; Soleira e Orifícios	Charanídeos; Silurídeos	Estruturas com sucesso limitado baseadas em modelos americanos para salmonídeos	WTF (2003) QUIRÓS (1988)
Australia	Murray Darling	Soleira e Degrau; Soleira e Orifícios; “Vertical Slot” “Like a River”;	Catamódromos; Striped Mullet; Barramundi	Vertical Slot mais eficiente; Projetos baseados em salmonídeos	WTF (2003) LARINIER (2000).
Austria	Vários	“like a river”; Vários	“Brown Truta”; Ciprinídeos		WTF (2003)
Bangladesh	Vários	Soleira e Degrau; Estruturas amigáveis	Espécies locais	Projeto e eficiência não ideais	WTF (2003)
Brasil	Paraná, Tocantins, Paranapanema.	Soleiras e Orifícios	Migradores	Atuais eficientes	MARTINS (2000)
China		Soleira e Degrau	Carpas; Enguia Japonesa		WTF (2003) LARINIER (2000).

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Local	Rio	Tipo	Peixes Principais	Observação	Ref.
Escócia		Soleira e Degrau; Soleira e Orifícios; Eclusa	Salmão do Atlântico; Alosa (Shad)		WTF (2003)
Espanha		Soleira e Degrau (87%); “Denil” (5%)	Salmão do Atlântico; Truta marítima		THERRIEN (2000)
EUA e Canadá	Connecticut; Columbia; Snake; Connecticut; Merrimack; Susquehanna	“Vertical Slot”; Soleira e Degrau; Elevador (8); “Denil” (100); “Ice Harbor”; “Hell Gates”; “Alaska”	Salmão do Pacífico; Alosa (Shad); Salmão do Atlântico; Alewife; Striped bass; Truta, Smelt; outros		WTF (2003); ODEH (1999); LARINIER (2000).
França	Dordogne; Garonne; Rhine; Pyrenees	Elevador; “Bypass”; “Vertical Slot”	Salmão do Atlântico; Alosa (Shad); Potamódromos.	Eclusa ineficientes	WTF (2003) THERRIEN (2000) LARINIER (2000).
Índia	Vários	Elevador; “Denil”	Alosa (Shad)	Projeto e eficiência não ideais	WTF (2003)
Inglaterra		Soleira e Degrau; “Denil”	Salmão do Atlântico; Truta marítima		WTF (2003) THERRIEN (2000) LARINIER (2000).
Japão	Vários	Soleira e Degrau (95%); “Vertical Slot”; “Denil”	Salmonídeos; Enguia Japonesa; Gobies Ayu	Várias estruturas ineficientes copiadas de modelos europeus	WTF (2003) LARINIER (2000).
Lituânia		“Vertical Slot”; “Denil”; Eclusas; “Bypass”	Salmonídeos; Vamp Vamp		WTF (2003)
Marrocos	Oum er Rbia	“Denil”	Alosa (Shad)	Shad foi extinto devido a Barragem Sidi Saïad.	WTF (2003)
Nepal	Vários	Soleira e Degrau	Thor	Projeto e eficiência não ideais	WTF (2003)

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Local	Rio	Tipo	Peixes Principais	Observação	Ref.
Noruega	Vários	Soleira e Degrau (460) “Denil” (6); outros (33)	Salmão do Atlântico; Truta Marítima; Potamódromos	$\frac{1}{4}$ das Estruras em Barragens e $\frac{3}{4}$ em obstáculos naturais.	GRANDE, (1995, 2001)
Nova Zelândia		Soleira e Orifícios	Enguia; Salmão exótico; Lampréia; Galaxiídeos; Smelts; Bullies; Torrentfish; Grey Mullet.	Enguias com importância comercial	WTF (2003) LARINIER (2000).
Russia	Volga, Don, Kuban Mar Cáspio,	Soleira e Orifícios Eclusas; Elevadores.	Acipenserídeos; Clupeídeos; Ciprinídeos; Percídeos; Silurídeos.	Enguias, Salmões e Esturjões com importância comercial.	LARINIER (2000).

O Japão é o país com a maior quantidade de STP's onde se observa, segundo SASANABE (1990), conforme Tabela 11 e Tabela 12, a supremacia dos tipos soleiras e orifícios ($\cong 60\%$) e a declividade longitudinal com 10% de gradiente ($\cong 45\%$).

Tabela 11: Parte dos comprimentos dos STP's no Japão.

Região	Comprimento (m)							Desconhecido
	$\cong 5$	$\cong 10$	$\cong 20$	$\cong 40$	$\cong 75$	$\cong 150$	$\cong > 150$	
Hokkaido	1		7	15	4	2		65
Tohoku	12	40	78	61	14	3		27
Hokuriku	2	1	19	14	8	4		
Kanto	5	11	39	21	10	3	1	3
Tokai	2	3	13	8	8	2		
Kinki	47	94	68	36	14	2		10
Chugoku, Shikoku	68	200	163	42	6	3	1	9
Kyushuu, Okinawa	7	36	58	52	8			1
Total	144	384	445	249	72	19	2	115
Taxa (%)	10,0	27,5	31,8	17,8	5,2	1,4		8,2

Tabela 12: Parte das declividades longitudinais dos STP's no Japão.

Região	Declividade (%)						Desconhecida
	≥ 20	≥ 10	$\geq 6,7$	≥ 5	$\geq 3,3$	$\geq 3,3$	
Hokkaido		12	7			1	78
Tohoku	21	91	43	14	6	19	46
Hokuriku	4	21	14	2		3	6
Kanto	9	35	17	8	5	3	
Tokai	3	13	10	5	2	1	
Kinki	65	143	37	12	2	2	5
Chugoku, Shikoku	142	219	61	32	1	9	9
Kyushuu, Okinawa	19	95	19	4	11	5	1
Total	264	625	208	77	27	43	148
Taxa (%)	18,9	45,0	14,7	5,5	1,9	2,9	10,6

A Noruega, o país Europeu com a maior quantidade de STP's, é do bloco nórdico com grande tradição nessas estruturas (Dinamarca, Finlândia, Islândia, Noruega e Suíça), onde se observa, segundo GRANDE (2001), conforme Tabela 13, a supremacia dos tipos soleiras e orifícios ($\cong 93\%$)

Tabela 13: Quantidade de STP na Noruega.

STP	Anádromos	Potamódromos
Soleira e Degraus	383	77
“Denil”	3	3
“like a river”	10	3
Elevador/Caminhão	3	0
Outros	7	7
Total	406	90

Tabela 14: Desnível de STP na Noruega.

Espécie de Peixe	Desnível (m)					
	<5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 25	>25
Anádromos	288	61	37	9	2	9
Potamódromos	67	12	7	3	1	0

Na Suíça, segundo LARSSON & JOHLANDER (2001), os tipos de STP's as estatísticas também são favoráveis às soleiras e degraus conforme Tabela 15.

Tabela 15: Tipos de STP's na Suíça.

STP	Anádromos Potamódromos
Soleira e Degraus	245
“Denil”	40
“Vertical Slot”	10
“Like a river”	2
Outros	103
Total	400

No Brasil, devido à diversidade de peixes, há a tendência de utilização de STP's tipo escada com soleiras e orifícios e a intercalação de Tanques para Descanso, conforme Tabela 16, baseada na referência THEMAG (2004).

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Tabela 16: Características Hidráulicas de STP's Brasileiros.

Aproveitamento	I (%)	Δy (m)	B (m)	Lâmina (m)		Orifício n(bxh) (m)	Soleira (m)		Q (m³/s)	Tanque-Degrau				Tanque para Descanso	
				máx	mín		maior	menor		(B*c) (m)	∇ (m³)	Pe (W/m³)	V (m/s)	∇ (m³)	Pe (W/m³)
Peixe Angical	6,5	0,4	5,0	1,5	1,1	2(0,8x0,8)	2(1,0x0,3)	-	2,87	5x8	52	217	0,44	165	68
	5,0													172	65
														181	62
Lajeado	5,0	0,4	5,0	1,5	1,1	2(0,8x0,8)	2(1,0x0,3)	-	2,87	5x8	52	217	0,44	198	57
														101	111
Porto Primavera	5,0	0,4	5,0	1,5	1,1	2(0,8x0,8)	1(1,0x0,3)	-	2,73	5x8	52	206	0,42	124	86
														136	79
Canoas I e II	11,8	0,4	3,5	1,2	0,8	1(0,5x0,4)	1(0,8x0,3)	1(2,7x0,2)	1,25	3,39x3,5	12	410	0,30		
Piraju	10	0,4	4,5	1,2	0,8	1(0,5x0,4)	1(0,8x0,3)	1(2,7x0,2)	1,25	3,33x3,5	12	417	0,30	131	38
	6,3														
Santa Cruz															
Igarapava	6	0,2	3,0	2,35	1,99	1(0,3x1,8)	-	-	1,37	3,0x3,0	18	150	0,23		
									1,50						
									1,63						
Ourinhos	10	0,4	3,5	1,3	0,9	1(0,5x0,4)	1(0,8x0,4)	1(2,7x0,2)	1,25	3,5x4,0	15	159	0,27		
	1,54								1,25						

Onde: n= número de soleiras ou orifícios; b= base do orifício; h= altura do orifício; c= comprimento do tanque; B= base do Tanque; ∇ = volume; Pe= potência específica; V= velocidade média.

3.5. Comparação entre os Tipos de STP's.

Há uma grande variedade de tipos de STP's, mas seguramente entre eles o tipo escada é a alternativa de mitigação nos barramentos mais encontrado no mundo.

As formas das escadas para peixes são extremamente diversas tanto nas formas, localização, operação e eficiência, conforme Anexo 1.

Foi, durante certo período passado, limitava-se o uso de escadas ao desnível máximo de 30 ou 35m quando, a partir destes, os elevadores eram a alternativa ambiental e de custo viável. O desenvolvimento e os estudos internacional e nacional dos STP's, principalmente no rio Columbia e Snake nos EUA, mudou esse limite para valores máximos superiores ainda não determinados, uma vez que se pode dispor de tanques para descanso ictíco.

Um dos limitantes aos STP's tipo escada para peixes foi a sua instalação em barragens cujos reservatórios operassem com a depleção no nível da água superior a 2m, mas não são mais com as estruturas de controle de níveis e os arranjos ("layouts") da estrutura saída com entradas múltiplas.

Outro limitante ou crítica no cenário nacional é quanto aos reservatórios que não oferecem ambiente favorável a migração, alimentação e sobrevivência de peixes, notadamente dos migradores, mas estas questões não são polêmicas no exterior, mesmo em países como a Austrália com similaridade climática e na diversidade da ictiofauna. Nos reservatórios do exterior com STP's, além dos anádromos e catádromos, também transitam os potamódromos migradores. A truta continental possui comportamentos ambientais semelhantes aos nossos peixes migradores continentais e se desenvolvem, ou melhor, migram, alimentam e sobrevivem nos reservatórios internacionais com STP's.

A história internacional dos STP's tipo elevadores para peixes acumulou fracassos sucessivos como elementos mitigadores de impacto devido, entre outros fatores, a dependência da intervenção humana, custo de manutenção elevada, não permite a migração trófica e a sua eficiência e seletividade discutíveis. Esses fatores podem ser estendidos às eclusas para transposição de peixes.

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Na Tabela 17, apresenta-se um quadro comparativo atualizado baseado em MARTINS (2000), PASCHE (1995), CLAY (1995), OSBORN (1985a, 1985b, 1985c, 1985d) e DVWK (2002):

Tabela 17: Comparação entre os Tipos de STP's.

TIPO		VANTAGEM	DESVANTAGEM
Escada para Peixes	Soleira e degrau	Favorece aos peixes de escama; permite migração trófica; custo baixo de operação e manutenção.	Seletividade alta, extensão longitudinal; fixa; provável estrutura de controle;
	Soleira e orifício	Favorece peixes de escama e couro; permite migração trófica; indicado para pouca variação do N.A.; custo de operação e manutenção baixo, seletividade baixa.	Restrição na faixa operativa de níveis do reservatório; grande extensão longitudinal; fixa; provável estrutura de controle
	“Denil”	Favorece peixes de escama; faixa operativa do reservatório mínima; permite migração trófica; custo de operação e manutenção baixo.	Seletividade alta; restrição na faixa operativa de níveis do reservatório; concepção estrutural elaborada; extensão longitudinal; fixa;
	“Vertical Slot” com um jato	Favorece peixes de escama e couro; seletividade baixa; faixa operativa do reservatório ampla, acima de 2,0m; permite migração trófica; ascensão com qualquer profundidade sem mudanças significativas das características hidráulicas; custo de operação e manutenção baixo.	Concepção estrutural elaborada; não permite a migração com saltos de peixes; extensão longitudinal; fixa;
	“Vertical Slot” com dois jatos	Favorece peixes de escama e couro; seletividade baixa; faixa operativa do reservatório ampla, acima de 2,0m; permite migração trófica; ascensão com qualquer profundidade sem mudanças significativas das características hidráulicas; custo de operação e manutenção baixo.	Concepção estrutural elaborada; não permite a migração com saltos de peixes; extensão longitudinal; fixa;
	“Ice Harbor”	Favorece peixes de escama e couro; permite migração trófica; custo de operação e manutenção.	Seletividade média; restrição na faixa operativa de níveis do reservatório; percurso de ascensão tortuoso; extensão longitudinal; fixa;
Eclusa		Permite a migração trófica; sem restrição operativa da Usina; seletividade baixa; independem do desnível; pouca área;	Custo de operação e manutenção; depende de operação humana; manutenção constante; concepção estrutural e mecânica sofisticada; fixa;

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Elevador		Tempo reduzido de percurso dos peixes; independem do desnível; controle de quantidades e espécies transportadas; sem restrição operativa da Usina; seletividade baixa. Pouca área.	Custo de operação e manutenção; depende de operação humana; manutenção constante; concepção estrutural e mecânica sofisticada; não permite a migração trófica; índice de mortalidade moderado devido às operações mecânicas envolvidas; fixa;
Canal Lateral		Solução ecológica correta	Depende do layout favorável (meandro) e das condições geológicas; fixa;
Embarcação Transportadora		Custo; mobilidade e versatilidade; indicada para situações temporárias (desvio, manutenção); móvel.	Necessidade de eclusa para embarcações; depende de operação humana; atende a pequenos cardumes; ciclo longo; compromete a migração trófica.
Caminhão Transportador		Custo; mobilidade e versatilidade; indicada para situações temporárias e pequenos cardumes (desvio, manutenção); móvel.	Transposição descontínua; depende de intervenção humana; disponibilidade de equipamentos; não atende aos picos de cardumes; alta mortalidade de indivíduos; não permite a migração trófica.
Variações de Escada	Canal de Desova	Custo.	Seletiva; baixa diversidade dos peixes; conhecimento das características biológica-reprodutiva; ausência de experiência nacional fixa;
	Alternada	Otimiza distâncias longitudinais; indicada como complementar ou em barramentos existentes.	Fixa;
	Serpentina ou Espiral	Otimiza distâncias longitudinais; indicada como complementar ou em barramentos existentes.	Fixa; atende a pequenos cardumes.
	Bomba para peixes	Indicada para alevinos; pequenas quantidades ou cardumes;	Seletiva;
	“Bypass”	Sem informações	Sem informações
	Esteira	Sem informações	Sem informações

4. Características e Preferências Biofísicas dos Peixes Neotropicais.

No desenvolvimento dos mecanismos ou sistemas para a passagem de peixes é fundamental o conhecimento das preferências biofísicas dos peixes habilitados a utilizá-las, de modo a concebê-las com o universo local dos animais de interesse.

Os cientistas internacionais e nacionais apontam ao desconhecimento da ictiofauna brasileira e o uso de estruturas para passagem de peixes internacionais, concebidas para o universo de peixes do Hemisfério Norte, como algumas das principais razões dos insucessos passados sobre as comunidades com peixes não anádromos ou não diádromos, principalmente os potamódromos em diversos países como: Brasil: MENDES (1969); GODINHO (1991); CLAY (1995); QUIRÓS (1988); AGOSTINHO (2002); Austrália: CLAY (1995); MALLIN-COOPER (1999); Nova Zelândia: CLAY (1995); China: CLAY (1995); Ásia: CRAIG (1999); Tailândia: PHOLPRASITH (1995); África do Sul: WFT (2003), LARINIER (2000); Japão: WFT (2003), LARINIER (2000).

Com a valorização do meio ambiente na mídia, nas universidades, nas políticas nacional e internacional, nas comunidades humanas e a conseqüente maior atenção sobre a viabilidade das estruturas para a transposição de peixes como uma das alternativas para manejo e mitigação dos impactos negativos da obstrução dos cursos de água sobre as comunidades com peixes, ocorreram os desenvolvimentos embrionários da caracterização dos nossos peixes.

4.1. Velocidade dos Peixes.

O conhecimento da capacidade natatória dos peixes é necessário para o dimensionamento adequado dos fluxos de água no mecanismo à transposição de peixes. Esses valores não estão disponíveis para os peixes neotropicais.

Os valores de velocidades médias do fluxo no interior do STP's, que não podem superar a capacidade natatória dos peixes, são utilizados como inferiores a 3m/s, mas destinadas originalmente para atender preferencialmente aos salmonídeos do Hemisfério Norte, geralmente, determinadas através de estudos teóricos em modelos

biofísicos que podem ser diferentes para os peixes neotropicais principalmente considerando-se a temperatura da água entre os dois Hemisférios e a diversidade (BEACH, 1984; OSBORN, 1985a, 1985b; PASCHE, 1995a; ZHOU, 1982; BELL, 1990; KYNARD, 1993).

As velocidades pontuais ou instantâneas do fluxo no interior dos STP's internacionais superam a média em valores significativos, conforme Figura 39.

Figura 39: Fischtrappe im Kanton Bern, Alemanha; Rocky Reach, EUA; Bazacle, França.

A extensão do percurso ictíco ou o desnível vertical não se caracterizam, dentro de certos limites, como uma dificuldade intransponível conforme estudos tradicionais desenvolvidos com salmões em STP's tipo escada, no rio Bonneville, EUA, (COLLINS, 1960) onde um salmão percorreu sem interrupções cerca de 2km de desnível vertical perfazendo um percurso de 16km (12,5%) ou 32km (6,3%), conforme Figura 40. No Canal de Piracema operando na UHE Itaipu desde o início de ano de 2004, os cardumes superam 127m de desnível vertical percorrendo cerca de 8km de extensão (ITAIPU, 2004). Depreende-se o desnível e a extensão dos STP's não são os limites cardiais ao avanço de peixes.

O avanço dos peixes, no sentido de percorrer distâncias, não é, tecnicamente falando, função direta da vazão como leigos e profissionais de áreas distintas do conhecimento propalam, mas sim da velocidade do fluxo e da potência gerada para as quais os peixes devem desenvolver a sua velocidade produzida da sua potência muscular, superiores de modo que a soma vetorial das forças envolvidas lhes sejam favoráveis, sem lhes causarem fadiga ou “stress”.

Figura 40: Estudos de percurso ictiico.

Fonte: COLLINS, 1960.

Apesar da simplicidade efetiva no processo laboratorial experimental de medição das características natatórias dos peixes neotropicais, há uma carência preocupante de dados básicos sobre a nossa ictiofauna que se contrapõe com a sua importância dos peixes neotropicais e tornam a concepção de estruturas de passagem num exercício paramétrico e experiência pessoal, ponderando-as com significativos graus de incertezas.

O movimento ascendente dos peixes no interior do STP é cessado quando a velocidade da corrente exceder a capacidade natatória do peixe (KYNARD, 1993; ANDERSON, 1988 apud KYNARD, 1993a). Assim é necessário o conhecimento das velocidades dos peixes para a adequação do fluxo no interior do STP (CLAY, 1995; BELL, 1990).

BLAKE (1983) desenvolveu um estudo sobre a locomoção de peixes onde é categórico ao afirmar que a temperatura da água é o fator determinante sobre a eficiência motora e que a força de propulsão por unidade de massa de músculo branco e vermelho entre peixes antárticos (“freshwater” ou “coldwater”) e tropicais (“warmwater”) não é distinta.

Fisiologicamente a diferença entre os músculos responsáveis pela propulsão dos peixes é a proporção entre as fibras branca (dispostas internamente em forma helicoidal) e vermelha (dispostas superficial e longitudinalmente) o que os caracteriza para funções e funcionalidades diferentes relacionadas ao modo de vida

dos peixes. Assim os músculos responsáveis pelo movimento ou deslocamento nas fases aeróbica e anaeróbica, respectivamente, branco e vermelho.

No formalismo científico do desenvolvimento de STP's, há três aspectos de desempenho importantes nas velocidades referenciais características dos peixes, conforme Figura 41 (CLAY, 1995; WELLCOME, 1985; PAVLOV, 1989; ORSBORN, 1985a, LARINIER, 1995; KATOPODIS, 1984; BEACH, 1984):

Cruzeiro ou Navegação: velocidade que o peixe pode manter durante longos períodos, superando horas; quando é utilizada a fase aeróbica muscular;

Sustentação: velocidade que o peixe pode manter durante curto tempo, não ultrapassando os minutos (20s a 1.200s);

Explosão: velocidade máxima que o peixe não pode manter, não ultrapassando os segundos (5 a 20s); quando é utilizada a fase anaeróbica muscular.

Figura 41: Velocidade Referencial dos peixes versus tempo.

Fonte: WELLCOME (1985), CLAY (1995), PAVLOV (1989), LARINIER (1995).

A proporção entre a musculatura ictíica branca, que determina o desenvolvimento da velocidade de explosão, e vermelha, pela velocidade de sustentação e cruzeiro, é: 80 a 90% e 20 a 10%, respectivamente. Cerca de 50% da massa de um peixe é composta com musculatura propulsiva (BLAKE, 1983).

A velocidade do peixe é função do seu comprimento, espécie, estado, idade, qualidade e temperatura da água (ORSBORN, 1985a).

O estudo da velocidade ictíca pode ser desenvolvido através da biofísica das espécies (quantidade de músculos branco e vermelho, respectivamente anaeróbico e aeróbico, características físicas, etc.), dos hábitos e dos fatores exógenos (qualidade e temperatura da água, etc.).

Na Figura 42 é apresentada às velocidades para peixes utilizadas nas concepções de STP's internacionais.

Figura 42: Velocidade do Peixe versus Comprimento.

Fonte: CLAY (1995); PAVLOV (1989); LARINIER (1995); QUIRÓS (1988).

Observa-se na Figura 42 que são específicas para anádromos do Hemisfério Norte, em águas frias, sendo temerário utilizá-las para a diversidade de nossos peixes, pois, no universo tropical: a temperatura da água pode atingir valores entre 20 e 35°C durante as cheias, período de migração principal de peixes, durante o nosso verão; a nossa diversidade e hábitos dos nossos peixes não são comparáveis com as existentes no Hemisfério Norte; o percurso migratório dos nossos peixes é diverso implicando em dispêndios energéticos para locomoção distintos; não há, pelo menos cientificamente comprovado, “memória biológica” nos nossos peixes, podendo assim o dispêndio de energia ser controlado segundo as necessidades locais, temporais e ambientais.

“A “memória biológica”, um dos diferenciais entre peixes anádromos e potamódromos, é notada especificamente nos salmões, quando retornam ou migram do mar e oceanos às cabeceiras de nascimento (“redd”) para desovarem e posteriormente padecerem. O que os orienta na direção certa? Não há certezas sobre

esse mecanismo reprodutivo e muitas premissas. Provavelmente há mais de um mecanismo utilizado para achar seu caminho. Uma “marca” olfativa é feita sobre o jovem salmão em sua primeira saída para o mar, ao deixar o seu rio nativo. Isso lhe permite identificá-lo ao se aproximar, mais tarde, vindo do oceano. Mas ao chegar perto da corrente da embocadura, vindo do mar aberto, pelo menos uma outra marca precisa ser feita a fim de poder chegar à área geral. Foi demonstrado que alguns peixes percebem de modo notável o azimute solar e a sua altura, e que eles são mais sensíveis à hora do dia. Sob condições ideais, isso permitiria determinar o norte geográfico. Mas numa região com céu encoberto predominante e quando os peixes nadam à noite ou se movem em águas mais profundas durante o dia, as pistas celestes nem sempre estão disponíveis. Por conseguinte, outro meio de corrigir a navegação é provavelmente usado. Suspeita-se fortemente que a capacidade de sentir o campo magnético da Terra possa prover o método adicional” (GEDNEY, 1984).

Extrapolando-se as premissas ao processo de migração de anádromos, a conjectura é que, depois que um filhote do salmão cresceu até o estágio de “smolt” (ver Figura 43), quando na sua primeira migração ao mar (“kelts”), entra nas águas salgadas, ocorrem mudanças químicas e hormonais que deixam marcas sobre o sistema nervoso dos peixes, uma “memória” da latitude e longitude magnéticas no momento em que entraram no oceano (GEDNEY, 1984).

Figura 43: Ciclo de vida do salmão.

Fonte: MRFFS, 2005.

A taxa de mortalidade no ciclo dos salmões, ver Figura 44 e Figura 45, em ambientes poucos modificados, sem barragens, é extremamente alta, devido à ação de predadores, variações na temperatura da água, condições hidrológicas e doenças. Os 8.000 ovos iniciais podem gerar cerca de 500 alevinos e daí 300 “parrs”, 50 “smolts” e 4 salmões adultos (ICOLD, 2003). A taxa de sobrevivência do salmão adulto é de 0,05% em relação às suas ovas.

Em condições naturais, isto é, sem reservatórios, a taxa de sobrevivência dos migradores plenos neotropicais (da reprodução até adulto reprodutivo) não deve ultrapassar 0,01% (valor hipotético sujeito a confirmação), 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.

Ao contrário do Salmão do Pacífico, o Atlântico não morre após a migração e desova; eles se refugiam em depressões e nadam rio abaixo durante a primavera do Hemisfério Norte para iniciar outro ciclo reprodutivo em próximo verão (ICOLD, 2003).

Parece haver dois modos possíveis em que o campo magnético pode influenciar o sistema nervoso de um peixe. O primeiro é que o mineral ferromagnético (magnetita) no cérebro da criatura pode funcionar como uma bússola biológica, acertada no momento de entrada no oceano (a magnetita é encontrada no espectro biológico dos seres, desde bactérias até golfinhos). A informação retida compõe-se de dados verticais e horizontais do campo magnético da Terra naquele ponto, e da inclinação do componente horizontal, que é a diferença entre o norte magnético e o verdadeiro norte, presumivelmente determinada pelo Sol. Esses fatores em conjunto provêm à combinação que é única para qualquer localidade geográfica (GEDNEY, 1984).

Não há estudos que confirmem a “memória biológica” em peixes neotropicais potamódromos, assim sendo, a migração reprodutiva em busca do “lar de reprodução” é uma procura de locais favoráveis não necessariamente únicos e repetitivos. O instinto de sobrevivência e perpetuação animal deve ser o agente cardeal reprodutivo.

Monitoramentos ictiológicos nos poucos aproveitamentos nacionais com STP's, com “lares reprodutivos” preservados a montante em afluentes, como em Porto Primavera

no rio Paraná e Lajeado no rio Tocantins, demonstram que parte significativa dos peixes migradores não estava com as suas gônadas (sistema reprodutivo) maduras, indicando que os ambientes de reprodução delimitados não são os das espécies analisadas podendo se localizar em percursos maiores ou que não há “memória biológica”, entre outras observações.

Figura 44: Migração do Salmão.

A) migração ascendente reprodutiva do salmão; B) migração reprodutiva na nascente; C) “lar de reprodução” na nascente (“redds”); D) reprodução entre macho e fêmea de salmões; E) proteção e aterramento das ovas; F) ovas e alevinos.

Figura 45: Salmão Chinook.

Fonte: klutinacharters-big-salmon-lady-in-river, 2005.

OLDANI et al. apud POMPEU (2004a) apresentaram algumas características diferenciais entre os salmonídeos da América do Norte e os peixes migradores nacionais, conforme Tabela 18.

Tabela 18: Características entre Salmonídeos Americanos e Migradores Nacionais.

Características Biológicas	Migradores Nacionais	Salmonídeos Americanos
Áreas de desova	Rios de porte e afluentes	Córregos pequenos
Migração de adultos para jusante	Sim	Não
Migração de jovens para jusante	Sim	Sim
Migração de adultos para montante	Sim	Sim
Tipos de desova	Ovos liberados na corrente	Ovos em ninho e protegidos
Migração entre o mar e os rios (Anadromia)	Rara	Frequente
Migração dos rios para o mar (Catadromia)	Frequente	Rara
Morte de adultos após a reprodução	Não	Sim
Retorno dos adultos aos locais de nascimento para reprodução (“homing”)	Desconhecido mas improvável	Sim

PAVLOV, 1989, definiu a Velocidade Crítica, V_{CR} , a partir da qual a espécie a espécie consegue não consegue avançar contra a correnteza, conforme Figura 46:

Figura 46: Velocidade Crítica do Peixe versus Comprimento.

Índice	Espécie	Índice	Espécie
1	Alburnus alburnus - Bleak	9	Cottus gobio
2	Leuciscus deloneatus - Ruivaca	10	Rhodeus sericeus
3	Rutilus rutilus caspius	11	Tinca tinca
4	Carassius carassius - Carpa	12	<i>Cobitis taenia</i> – Verdemã de rio
5	Abramis ballerus	13	Acipenser güldenstädti - Esturção
6	Perca fluviatilis - Perca	14	<i>Huso huso</i> – Salmão do Danúbio
7	Vimba vimba - Perca	15	Acipenser stellatus - Esturção
8	Nemachilus barbatulus		

WOLTER & ARLINGHAUS (2003) utilizaram vasta bibliografia disponível e propuseram a determinação das velocidades crítica e de explosão em função do comprimento total do peixe continental de água doce do continente europeu (“freshwater” ou “coldwater”), conforme Figura 47 e Figura 48.

RAINEY (1991) e ICOLD (2003), afirma que o excesso de velocidade do fluxo e a turbulência podem induzir os peixes a saltarem com os quais se aumenta os riscos de traumatismos.

Figura 47: Velocidade de explosão.

Figura 48: Velocidade Crítica.

Observa-se que a temperatura da água não foi considerada e que as expressões propostas, além de correlações baixas que indicam baixa representatividade ou confiança da equação de regressão, são indicadas aos peixes de águas frias (“freshwater” ou “coldwater”) no Hemisfério Norte e não aplicáveis aos neotropicais de águas quentes (“warmwater”) no Hemisfério Sul.

Durante o processo evolutivo das espécies de peixes formaram-se dois estereótipos conforme a orientação visual ou tátil. Nas espécies com orientação

predominantemente visual, como as de escamas, os valores da velocidade crítica ou explosão são altos e são pelágicas - nadam próximos à superfície ou à margem. Nas espécies com orientação predominantemente tátil, com os de couro ou placas ósseas, os valores da velocidade crítica são baixos e são bentônicas - nadam próximo ao fundo (PAVLOV, 1989 apud MARTINS, 2000).

Figura 49: Velocidade Referencial dos Peixes.

Fonte: WELLCOME (1985), CLAY (1995), PAVLOV (1989).

Os peixes, normalmente, movimentam-se com a velocidade de cruzeiro, mesmo durante a migração; com a de sustentação nos obstáculos e com a de explosão em captura alimentar, fuga ou salto. Cada velocidade requer diferentes níveis de energia muscular e se pode assumir que se dissipam 15% de perda energética na transferência da energia muscular em propulsão (WELLCOME, 1985; ORSBORN, 1985a).

A determinação das velocidades características de peixes neotropicais pode ser tratada através de medição experimental laboratorial com elementos vivos e tratamento biofísico. Na verdade, essa determinação solicita a miscigenação desses tratamentos.

A temperatura da água afeta a velocidade dos peixes de modo que com o seu aumento decorre um aumento significativo na capacidade natatória. A temperatura da água nos períodos migratórios de peixes no Hemisfério Norte está entre 0 e 25°C, assim um salmão com comprimento de 0,90m e massa com 7,8kg, desenvolve uma velocidade máxima igual a 2,5m/s com a água na temperatura igual a 2°C, mas atingi

a velocidade igual a 9,6m/s com a temperatura igual a 25°C, ou seja, é acrescida em 400% aproximadamente BEACH (1984).

A temperatura da água nacional, durante o verão quando ocorrem às cheias e as migrações reprodutivas de peixes, podem atingir valor entre 20 e 35°C, podendo-se assumir o valor médio de 30°C, portanto que favorece ao desenvolvimento de velocidades ictíicas superiores as das águas frias do Hemisfério Norte, dependendo, como é lógico, da biofísica da espécie.

No rio Paraná, na Usina Hidroelétrica Sérgio Motta – Porto Primavera, divisa entre os Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná, durante os picos de migração de peixes, entre os meses de janeiro e fevereiro de 1996, na operação de um STP provisório tipo escada com caminhão-tanque, na fase de desvio do rio, a temperatura da água oscilou entre 21,2 e 34,9°C (HARZA, 1996).

Figura 50: UHE Porto Primavera durante o desvio com STP Provisório.

Fonte: CESP, 1996.

Há eventos nacionais em que peixes, notadamente os migradores, venciam desníveis verticais naturais, cachoeiras, superiores a 8m como nos rios Paraná, Grande, Tietê, Paranapanema, no Estado de São Paulo, antes dos cascadeamentos com hidroelétricas. Tais eventos só podem acontecer vencendo velocidades do fluxo de grande magnitude, saltando ou nadando. No caso dos peixes de couro ou placas ósseas apenas nadando, pois não possuem biótipo e identidade com saltos. Na Figura 51, um cascudo vencendo velocidades do fluxo de grande magnitude. Experiências com o peixe cascudo realizadas na UFMG-MTP, que as velocidades do fluxo são vencidas com as atividades de nado e adesão com pulsos (explosão) de tempos em tempos (MARTINEZ, 2005).

Figura 51: Cascudo vencendo altas velocidades do fluxo.

Foram observados, conforme Tabela 19, valores de velocidade máximas pontuais em peixes neotropicais migradores: no rio Paraná, no antigo Complexo Urubupungá, antes da construção da UHE Ilha Solteira, os peixes: Corimbatás (*Prochilodus scrofa*), Dourados (*Salminus maxillosus*), Piau-palhaço (*Leporinus copelandii*) e Mandi Amarelos (*Pimelodus clarias*), superaram um obstáculo de 18m de altura e velocidades do fluxo superiores a 13,8m/s; no mesmo rio, durante as obras da UHE Itaipu, no canal de desvio (250m de base e 90m de profundidade), Pacus (*Colossoama mitrei*) e Pintados (*Pseudoplatystoma coruscans*) venceram velocidades do fluxo de até 25m/s; no rio Paranaíba, em Cachoeira Dourada, Corimbatás (*Prochilodus scrofa*) e Piracanjubas (*Triurobrycon lundii*) venceram um desnível total de 12m e velocidades do fluxo entre 9 e 12m/s; no mesmo rio, no canal São Simão com 8km de extensão, Dourados (*Salminus maxillosus*) e Corimbatás (*Prochilodus scrofa*) superaram velocidades do fluxo de 15m/s; no rio Tietê, no Salto de Itapura com desnível de 12m, Mandis (*Pimelodus clarias*) superaram velocidades do fluxo acima de 14m/s; no rio Grande, Cachoeiras dos Patos e do Marimbondo, antigo canal do Ferrador, *Salminus* e *Prochilodus* também superaram velocidades de 15m/s; no rio Mogi Guaçu, *Salminus*, *Prochilodus* e *Pimelodus* superaram velocidades do fluxo entre 6 e 12 m/s; no rio Pardo, Usina Itaipava, *Salminus* e *Prochilodus* venceram velocidades de 20m/s (GODOY, 1985 apud MARTINS, 2000; QUIRÓS, 1986).

Tabela 19: Velocidades Observadas em Peixes Neotropicais (GODOY, 1985).

Peixe	Local	Pele	V (m/s)	Massa (kg)	LT (m)
Corimbatá (<i>Prochilodus scrofa</i>)	Urubupungá	E	13,8	2,4	0,65
Dourado (<i>Salminus maxillosus</i>)	Urubupungá	E	13,8	20,0	0,80
Piau-palhaço (<i>Leporinus copelandii</i>)	Urubupungá	E	13,8	0,8	0,24
Mandi Amarelo (<i>Pimelodus clarias</i>)	Urubupungá	C	13,8	0,24	0,24
Pacu (<i>Colossoama mitrei</i>)	Itaipu	E	25	12,0	0,40
Pintado (<i>Pseudoplatystoma coruscans</i>)	Itaipu	C	25	64,0	1,12
Corimbatá (<i>Prochilodus scrofa</i>)	Cach. Dourada	E	12	2,4	0,65
Piracanjuba ou Piraíba (<i>Triurobrycon lundii</i>)	Cach. Dourada	E	12	4,0	0,80
Dourado (<i>Salminus maxillosus</i>)	São Simão	E	15	20,0	0,80
Corimbatá (<i>Prochilodus scrofa</i>)	São Simão	E	15	2,4	0,65

Peixe	Local	Pele	V (m/s)	Massa (kg)	LT (m)
Mandi Amarelo (<i>Pimelodus clarias</i>)	Itapura	C	14	0,24	0,24
Dourado (<i>Salminus maxillosus</i>)	Ferrador	E	15	20,0	0,80
Corimbata (Prochilodus scrofa)	Ferrador	E	15	2,4	0,65
Dourado (<i>Salminus maxillosus</i>)	Mogi Guaçu	E	12	20,0	0,80
Corimbata (Prochilodus scrofa)	Mogi Guaçu	E	12	2,4	0,65
Mandi Amarelo (<i>Pimelodus clarias</i>)	Mogi Guaçu	C	12	0,24	0,24
Dourado (<i>Salminus maxillosus</i>)	Itaipava	E	20	20,0	0,80
Corimbata (Prochilodus scrofa)	Itaipava	E	20	2,4	0,65

QUIRÓS, 1988, observou que as velocidades ictíicas da Tabela 19 são exageradas e são referenciais, não podendo, pois, serem utilizadas em projetos e concepções, sob risco resultados insatisfatórios. Valores de velocidades superiores a 15m/s devem ser observadas com cautela, pois dificilmente ocorrem na natureza e devido ao desconhecimento do perfil de distribuição espacial local (vertical e horizontal).

Os comprimentos e massas conservadoramente foram adotados como sendo 80% do comprimento total máximo, LT, e da sua massa dos valores referenciais do Anexo 3.

ICOLD (2003) na publicação da ICOLD, Boletim 116, admite que o tamanho do peixe adulto seja o valor utilizado para dimensionar os STP's e as grades para peixes.

4.1.1. Massa Muscular Ictíica

Há equações padrão para determinar a massa do peixe, M, através da relação de proporção entre massa (kg) e comprimento, LT (m) do salmão (BEACH, 1984):

$$M = 10,836 * LT^{2,964} \quad 2$$

A relação de massa não atende satisfatoriamente aos peixes neotropicais, mas foi utilizada no gráfico da Figura 42, conforme BEACH (1984).

Com os valores característicos de peixes neotropicais disponíveis no Anexo 3, obteve-se as relações de massa para peixes de escama e couro ou placas ósseas, conforme, respectivamente, Figura 52 e Figura 53.

Figura 52: Correlação entre a massa e comprimento de Peixes de Escamas.

Figura 53: Correlação entre a massa e comprimento de Peixes de Couro ou Placas Ósseas.

Conforme Figura 52, a correlação obtida com a melhor representatividade ($R^2 = 0,69$) para peixe de escamas neotropicals é:

$$M = 11,681 * LT^{2,3527}$$

3

Conforme Figura 53, a correlação obtida com a melhor representatividade ($R^2 = 0,79$) para peixes de couro ou placas ósseas é:

$$M = 0,3792 * e^{3,3022 * LT} \quad 4$$

É evidente que as correlações obtidas indicam as tendências e que precisam de um universo de dados superior significativo podendo ser melhorada em estudos futuros ou mesmo identificar a correlação por espécie neotropical de interesse (peixe-alvo).

Para o estudo de locomoção de peixes o agente propulsor ictífico é a sua musculatura, assim têm-se as relações de massa muscular segundo a proporção com a total e a correlação entre comprimento e massa igual a 50%:

$$M_{\text{ESCAMA}} = 5,841 * LT^{2,3527} \quad 5$$

$$M_{\text{COURO}} = 0,1896 * e^{3,3022 * LT} \quad 6$$

A equação da taxa de massa do peixe em função do comprimento para os peixes de couro e placas ósseas, devido a pouca aderência e a falta de valores estatísticos à curva, não contempla adequadamente aos pequenos comprimentos de peixe.

4.1.2. Forças de Resistivas

Considerando-se uma análise simples, as forças resultantes determinam o sentido e direção do peixe na horizontal, conforme Figura 54:

Figura 54: Forças resultantes num peixe.

Os peixes não possuem estrutura de movimento capaz de retrocesso, nos casos em que se faz necessário, como nas embarcações movidas com a ação do vento sobre as velas ou do avião, com a movimentação corpórea gera uma composição de forças cuja resultante os fazem “avançar para trás”, ou seja, retroceder.

Considerando um peixe como um objeto imerso num fluido em movimento, pode-se determinar a força que o animal exerce para avançar contra uma correnteza, conforme Figura 55:

Figura 55 : Forças de arraste no avanço de um peixe.

$$F_D = C_D * \frac{A * V^2 * \gamma_{H_2O}}{2 * g} \quad 7$$

$$\gamma_{H_2O} = \rho_{H_2O} * g \therefore F_D = C_D * \frac{A * V^2 * \rho_{H_2O}}{2} \quad 8$$

Onde: F_D = força de arraste (“drag force”); C_D = coeficiente de arrasto que depende das condições de contorno: forma do peixe, comportamento do fluxo e o ângulo de ataque; A = seção transversal de referência do peixe; V = velocidade do fluxo; γ_{H_2O} = peso específico do fluido água; ρ_{H_2O} = massa específica do fluido água e g = aceleração local da gravidade.

O coeficiente de arraste possui valores diversos em função dos hábitos e forma das espécies, ou seja, as espécies sedentárias ou bentônicas não se expõem em fluxos de alta velocidade e nem desenvolvem altas velocidades para locomoção, ao contrário dos pelágicos. Na Figura 56 e Figura 57 apresenta-se uma classificação quanto à forma de peixes:

Figura 56: Forma em Planta de Peixes: a) anguiforme, b) fusiforme e c) bentoforme.

Fonte: HIRATA, 2001

Figura 57: Forma Longitudinal e Transversal de Peixes.

Fonte: DVWK, 2002.

A área principal transversal do peixe é variável e diversa conforme as espécies, mas é usual no exterior a expressão ajustada de salmões (WELLCOME, 1985; DVWK, 2002):

$$A = 0,02182 * LT^2$$

9

Essa relação de área e comprimento do peixe pode ser melhorada para universo de peixe neotropicais.

Tabela 20: Coeficientes de arraste de peixes (HIRATA, 2001).

Forma	C _D
	0,051
	0,069
	0,068
	0,044
	0,049
	0,050

DAILY & HARLEMAN (1966) apud OSBORNE (1995b), afirma que o coeficiente de arraste do peixe, C_D , é similar ao de aerofólios simétricos com taxa entre comprimento e altura igual a 5 admitindo-se Número de Reynolds de $4 \cdot 10^5$. OSBORNE (1995b) admite o valor do coeficiente de arraste igual a 0,06, o que confere Tabela acima consistência nos seus valores.

A força de arraste depende, também do comportamento do fluido que pode ser interpretado pelo adimensional denominado Número de Reynolds que relaciona as forças de inércia com as viscosas:

$$Re = \frac{V * h}{\nu_{H_2O}} \quad 10$$

Onde: Re= Número de Reynolds, V= velocidade do peixe, h= altura ou dimensão característica do peixe e ν_{H_2O} = viscosidade cinemática da água função da temperatura do fluido.

O trabalho ou energia máxima gerador do “stress” ou até a morte devido à fadiga, segundo FUNG (1990), pode ser expresso em função do coeficiente de arrasto:

$$C_D = 15,4 * Re^{-0,4} \quad 11$$

Na Figura 58 apresenta-se a composição simplificada das forças contrárias ao movimento de peixes no interior de um STP considerando a declividade longitudinal i . A força de sustentação é de pequena magnitude e foi desprezada. Essa força é mais relevante fora do STP quando os peixes de escamas que possuem “bexiga natatória” movimentam-se na velocidade de cruzeiro.

Figura 58: Composição de forças contra o movimento de peixes no STP.

Onde: F_G é a força peso dependente da massa do peixe e da força gravitacional (peso específico do peixe); F_D é a força de arraste; i é a declividade longitudinal e α é o

ângulo formado entre o fundo do STP com declividade longitudinal i e o plano horizontal de referência.

$$\sum F = F_D + F_{G(x)} \quad 12$$

$$F_D = C_D * 0,5 * \rho_{H2O} * V^2 * A$$

$$F_D = 0,06 * 0,5 * 1.000 * V^2 * 0,02182 * LT^2 \quad 13$$

$$F_{G(x)} = \frac{F_G}{\cos(90 - \alpha)} = \frac{M * g}{\cos(90 - \alpha)} \quad 14$$

Foi admitida que a componente da força peso, F_G , na direção x , $F_{G(x)}$, possui a mesma direção angular da força de arraste, F_D , para possibilitar a soma algébrica dos vetores dimensionais.

A componente F_G , na direção y , $F_{G(y)}$, possui a mesma intensidade, mas com direção e sentido contrario a componente de sustentação e sob está ótica foi desconsiderada. Talvez esta componente seja mais importante nos peixes de couro ou placas ósseas.

$$\sum F = 0,6546 * V^2 * LT^2 + \frac{M * 9,81}{\cos(90 - \alpha)} \quad 15$$

Aplicando-se a força na distância percorrida com o movimento do peixe, tem-se o trabalho realizado, energia requerida:

$$W = \sum F * L \quad 16$$

Onde: W = trabalho ou energia e L = distância percorrida.

O gradiente de velocidades no fluxo varia com o termo cinético: $V^2/2g$, ou seja, o termo energético, da equação 9, varia com o quadrado da velocidade de explosão ou instantânea. Valores experimentais apontam que a energia instantânea, em função da sua velocidade instantânea pulsante, pode majorá-la em quatro vezes.

A turbulência e a velocidade instantânea determinaram o valor de 7,5s como o máximo sugerido para o tempo de persistência máximo na velocidade de explosão (WELLCOME, 1985).

Os peixes possuem capacidade natatória para avançarem durante horas com velocidades superiores a de cruzeiro desde que sem carências de oxigênio e em temperatura ótima, assim para os valores superiores de velocidade e com taxas insuficientes de oxigênio e/ou temperaturas fora da faixa ótima, a capacidade natatória diminuem com a razão igual a quatro vezes, conforme retromencionado.

Na Tabela 21 apresenta-se as taxas dos valores referenciais do dispêndio de energia para os peixes anádromos salmonídeos, segundo WELLCOME (1985):

Tabela 21: Porcentagem de energia utilizada

Utilização	Energia (%)	
	Macho	Fêmea
Manutenção da vida	60-70	50-60
Nadando	10-12	10-12
Procriação e desova	1-2	3-5
Desenvolvimento das Gônadas e Ovas	5-6	16-18
Residual	8-10	12-15

De maneira geral, as fêmeas despendem mais energia do que os machos e, portanto precisam de um suprimento energético ou calórico maior, mas num sistema à sua transposição, dispõem de taxas energéticas iguais, não merecendo atenções preferenciais.

Transforma-se o trabalho realizado ou energia requerida em calorias:

$$1J = 0,2388cal$$

17

Como se observa na Equação 16 e 17, a energia requerida é função do quadrado da velocidade, motivo pelo qual o peixe cansa-se ou fadiga-se (“stress”) rapidamente em fluxos rápidos e que pode ser fatal com a liberação excessiva de ácido láctico no seu organismo (WELLCOME, 1985). Considera-se, com certo conservadorismo, que o peixe necessite de duas horas de descanso para se recuperar. Assim, a introdução de tanques para descanso de peixes neotropicals nas estruturas de transposição, são importantes e necessárias, interferindo nas eficiências de transposição dos peixes.

O desempenho dos peixes para várias velocidades depende da quantidade de energia acumulada. Quando a velocidade do peixe excede a de cruzeiro, o glicogênio é reduzido. A duração ou permanência, dur, pode ser obtida dividindo-se a energia total armazenada, E, pela diferença entre a potência química, Pc, requerida para o movimento do peixe numa determinada velocidade e a potência Pm necessária para os músculos vermelhos oxigenarem (BEACH, 1985).

$$dur = \frac{E}{Pc - Pm} \quad 18$$

Medidas realizadas em peixes teleósteos demonstram que a energia total armazenada ou o nível de glicogênio pode atingir a taxa igual a 10g/kg de músculo. O metabolismo anaeróbico de transformação para o ácido láctico consome 558J/g de glicogênio, assim o máximo valor de energia, E, é:

$$E = 10 \frac{g}{kg} * 558 \frac{J}{g} = 5.580 \frac{J}{kg} \quad 19$$

Assumindo que 50% da massa de um peixe é músculo, conforme BLAKE (1983), o máximo valor de Energia é:

$$E = 5.580 * 0,5 \cong 2.790 \frac{J}{kg} \quad 20$$

Medidas em salmonídeos do outro Hemisfério (BEACH, 1985) desenvolveram à relação ajustada entre a massa, M, e comprimento, LT, conforme equação 1 e 21:

$$M = 10,836 * LT^{2,964} \quad 21$$

Utilizando as correlações para peixes neotropicais de escamas e couro ou placas ósseas, conforme equações 4 e 5:

A energia total é:

$$E_{ESCAMA} = 2.790 * 11,681 * LT^{2,3527} \cong 32.590 * LT^{2,3527} \quad 22$$

$$E_{COURO} = 2.790 * 0,3792 * e^{3,3022*LT} \cong 529 * e^{3,3022*LT} \quad 23$$

A potência química para um determinado peixe, comprimento, velocidade e temperatura da água, através da equação de ZHOU, 1982 apud BEACH, 1985, é:

$$P_C = 0,9751 * e^{-0,00522*T} * V^{2,8} * LT^{-1,15} \quad 24$$

Onde: V= velocidade do peixe (m/s); T= temperatura do músculo (°C); e= 2,7183.

BRETT (1965, 1972) apud BEACH (1984), determinou a taxa de oxigenação máxima para salmonídeos do Hemisfério Norte como igual a 800mg O₂/kg de peixe. Um miligrama de oxigênio realiza 20J de energia e a potência específica, Pe, ou

consumida pelo músculo aeróbico na atividade natatória é 4,44 W/kg (1mg O₂ = 0,70cm³ O₂ = 0,70*10⁻⁶m³ O₂).

MACHIN (1961) apud BLAKE (1983) obteve os valores de potência específica mássica de músculos de peixes necessária à sua locomoção em função da temperatura entre 40W/kg para 0°C e 170W/kg para 30°C.

SWOAP et al. (1993) obteve os valores de potência específica mássica de músculos de peixes necessária à sua locomoção em função da temperatura entre 20W/kg para 15°C e 154W/kg para 42°C.

BRAINBRIDGE (1961) apud BLAKE (1983) sugere a potência específica mássica de músculos de 20W/kg e 80W/kg para as velocidades de sustentação e explosão, respectivamente, em peixes de águas geladas (“coldwater”).

WEIS-FOGH & ALEXANDER (1977) apud BLAKE (1983) apresenta os valores de 250 e 500W/kg como os valores de potência específica mássica máxima gerada pelos músculos ictícos, respectivamente para vermelhos e brancos. Pode-se admitir que a potência específica mássica, Pe, com o valor de 250W/kg produz a velocidade de sustentação e com o valor de 500W/kg produz a velocidade de explosão ou crítica que no universo neotropical, provavelmente, é adequada aos peixes de escamas mais é alta para os de couro ou placas ósseas.

A potência para locomoção ou movimento é:

$$P_m = P_e * M$$

$$P_{m_{\text{ESCAMA}}} = P_e * 5,841 * LT^{2,3527} \quad 25$$

$$P_{m_{\text{COURO}}} = P_e * 0,1896 * e^{3,3022*LT} \quad 26$$

A duração ou permanência é calculada pela expressão, conforme BEACH (1984):

$$dur = \frac{E}{P_c - P_m}$$

$$dur_{\text{ESCAMA}} = \frac{32.590 * LT^{2,3527}}{(0,9751 * e^{-0,00522*T} * V^{2,8} * LT^{-1,15}) - (P_e * 5,841 * LT^{2,3527})} \quad 27$$

$$dur_{\text{COURO}} = \frac{529 * e^{3,3022*LT}}{(0,9751 * e^{-0,00522*T} * V^{2,8} * LT^{-1,15}) - (P_e * 0,1896 * e^{3,3022*LT})} \quad 28$$

O gráfico de duração da Figura 42 foi construído através da equação acima, conforme BEACH (1984), para os salmonídeos.

A máxima velocidade de sustentação, V_s , é importante para determinar o ponto no qual a atividade natatória aeróbica termina e começa a anaeróbica com o consumo de glicogênio conforme ZHOU (1982) apud BEACH (1984). A equação ajustada não apresenta resultados satisfatórios no universo de peixes neotropicais.

$$V_s = 1,0091 * e^{0,001904 * T} * LT^{0,4107} * Pm^{0,357} \quad 29$$

Relacionando-se trabalho e força é possível se abstrair a velocidade, conforme:

$$W = F * L \quad 30$$

$$Pot = \frac{W}{t} = \frac{F * L}{t} = F * V$$

Onde: W é o trabalho; Pot é a potência e t é o tempo.

$$V = \frac{Pot}{F} = \frac{Pm}{\sum F}$$

$$V_{ESCAMA} = \frac{Pe * M}{0,6546 * V^2 * LT^2 + \frac{M * g}{\cos(90 - \alpha)}} \quad 31$$

$$V_{S-ESCAMA} = \frac{1460,25 * LT^{2,3527}}{0,6546 * V^2 * LT^2 + \frac{57,3 * LT^{2,3527}}{\cos(90 - \alpha)}} \quad 32$$

$$V_{COURO} = \frac{Pe * 0,1896 * e^{3,3022 * LT}}{0,6546 * V^2 * LT^2 + \frac{M * 9,81}{\cos(90 - \alpha)}} \quad 33$$

$$V_{S-COURO} = \frac{47,4 * e^{3,3022 * LT}}{0,6546 * V^2 * LT^2 + \frac{1,86 * e^{3,3022 * LT}}{\cos(90 - \alpha)}} \quad 34$$

$$V_{E-COURO} = \frac{94,8 * e^{3,3022 * LT}}{0,6546 * V^2 * LT^2 + \frac{1,86 * e^{3,3022 * LT}}{\cos(90 - \alpha)}} \quad 34$$

Onde V_S é a velocidade de sustentação ictíca e V_E é a velocidade de explosão.

Na Tabela 22 apresenta-se os valores angulares da declividade longitudinal do STP hipotético.

Tabela 22: Valores da declividade longitudinal.

i (%)	1V:mH	(°)	cos(90-α)
10	10	5,711	0,100
5	20	2,862	0,050

O tratamento biofísico proposto para determinação das velocidades ictícas, equações 32 a 35, adotou a potência específica mássica de musculatura máxima, 250 e 500W/kg, conforme WEIS-FOGH & ALEXANDER (1977) apud BLAKE (1983), não discriminou as espécies de peixes, temperatura e resultou em velocidades de sustentação e explosão homogêneas tanto para os peixes de escamas ou couro e placas ósseas, conforme Tabela 23.

Tabela 23: Velocidades Ictícas Teóricas de Sustentação e Explosão.

i (%)	V (m/s)			
	Escamas		Couro ou Ósseas	
	Sustentação	Explosão	Sustentação	Explosão
10	2,5	5,0	2,5	5,0
5	1,3	2,5	1,3	2,5

Os valores obtidos na Tabela 23 não devem ser utilizados nas concepções de STP's, pois são teóricos, necessitando de confirmações com espécies vivas, podendo, inclusive, serem majorados com a introdução de outras variáveis intervenientes.

Observa-se, também na Tabela 23, a influência da declividade longitudinal do STP que exige capacidades natatórias dos peixes superiores com o aumento da rampa. Fica evidente que os peixes de escamas possuem uma capacidade natatória cerca de suas vezes superior aos dos peixes de couro ou placas ósseas.

As velocidades do fluxo no interior do STP não devem ser superiores a velocidade de explosão dos peixes, pois exigiria um esforço energético desnecessário com o desenvolvimento de saltos (“jumps” ou “leaps”) para locomoção, a intransponibilidade ou, em última estância, a fadiga e a morte de animais.

O ICOLD (2003) recomenda a velocidade média do fluxo não superior a 3,5m/s, baseada na experiência internacional e, portanto, para os salmonídeos, conforme Tabela 24.

Tabela 24: Velocidade do Fluxo.

Velocidade (m/s)	Espécie Alvo
1,2	Capacidade natatória baixa
1,7	Carnívoras ou Pedradoras
2,4	Truta, Barbo
3,0	Truta Marítima
3,5	Salmonídeos

O DVWK (2002) recomenda a velocidade média do fluxo inferior a 2m/s.

O engenheiro hidráulico Erik Pasche, 1995, apresenta, conforme Tabela 25, as velocidades de explosão, crítica e máxima.

Tabela 25: Velocidade Natatória de Peixes

Espécie	Lmédio (m/s)	Velocidade				Altura do Salto (m)
		Explosão		Crítica		
		(L/s)	(L/s)	(L/s)	(L/s)	
Salmão (<i>Salmo salar</i>)	0,5 a 1,0	7,0 a 9,3	4,6 a 7,0	6,4	3,2 a 6,4	1,0 a 1,7
Truta (<i>Salmo Truta</i>)	0,2 a 0,35	10,0	2,0 a 3,5	3,0 a 4,0	0,8 a 1,0	0,7 a 0,8
Bream (<i>Abramis abramis</i>)	0,3 a 0,5	4,3	1,3 a 2,1	-	-	-
Perca (<i>Perca fluviatilis</i>)	0,15 a 0,25	5,0 a 5,9	0,9 a 4,0	-	1,08 a 1,28	
Loah (<i>Neomachelius barbritletus</i>)	<15	14,2	<21,3	5,9	0,61	-
Gudgeon (<i>Gobio gobio</i>)	<15	19,7	<2,9	4,7	0,55	-
Stickleback (<i>Gasterosteus aculeatus</i>)	<10	-	-	3,6	0,36	-
<i>Leocaspis delineatus</i>	<10	-	-	3,9	0,39	-

Espécie	Velocidade Máxima (m/s)
Salmonídeos	2,0
Ciprinídeos	1,5
Juvenis e pequenos	1,0

BRETT (1964) apud SANTOS (2004), conforme amplamente divulgado no cenário internacional, apresentou os valores da velocidade crítica obtidas experimentalmente para o salmão sockeye (*Oncorhynchus nerka*) segundo a Tabela 26.

Tabela 26: Velocidade Crítica para Salmões "Sockeye".

Temperatura	5	10	15	20	24
TL (m)	0,17	0,16	0,19	0,19	0,18
Velocidade (TL/s)	3,26	3,65	4,12	3,90	3,75

NORTHCOTE, 1998 e LARINIER, 1992 apud BOURGEOIS, 2000, apresentou alguns valores de velocidades para peixes samonídeos adultos do Hemisfério Norte, conforme Tabela 27.

Tabela 27: Velocidades de Explosão e Sustentação de Salmonídeos.

Espécie	Velocidade (m/s)	
	Explosão	Sustentação
Truta Arco-Iris	4,2 a 8,1	1,4 a 4,2
Salmão Chinook	4,4 a 6,7	-
Salmão Sockeye	3,1 a 6,3	1,0 a 3,1
Salmão Coho	3,7 a 5,3	-
Salmão Chum	2,5 a 5,0	0,8 a 2,5
Salmão Pink	2,5 a 5,0	0,8 a 2,5
Salmão Atlântico	6,0 a 8,0	2,0 a 3,0

SANTOS et al (2004), determinou as velocidades críticas experimentais para os peixes *Pimelodus maculatus* (mandi amarelo – couro) e *Astyanax bimaculatus* (lambari – escamas) obtendo os valores médios conforme Tabela 28.

Tabela 28: Velocidade Crítica Experimental de Peixes Neotropicais.

Espécie	nome	Pele	Velocidade Crítica (LT/s)
<i>Astyanax bimaculatus</i>	Lambari	Escamas	10,4
<i>Pimelodus maculatus</i>	Mandi amarelo	Couro	5,4

Comparando-se os valores obtidos teóricos, Tabela 23, com os valores internacionais: Tabela 24, Tabela 25, Tabela 26 e Tabela 27 e nacional experimental: Tabela 28, observa-se que, com o rigor científico, as velocidades não são comparáveis, pois não estão considerados: mesmas espécies, hábitos, idade, tamanho, metodologia, influências ambientais, a temperatura e a inclinação longitudinal da rampa do STP, entre outros fatores, mas permitem admitirem-se as tendências:

- ✓ Está evidente, como já previsto, que os valores teóricos não atendem satisfatoriamente aos peixes de couro ou placas ósseas, pois estes possuem, sabidamente, uma capacidade de nado inferior aos de escama;
- ✓ Os valores de velocidades dos peixes observados por GODOY (1985), Tabela 19, estão superdimensionados;
- ✓ A tendência experimental e teórica de que as velocidades dos peixes de couro ou placas ósseas seja metade da dos peixes com escama é consistente;
- ✓ Conforme observado por SANTOS (2004), os peixes neotropicais, talvez e principalmente pela temperatura da água, possuem uma capacidade natatória e de transposição mais significativa do que os peixes do Hemisfério Norte;
- ✓ A velocidade do fluxo média de 3,5m/s, indicada para salmonídeos (ICOLD, 2003), pode ser admitida como a média máxima no interior do STP, precisando, ainda, de confirmações experimentais para as espécies neotropicais e,

principalmente, distinguindo-a quanto às espécies de escamas e couro ou placas ósseas.

Os cientistas revelam que os peixes, através da sua linha lateral, possuem sensibilidade aguçada e podem orientar-se mesmo em velocidades do fluxo baixas inferiores a 0,05m/s (HARDEN, 1968 apud WELLCOME, 1985).

Os peixes devem “detectar” ou serem estimulados, através da linha lateral, devido aos gradientes de pressão que são traduzidos pelas velocidades do fluxo (KYNARD, 1993). A turbulência excessiva é detectada pela linha lateral causando desorientação. Assim é fisicamente inconsistente afirmar que os peixes perdem-se ou se desorientam em ambientes lânticos ou semilânticos como nos reservatórios das barragens, pois o gradiente de pressão sempre existe.

As espécies detectam as mudanças de pressão na velocidade do fluxo, movendo-se através dos gradientes, preferencialmente do baixo para o alto. Mudanças bruscas e intensas nas linhas de fluxo e recirculações acentuadas previnem os peixes e os induzem à parada, hesitação ou retrocesso, em áreas específicas (WELLCOME, 1985), fazendo, entre outras razões, o estudo experimental por similitude um instrumento imprescindível para diminuir a seletividade e melhoria da eficiência dos sistemas à transposição.

Os peixes procuram os gradientes de velocidades mais favoráveis para o seu avanço motor, mas principalmente os adultos, detectam as velocidades do fluxo excessivas e a intransponibilidade, podendo ser conduzidos à entrada do sistema de passagem onde a velocidade do fluxo não pode superar a de explosão, mas superiores a de cruzeiro, nas espécies e dimensões dos peixes envolvidos.

A capacidade natatória dos peixes pode ser reduzida em até 60% próxima à saturação devido ao oxigênio além de afetar outras funções orgânicas ictícas (WELLCOME, 1985), devendo-se evitar os fluxos supersaturados no sistema à transposição de peixes sob o risco de morte devido à embolia gasosa ou ineficiência da estrutura, dependendo das características dos cardumes favorecidos.

As temperaturas adversas, fora da faixa ótima das espécies, podem reduzir a capacidade natatória dos peixes em até 50% (WELLCOME, 1985). A preferência por

determinadas faixas temperatura da água pode ser indicada como um dos fatores dos movimentos migratórios não simultâneos das espécies neotropicais.

Os poluentes, em adição ao oxigênio e a temperatura, também afetam adversamente a capacidade natatória ictíicas.

A acuidade visual dos peixes também interfere na sua intensidade da velocidade de propulsão, ou seja, a escuridão ou claridade estimula o desenvolvimento motor, estabelecendo percursos em função da velocidade entre a de cruzeiro e sustentação. No caso dos peixes neotropicais, devido à biodiversidade e à riqueza intrínsecas, com peixes com pele de couro ou placas ósseas: bentônicos e os com pele de escamas: pelágicos, os movimentos migratórios podem ser distintos, inclusive quanto aos estímulos visuais. Teoricamente, os peixes bentônicos deveriam ter preferência migratória no período noturno, onde a iluminação artificial nos sistemas à transposição seria uma atividade benéfica, assim como em passagens de nível, túneis e demais locais penalizados com a falta de iluminação natural.

4.1.3. Forças propulsoras

A análise das velocidades ictíicas pode ser desenvolvida com a determinação das forças propulsoras.

O sistema propulsor, responsável pelo deslocamento, velocidade, direção e salto dos peixes, é um dos mais eficientes, sendo objeto de estudos avançados para melhoria dos sistemas artificiais móveis aquáticos à explosão.

A maleabilidade de seu corpo na água produz uma resposta hidrodinâmica perfeita quanto à propulsão, aceleração e navegabilidade.

Pode-se afirmar, basicamente, que a movimentação dos peixes ocorre pela operação adequada de deslocamento de massa, via vórtices, conforme Figura 59. As nadadeiras pares (peitorais e pélvicas ou ventrais) servem de propulsores. As ímpares (dorsal, anal, adiposa e caudal) tem a dupla função de estabilizadoras e propulsoras. O rabo, nadadeira ímpar caudal, funciona como um “flap”, criando vórtices geradores de jatos com alta eficiência propulsora, ver Figura 60 (TRIANTAFYLLOU et al. 1995).

Figura 59: Sistema Propulsor dos Peixes

Fonte: TRIANTAFYLLOU (1995).

Figura 60: Mecanismo Propulsor dos Peixes.

Fonte: TRIANTAFYLLOU (1995).

Esses parâmetros podem ser interpretados pelo conhecimento do número de Strouhal, St , definido como o produto entre a frequência de movimentação do “flap” e o comprimento da abertura, dividido pela velocidade do peixe, conforme Figura 5-19 (TRANTAFYLLOU et al. 1995).

$$St = \frac{f d}{V}$$

35

Onde: St = número de Strouhal; f = frequência em Hz; d = distância de abertura em m; V = velocidade de evolução do peixe em m/s.

Figura 61: Número de Strouhal.

Fonte: TRIANTAFYLLOU (1995).

O número de ondas contrácteis que passam pelo corpo do peixe varia de 5 a 170 por minuto (GODINHO, 1970). Número de Strouhal entre 0,25 e 0,35 indicam capacidade natatória elevada (TRANTAFYLLOU et al. 1995).

A frequência dos vórtices no Número de Strouhal e a turbulência do fluxo no Número de Reynolds ($250 < Re < 20.000$) podem ser relacionadas com a expressão empírica de BLAKE (1983):

$$St = \frac{f * d}{V} = 0,198 * \left(1 - \frac{19,7}{Re}\right)$$

36

Figura 62: Número de Strouhal ictícos ótimos.

Fonte: TRIANTAFYLLOU (1995).

Figura 63: Número de Strouhal ictícos ótimo.

Fonte: TRIANTAFYLLOU (1993).

SWOAP et al. (1993) indica que a frequência para a qual a potência mecânica de locomoção é máxima aumenta com a temperatura de 3,3Hz a 15°C para 20,1Hz para 42°C.

Figura 64: Frequência versus temperatura.

Fonte: SWOAP (1993).

4.2. Potência do Escoamento no STP.

A potência específica do escoamento nos tanques do STP ou como inapropriadamente utilizado no exterior, a energia dissipada, 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 conforme a expressão (BELL 1990; LARINIER 1990, 1999a, 1999b, 2000; OSBORN 1987, 1985a, 1985b, 1985c, 1985d; PASCHE 1995a; BEACH 1984; THEMAG 2004; MARTINS 2000, 2003):

$$Pes = \frac{\rho_{H_2O} * g * Q * \Delta y}{\nabla} = \frac{\gamma_{H_2O} * Q * \Delta y}{\nabla} \quad 37$$

Onde: Pes = potência específica por unidade de volume molhado (W/m³); Q = vazão (m³/s), Δy = desnível entre os níveis a montante e a jusante da parede; ρ_{H_2O} = massa específica do fluido a uma dada temperatura (kg/m³); $\gamma_{H_2O} = \rho_{H_2O} * g$ = peso específico do fluido numa dada temperatura (N/m³); g = aceleração da gravidade local (m/s²); e ∇ = volume médio do fluido no tanque (m³).

Evidenciando-se a velocidade, a expressão da potência fica:

$$Q = V * A$$

$$Pes = \frac{\gamma_{H_2O} * V * A * \Delta y}{\nabla} \quad 38$$

Onde: V= velocidade do fluxo e A= área média molhada no tanque.

Com a expressão da potência específica explicitando a velocidade pode-se, com a capacidade natatória dos peixes, limitá-las à valores compatíveis com a nossa ictiofauna.

A potência específica é função principal da queda da lâmina da água, Δy , onde a literatura internacional 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/m^3 e de 150W/m^3 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).

A potência específica do escoamento (“energy dissipation criteria”) foi determinada por BELL (1973) apud OSBORN (1985c) com os valores de $4\text{ ft}^3\text{lb/s/ft}^3$ e $3\text{ ft}^3\text{lb/s/ft}^3$, respectivamente e aproximadamente 200 e 150W/m^3 , oriundos de observações em determinados tipos de STP sem orifícios de fundo, para privilegiar a locomoção via salto de salmonídeos, onde a potência do escoamento deveria ser a menor possível. BELL (1973) apud OSBORN (1985c) recomenda que as potências específicas, 150 e 200W/m^3 , sejam utilizadas apenas para a determinação da vazão máxima nos tanques dos STP’s.

Historicamente esses valores de potência específica, permanecem usados no Hemisfério Norte sem a exatidão original, mas principalmente para os tipos STP’s tipo “like a river”. Os tipos e modelos de STP evoluíram (ver Anexo 1) e deixaram de ser exclusivos para salmonídeos, como aos peixes neotropicais, ou seja, a locomoção ictífica via salto deixou de ser relevante mesmo porque o desgaste energético dos peixes nos saltos é desnecessário e não natural para os demais peixes, principalmente aos de couro ou placas ósseas.

Na Tabela 29 faz-se uma análise de sensibilidade da potência específica para determinar as velocidades médias incorporadas à fórmula internacional da potência específica do escoamento.

Tabela 29: Análise de Sensibilidade da Potência Específica.

Pes		V
($\text{ft}^3\text{lb/s/ft}^3$)	(W/m^3)	(m/s)
2	95,7	0,6
3	143,5	0,9
4	191,4	1,2
5	239,2	1,5
6	287,1	1,8
7	334,9	2,1
8	382,8	2,4
9	430,6	2,7
10	478,5	3,0

As velocidades médias incluídas na potência específica, considerando os demais termos constantes, ou seja, as características geométricas permanentes são de baixa magnitude e abaixo das velocidades permissíveis para a passagem de peixes.

Utilizando-se os valores referenciais teóricos da velocidade máxima de peixes neotropicais, conforme Tabela 23, tem-se os valores das potências objetivo a partir das quais os animais estariam impedidos de transpor, conforme Tabela 30.

Tabela 30: Potência Específica Máxima Hipotética.

Peixe		Δy (m)	i (%)	y_{med} (m)	B (m)	L (m)	∇ (m³)	Pes (W/m³)
V (m/s)								
Sustentação	2,5	0,30	10	1,3	4,0	4,0	20,80	12.000
Explosão	5,0					4,0	20,80	6.000
Sustentação	1,3	0,30	5			8,0	41,60	6.000
Explosão	2,5					8,0	41,60	3.000

Admitindo-se a velocidade máxima para peixes neotropicais igual a 3,5m/s, mas sabendo que pode ser maior e, portanto, a favor da segurança, e de acordo com a análise de sensibilidade da equação de potência, conforme Tabela 29 e Tabela 30 permite-se, sem risco de intransponibilidade ou fadiga excessiva aos peixes, e com segurança conservadora, adotar os valores de 250W/m³, sendo 350W/m³ o máximo, para o dimensionamento de Tanques dos STP's, conforme verificados e testados em empreendimentos nacionais, conforme Tabela 31.

Para que os peixes possam se recuperar durante a sua transposição são previstos os tanques para descanso ao longo do perfil longitudinal do STP.

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).

Teoricamente a quantidade de tanques para descanso depende das espécies locais. A literatura internacional 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 (ICOLD, 2003).

Recomendam-se, segundo a experiência nacional, que os tanques para descanso sejam instalados nas mudanças de direção do fluxo no interior do STP e/ou a cada 8m ou 10m de desnível vertical, preferencialmente com a declividade longitudinal do

tanque nula, com dimensões tais que a potência específica do escoamento não ultrapasse $100\text{W}/\text{m}^3$.

Valores de $100\text{W}/\text{m}^3$ resultam em fluxos com velocidades baixas, da ordem de $0,5\text{m/s}$ e $50\text{W}/\text{m}^3$, considerada ótima segundo os critérios internacionais, resultam em velocidades do fluxo da ordem de $0,3\text{m/s}$. Na Tabela 32 apresenta-se a potência específica em tanques de descanso de alguns STP's nacionais.

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Tabela 31: Potência Específica de aproveitamentos nacionais.

Quadro 1 - Características de Escadas de Peixes em Grandes Rios													
Aproveitamento	Fa se	rio	Desnível Total (m)	$\Delta h(m)$	Soleira						Ranhura Vertical		
					menor			maior			$b_o(m)$	$Q(m^3/s)$	$V(m/s)$
					L(m)	$Q(m^3/s)$	$V(m/s)$	L(m)	$Q(m^3/s)$	$V(m/s)$			
Peixe	P	Tocantins	28,5	0,4	1,0	0,465	1,16	3,0	0,493	0,82	-	-	-
Lajeado	O	Tocantins	32	0,4	0,8	0,372	1,16	0,8	0,372	1,16	-	-	-
Porto Primavera	O	Paraná	22	0,4	0,8	0,372	1,16	-	-	-	-	-	-
Canoas I e II	O	Paranapanema	23	0,4	0,8	0,372	1,16	2,7	0,444	0,82	-	-	-
Nova Piraju	P	Paranapanema	20	0,4	0,8	0,372	1,16	2,7	0,444	0,82	-	-	-
Igarapava	O	Grande	17	(*)	-	-	-	-	-	-	0,4	2,000	2,98

Quadro 1 - Características de Escadas de Peixes em Grandes Rios (continuação)													
Aproveitamento	Fa se	rio	Desnível Total (m)	$\Delta h(m)$	Orifício			Tanque				$i(m/m)$	$E(W/m^3)$
					bxh(m)	$Q(m^3/s)$	$V(m/s)$	B(m)	$y_m(m)$	$Q(m^3/s)$	$V(m/s)$		
Peixe	P	Tocantins	28,5	0,4	0,5x0,5	0,443	1,77	4	1	1,401	0,35	0,065	223
Lajeado	O	Tocantins	32	0,4	2(0,8x0,8)	2,27	1,77	5	1,0	3,013	0,60	0,050	172
Porto Primavera	O	Paraná	22	0,4	0,8x0,8	1,135	1,77	5	1,2	1,507	0,25	0,050	123
Canoas I e II	O	Paranapanema	23	0,4	0,5x0,4	0,356	1,78	3,5	1,0	1,172	0,33	0,118	388
Nova Piraju	P	Paranapanema	20	0,4	0,5x0,4	0,356	1,78	3,5	1,0	1,172	0,33	0,120	394
Igarapava (vertical slot)	O	Grande	17	-				3	1,8	2,000	0,37	0,060	218

Quadro 1 - Características de Escadas de Peixes em Grandes Rios: Resumo													
Aproveitamento	Fa se	rio	Desnível Total (m)	B(m)	i (m/m)	Δh(m)	Ranhura Vertical b _o x y _m (m)	Orifício	Soleira		Tanque		E(W/m ³)
								bxh(m)	menor	maior	Q(m ³ /s)	V(m/s)	
									Lxh (m)	Lxh (m)			
Peixe	P	Tocantins	28,5	4	0,065	0,4	-	0,5x0,5	1x0,4	3x0,2	1,401	0,35	223
Lajeado	O	Tocantins	32	5	0,050	0,4	-	2(0,8x0,8)	2(0,8x0,8)	-	3,013	0,60	172
Porto Primavera	O	Paraná	22	5	0,050	0,4	-	0,8x0,8	0,8x0,4	2,7x0,2	1,507	0,25	123
Canoas I e II	O	Paranapanema	23	3,5	0,118	0,4	-	0,5x0,4	0,8x0,2	2,7x0,2	1,172	0,33	388
Nova Piraju	P	Paranapanema	20	3,5	0,120	0,4	-	0,5x0,4	0,8x0,3	2,7x0,2	1,172	0,33	394
Igarapava	O	Grande	17	3	0,060	(*)	0,4 x 1,8	-	0,4x1,8	-	2,000	0,37	218

Fonte: THEMAG (2002).

Sistemas para a Transposição de Peixes Neotropicais Potamódromos

Tabela 32: Potência específica em Tanques para Descanso Nacionais.

Aproveita- mento	i (%)	Δh (m)	Largura (m)	Profundidade		Orifício n (bxa) (m)	Soleira n(Lxh)		Q (m³/s)	Degrau Tanque (BxC) (m)	Volume de Degrau Tanque (m³)	Potência Degrau (W/m³)	Velocidade média no Degrau Tanque (m/s)	Volume no Tanque Descanso (m³)	E Tanque Descanso (W/m³)
				máx (m)	mín. (m)										
							menor (m)	maior (m)							
Peixe	6,5	0,4	5	1,5	1,1	2(0,8x0,8)	2(1,0x0,3)	-	2,87	5x8	52	217	0,44	165	68
	5,0													172	65
														181	62
														288	39
Lajeado	5,0	0,4	5	1,5	1,1	2(0,8x0,8)	2(1,0x0,3)	-	2,87	5x8	52	217	0,44	198	57
														101	111
Porto Primavera	5,0	0,4	5	1,5	1,1	2(0,8x0,8) (*)	1(0,8x0,3) (*)	-	2,73	5x8	52	206	0,42	124	86
														136	79
Canoas I e II	11,8	0,4	3,5	1,2	0,8	1(0,5x0,4)	1(0,8x0,3)	1(2,7x0,2)	1,25	3,39x3,5	12	410	0,30	*	*
Nova Piraju	10	0,4	4,5	1,2	0,8	1(0,5x0,4)	1(0,8x0,3)	1(2,7x0,2)	1,25	3,33x3,5	12	417	0,30	131	38
	6,3													-	-
Igarapava	6,0	0,2	3	2,35	1,99	1(0,3x1,8) (+)	-	-	1,37	3,0x3,0	18	150	0,23	-	-
									1,50		20	151	0,23	-	-
									1,63		21	151	0,23	-	-
Ourinhos	10	0,4	3,5	1,3	0,9	1(0,5x0,4)	1(0,8x0,4)	1(2,7x0,2)	1,25	3,5x4	15	159	0,27	-	-
	8			1,3	0,9				1,25	3,5x5	19	127	0,27	113	44
	1,54			1,3	0,9				1,25	3,5x259, 74	1000	2	0,27	-	-

Onde: i- declividade longitudinal do degrau tanque em (%); n- número de soleiras ou orifícios; b- base do orifício ; a- altura do orifício; L- comprimento da soleira; B- largura do degrau tanque; C- comprimento do degrau tanque; P- potência do escoamento; V- velocidade, Vol- Volume
Fonte: THEMAG (2004).

5. Estudos Futuros.

Em razão das futuras estruturas geradoras de energia e armazenadoras de água possuírem quedas menores em função do potencial hídrico remanescente, dos seus 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 compactuado entre as áreas da ciência biológica, hidráulica e estrutural e ecológica para consolidar as ações relacionadas ao futuro ambiental.

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

- ✓ Estudos experimentais em modelos reduzidos e matemáticos de STP's durante a migração trófica e reprodutiva dos peixes (ver Figura 65 e Figura 67);

Figura 65: Alternativas de STP para estudo.

- ✓ Estudos de eficiência dos tipos de STP's em modelos reduzidos em verdadeira grandeza com elementos vivos (ver Figura 67);

- ✓ Sistemas de instrumentação e monitoramento para contagem e identificação das espécies, determinação das rotas migratórias longas e médias (ver Figura 66);
- ✓ Critérios para projetos de STP's que contemplem a diversidade e a seletividade dos peixes nacionais;
- ✓ Inventário com o comportamento e caracterização dos peixes migradores em ambientes natural e artificial como nos STP's, barragens e hidroelétricas (ver Figura 68, Figura 66, Figura 71, Figura 72);
- ✓ Estudos de sobrevivência e transposição de ovas, larvas, alevinos e adultos na passagem por estruturas extravasoras, geradoras, sistemas para a transposição de peixes e eclusas para navegação (ver Figura 69, Figura 70, Figura 73, Figura 74);
- ✓ Estudos e alternativas para implantação de “lares de reprodução” artificiais;
- ✓ Técnicas de repulsão e indução de peixes com acústica, elétrica e elementos físicos;
- ✓ Determinação da vazão ambiental mínima necessária à jusante dos aproveitamentos visando os peixes. Extremamente importante nos pequenos barramentos, principalmente nas PCH's com “layout” tipo “Ferradura” com casa de força isolada;
- ✓ Estudos sobre a implantação de STP's nos barramentos existentes;
- ✓ Estudos com a transposição de peixes nos dois sentidos com bombas;
- ✓ Análise de benefícios e impactos advindos da implantação de STP's;
- ✓ Análise da implantação de STP's no contexto da macrobacia ou microbacias integradas;
- ✓ Sistemas para a Transposição de Peixes para uso simultâneo em Eclusa para Embarcações;
- ✓ Criadouros artificiais nas margens do reservatório ou afluentes;
- ✓ Redução de áreas pontuais anóxicas nos reservatórios;
- ✓ Capacidade natatória dos peixes neotropicais continentais desenvolvida com animais em laboratório;
- ✓ Determinação de defensos, fiscalização apropriados aos peixes neotropicais, baseados em inventários regionais (ver Figura 75).

Na UHE Lajeado, rio Tocantins, o monitoramento do STP prevê o estudo de passagem de ovas, larvas, alevinos e peixes na descensão, utilizando grades corta fluxo de peixes, conforme Figura 66. Notar a improvisação de uma tela superior para evitar a passagem de peixes saltando, principalmente os curimatás e as branquinhas.

Figura 66: Tela corta fluxo dos peixes e monitoramento no STP da UHE Lajeado.

Fonte: UNITINS.

Figura 67: Estudos de Similitude na FCTH.

Fonte: MARTINS-FCTH.

Figura 68: Estudos com monitoramento na UHE Itaipu.

Fonte: ITAIPU.

Figura 69: Monitoramento na UHE Porto Primavera, massa de gônadas.

Fonte: CESP.

Figura 70: Estudos de monitoramento do STP na UHE Igarapava.

Fonte: CMTP.

Figura 71: Marcação de um dourado e retirada de um Jaú do Elevador, UHE Funil, rio Grande, MG.

Fonte: UHE FUNIL.

Figura 72: Macrófita *Eichornia azurea* e *Eichornia crassipes*.

Fonte: NUPÉLIA.

Figura 73: Coleta de peixes: Espinhel, Peneirão, Pesca Elétrica, Rede de Espera, Rede de Arrasto, Tarrafa.

Fonte: NUPÉLIA, MARTINS.

Figura 74: Coleta de ovas e larvas e noturna com rede de plâncton.

Fonte: Nupélia.

Figura 75: Fiscalização.