

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

LEVANTAMENTO DA VELOCIDADE PROLONGADA
DE PEIXES – UM ESTUDO DE CASO COM O MANDI
(*PIMELODUS MACULATUS*)

Giuseppe Campos Vicentini

Belo Horizonte

2006

**Levantamento da Velocidade Prolongada
de Peixes – Um Estudo de Caso com o Mandi
(*Pimelodus maculatus*)**

Giuseppe Campos Vicentini

Giuseppe Campos Vicentini

**Levantamento da Velocidade Prolongada
de Peixes – Um Estudo de Caso com o Mandi
(*Pimelodus maculatus*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Sistemas Hidroenergéticos

Orientador: Carlos Barreira Martinez

Co-orientador: Paulo dos Santos Pompeu

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2006



FOLHA DE APROVAÇÃO

Levantamento da Velocidade Prolongada de Peixes –
Um Estudo de Caso com o Mandi (Pimelodus Maculatus)

GIUSEPPE CAMPOS VICENTINI

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. CARLOS BARREIRA MARTINEZ

Prof. PAULO DOS SANTOS POMPEU

Prof. ALEXANDRE DE LIMA GODINHO

Prof. MARCELO GIULIAN MARQUES

Profª MÁRCIA MARIA LARA PINTO COELHO

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Profª. Mônica Maria Diniz Leão
Coordenadora

Prof. Carlos Barreira Martinez
Orientador

Belo Horizonte, 07 de novembro de 2005.

AGRADECIMENTOS

Fruto da colaboração de diversas pessoas o presente trabalho só se tornou possível com um intenso trabalho em equipe. Agradeço primeiramente ao Prof. Carlos Barreira Martinez por sua lealdade, profissionalismo, companheirismo e profundo compromisso com os ideais abraçados; Mestre, seu exemplo está em nossos corações. Agradeço também à Sra. Edna Martinez, esposa do Prof. Martinez, cujo apoio foi decisivo no momento inicial, e continuou sendo daí por diante.

Agradeço aos meus pais, Antônio Vicentini (*In Memoriam*) e Elizabeth Vicentini, que foram meus primeiros e eternos mestres, e mesmo na ausência de meu pai, fez-se presente duplamente o incondicional apoio e amor de minha mãe. Obrigado meu irmão Giovanni, sempre trocando idéias sobre o trabalho. Obrigado à Avó Célia, e Tia Rita pelas orações.

Sou eternamente grato a Sharon, minha noiva, que além de sua companhia vital, emprestou-me sua inteligência e disposição, executando testes comigo, mesmo nos seus dias de folga.

Agradecerei sempre à Hersília, sem cuja doação e profissionalismo este trabalho não estaria sendo lido neste momento. Aos bolsistas de iniciação científica, Livia, Paula, César, Bruno e Luiz Felipe que tanto me ajudaram em todos os momentos, seja nos testes, seja nos ensaios. Vocês serão nossos mestres em breve! À Edna, companheira, amiga e mestra em todo momento. À amiga Viviane, sopro de temperança e luz de técnica, sempre pronta a ajudar.

Sinceros agradecimentos aos Biólogos Paulo Pompeu, Carlos Bernardo Mascarenhas, Luis Gustavo, Volney Vono e aos Profs. Alexandre Godinho e Hugo Godinho. À Gisele, secretária do Centro de Transposição de Peixes. Agradeço também aos amigos do CPH, cujo auxílio foi sempre decisivo, entre os quais: Iara, Cristiane, Betânia, Torinha, Flavinha, Robinson, Everton, Saulo, Daniel, Paulo Henrique, Vicente, Geraldo, Enoe e Prof. Amarante.

Obrigado à COPASA pelo apoio nos momentos finais, na pessoa dos Engenheiros Mário Roizenbruch e Carlos Leite, e meus colegas da DVEE, os Engenheiros Gisele, Tessa, Tatyana, Alberto, José Torres, Geraldo, Neuma, Eliane, Neire, Vanessa, Danielle e Rita. Sem esquecer das secretárias Wilma e Adelaide. Agradeço também à FUNBIO e CEMIG pelo financiamento da pesquisa. Agradeço enfim, respeitosamente, a todos os mandis testados, e ao seu Lar-Mãe, o velho Rio São Francisco, bem como seus filhos pescadores: Sr. Norberto e Sra. Rosilene. A Deus, enfim, por tudo isso e muito mais, ontem, hoje e sempre.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um exemplo de levantamento de capacidade natatória de peixes neotropicais, realizado através de um estudo de caso com o mandi (*Pimelodus maculatus*, Lacepède, 1803) para o qual foram realizados dois tipos de testes de capacidade natatória. Os ensaios de velocidade prolongada (velocidade fixa) e prolongada crítica (velocidade variável, Brett 1964) permitirão o incremento constante do conhecimento das características de nado de nossa ictiofauna, visando a contínua melhoria dos parâmetros construtivos dos Mecanismos de Transposição de peixes implantados ou a implantar.

Para o desenvolvimento desse trabalho utilizou-se um aparato experimental constituído basicamente por um túnel hidrodinâmico horizontal, operado pela ação de duas bombas centrífugas, no interior do qual o peixe era introduzido e confinado numa seção de teste feita em acrílico. Foram realizadas adaptações neste aparato, visando melhoria da medição de vazão, do controle do funcionamento hidráulico e da variação térmica. Assim, para obtenção de uma curva de velocidades que pudesse ser comparada com as dos peixes de clima temperado, foram realizados testes de determinação das velocidades prolongada e prolongada crítica do *Pimelodus maculatus*, espécie de peixe abundante nos rios do sudeste brasileiro.

As velocidades levantadas foram obtidas por meio de medições indiretas, isto é, da aferição da velocidade do escoamento no qual o peixe nadava, tendo sido utilizado um medidor de vazão do tipo eletromagnético. O procedimento de teste de velocidade prolongada crítica consiste na aceleração contínua e periódica do escoamento até que o peixe entre em fadiga, verificando-se a velocidade máxima resistida pelo mesmo. O teste de velocidade prolongada consta de uma fase de adaptação ao fluxo, levando a velocidade até o patamar desejado. Desse ponto em diante anotava-se o tempo de fadiga, até o limite de 200 minutos àquela velocidade.

Durante os ensaios sempre foi prática constante analisar o comportamento do exemplar no aparato e levantar características físicas do mesmo, bem como as do meio (temperatura, OD, pH e pressão). De posse desses resultados foram feitas regressões múltiplas para verificar as relações das variáveis envolvidas no processo, traçando em seguida a curva de velocidades. Posteriormente confrontou-se tais relações com as encontradas na bibliografia pesquisada, objetivando a comparação das curvas.

ABSTRACT

This Work shows an experimental investigation upon the swimming velocities for neotropical fish, with emphasis to the brazilian catfish mandi (*Pimelodus maculatus*, Lacepède, 1803). With this fish were made two kinds of tests. The tests made with fixed velocities and the critical velocity tests will allow a powerful increase in the knowledge about our fish swimming capacity, and therefore will be possible the continuous improvement of fish passes constructive parameters, now and in the future.

In order to study the swimming capability an experiment apparatus was developed in Centro de Pesquisas Hidráulicas da UFMG. It is a water tunnel where fish is forced to swim against current water that is generated by a pump. For visualization, a fish is confined by screens in a test section, which is made of acrylic. Improvements were made in this apparatus in order to allow a better thermic and hydraulic control of the operation. Then, in order to obtain a graphic diagram which can be compared with that of the cold weather fish, were made tests for determination of the prolonged and critical velocities of the *Pimelodus maculatus*.

The prolonged swimming speeds are measured by taking the time of swimming for a fixed velocity. Before the test is necessary to make an adaptation session in which the fish is forced to swim in a flow with increasing velocity. If the time of swimming in fixed velocity takes over 200 minutes, this velocity is considered sustained and we stop the process. Critical swimming speed, maintained for Δt minutes, is determined increasing the flow of water with a change of the pump rotation every Δt minutes until the fish is fatigued. During this test, all fish developed the burst speed, which was determined by filming. The first fish chosen to be tested was *Pimelodus maculatus*, one of the most common fish in Brazilian rivers.

During the tests the fish behavior and characteristics, such as weight and length, were observed and the water characteristics (temperature, dissolve oxygen, pH) were also determined. The results allowed the analysis of the relation between the measured variables by multiple regressions. Then, this relation was compared with the results found in researched biographies. Finally, to validate the methodology, the measured uncertainties and the velocity profile were verified.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS.....	IX
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO	9
1.2 JUSTIFICATIVA.....	9
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 OBJETIVO GERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REVISÃO DA LITERATURA	12
3.1 HISTÓRICO DOS ESTUDOS PRECEDENTES, DEFINIÇÕES	12
3.1.1 <i>Locomoção de Seres Vivos Através de Fluidos</i>	12
3.1.2 <i>Os Tipos de Velocidades de Peixes</i>	13
3.2 DETERMINAÇÃO DE VELOCIDADES NATATÓRIAS	15
3.2.1 <i>Os Processos de Determinação de Velocidades Natatórias</i>	15
3.2.2 <i>Determinação de Velocidades Natatórias na Natureza</i>	16
3.2.3 <i>Determinação de Velocidades Natatórias em Laboratório</i>	17
3.3 OS APARATOS UTILIZADOS NO CENTRO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E RECURSOS HÍDRICOS DA UFMG	25
3.4 PEIXES MIGRADORES DOS RIOS BRASILEIROS	26
3.5 O MANDI AMARELO (PIMELODUS MACULATUS).....	33
4 METODOLOGIA E EXPERIMENTOS	35
4.1 APARATO UTILIZADO PARA OS TESTES.....	35
4.1.1 <i>Variação e medição de vazão</i>	39
4.1.2 <i>Sistema de aquecimento</i>	41
4.2 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	42
4.2.1 <i>Captura e transporte dos peixes</i>	42
4.2.2 <i>Manutenção em laboratório</i>	44
4.2.3 <i>Preparação para os ensaios</i>	46
4.2.4 <i>Etapas dos ensaios</i>	47
4.2.5 <i>Retorno do indivíduo aos tanques de manutenção</i>	50
5 RESULTADOS	51
5.1 A OPÇÃO DE SE TRABALHAR COM O PIMELODUS MACULATUS.....	52
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	52
5.3 RESULTADOS DOS TESTES DE VELOCIDADE PROLONGADA CRÍTICA	55
5.4 RESULTADOS DOS TESTES DE VELOCIDADE PROLONGADA.....	68
5.5 TRATAMENTO DOS DADOS	74
5.6 ANÁLISE DOS DADOS.....	75
5.7 QUALIDADE DA ÁGUA.....	76
6 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E COMENTÁRIOS FINAIS	79
6.1 CONCLUSÃO.....	79
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
8 ANEXOS.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
8.1 ANEXO 1: PLANILHAS DE TESTES.....	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
8.2 ANEXO 2: ARTIGOS PUBLICADOS DURANTE O TRABALHO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CPH- Centro de Pesquisas Hidráulicas e de Recursos Hídricos da UFMG

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

COPASA-Companhia de Saneamento de Minas Gerais.

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

MTP – Mecanismo de transposição de peixes

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UHE – Usina Hidrolétrica

a- aceleração de um corpo (m/s^2)

A- arrasto (N)

A_c- área da nadadeira caudal (m^2)

A_{iparalelo}- arrasto induzido causado pelos vórtices paralelo a direção de deslocamento do peixe

A_r- área transversal de um determinado objeto (m^2)

A_o- área transversal do peixe (m^2)

b- comprimento da envergadura (m)

C_a – coeficiente de arrasto

C_f – coeficiente de arrasto de fricção

C_i – coeficiente de impulso

Comp- comprimento padrão do peixe (m ou mm)

Comt- comprimento total do peixe (m ou mm)

dist- distância percorrida pelo peixe dentro da seção de teste nas filmagens de explosão (m)

D-diâmetro interno da seção de teste

e-espessura de um objeto (m)

E- empuxo

f- frequência de batimento da cauda do peixe (Hz)

F_{cond}- Fator de condição (kg/m^3)

F_{sust} – Força de sustentação (N)

g- gravidade (m/s^2)

h_m- altura máxima (m)

I_{força}- força de impulso (N)

l- comprimento de um objeto (m)

l_m- largura máxima (m)

m-massa de um corpo qualquer

M_p - massa do peixe (kg)
 OD – Oxigênio dissolvido na água
 $Peso$ -peso do peixe (kg)
 PH - potencial de íons de hidrogênio
 Q - vazão(m^3/s)
 R - coeficiente de correlação
 R^2 – coeficiente de determinação múltipla
 Re - número de Reynolds
 s -desvio padrão
 S - área da superfície de um objeto (m^2 ou mm^2)
 t_f – tempo dentro do intervalo que o peixe nadou (min ou s)
 $Temp$ - temperatura ($^{\circ}C$)
 U - velocidade média (m/s)
 $U_{\text{água}}$ - Velocidade da água (m/s)
 U_c - velocidade corrigida do escoamento levando em consideração o efeito de impedimento sólido (m/s)
 U_s - velocidade do escoamento sem o peixe (ou objeto) na seção (m/s)
 V_{cr} - velocidade de cruzeiro (m/s)
 V_{crit} - Velocidade crítica (m/s)
 V_d - Volume de fluido deslocado por um objeto (m^3)
 V_{max} - Velocidade máxima desenvolvida por um peixe (m/s)
 ΔU - incremento da velocidade (m/s)
 Δx - descolamento de um partícula no fluido(mm)
 ε -coeficiente de eficiência
 ε_s -correção devido o efeito de impedimento sólido
 η -eficiência
 μ – viscosidade dinâmica do fluido (Kg/ms)
 ρ - massa específica da água (kg/m^3)
 ρ_f - massa específica de um fluido qualquer (kg/m^3)
 ρ_p - densidade peixe (kg/m^3)
 τ – fator adimensional de forma da seção transversal
 ϕ_{int} – diâmetro interno
 χ -fator de forma para um objeto submerso em um escoamento

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1- Escadas tipo ranhura vertical de Barkhamsted (EUA) e Igarapava (Brasil).....	5
FIGURA 1.2- Esquemas de escadas tipo piscinas com vertedores e tipo ranhuras laterais.....	5
FIGURA 1.3- Esquemas e foto de escadas tipo Denil, dois diagramas.....	6
FIGURA 1.4- Eclusa para peixes (esquema-USACE-2001) e em Porto Estrela (SP).....	7
FIGURA 1.5- Elevador para peixes e elevador com caminhão tanque.....	8
FIGURA 1.6- <i>Pimelodus maculatus</i> , Lacepède, 1803 (fonte: IBAMA).....	9
FIGURA 3.1- Vórtices gerados por objetos estáticos(Sfakiotakis, Lane e Davies, 1999).....	13
FIGURA 3.2- Gráfico indicando as velocidades (Santos, 2004; Beamish,1978.).....	15
FIGURA 3.3- Canal circular giratório (adaptado de Baidridge e Brown, 1957).....	18
FIGURA 3.4- Canal circular giratório detalhe (Baidridge e Brown, 1957).....	19
FIGURA 3.5- Câmara desenvolvida por Bishai em1960.....	20
FIGURA 3.6- Câmara desenvolvida por Blazca, Volf e Cepala em 1960	21
FIGURA 3.7- Câmara desenvolvida por Thomas, Burrows e Chenoweth (1964).....	21
FIGURA 3.8- Aparato tipo câmara desenvolvido por Brett (1964).....	22
FIGURA 3.9- Ciclo de vida das principais espécies migradoras brasileiras.....	27
FIGURA 3.10- Espécies de peixes da ordem dos characiformes.....	28
FIGURA 3.11- Espécies de peixes da ordem dos siluriformes.....	29
FIGURA 3.12- <i>Pimelodus maculatus</i> , Lacepède, 1803 (fonte: pesca Brasil, 2004).....	33
FIGURA 4.1- Montagem para motorização do registro de jusante.....	36
FIGURA 4.2- Seção de testes do aparato de medição.....	37
FIGURA 4.3- Visão panorâmica do aparato de testes.....	37
FIGURA 4.4- Vista do aparato de testes de jusante para montante.....	38
FIGURA 4.5- Vista do retorno ao reservatório do aparato.....	38
FIGURA 4.6- Medidor eletromagnético de vazões e inversor de frequências.....	40
FIGURA 4.7- Vista do trecho final do aparato com montagens.....	40
FIGURA 4.8- Sistema elétrico de aquecimento de água do aparato.....	41
FIGURA 4.9- Aspecto da região do Rio São Francisco onde foram capturados peixes.....	43
FIGURA 4.10- Caixa de fibra de vidro para traslado de peixes.....	44
FIGURA 4.11- Aspecto dos reservatórios e filtros do sistema de manutenção.....	45
FIGURA 4.12- Aspecto do aquário de manutenção, de formato retangular.....	45
FIGURA 4.13- Aspecto dos tanques de tratamento e quarentena.....	46
FIGURA 4.14- Diagrama das dimensões corporais relevantes no mandi.....	49

FIGURA 5.1- Histograma do número de peixes testados por faixa de tamanho.....	54
FIGURA 5.2- Velocidade crítica em função do comprimento total.....	55
FIGURA 5.3- Reynolds em função do comprimento total dos indivíduos.....	58
FIGURA 5.4- Velocidade crítica em função do fator de condição dos indivíduos.....	59
FIGURA 5.5- Logaritmo da velocidade crítica em função do comprimento total.....	60
FIGURA 5.6- Velocidade crítica em função do fator de condição	60
FIGURA 5.7- Velocidade crítica em função do fator de condição (1).....	61
FIGURA 5.8- Velocidade crítica em função do fator de condição (2).....	63
FIGURA 5.9- Froude em função do comprimento total	63
FIGURA 5.10- Histograma do número de peixes testados por faixa de tamanho.....	64
FIGURA 5.11- Gráfico da velocidade adimensionalizada em função do tempo de fadiga.....	64
FIGURA 5.12- Regressão exponencial da velocidade em função do tempo de fadiga.....	65
FIGURA 5.13- regressão linear da velocidade em função do tempo de fadiga.....	65
FIGURA 5.14- Regressão exponencial da velocidade em função do tempo de fadiga	66
FIGURA 5.15- Comparativo de velocidades em função do tempo de fadiga.....	67

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Ordens e famílias das principais espécies de peixes encontradas no Brasil...	30
TABELA 3.2 – Tipos de reprodução em peixes tropicais de água doce.....	32
TABELA 4.1 – Calibração sistema de aquecimento com volume de 278L	41
TABELA 4.2 – Calibração sistema de aquecimento com volume de 5000L.....	42
TABELA 5.1 – Exemplo de teste de velocidade crítica.....	65
TABELA 5.2 – Coleta de vazões relacionada ao teste da tab.5.1.....	66
TABELA 5.3 – Quadro resumo dos resultados dos testes de velocidade crítica.....	67
TABELA 5.4 – Exemplo de teste de velocidade prolongada.....	73
TABELA 5.5 – Quadro resumo dos resultados dos testes de velocidade prolongada.....	74
TABELA 5.6 – Dados de qualidade de água para os ensaios com temperatura controlada....	77
TABELA 5.7 – Dados de qualidade de água para os ensaios com temperatura média de 24 e 27°C 32.....	80

1 INTRODUÇÃO

No meio técnico-científico contemporâneo estão em franca discussão problemas advindos da construção de barragens. Dentre as mais severas influências do ponto de vista ambiental e sócio-econômico destaca-se a interrupção do deslocamento das espécies migradoras de peixes, quando da implantação dos barramentos. A procura de soluções que objetivam minimizar os impactos sobre o meio ambiente é antiga e se tem notícias de artefatos construídos a quase um século no Brasil. Entretanto a construção de tais artefatos, destinados a transposição de peixes se baseou quase que exclusivamente em dados empíricos. Vários estudos cientificamente estruturados vem se desenvolvendo desde o início do século XX (Clay,1995), visando prover soluções efetivas, baseadas no conhecimento das variáveis biológicas e hidráulicas envolvidas no problema (fatores bióticos e abióticos). Como fruto das pesquisas desenvolvidas em países do hemisfério norte – surgiram projetos, modelos e protótipos adequados às características da ictiofauna dessas regiões. Conhecidos como, mecanismos de transposição de peixes (MTP), tais estruturas passaram a ter implantação exigida nos principais barramentos em rios de diversos países. Suas variantes principais são as escadas, os elevadores e as eclusas para peixes.

No mundo, o MTP mais antigo de que se tem registros foi uma escada construída em 1640 em Berna (Suíça) cobrindo o desnível de 2 metros entre os reservatórios de montante e jusante (Godoy, 1985). Em 1789 na França foi construída a primeira escada para peixes no rio Sioule, em Pont Gibaud, onde foi observada a transposição de aproximadamente 1.200 salmões neste ano (Godoy, 1985). Em 1879 na Virgínia (Estados Unidos) Marshal MacDonald desenvolveu uma escada para peixes com defletores internos inovadores e declividade 1:3 no fundo do canal. Esta concepção foi abandonada devido à complexidade construtiva (Martins, 2000). No ano de 1880 foi executada no rio Sire (Noruega) uma escada para peixes em madeira com 285 metros de comprimento, visando superar um desnível de 27,2 metros de altura em um salto natural naquele rio (Godoy, 1985). Em 1890, ainda na Noruega, A. Landmark desenvolveu um novo modelo de escada para peixes com ranhuras verticais com degraus inclinados em relação ao canal, formando aberturas laterais e um jato (Martins, 2000). A escada do tipo Denil foi desenvolvida na Bélgica entre 1909 e 1938 pelo Engenheiro Denil, tendo sido muito utilizada em países como Suíça, França e Bélgica, especialmente na primeira metade do século XX (Larinier, 1998). Em 1924 foi testado um elevador para peixes no rio White Salmon (Estados Unidos). Em 1926 foi construída a eclusa para peixes no rio Umpgua

(Oregon – Estados Unidos). Na antiga União Soviética foi construída a primeira escada com degraus-tanque em 1926, no rio Volkhov, embora apenas a escada construída em 1936 no rio Tulona tenha alcançado pleno êxito, com declividade 1:25, comprimento de 513 metros e altura de 20 metros (Godoy, 1985). No Canadá a primeira escada do tipo ranhura vertical foi executada entre 1945 e 1946, no rio Fraser em Hell's Gate (Clay, 1995). Em 1935 foram construídas as três primeiras escadas para peixes da Argentina, no rio Carcaraña (afluente do rio Paraná).

No Brasil, o primeiro MTP de que se tem notícia foi uma escada para peixes edificada na barragem de Salto Grande, no rio Atibaia (SP) em 1906 (Martins, 2000). Em 1911 foi construída uma escada para peixes em degraus, vencendo desnível de 7 metros no rio Pardo, na barragem de Itaipava, Santa Rosa de Viterbo – SP (Godoy, 1985). No mesmo ano foi construída uma escada do mesmo tipo em Guará – SP, na barragem de 8 metros de altura denominada São Joaquim, no rio Sapucaí (Martins, 2000). Em seguida foram erguidos mecanismos de transposição do tipo escada com degraus em Gavião Peixoto, SP (1913) com 8 metros de desnível; Cachoeira de Emas, SP (1922) com 3 metros; Iperó-Tatuí, SP (Fazenda Cachoeira, 1943) com 6 metros; Monte Alegre, PR (Salto Mauá, 1944) também com 6 metros de desnível (Godoy, 1985). Seguiu-se então a disseminação de estruturas deste tipo pelos açudes públicos do nordeste brasileiro, com a construção de 23 mecanismos de transposição entre os anos de 1957 e 1980, cujo funcionamento é considerado satisfatório (Godoy, 1985). Com o aprimoramento da técnica de construção as intervenções desta natureza começaram a ser aplicadas a desníveis maiores, como em Piraju – SP, no rio Paranapanema, onde foi erguida uma escada para peixes com desnível de 16 metros no ano de 1971, ou em Salto Moraes – MG, no rio Tijuco, onde se localiza uma escada de 10,5 metros de desnível, construída em 1972 (Godoy, 1985). Em 1992 foi construído o MTP da usina de Itaipu, no Paraná, com 27,3 metros de desnível (Martins, 2000). Em 1999 foi edificada a escada para peixes do tipo ranhura vertical na UHE Igarapava, no rio Grande entre MG e SP, vencendo desnível de 17 metros (CEMIG, 1998), apresentada na Figura 1.1. Em 2003 foram construídos dois MTP do tipo elevador para peixes: o da UHE Funil, no rio Grande entre Perdões e Lavras em Minas Gerais; e o da UHE Santa Clara, no rio Mucuri em Nanuque – MG (elevador com caminhão tanque, ilustrado na Figura 1.5).

Nas décadas de 1930 e 1940 a legislação brasileira mostra suas primeiras referências à conservação das populações de peixes dos rios onde houvessem intervenções e determina que

seja garantida a livre passagem aos peixes em migração, embora não determine práticas a adotar ou sanções a infratores, como previsto no Código das águas de 1934 (Decreto nº 24643 de 10 de julho de 1934). Em seguida veio o código de pesca, de 1938 (Decreto-lei nº 794, de 19 de outubro de 1938) que regulamenta que qualquer represa construída em rios, ribeirões ou córregos deve possuir obras destinadas à conservação da fauna fluvial, quer facilitando a passagem de peixes, quer instalando estações de piscicultura.

Na década de 60 destacam-se duas leis: a Lei Delegada nº 10 de outubro de 1962 que cria, com a finalidade de aplicar o Código da Pesca, a Superintendência de Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE) e o Decreto-lei nº 221 de 28 de fevereiro de 1967 que dispõe sobre a proteção e o estímulo à pesca e obriga os proprietários ou concessionários de represas em cursos d'água a tomar medidas mitigadoras de possíveis danos à fauna desses corpos d'água.

Na década de 70 surgiu a Portaria N-0001/77 de 04 de janeiro de 1977 que regulamenta o seguinte: “As barragens que implicarem na alteração de cursos d'água serão construídas com a observância das medidas de proteção à fauna aquática indicadas pela SUDEPE”.

No passado mais recente a preocupação com os impactos da construção de barragens levou alguns estados, como Pará (1995), Minas Gerais (1997), São Paulo (1997) e Espírito Santo (1999), a promulgarem leis estaduais tornando obrigatório o estudo sobre a necessidade de implantação dessas estruturas. No estado do Pará promulgou-se a Lei nº 5.886, de 05 de abril de 1995, que obriga a construção de escadas de peixes em barramentos construídos no estado. Em Minas Gerais foi elaborada e promulgada a Lei nº 12.488, de 09 de abril de 1997, a qual determina a construção de mecanismos de transposição de peixes em todas as barragens executadas após a promulgação, bem como obriga a realização de estudos de avaliação da necessidade de implantação de MTP para os barramentos anteriores à lei. No estado de São Paulo foi promulgada a Lei 9.798, de 07 de agosto de 1997, obrigando a construção de mecanismos de transposição de peixes em barragens edificadas em cursos d'água sob domínio daquela unidade da federação, sejam os barramentos erguidos antes ou depois da entrada em vigor desta lei. O estado do Espírito Santo aprovou o Decreto Normativo 4.489-N, de 15 de julho de 1999, regulamentando a implantação de MTP naquele estado.

Na prática os projetos implantados nesses estados, basearam-se em dados construtivos de países de clima temperado como Canadá e Estados Unidos. Dentre esses aspectos encontra-se um importante parâmetro para dimensionamento: a velocidade da água no mecanismo. Tal

parâmetro está diretamente relacionado com as velocidades desenvolvidas pelos peixes migradores no local de estudo. Para as espécies migradoras de rios brasileiros, suspeita-se que as velocidades sejam maiores que as apresentadas por espécies de países com clima temperado. No entanto, em virtude da grande diversidade de espécies migradoras, que apresentam características natatórias diversas, é possível que a eficiência das estruturas aqui implantadas tenha ficado bastante comprometida. Devido a esse fato considera-se importante e necessário o desenvolvimento de pesquisas sobre as capacidades natatórias de nossa ictiofauna. Essas pesquisas irão fornecer dados para que os projetos de MTP sejam adaptados à realidade brasileira, podendo resultar em uma maior eficiência com economia em gastos de construção.

Os mecanismos de transposição de peixes mais difundidos e mais conhecidos do público leigo são as escadas para peixes (*ing*, fish ladders). Tais estruturas são compostas por um canal hidráulico, geralmente de concreto, dentro do qual se constroem anteparos que podem ter diversas configurações. Estes anteparos tem a função de promover a dissipação de energia no escoamento. Na região de entrada desse canal instala-se um dispositivo capaz de criar um fluxo na direção do escoamento principal do rio. Esse fluxo tem a finalidade de atrair os peixes, estimulando-os a encontrar a entrada da escada. Este dispositivo se denomina sistema de atração, e o fluxo que emite é chamado “água de atração”. De acordo com Magalhães (2004) existe uma possibilidade de se utilizar a água de atração para geração de energia.

Os principais tipos de anteparos existentes dão origem a escadas com piscinas e escadas do tipo Denil. As construções com piscinas caracterizam-se por apresentar anteparos que dividem o escoamento em zonas distintas de velocidades. Nessas zonas existem áreas com fluxo em baixa velocidade e regiões de recirculação. Estas características possibilitam aos peixes a passagem em etapas, alternando esforço e repouso. Tais peculiaridades tem sido objeto de estudos detalhados, com mapeamento dos campos de velocidades em diferentes escalas como realizado por Viana (2005). As escadas com piscinas podem ser sub-classificadas em três tipos: escadas de ranhura vertical, de anteparos com orifícios ou de piscinas com vertedores. As Figuras 1.1 e 1.2 mostram o aspecto de escadas do tipo ranhura vertical em Barkhamsted (Estados Unidos) e Igarapava (Brasil), evidenciando as semelhanças existentes na forma e posicionamento da passagem disponível para o fluxo principal, bem como nas dimensões das piscinas, que influenciam os padrões de escoamento e a dissipação de energia obtidos.



Figura 1.1 – Pela ordem, as escadas tipo ranhura vertical de Barkhamsted (EUA) e Igarapava (Brasil); fontes - Barkhamsted Organization (EUA),2003 e Funbio-CEMIG (Brasil),2003

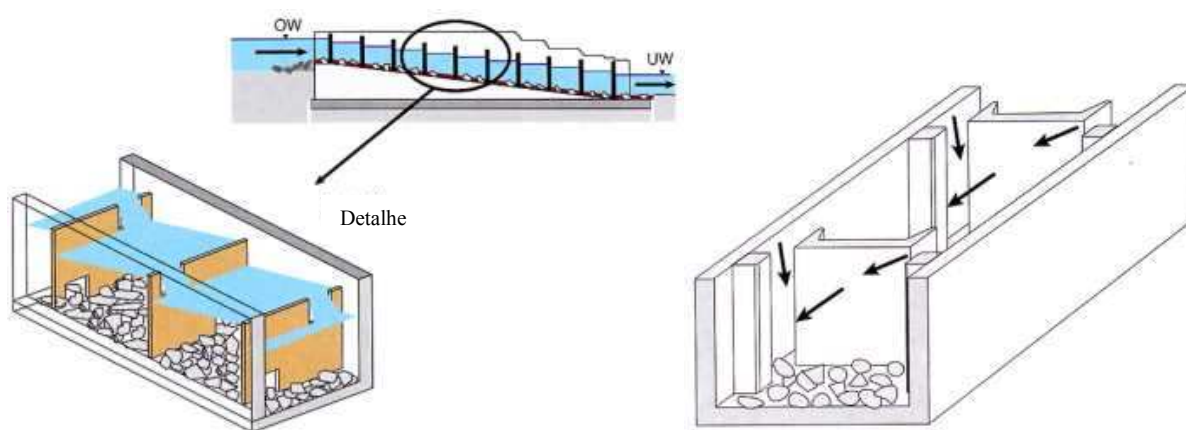


Figura 1.2 – escadas tipo piscinas com vertedores (esquerda) e tipo ranhuras laterais, com obstáculo dissipador central. (fonte: Wasserwirtschaftsamt Bayreuth - Geschäftsbereich des Bayer), Alemanha, 2004

As escadas do tipo Denil devem seu nome ao projetista que primeiro as concebeu, o engenheiro francês Denil. São caracterizadas por anteparos dotados de grandes orifícios centrais, dispostos obliquamente em relação ao fundo do canal, proporcionando uma dissipação eficiente de energia mediante a formação de fluxos helicoidais induzidos no fluido em movimento (Larinier, 2002). O aspecto de uma escada do tipo Denil está apresentado na Figura 1.3.

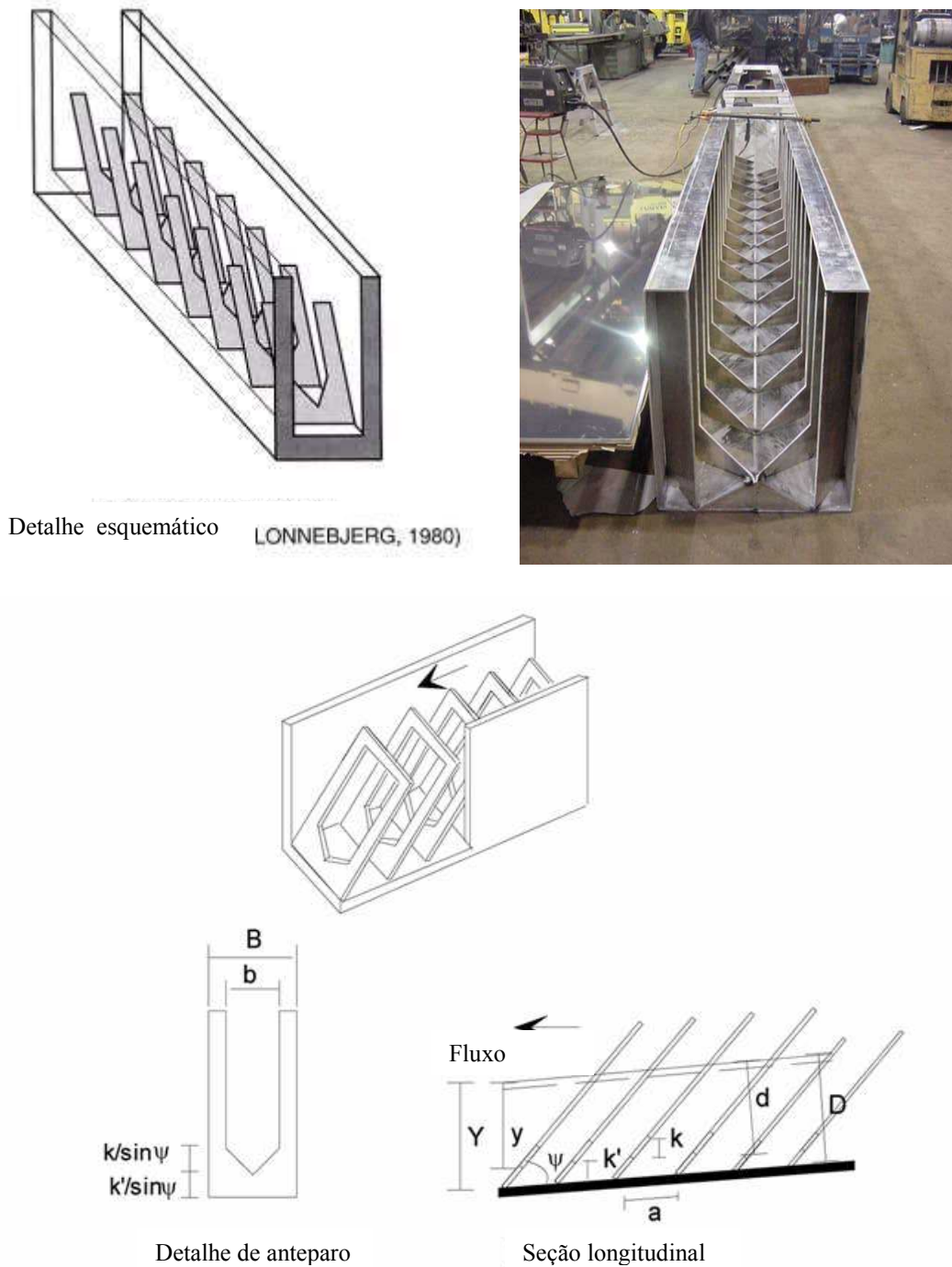


Figura 1.3 -escadas tipo Denil, dois diagramas(fonte: Wasserwirtschaftsamt Bayreuth,2004)

As eclusas para peixes assemelham-se às eclusas encontradas em hidrovias, aplicáveis à navegação. A diferença entre elas está relacionada às dimensões apropriadas aos deslocamento dos peixes, bem como os fluxos de atração e orientação para os peixes no mecanismo. Esses MTP, a despeito do elevado custo de operação e manutenção, se mostram muito versáteis no que tange à utilização tanto para transposição jusante-montante, quanto no sentido inverso. As eclusas se mostram economicamente viáveis e mais interessantes para alturas de barragem com desníveis entre 20 e 60 metros (Clay, 1995). Na prática não é usual a aplicação de eclusas à transposição de peixes em barragens com desníveis superiores a 40 metros (Pavlov, 1989) Podemos ver o aspecto de uma eclusa para peixes na Figura 1.4.

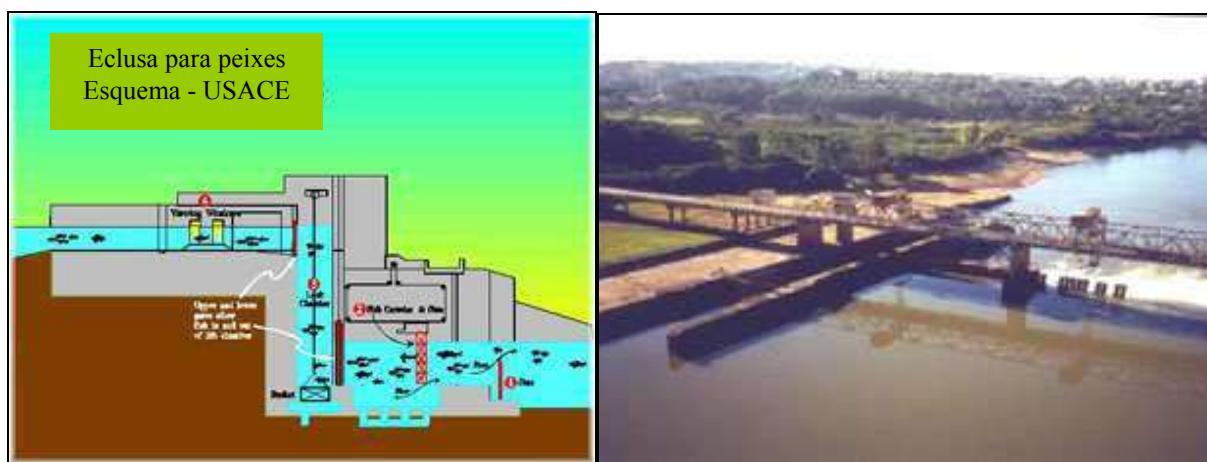


Figura 1.4- eclusa para peixes (esquema-USACE-2001) e no Porto de Estrela – (CODESP-2000)

Os elevadores para peixes são constituídos por um compartimento metálico, içado por cabos desde a parte de jusante até a face de montante da barragem. Esse compartimento é localizado próximo ao fluxo de atração. Em alguns casos pode existir uma pequena escada para peixes para aproximação. Após a elevação os peixes são conduzidos a um canal ou calha que os conduz ao reservatório (Travade e Larinier, 2002). Alternativamente pode ser implantado o sistema com caminhão-tanque, onde este executa a parte final da transposição, a partir de um elevador de dimensões mais reduzidas (Pompeu & Martinez, 2003). Pompeu (2005), apresentou uma proposta de regra operativa para este sistema. A aplicabilidade de MTP do tipo elevador ou elevador com caminhão-tanque se dá em barragens com altura superior a 60 metros. Para tais alturas sua viabilidade econômica é comprovada, mostrando ser a solução mais interessante em detrimento das escadas e eclusas. A Figura 1.5 apresenta o aspecto de um elevador para peixes e um elevador com caminhão-tanque.

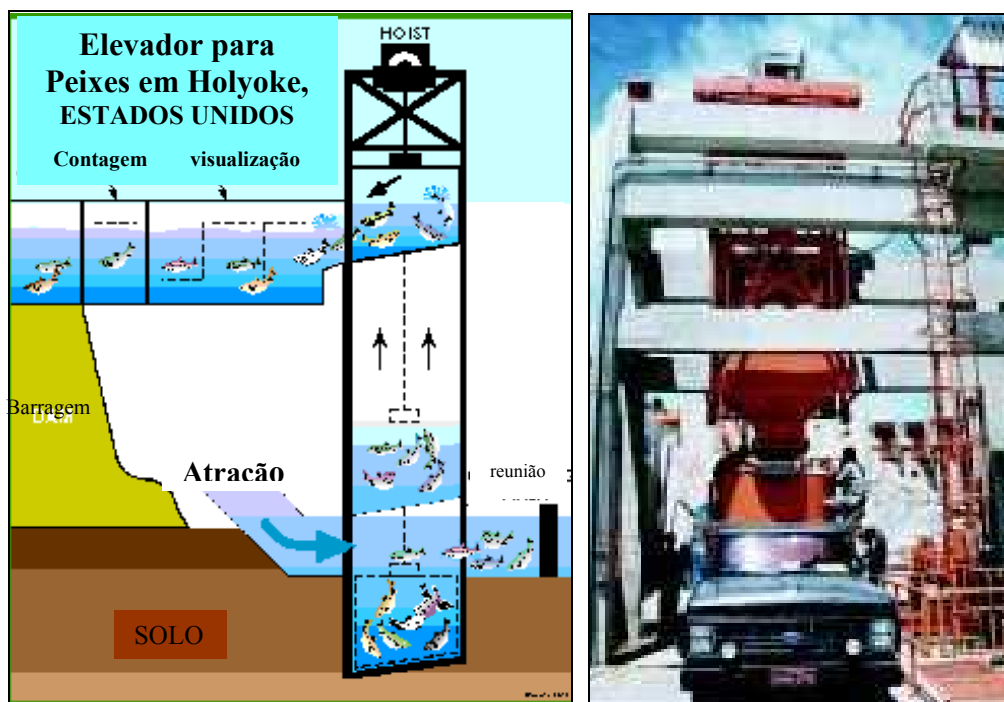


Figura 1.5 - elevador para peixes (fonte: USACE - 2001) e elevador com caminhão tanque na UHE Santa Clara, em Nanuque – MG, Brasil (Pompeu, 2005)

O trabalho de levantamento de capacidade natatória das espécies brasileiras foi iniciado por Santos (2004) cujo objetivo foi adaptar uma metodologia de medição de velocidades definida primeiramente por Brett (1964) adequando os testes de velocidade prolongada crítica (com incrementos regulares de velocidade) para aplicação ao mandi. Como fruto deste trabalho foram obtidos os primeiros dados de capacidade de nado para o mandi. Como passo seguinte ficaram abertos os campos de estudo com esta metodologia, utilizando-a para realizar uma vasta gama de testes de velocidade prolongada crítica, bem como testes de velocidade prolongada (com velocidade fixa de nado) que são, ambas, objeto do presente trabalho. Tendo Santos (2004) colhido resultados com diferentes patamares de temperatura da água e observado uma tendência de máximo da velocidade de nado entre 26°C e 27°C, ficou aberta a possibilidade de realizar testes controlando a variação térmica, mantendo-a próxima do intervalo ótimo para desenvolvimento da capacidade natatória. Este é outro aspecto peculiar ao presente trabalho.

O conhecimento da capacidade natatória de peixes permitirá que os projetos de MTP sejam feitos de acordo com as características dos peixes a serem transpostos. Assim, considerando-se a diversidade das espécies neotropicais, a peculiaridade dos sistemas hidrográficos e o

benefício do conhecimento efetivo das interações dos fatores bióticos e abióticos nos MTP, justificam-se os esforços para a determinação das características biohidráulicas dos peixes brasileiros. Esse trabalho tem como meta a determinação da capacidade natatória de uma das espécies de peixes migradores brasileiros. Devido a sua abundância e importância no sudeste brasileiro escolheu-se o mandi (*Pimelodus maculatus*) como sendo o objeto desse estudo. A Figura 1.6 mostra um exemplar de mandi.

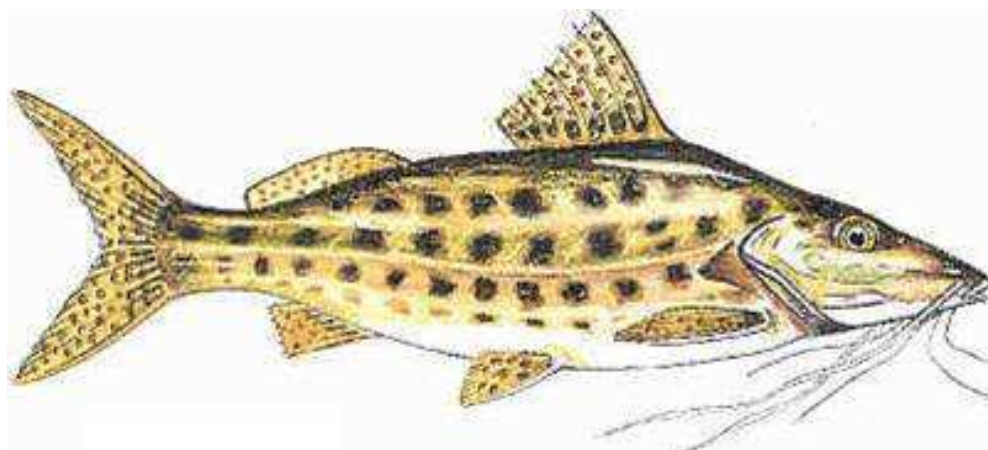


Figura 1.6 - *Pimelodus maculatus*, Lacepède, 1803 (fonte: IBAMA)

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se estruturado em Capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução ao trabalho. No segundo capítulo são apresentados os objetivos do trabalho. Apresentam-se no terceiro capítulo as bases conceituais da pesquisa e o arcabouço teórico necessário. No quarto capítulo descreve-se a metodologia, os equipamentos utilizados o manejo dos indivíduos e os procedimentos experimentais de forma detalhada. Apresentam-se no quinto capítulo os resultados obtidos, o tratamento e análise dos dados bem como o monitoramento das variáveis intervenientes. O último capítulo apresenta comentários finais e conclusões, assim como as recomendações para trabalhos futuros.

1.2 JUSTIFICATIVA

Minas Gerais foi o segundo estado da federação a ter uma legislação que regulamenta a construção dos MTP (Minas Gerais, 1997). Nesse contexto, vários modelos de MTP foram importados dos Estados Unidos, Canadá e Europa sem um estudo prévio para adaptações às

condições brasileiras. Junto a esses modelos vieram vários parâmetros construtivos, inclusive a velocidade média dos peixes (Santos, 2004).

O fato do Brasil estar situado em região tropical confere aos peixes brasileiros características bastante diferentes daqueles de países temperados, para os quais foram projetados os MTP que serviram de modelo para implantação no Brasil até hoje. O estudo das capacidades natatórias das espécies brasileiras de peixes permite uma reavaliação dos modelos tradicionais de mecanismo de transposição, principalmente no que diz respeito às escadas, essa reavaliação deve contemplar a questão da eficiência dos dispositivos e a possível economia nos custos de implantação e operação dos MTP.

O fato de o Brasil possuir rios com vazões elevadas pode ter selecionado espécies de peixes que possuam velocidade de nado elevadas (se comparadas às velocidades de peixes do hemisfério norte. Esse fato mostra a possibilidade de construção de escadas com inclinações superiores às utilizadas atualmente. Isso pode representar uma economia na implantação de tal tipo de estrutura. O estudo das capacidades natatórias das espécies brasileiras de peixes, em geral permitirá uma reavaliação dos modelos tradicionais de mecanismo de transposição.

O presente trabalho, irá se basear na metodologia desenvolvida por Santos (2004). Entretanto serão feitas avaliações inéditas para peixes brasileiros representadas por testes com velocidades fixas de escoamento da água (Brett, 1964), e com controle de temperatura.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Levantar as curvas de velocidade prolongada para *Pimelodus maculatus* visando a ampliação do conhecimento sobre as características de nado de peixes brasileiros e a conseqüente melhoria dos parâmetros utilizados para o projeto dos MTP.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que sejam levantadas as velocidades prolongadas do *Pimelodus maculatus* faz-se necessário:

- Reproduzir a metodologia de medição de capacidade natatória desenvolvida por Santos (2004), na qual os testes de capacidade natatória são feitos variando-se a velocidade do escoamento, levantando-se assim as velocidades prolongadas críticas para *Pimelodus maculatus* com controle de temperatura;
- Obter os valores de velocidade prolongada através de ensaios com velocidade do escoamento fixa.
- Compilar os dados de velocidade, levando em conta o tempo de nado e a variação de temperatura, para comparar os resultados obtidos com dados de literatura, levantados para outras espécies.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 HISTÓRICO DOS ESTUDOS PRECEDENTES, DEFINIÇÕES

3.1.1 Locomoção de Seres Vivos Através de Fluidos

A sobrevivência de grande parte dos seres vivos está ligada à sua capacidade de locomoção através do meio em que vive ou em até mais de um meio. O deslocamento eficiente possibilita perseguição a presas, fuga de predadores, mudança de ambientes menos favoráveis para outros mais propícios à vida, à alimentação ou à reprodução. Os peixes, vertebrados mais numerosos no ambiente aquático, podem apresentar diversas formas de locomoção: nado, salto, vôo, deslizamento ou arraste pelo solo (Lindsey, 1978). Dentre essas formas de movimentação destacaremos a capacidade de nado e os fatores intervenientes ao pleno êxito no seu desempenho.

Um corpo submerso em fluido em escoamento tem como resultante pelo menos duas forças: sustentação e arrasto. Além disso, forças como empuxo e peso também agem nesse corpo (Santos, 2004). A sustentação é a resultante entre forças atuantes em faces opostas do corpo em deslocamento, oriundas de diferentes pressões do fluido atuantes em cada superfície (princípio do aerofólio). A sustentação também pode ser fornecida pela reação da água sobre as nadadeiras quando empurrada para trás ou para baixo, formando um par “ação e reação”. O empuxo se opõe ao peso, sendo definido como a reação do volume de água deslocada pelo corpo do peixe, de valor igual ao peso da massa de fluido deslocada.

Quando um corpo está imerso num fluido em movimento, pode-se avaliar o escoamento ao seu redor através dos padrões de linhas de fluxo (Santos, 2004). Para escoamento laminar observamos linhas paralelas, diversamente de um evento com escoamento turbulento, quando observamos vórtices e padrões de perturbação. Tais vórtices, produzidos pelo descolamento da camada-limite do corpo submerso, aparecem em sua parte posterior e são capazes de produzir um arrasto que se opõe à continuidade do movimento, denominado arrasto induzido, o qual consome parte da energia de impulso do peixe. Esta trilha de vórtices é também conhecida como esteira turbilhonaria de Von Kármán (Magnuson, 1978; Triantafyllou & Triantafyllou, 1995). A Figura 3.1 apresenta os vórtices gerados por objetos estáticos e a reversão dos vórtices causada por movimentos caudais de peixes para contraposição ao arrasto induzido.

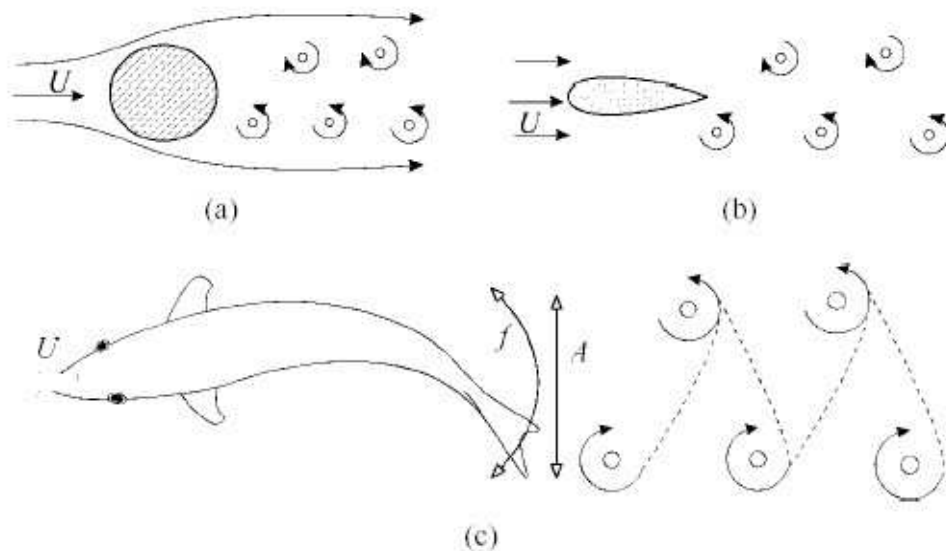


FIGURA 3.1-Vórtices gerados por objetos estáticos (a e b) e a reversão desses vórtices pelo movimento caudal do peixe (fonte: Sfakiotakis, Lane e Davies, 1999).

O arrasto, sendo caracterizado como diferentes manifestações de forças de atrito, pode ser classificado em duas grandes sub-classes (Sfakiotakis, Lane e Davies 1999):

- Arrasto de fricção ou arrasto viscoso, ocorre na interface da camada-limite da água com a superfície do corpo do peixe (escamas ou couro) em toda a região de contato.
- Arrasto de forma, gerado quando do descolamento da camada-limite a partir da superfície do corpo, em sua porção posterior, ocasionando turbulência refletida em vórtices que tendem a frear o corpo próximo. Este descolamento ocorre tão mais próximo à nadadeira caudal ao longo da lateral do corpo, quanto maior for o número de Reynolds (maior turbulência) e portanto quanto maior for a velocidade relativa do deslocamento entre o corpo imerso e o fluido circundante. A turbulência que gera o arrasto é tão mais intensa quanto menos pontiagudo for o objeto, em sua face posterior.

3.1.2 Os Tipos de Velocidades de Peixes

As velocidades desenvolvidas pelos peixes podem ser divididas em sustentável, prolongada ou de explosão (Beamish,1978). A velocidade sustentável é aquela mantida por longos períodos (maiores que 200 minutos) sem resultar em fadiga. Esta se subdivide ainda em duas categorias específicas de velocidades sustentáveis: a de cruzeiro e a de cardumes. A velocidade de cruzeiro representa a velocidade mais econômica para o peixe quanto ao gasto

de energia, considerando a distância percorrida. A velocidade em cardumes, por sua vez, é aquela desenvolvida quando o grupo se encontra num arranjo regular. Os vórtices formados pela batida da cauda do peixe, na parte posterior do escoamento, anulam os vórtices desfavoráveis à propulsão do animal. Assim, alguns peixes se aproveitam do vórtice já produzido por um outro espécime posicionando no cardume, de maneira análoga ao que se observa para aves voando em formação ou mesmo aeronaves dispostas em esquadrilhas.

A velocidade prolongada, é aquela mantida por um período de 20 segundos a 200 minutos (período menor que o da sustentável), resultando progressivamente em fadiga muscular, com acúmulo de ácido láctico nos tecidos musculares. A produção desse ácido decorre da respiração anaeróbia, realizada quando a atividade física do músculo é tão intensa que a insuficiência de oxigênio torna necessária outra fonte de oxidação (Beamish, 1978) exigindo das fibras musculares brancas uma parcela de contribuição na atividade muscular, em auxílio às fibras vermelhas. As quantidades de fibras vermelhas e brancas nos músculos dos peixes, bem como suas proporções, estão relacionadas ao estilo de vida de cada espécie (Boddeke et al., 1959), uma vez que o emprego das fibras depende das diversas atividades realizadas pelos indivíduos. As fibras vermelhas são mais utilizadas em atividades que demandam esforço de menor intensidade e maior duração enquanto o uso das fibras brancas é mais intenso nas situações ligadas às atividades de explosão, onde a sobrevivência do indivíduo está em jogo, de maneira crítica (Webb, 1993). A velocidade prolongada é frequentemente medida em laboratório e sua principal subcategoria é a velocidade prolongada crítica, que foi primeiramente definida e empregada por Brett (1964).

A velocidade de explosão é aquela sustentada durante um período de tempo geralmente inferior a 20 segundos, sendo utilizada pelos peixes em situações extremas de fuga de predadores, perseguição a presas ou superação de obstáculos (Beamish, 1978). Seu desempenho está relacionado à contração das fibras musculares brancas, cujo metabolismo anaeróbio implica produção de ácido láctico e fadiga muscular.

Uma vez conhecidas essas velocidades, torna-se possível a confecção de gráficos como o mostrado na Figura 3.2. Note-se que a cada vez que ocorre uma transição de um tipo de velocidade para outro, a “curva” sofre uma descontinuidade semelhante a uma inflexão, originando outras retas. A obtenção dessas curvas de velocidades é o principal resultado de um estudo da capacidade natatória.

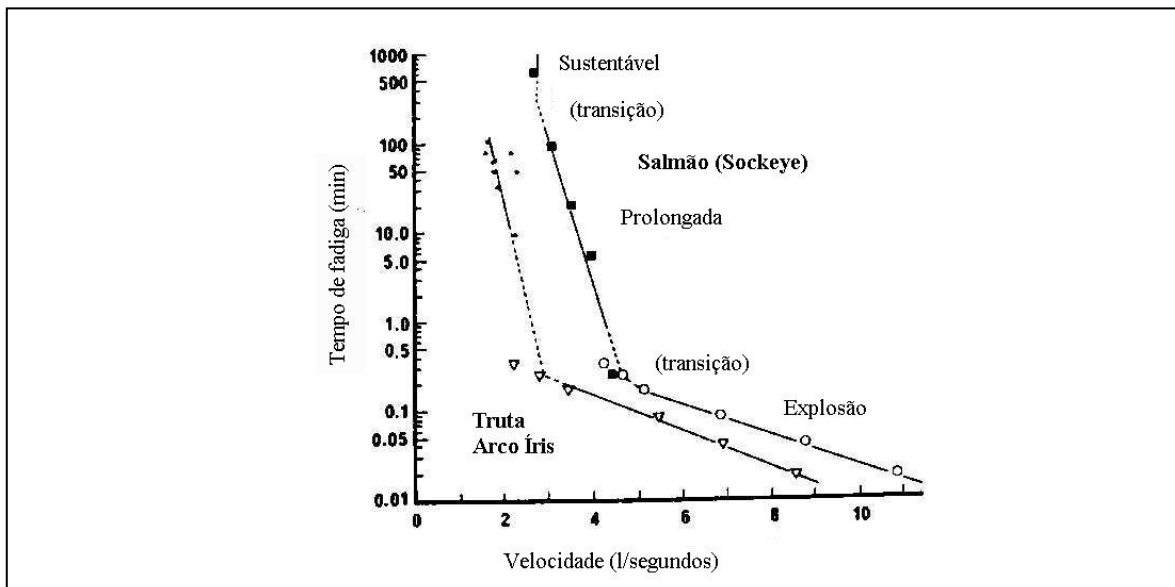


FIGURA 3.2 - Gráfico indicando as velocidades de sustentação, prolongada e de explosão das espécies *Oncorhynchus nerka* e *Salmo gairdneri* (fonte: Santos, 2004; Beamish, 1978.)

3.2 DETERMINAÇÃO DE VELOCIDADES NATATÓRIAS

3.2.1 Os Processos de Determinação de Velocidades Natatórias

Desde os primeiros registros de navegação em águas abertas os marinheiros observavam algumas espécies de peixes e mamíferos aquáticos acompanhando as embarcações, aproximando-se ou afastando-se. De descrições empíricas à pesquisa científica estruturada, os métodos evoluíram da observação qualitativa para testes quantitativos, com metodologia definida. Para a medição das velocidades de nado de peixes é possível proceder experimentações em laboratório ou no ambiente natural. Se por um lado é mais usual a determinação das velocidades de cruzeiro em experimentos e observações realizadas na natureza, os testes para velocidades de explosão e prolongadas encontram melhor representatividade nos testes de laboratório (Beamish, 1978). Estabelecendo escoamentos com condições semelhantes ao meio natural, os cientistas puderam simular em laboratório o comportamento dos peixes para vasta gama de experimentos. Neste ambiente de trabalho também tornou-se possível incrementar a qualidade dos dados coletados, submetendo-os ao crivo de instrumentos de precisão muitas vezes indisponíveis em campo (Beamish, 1978; Santos, 2004).

3.2.2 Determinação de Velocidades Natatórias na Natureza

As medidas de capacidade natatória de peixes realizadas em campo vão desde formas que exigem poucos recursos, oferecendo dados de ordem de grandeza, até experimentos de alta tecnologia, os quais representam a pesquisa de ponta sobre vários comportamentos dos indivíduos em seu *hábitat* natural. Segundo Beamish (1978) pode-se dividir as principais modalidades de campo para medição de capacidades natatórias em:

- Observação direta e marcação convencional: toma-se as medidas pela observação da natação dos peixes entre distâncias conhecidas, ou compara-se sua velocidade com a de um objeto conhecido, localizado em terra. Na marcação convencional é possível conhecer as velocidades médias de cruzeiro de cardumes inteiros, simplesmente capturando-os a jusante do local de captura inicial para marcação. Cabe observar que esta última modalidade fornece uma estimativa conservadora, por desconhecimento dos deslocamentos intermediários no percurso, já que a rota nem sempre é retilínea.
- Carretilhas e molinetes de pesca esportiva: é possível obter medições de velocidades de peixes através de carretilhas e molinetes de pesca adaptados a velocímetros de motocicletas (Lane, 1941) ou acoplados a aparelhos de mensuração de tensão na linha (por pressão hidráulica) com um tacômetro e polia para aferição de distância percorrida (Gero, 1952). Esse tipo de experiência pressupõe que o peixe seja fígado pelo anzol, que está solidário à linha de pesca, e ainda que esta seja resistente à classe de peso apropriada. Depreende-se destes detalhes que os dados coletados serão relativos a velocidades de explosão. Segundo Walters e Fierstine (1964) os dados de velocidades de explosão coletados em testes nos quais se fígua o peixe só tem validade dentro do intervalo de 10 a 20 segundos após a primeira fígada.
- Fotografia e filmagens: através de fotos sucessivas ou particionamento de filmagens (*ing.*Frames) é possível, conhecendo-se o intervalo de tempo entre as tomadas de imagem, determinar a distância percorrida e finalmente a velocidade atingida. As distorções causadas pelo deslocamento da embarcação-base ou ângulos de enquadramento das câmeras são passíveis de correção, com o realinhamento das imagens descrito por Yuen(1966). Este tipo de medida é muito útil para determinação de velocidades de explosão, podendo ser utilizado inclusive em testes de laboratório, como realizado por Santos (2004).

- Processos acústicos, marcação com etiquetas ultra-sônicas e rádio-transmissores: recentemente o refinamento das técnicas de sonares e rádio-transmissores de pequeno porte permitiu realizar medidas com confiabilidade nunca antes atingida, determinando as movimentações de grupos de peixes durante as migrações e incrementando as pesquisas relativas às velocidades de cruzeiro e em cardumes. Estudos dessa natureza vem sendo desenvolvidos para auxiliar o acompanhamento e avaliação da eficiência de mecanismos de transposição de peixes, como realizado em Igarapava (MG) por Silva (2004).
- Transdutores de pressão: sugerido por Beamish (1978) constitui um campo pouco explorado na investigação de comportamento e velocidades natatórias, mas pode representar um salto de qualidade em um futuro próximo, contribuindo para o conhecimento profundo do comportamento hidrodinâmico do peixe durante a natação.

3.2.3 Determinação de Velocidades Natatórias em Laboratório

Segundo Beamish (1978) o conjunto de variáveis intervenientes, sejam elas ambientais ou biológicas, é mais facilmente investigado em testes de laboratório, embora encontre-se grandes dificuldades durante as fases de projeto, execução e operação de uma câmara natatória eficiente.

As metodologias de medição de velocidades natatórias de peixes em laboratório são implantadas com aparatos de geração de fluxo, seja em canais abertos ou em túneis hidrodinâmicos constituídos por condutos forçados. Tais aparatos podem ser instalados em câmaras móveis ou estacionárias sendo que nas móveis o que se desloca para geração do fluxo é o duto que contém o fluido, seja um canal ou tubo. Nas câmaras estacionárias, ao contrário, o que se movimenta é o fluido de teste, impelido por um propulsor mecânico, o qual pode ser uma hélice ou um rotor de bomba centrífuga.

O primeiro registro de construção de um aparato de testes com câmara móvel é atribuído a Fry e Hart (1948), tendo sido posteriormente adaptado e melhorado por Bainbridge e Brown (1957). Dentre as montagens mais bem sucedidas ainda destacam-se as de Bishai (1960), Blazca-Volf-Cepala (1960), Brett (1964), Thomas-Burrows-Chenoweth (1964), Hammond-Hickman (1966). Esses aparatos estão apresentados nas figuras seguintes, retiradas de Beamish (1978);

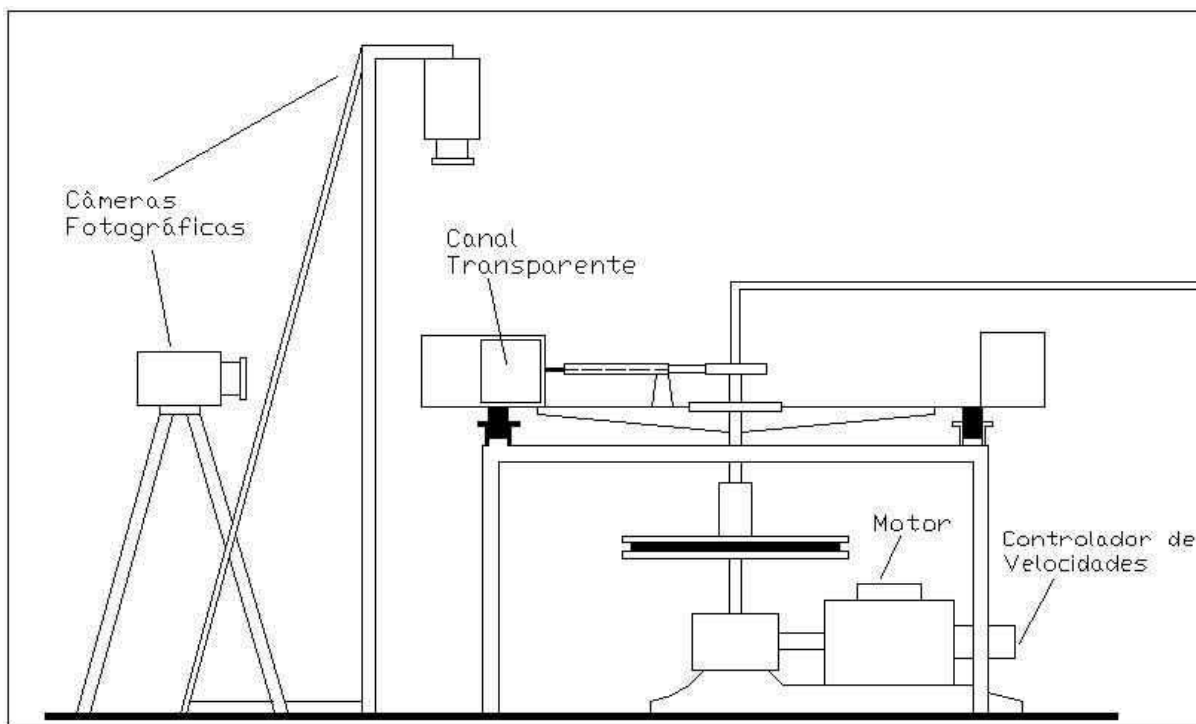


Figura 3.3 – Canal circular giratório para testes de capacidade natatória – vista em corte
(fonte: adaptado de Bainbridge e Brown, 1957)

A Figura 3.3 apresenta o aparato adaptado e melhorado por Bainbridge e Brown (1957) a partir do projeto original de Fry e Hart (1948). O funcionamento deste aparato baseia-se na colocação do canal em movimento de rotação, estabilizando-se a uma velocidade igual à velocidade de nado do peixe, de tal maneira que o animal pareça estar sem deslocamento para um observador externo, muito embora esteja em franca atividade natatória.

A Figura 3.4 nos mostra uma perspectiva do mesmo aparato com canal circular. Uma das grandes dificuldades enfrentadas por seus construtores foi fazer com que a água contida no canal circular se deslocasse com a mesma velocidade da roda colocada em movimento. Para solucionar esse problema os construtores empreenderam a instalação de comportas em pontos estratégicos do canal, as quais, ao serem manobradas (fechadas e depois abertas) permitiam que a água fosse impulsionada com mais eficiência, se deslocando à mesma velocidade do canal, como esperado (Beamish, 1978).

Podemos visualizar na Figura 3.4 o sistema elaborado para as comportas. A rotação do canal é garantida por um motor posicionado logo abaixo da mesa.

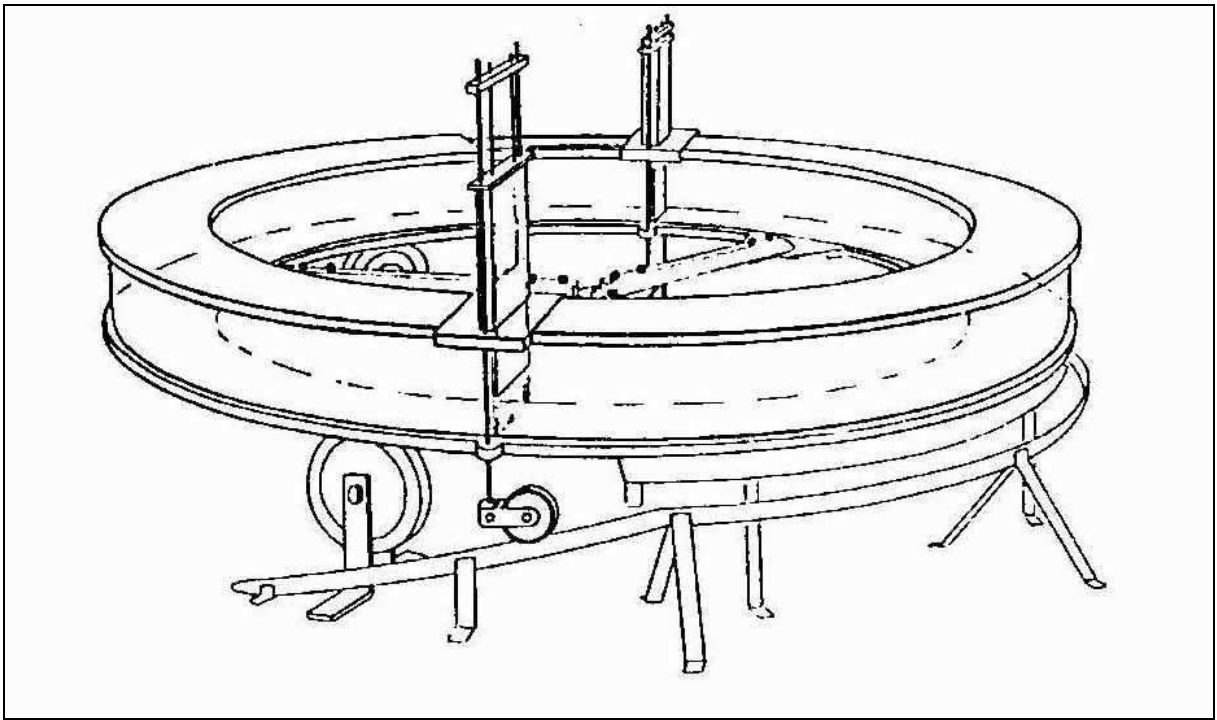


Figura 3.4 – Canal circular giratório para testes de capacidade natatória – perspectiva
(fonte: adaptado de Baindridge e Brown, 1957)

Uma outra vertente na pesquisa e desenvolvimento de aparatos de teste para capacidade natatórias de peixes é representado pela construção de câmaras de natação fixas. Neste tipo de aparato é essencial a garantia de uma corrente ininterrupta de fluido, seja por gravidade, seja pela ação de propulsores mecânicos.

No caso de instalação de propulsores mecânicos, pode-se optar tanto pela colocação de hélices quanto de bombas centrífugas, considerando-se, no entanto, que as hélices causam maiores perturbações no fluxo da câmara (Beamish, 1978).

Em se optando por um fluxo mantido por escoamento gravitacional, coloca-se uma seqüência de tubos (simples ou em série), bastando prover ao aparato os dispositivos de admissão e rejeição de água para testes. Um aparato desse tipo foi desenvolvido por Bishai (1960) e seu esquema de construção está apresentado na Figura 3.5.

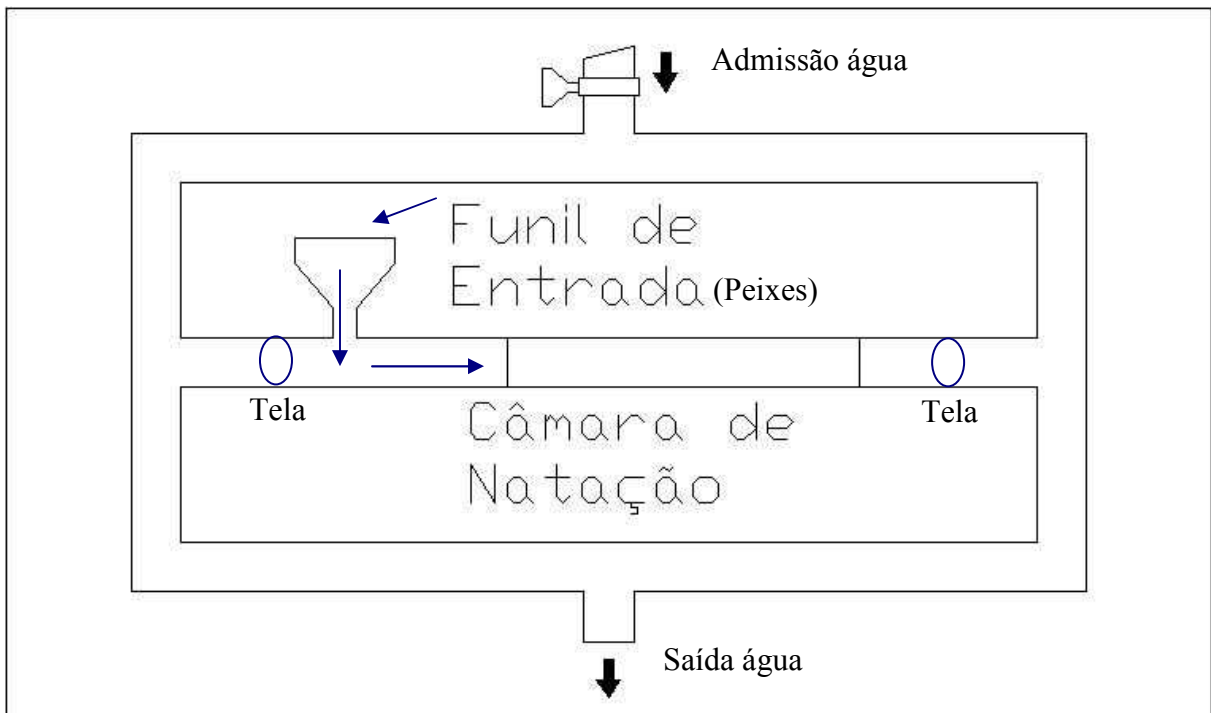


Figura 3.5 – Aparato tipo câmara desenvolvido por Bishai em 1960.

(fonte: adaptado de Beamish, 1978)

Um aparato com geração de fluxo pela colocação de uma hélice foi desenvolvido por Blazca, Volf e Cepala (1960). A Figura 3.6 apresenta um esquema geral de sua construção. Este aparato possuía dois tubos concêntricos, nos quais a água circulava em sentido inverso. No tubo interior era posicionada a hélice, ligada ao motor pelo eixo motriz. O tubo externo era responsável pelo retorno do fluxo recolhido por um defletor no trecho final do tubo interno. Uma vez retornada à região da hélice o fluido reiniciava o ciclo de circulação, mantendo constante o fluxo no interior do tubo interno. Este tubo constituía a câmara de testes.

Este aparato foi o primeiro a utilizar a corrente gerada por uma bomba, com baixa vazão e pequena potência, para colocar em operação uma câmara de testes em conduto forçado (Beamish, 1978). Um grande problema enfrentado pelos idealizadores foi a turbulência provocada pela hélice na câmara de testes, cujo comprimento era pequeno para que fosse possível uma estabilização.

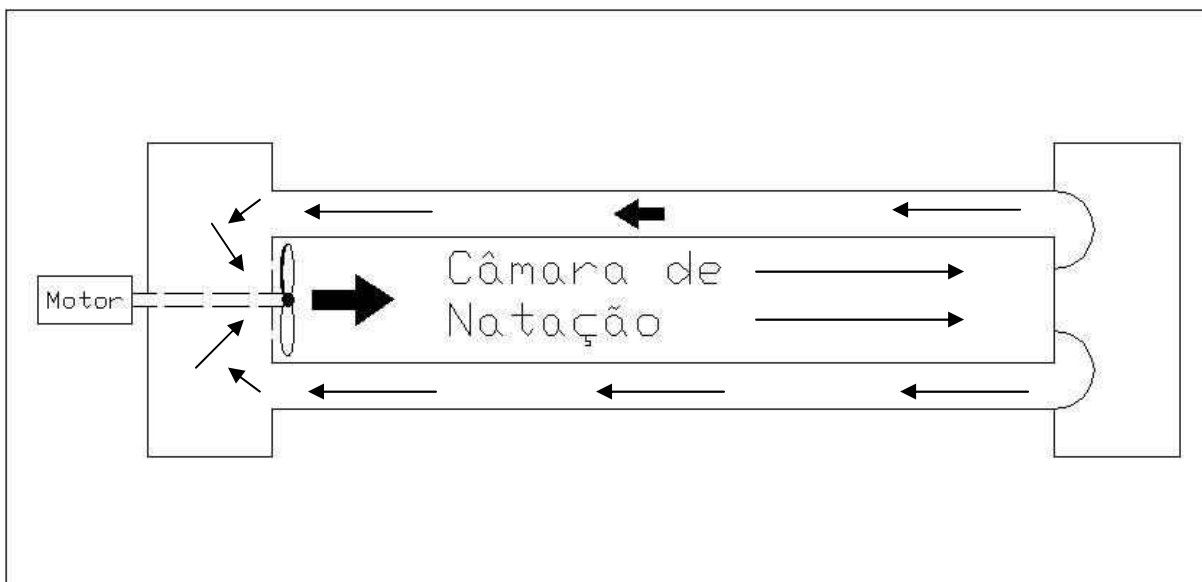


Figura 3.6 – Aparato tipo câmara desenvolvido por Blazca, Volf e Cepala em 1960 (fonte: adaptado de Beamish, 1978)

A Figura 3.7 nos mostra o diagrama do aparato projetado e construído por Thomas, Burrows e Chenoweth (1964), constituída por dois tubos principais, onde a bomba axial atua no tubo inferior, enquanto a seção de testes encontra-se no tubo superior, minimizando as perturbações no fluxo estabelecido na região dos ensaios. As câmaras localizadas a montante e jusante da seção de testes foram responsáveis, neste caso, pelo amortecimento de turbulências originadas nas regiões de ascensão e decida de fluxo, incrementando assim a qualidade dos testes realizados, uma vez que o peixe está plenamente orientado pelo fluxo e não necessita gastar energia para se ver livre de correntes laterais.

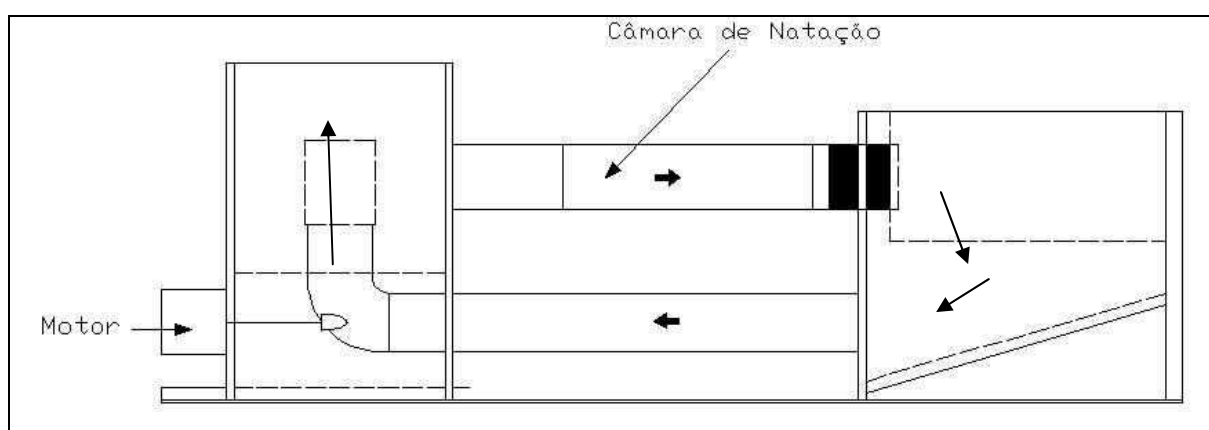


Figura 3.7 – Aparato tipo câmara desenvolvido por Thomas, Burrows e Chenoweth (1964) (fonte: adaptado de Beamish, 1978)

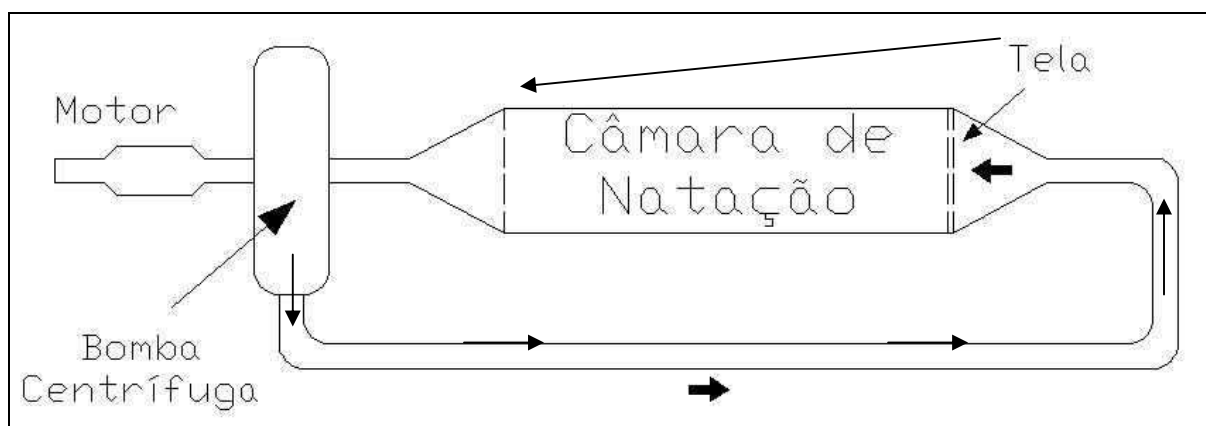


Figura 3.8 – Aparato tipo câmara desenvolvido por Brett (1964)
(fonte: adaptado de Beamish, 1978)

O aparato apresentado na Figura 3.8 foi desenvolvido por Brett (1964), sendo constituído de uma seção de testes, de maior diâmetro, isolada do resto do sistema por telas (Beamish, 1978). A montante e jusante são posicionadas transições de diâmetro para conectar a seção de testes ao sistema motriz do aparato. Este, constituído por uma bomba centrífuga e dutos ligados à seção de testes tanto pela sucção quanto pelo recalque da bomba, forma um circuito fechado para circulação da água. Por sua facilidade de construção e operação, e ainda pela qualidade do escoamento obtido na seção de testes, foi este o modelo escolhido como base para os aparatos a serem construídos no CPH. Com efeito, tanto as duas tentativas mal-sucedidas, quanto a construção vencedora foram inspiradas nestes princípios básicos do chamado “respirômetro de Brett”, ao qual são acrescentadas melhorias continuamente.

Quando colocado numa seção de testes o peixe causa uma obstrução na seção transversal do tubo, fazendo com que a velocidade em torno de seu corpo seja efetivamente maior do que aquela registrada em qualquer outra seção do mesmo tubo. Webb (1971) estudando túneis de vento, se deparou com a constatação de que as velocidades obtidas em condutos forçados deveriam ser corrigidas em razão do aparecimento de dois efeitos de tipos diferentes: o efeito de impedimento sólido (solid blocking effect) e o efeito de empuxo horizontal (horizontal buoyancy effect). Quando se introduz um objeto em uma corrente confinada de um fluido surge o efeito de impedimento sólido, o qual é traduzido pela aceleração que o fluido realiza quando passa pelo obstáculo imerso na corrente. Assim, a velocidade a que o peixe efetivamente deve resistir é maior que a velocidade medida para a seção livre. A correção é dada pela equação 3.1:

$$U_c = U_s (1 + \varepsilon_s) \quad \text{EQ. 3.1}$$

onde U_c é a velocidade corrigida do fluxo, U_s é a velocidade do fluxo sem o obstáculo e ε_s é o fator de correção devido à presença do objeto, sendo definido pela equação 3.2:

$$\varepsilon_s = \tau \lambda \left(\frac{A_0}{A_t} \right)^{3/2} \quad \text{EQ. 3.2}$$

Na equação 3.2 o fator adimensional τ depende da forma da seção transversal da câmara (0,8 no nosso caso), λ é o fator de forma para o objeto imerso (peixe). A_0 é a área da maior seção transversal do peixe e A_t é a área da seção transversal do duto onde se localiza a câmara de natação (Korsmeyer, Steffensen e Herskin, 2002). Para o cálculo da área da seção transversal do corpo do peixe, é possível uma aproximação por parábola dada pela equação 3.3:

$$A_0 = \frac{\pi}{0,5a} \times \frac{1}{0,5l} \quad \text{EQ. 3.3}$$

Aqui tem-se em l a maior largura do peixe e em a sua maior altura (Beamish, 1978). Quanto ao fator λ do peixe, possui valor em torno de 0,5 enquadrando-se entre os objetos fusiformes ou aerodinâmicos (Bell e Terhune, 1978). Segundo Webb (1971) gira em torno de 7,5% a 15% o valor da correção a ser realizada na velocidade em virtude do efeito de impedimento sólido.

O outro efeito decorrente da imersão de um corpo sólido no fluxo em um duto pressurizado é o empuxo lateral. Este efeito surge em função do efeito parede, onde a variação de pressão atrás do corpo do peixe tende a aumentar o arrasto. Para corrigir este efeito basta realizar o acréscimo de 1% no valor da velocidade, segundo ensaios de Webb em 1971 (Beamish, 1978).

Um parâmetro muito importante para o estudo das velocidades de nado de uma espécie de peixe é o fator de forma

- Teste de Velocidade Prolongada em Túnel Hidrodinâmico:

De posse de um aparato apropriado para inserção de peixes em seções de teste isoladas do restante do aparato, estabelece-se o escoamento hidráulico a baixa velocidade. Esta é gradualmente elevada até atingir a velocidade nominal de teste, à qual o indivíduo testado deve resistir sem fadiga por um intervalo de tempo entre 10 segundos e 200 minutos. À etapa

preliminar dá-se o nome de fase de adaptação, cuja importância reside na necessidade de aquecimento das fibras musculares do corpo do peixe, sob pena de fadiga prematura e acumulação de ácido láctico no interior dos tecidos (Magnuson, 1979). Pela própria definição de velocidade prolongada interrompe-se o teste que atingir 200 minutos (03:20h) à velocidade nominal. Não são considerados válidos os testes em que os peixes não atingem o final da fase de adaptação, seja por fadiga ou apatia.

- Teste de Velocidade Prolongada Crítica em Túnel Hidrodinâmico:

Trata-se na realidade de um conceito criado através de uma metodologia de medição da velocidade prolongada (Brett, 1964). Para sua determinação, o peixe deve ser submetido a um incremento de velocidade de escoamento (ΔU) sempre em um certo período fixo de tempo (t_f). Caso o peixe não entre em fadiga nesse período, a velocidade da água é aumentada novamente em ΔU . Esse procedimento é repetido até a completa fadiga do peixe, devendo ser então registrados o tempo que o animal resiste dentro do intervalo (t_t) e a máxima velocidade suportada pelo mesmo (U_{max}). Com tais dados, a velocidade crítica de um certo tempo é dada pela EQ. 3.4:

$$U_{crit} = U_{max} + \frac{t_t}{t_f} \times \Delta U \quad \text{EQ. 3.4}$$

A categoria denominada velocidade de explosão, por sua vez, corresponde às maiores velocidades desenvolvidas pelos peixes e asseguradas por curto intervalo de tempo, sempre menor que 20 segundos. Ela resulta em grande fadiga para o peixe e seu emprego está relacionado a casos extremos como caça a presas e fuga de predadores, exigindo disponibilidade de fibras musculares brancas e metabolismo anaeróbio nestes tecidos (Webb, 1993).

A capacidade natatória dos peixes depende de uma série de fatores. Indivíduos da mesma espécie podem desenvolver velocidades diferentes pois essas estão relacionadas tanto ao comprimento, ao peso, ao sexo e às condições de saúde do indivíduo (condicionantes do próprio peixe), como a fatores externos como temperatura, pH, quantidade de oxigênio e gás carbônico dissolvido (Beamish, 1978). Estas diferenças justificam o cuidado na manipulação dos peixes, desde a sua captura e transporte até à colocação no aparato de testes, passando pelas atividades de manutenção rotineiras nos aparatos de sobrevivência. Dessa forma é

possível minimizar o stress a que está submetido qualquer individuo retirado de seu *habitat* para ser submetido a testes em laboratório.

3.3 OS APARATOS UTILIZADOS NO CENTRO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E RECURSOS HÍDRICOS DA UFMG

Durante o desenvolvimento dos estudos de Santos (2004) – para adaptação de uma metodologia de medição de capacidades natatórias de peixes brasileiros – foram feitas três tentativas de montagens para realização dos testes.

A primeira tentativa foi feita em canal aberto, utilizando escoamento a lâmina livre. Para esta montagem foi feita uma adaptação no canal principal de acrílico do Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da UFMG. Foram confeccionadas duas telas de proteção para impedir a queda dos peixes no reservatório de jusante ou a subida até os difusores de fluxo (na extremidade da linha de recalque). Essas telas eram compostas de molduras em compensado naval e malha de pesca na região central, tendo exatamente a largura e altura do canal. Alguns problemas ocorridos nessa montagem geraram dificuldades à execução dos testes, levando os pesquisadores a optar por outro processo: as molduras das telas causavam grande perda de carga pois reduziam a seção transversal do canal ao escoamento afluente. Além disso tornava-se difícil controlar a altura do escoamento em função das mudanças de regime de escoamento, induzidas pelas próprias obstruções geradas pelos componentes. Observava-se a formação de ondas estacionárias, quando em regime supercrítico e o aparecimento de remansos (ou ressaltos) quando se manifestava algum trecho em regime subcrítico.

Uma segunda alternativa de montagem para o aparato de testes foi construída sob a forma de conduto forçado em acrílico transparente, com seção transversal retangular e uma chaminé de acesso por onde entrariam os peixes. Nas extremidades foram colocados bocais de entrada e saída de água para conexão direta com a bomba, ou indireta através de um reservatório de carga. Acoplado ao tubo de entrada de água foi instalado um pressurizador com manômetro para testes de resistência. Durante os testes percebeu-se a grande facilidade com que surgiam pontos de vazamento, chegando-se mesmo à ruptura das placas de acrílico quando sob pressão. Com a finalidade de reduzir a possibilidade de fratura foram instaladas gravatas de latão em torno das seções retangulares. Esta tentativa não se mostrou bem sucedida, o que levou os pesquisadores a optar por uma nova concepção, ainda em conduto forçado, mas com seção circular, montada com tubos de PVC. A terceira alternativa foi bem sucedida e o

aparato que nasceu deste trabalho foi aquele utilizado na presente pesquisa, após sofrer alguns ajustes e melhoramentos, abordados no capítulo “metodologia e experimentos”.

3.4 PEIXES MIGRADORES DOS RIOS BRASILEIROS

Nas regiões tropicais é encontrada uma grande riqueza de ecossistemas e diversidade de comunidades, as quais apresentam grande número de espécies se comparadas com as aquelas encontradas em regiões temperadas. Nesse contexto também as comunidades aquáticas apresentam grande profusão de formas.

Os peixes apresentam cerca de 20.000 espécies conhecidas (das quais a maioria vive em águas tropicais) sendo os vertebrados mais antigos e numerosos do mundo. Nesse universo, estima-se que 8.500 espécies (mais de 40%) tenham *hábitat* em águas doces (Lowe-McConnel, 1999).

O Brasil, por possuir grande parte dos mananciais desse tipo de água abriga por conseqüência um número elevado de espécies de peixes fluviais. A bacia amazônica detém mais de 1.300 espécies de peixes, uma diversidade respeitável se comparada com as 250 espécies da bacia do rio Mississippi, na América do Norte, ou com as 192 encontradas em todo o continente europeu (Lowe-McConnel, 1999).

Mesmo estando separados em sistemas diferentes alguns peixes desenvolveram grande capacidade de deslocamento podendo inclusive passar da água doce para água salgada ou vice e versa. Quando se deslocam por longas distâncias em alguma fase de seu ciclo de vida, as espécies de peixes são classificadas como migradoras enquanto que outras, que não apresentam essa característica, recebem a classificação de não-migradoras. Peixes migradores podem ter seu ciclo de vida dividido em fases, que podem ocorrer em diferentes locais ou até sistemas. De acordo com essa localização tem-se a subdivisão dos peixes migradores em (Porcher e Travade, 2002):

- Potamódromos, peixes que desenvolvem todo seu ciclo de vida em água doce, apresentando sítios de alimentação diferentes dos sítios de reprodução.
- Diádromos, peixes que desenvolvem parte do seu ciclo de vida em água doce e parte em água salgada. Podem ser divididos ainda em:

- Anádromos, peixes que nascem e se reproduzem em água doce mas crescem e se desenvolvem em águas marinhas.
- Catádromos, peixes que nascem e se reproduzem em água salgada mas que crescem e se desenvolvem em água doce.

Os peixes migradores são os mais afetados pela instalação de barragens nos corpos d'água. A migração é um condição vital para a continuidade dessas espécies. A Figura 3.9 ilustra as etapas do ciclo de vida das principais espécies migradoras de rios brasileiros (Godinho e Pompeu, 2003).

Os rios brasileiros apresentam diversas espécies migradoras, destacando-se as de grande valor comercial para a pesca, em sua maioria peixes de grande porte. Os mecanismos para transposição de peixes aqui instalados visam a passagem principalmente dessas espécies que são eminentemente potamódromas.

Os peixes brasileiros estão distribuídos em quatro principais ordens: characiformes, siluriformes, perciformes e gymnotiformes. Entre tais ordens, as duas primeiras apresentam conhecidos peixes migradores.

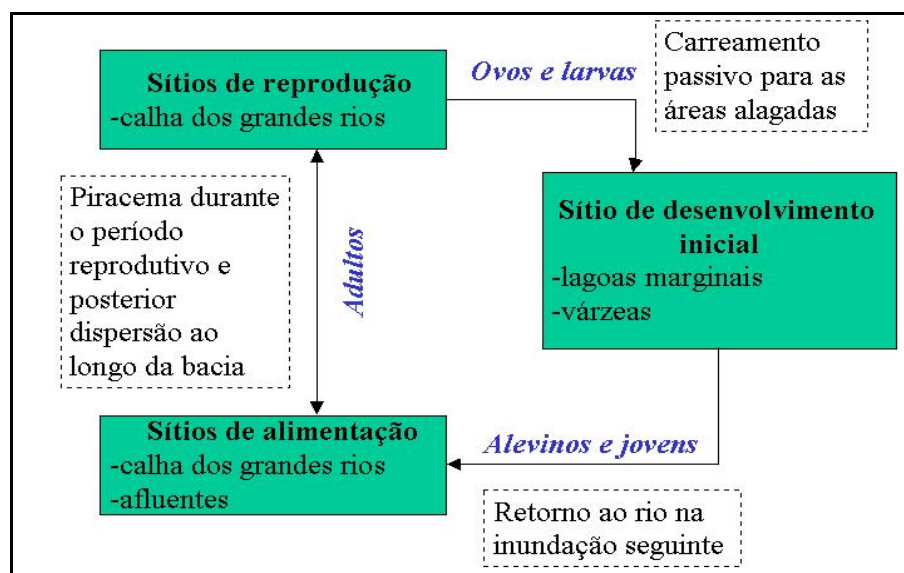


FIGURA 3.9- Ciclo de vida das principais espécies migradoras brasileiras.
(fonte: Adaptado de Godinho e Pompeu, 2003).

Entre os characiformes encontram-se muitos peixes de valor comercial como os curimatãs, piaus, dourados e pacus. Seus corpos são revestidos por escamas e geralmente preferem habitar as porções média e superior da coluna líquida dos rios. A Figura 3.10 mostra alguns peixes dessa ordem.



Dourado (*Salminus* sp.) Foto : Pesca Brasil, 2004



Piau, piapara, timburé (*Leporinus obtusidens*) Foto : Paulo dos Santos Pompeu



Curimatã, curimbatá (*Prochilodus costatus*.) Foto: Paulo dos Santos Pompeu

FIGURA 3.10 - Espécies de peixes da ordem dos characiformes

Os siluriformes são peixes de corpo mais achatado, não possuindo escamas sendo revestidos externamente por couro ou placas ósseas. Geralmente habitam as regiões bentônicas (junto ao leito) dos rios. Englobam tanto espécies gigantescas, que são capazes de migrar quilômetros de distância, quanto espécies de tamanho reduzido. Dentro dessa ordem também encontram-se peixes de grande valor comercial como os surubins e os jaús (Figura 3.11).



Mandi (*Pimelodus* sp) Foto : Santos, 2004.



Jaú (*Zungaro* sp) Foto: CEMIG/CETEC, 2000



Surubim, pintado, cachara (*Pseudoplatystoma coruscans*) Foto : Kobayagama,1989







Dourada (*Brachplathystoma* sp) Foto : Kobayagama,1991

FIGURA 3.11- Espécies de peixes da ordem dos siluriformes

Em relação aos peixes migradores pode-se falar ainda em espécies estuarinas catádromas que migram grandes distâncias rio acima, a partir dos estuários dos rios, representadas pelas famílias Centropomidae e Mugilidae, cujos principais integrantes são os robalos e as tainhas, respectivamente. As ordens dos perciformes e dos gymnotiformes apresentam muitas espécies

não migratórias, estando dentro do primeiro grupo peixes como o tucunaré e as corvinas e no segundo o peixe elétrico (Poraquê). A tabela 3.1 apresenta as principais famílias pertencentes às quatro ordens citadas.

TABELA 3.1
Ordens e famílias das principais espécies de peixes encontradas no Brasil

	Ordem Characiformes	Família Prochilodontidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Curimatãs
		Família Anostomidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Pias • Piaparas • Timborés
		Família Characidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Lambaris • Piabas • Dourados • Matrinchãs
		Família Myleidae ou Serrasalmidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Pacus • Piranhas
		Família Erythrinidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Traíras
	Ordem Siluriformes	Família Pimelodidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Mandis • Jáus • Surubins • Bagres
		Família Loricariidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Cascudos
	Ordem Perciformes	Família Cichlidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Carás • Tucunarés
		Família Scianidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Corvinas
	Ordem Gymnotiformes	Família Gymnotidae
		<ul style="list-style-type: none"> • Peixes Elétricos • Sarapós

FONTE: Santos (2004), adaptado de Sato e Godinho (1999); Godinho H., Godinho A. e Vono (1999); Lowe-McConnel, (1999).

Diferentemente dos peixes de clima temperado, pouquíssimas espécies tropicais desovam uma vez no seu ciclo vida para então, logo em seguida, morrerem (Lowe-McConnel, 1999). Esse comportamento é característico das enguias e dos salmões, e recebe o nome de reprodução big bang.

A desova na maioria dos peixes tropicais ocorre em intervalos repetidos sendo os mesmos classificados, de acordo com a maturação dos óvulos, em desovadores totais ou desovadores múltiplos. Nos primeiros, os óvulos são produzidos todos em um lote, sendo o mesmo liberado de uma só vez, enquanto que nos desovadores múltiplos ocorre a produção de mais de um lote que são liberados aos poucos (Santos, 2004).

Esse último grupo pode ser dividido ainda em desovadores parciais, nos quais cerca de um terço dos ovócitos matura sendo esses liberados e outros permanecendo armazenados, e em desovadores de pequena prole, que produzem lotes de ovócitos em intervalos mais frequentes. A tabela 3.2 mostra os principais tipos de reprodução (Lowe-McConnel, 1999).

A tabela 3.2 nos apresenta a constatação de que os peixes de piracema são principalmente desovadores totais possuindo assim elevados índices de fecundidade. Essa característica pode ser consequência da evolução desses animais em habitats bastantes competitivos e em meios adversos como as calhas dos grandes rios em épocas de cheia (Lowe-McConnel, 1999). Porém, seria de se imaginar que outro caminho poderia ter sido adotado pela natureza: a mudança do período de reprodução para uma estação em que os rios estivessem menos turbulentos (Santos, 2004) fazendo então com que o arraste dos ovos e larvas fosse minimizado no ambiente onde ocorre a reprodução.

No entanto é exatamente nesse período de chuvas que ocorre as enchentes, responsáveis pela comunicação dos rios com as lagoas marginais que constituem locais favoráveis ao crescimento das larvas devido a presença de alimento e a proteção dos alevinos contra predadores. Assim a seleção natural parece ter agido ao longo do tempo, fazendo com que a maioria dos peixes tropicais de rios, entre eles os brasileiros, apresentassem sua fase de reprodução na época do ano com maior taxa de precipitação pluvial (Santos, 2004).

TABELA 3.2 Tipos de reprodução em peixes tropicais de água doce

Tipo de Fecundidade	Sazonalidade na reprodução	Exemplos	Movimentos e cuidado parental
Big bang	Uma vez na vida	Anguilla	Migrações muito longas, catádromos sem cuidado parental
Desovadores totais	Muitos sazonais com enchentes: anual ou bianual	Muitos caracóides: Ex: <i>Prochilodus</i> <i>Salminus</i> <i>Hydrocynus</i> Muitos ciprinídeos	Peixes de “piracema” com migrações longas. Sem cuidado parental.
	Estação prolongada	Alguns siluróides <i>Lates</i> (Lago Chade)	Movimentos locais: ovos pelágicos
Desovadores parciais	Durante estação (s) de águas altas	Alguns ciprinídeos Alguns caracóides: Ex: <i>Serrasalmus</i> <i>Hoplias</i> Alguns siluróides: Ex: <i>Mystus</i>	Principalmente movimentos locais Guarda ovos em plantas (m; m+f) Guarda ovos no fundo(m) Guarda ovos e jovens(m)
Desovadores de pequenas ninhadas	Estação das águas altas; pode começar no fim da estação seca ou ser não-sazonal	Arapaima Alguns anabantóides <i>Hoplosternum</i> <i>Hypostomus</i> <i>Loricaria parva</i> <i>Loricaria spp.</i> <i>Aspredo sp.</i> <i>Osteoglossum</i> Ciclídeos: -Maior parte das espécies sul-americanas -Maior parte das espécies africanas <i>Sarotherodon galilaeus</i> <i>S. melanotheron</i> Raias de ferrão ^b Pecilídeos Anableps	Guarda ovos e jovens; ninhos no fundo(m+f) Guardam ovos, ninho de bolhas superficial(m) Guarda ovos em ninhos de superfície (m) Guarda ovos; buracos das margens (sexo?) Guarda ovos sob pedras (m) Carrega ovos no lábio inferior (m) Carrega ovos no ventre (f) Prole na boca (m) Guardam ovos e jovens (m+f) Prole na boca ovos e jovens (f) Prole na boca ovos e jovens (m+f) Prole na boca ovos e jovens (m) Vivíparas Vivíparas Vivípara
	Fim das chuvas	Espécies de ciprinodontes anuais	Deixam os ovos no lodo durante a estação seca
m=macho	f=fêmea	^a =fim da estação seca	^b = ou é não sazonal

FONTE: adaptado de Santos (2004); Lowe-McConnel, (1999). p. 252

3.5 O MANDI AMARELO (*PIMELODUS MACULATUS*)



Figura 3.12 - *Pimelodus maculatus*, Lacepède, 1803 (fonte: pesca Brasil, 2004)

O mandi-amarelo (Figura 3.12), descrito por Lacepède em 1803, é um peixe teleósteo, gnatostomata da ordem dos silurídeos, integrante e um dos representantes característicos da família Pimelodidae, sendo a espécie classificada taxonomicamente como *Pimelodus maculatus*. Seu corpo apresenta o ventre achatado e de coloração clara, em oposição ao dorso e ao restante do seu corpo que apresenta geralmente coloração amarelo-sujo ou amarelo-cinza com brilho dourado e quatro fileiras laterais de manchas pretas (Luetken, 2001).

Sua cabeça é revestida de placas ósseas que se prolongam até à raiz da nadadeira dorsal. Apresenta barbilhões que têm função sensorial, sendo dois pares mais curtos (atingindo a região das brânquias) e dois mais longos, que chegam até a região da nadadeira anal (Luetken, 2001). Possui ainda ferrões serrilhados junto à raiz das nadadeiras peitorais e compoem a primeira (e maior) raia da nadadeira dorsal, num total de três ferrões.

Os ferrões das nadadeiras peitorais são mais robustos que o da nadadeira dorsal, mas todos são recobertos por um muco que contém bactérias capazes de conduzir o agressor a uma infecção, podendo por vezes causar febre. Essas estruturas são usadas como instrumento de defesa pelos mandis.

Quando ameaçados seu comportamento freqüentemente é de alongar ao máximo na direção vertical o ferrão da nadadeira dorsal. Ao mesmo tempo abre e fecha as nadadeiras peitorais, juntamente com seus respectivos acúleos, de maneira ritmada. Uma vez atingido o corpo do agressor, o ferrão penetra causando uma perfuração profunda, aberta pela ponta afiada e alargada pela face convexa do ferrão, a qual é lisa.

De maneira antagônica à face externa cuja superfície é lisa, a face interna (côncava) do ferrão é serrilhada e quando sai do ferimento dilacera os tecidos do corpo atingido, potencializando a ação séptica do muco. O processo de dilaceração acontece pelo fato de que as serrilhas são afiadas no sentido oposto à entrada do ferrão pela abertura do ferimento.

A raiz da nadadeira caudal é robusta, estando assentada sobre potentes músculos natatórios. Segundo a descrição de Reinhardt (1851) os números típicos de raias nas nadadeiras eram respectivamente: sete raias na dorsal, dez raias nas peitorais, seis raias nas ventrais e onze ou doze na anal. O mesmo Reinhardt relatou a coleta de um indivíduo medindo 450mm de comprimento total (Luetken, 2001).

A espécie ocorre em grande parte da América do Sul, especialmente na bacia platina (sistema Paraná / Paraguai e afluentes) englobando os rios Grande e Paranaíba em Minas Gerais, bem como grande parte dos afluentes desses últimos. Também ocorre com abundância no sistema do São Francisco, onde é encontrado até nos afluentes mais à montante, como Velhas e Paraopeba.

Existem relatos históricos da presença de mandis em Lagoa Santa, bem próximo à região de Belo Horizonte, onde foram descritas grandes migrações tanto no lago quanto no riacho a jusante, por ocasião de 10 de fevereiro de 1855 (Luetken, 2001) fato não observado nos dias atuais, caracterizando portanto uma das extinções ocorridas no lago em consequência da ação antrópica ao longo de 150 anos (Pompeu & Alves, 2003).

As prováveis intervenções mais diretamente responsáveis pela extinção das espécies no lago são: interrupção da ligação com o rio das velhas, acarretando descontinuidade nas migrações, introdução de espécies exóticas cuja presença desencadeou desequilíbrio na competição por nutrientes, mudanças no nível do espelho d'água, poluição orgânica das águas da lagoa (principalmente por esgotos e lixo) e retirada da vegetação submersa e marginal (Pompeu & Alves, 2003).

Ainda segundo Pompeu & Alves (2003) iniciativas de reabilitação como o controle da poluição das águas e a conexão com o sistema do Velhas poderiam restabelecer as populações originais, outrora existentes no lago. Assim fica mais evidente a importância do estudo de mecanismos de transposição para os peixes em geral, e para o mandi em particular.

4 METODOLOGIA E EXPERIMENTOS

4.1 APARATO UTILIZADO PARA OS TESTES

O aparato utilizado para a realização dos testes referentes ao presente trabalho foi desenvolvido durante as pesquisas de Santos (2004) para adaptação de uma metodologia para medição de capacidade natatória de peixes inicialmente desenvolvida por Brett (1964). Três modelos de aparatos baseados no respirômetro de Brett (1964) foram testados por Santos (2004) sendo bem sucedido o último. Este modelo foi disponibilizado pelo Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da UFMG para execução dos testes acerca das velocidades de nado do mandi.

O sistema contava originalmente com uma bancada de medição de vazões com dois medidores do tipo turbina, um para cada bomba. Também possuía registros do tipo gaveta, de acionamento manual. Como veremos estes itens foram objeto de intervenções no aparato, visando aprimorar seu funcionamento, reduzir interferências e facilitar a operação. Desde a versão desenvolvida por Santos (2004) o aparato já possuía, como veremos detalhadamente, um reservatório de 5000 l em fibra de vidro reforçada com estrutura interna de aço-carbono 1008/1010 (metalon) em perfis de seção retangular. Também permaneceram as duas bombas centrífugas de potência 7,5 cv cada. A tubulação a montante da seção de testes não sofreu alterações, bem como a própria seção de testes. O trecho a jusante da seção de testes sofreu um corte para inserção do medidor eletromagnético de vazões, o qual tem o mesmo diâmetro da tubulação preexistente, sem componentes invasivos. Permaneceram inalterados outros componentes do sistema como desenvolvido por Santos (2004).

Deste modo, para que as novas pesquisas obtivessem o melhor rendimento do aparato, foi realizada a substituição da bancada com medidores de vazão do tipo turbina, que causavam aumento de turbulência no escoamento e estavam ainda sujeitos a travamentos freqüentes nas pás das turbinas, pela presença de detritos na água. Em substituição a esta montagem foi instalado o medidor eletromagnético, cuja interferência no escoamento é menor em função de não possuir partes móveis em contato com o escoamento (como os rotâmetros) ou hastes que se prolonguem no interior do tubo (como os tubos de Pitot). Outra mudança foi a motorização do registro gaveta localizado a jusante do medidor de vazões, com diâmetro 6", em latão de acabamento bruto. Seu volante foi retirado, sendo substituído pelo braço ligado ao acionador elétrico solidário à estrutura de apoio em perfis L (cantoneiras) de aço-carbono. Esse conjunto

é acionado por um painel elétrico com botoeira, permitindo inclusive fechamento parcial do registro. A inserção deste item acrescenta flexibilidade e rapidez à operação do registro de jusante, o qual é responsável pela manutenção da água no tubo quando se coloca o peixe e pela saída dessa mesma massa líquida quando é necessário retirar o peixe ao fim do teste. (vide Figura 4.1).



Figura 4.1 – Montagem para motorização do registro de jusante e painel de controle
(fonte própria)

Levando em consideração os equipamentos de medição de velocidade e vazão disponíveis no CPH e as espécies a serem testadas, foi desenvolvido o aparato experimental mostrado nas FIGs. 4.2 e 4.3. Sua concepção, como dito anteriormente, baseou-se nas tentativas anteriores realizadas em aparatos também desenvolvidos no CPH.



Figura 4.2 – Seção de testes do aparato de medição, visor em acrílico. (fonte própria)



Figura 4.3 – Visão panorâmica do aparato de testes montado no Centro de Pesquisas Hidráulicas e Recursos Hídricos da UFMG. (fonte própria)



Figura 4.4 – Vista do aparato de testes de jusante para montante. (fonte própria)



Figura 4.5 – Vista do retorno ao reservatório do aparato, volume 5000 l. (fonte própria)

O aparato consiste basicamente em um túnel hidrodinâmico alimentado por duas bombas centrífugas de baixa altura de recalque, ambas com potência de 7,5 cv. O fluxo contínuo é mantido pelas bombas que recalcam água de uma caixa de 5000 litros.

As saídas de recalque das duas bombas são ligados a uma conexão do tipo Y responsável pela transição da tubulação flexível (mangote flexível Kanaflex DN 4”) para a tubulação rígida (tubos/conexões em PVC e em acrílico). Essa tubulação rígida divide-se em três segmentos. O primeiro, em PVC, possui 150mm (6”) de diâmetro interno e 3500mm de extensão (23 diâmetros a montante da seção de teste). O segundo trecho é constituído pela seção de teste, em acrílico, com diâmetro interno de 144 mm, espessura da parede de 4mm e comprimento de 1120 mm. O último segmento, construído em PVC, possui diâmetro interno de 150 mm (6”), extensão de 2300 mm (15 diâmetros a jusante da seção de teste).

Os trechos a jusante e a montante da seção de testes operam como redutores de interferência tanto da bomba como do registro gaveta posicionado na saída do sistema, justificando as distancias adotadas para suas extremidades.

Além do tubo de acrílico, a seção de teste também possui, acoplada a essa tubulação, conexões de PVC do tipo T nas duas extremidades, que servem para entrada e retirada dos peixes a serem ensaiados. O trecho em acrílico permite a visualização do animal, que é confinado na mesma através de telas colocadas entre as conexões T e os tubos de PVC.

A medição da velocidade crítica dos peixes exige a alteração da velocidade no conduto periodicamente. Para isso, cada bomba é ligada a um inversor de frequências que através da alteração desse último parâmetro, muda a rotação da bomba e conseqüentemente a vazão recalçada pela mesma.

Anexo ao reservatório, também encontra-se instalado um sistema de aquecimento de água para controle da variação de temperatura, que consta de um circuito com dois aquecedores elétricos melhor descritos abaixo.

4.1.1 Variação e medição de vazão

Como dito anteriormente foi instalado um medidor de vazão eletromagnético da marca Endress+Hauser, o qual é responsável pela leitura instantânea das vazões bem como pela totalização do volume bombeado. Através de tais leituras e de posse do valor da área transversal da seção de testes, faz-se possível o cálculo das velocidades de escoamento para cada valor de vazão. O aspecto do medidor e sua posição são apresentados respectivamente nas figuras 4.6 e 4.7.



Figura 4.6 – Medidor eletromagnético de vazões Endress+Hauser (esquerda) e inversor de frequências Weg (direita) utilizados nos testes. (fonte própria)



Figura 4.7 –Vista geral do trecho final do aparato, com modificações efetuadas.(fonte própria)

O inversor de frequências permite trabalhar com motores elétricos em frequências diferentes daquela oferecida pelo concessionário de distribuição local (60Hz em Belo Horizonte). A variação desse parâmetro permite a operação dos motores das bombas centrífugas em rotações diferentes da nominal, oferecendo a possibilidade de que tais bombas forneçam vazões (e velocidades de escoamento) escolhidas para execução de cada teste de capacidade natatória.

4.1.2 Sistema de aquecimento

Para controle térmico e execução de testes com a menor variação de temperatura possível, foi montado um sistema de aquecimento elétrico, constituído por dois aquecedores de 4800W de potência elétrica cada, instalados no tanque de 5000 l. Uma bomba centrífuga aduz água fria do reservatório e a recalca aos aquecedores, os quais fazem o retorno da água aquecida ao mesmo reservatório, como mostra a figura 4.8.



Figura 4.8 – Sistema elétrico de aquecimento de água do aparato de testes. (fonte própria)

O sistema de aquecimento foi objeto de calibração térmica com diferentes volumes de reservação, como mostrado nas tabelas 4.1 e 4.2:

TABELA 4.1 – Calibração do sistema de aquecimento com volume de 278L.

Varição de Temperatura – Volume V=278L Ti = 22°C		
Tempo (min)	Temperatura °C	Ganho no intervalo °C
5	23,5	1,5
7	25,0	1,5
15	29,0	4,0
20	31,0	2,0
23	32,5	1,5
TOTAIS		10,5 (acumulado)
Taxa média de variação = 0,46 °C / min		

TABELA 4.2 – Calibração do sistema de aquecimento com volume de 5000L.

Variação de Temperatura – Volume V=5000L Ti = 26°C		
Tempo (min)	Temperatura °C	Ganho no intervalo °C
10	27,0	1,0
20	27,5	0,5
30	28,0	0,5
40	28,3	0,3
50	28,7	0,4
60	29,0	0,3
TOTAIS		3,0 (acumulado)
Taxa média de variação = 0,05 °C / min		

Assim, como evidencia a tabela 4.2, o sistema possui capacidade de aquecimento para aumento de temperatura da ordem de 3°C em 60 minutos de operação contínua do aparato elétrico em sua plena potência de trabalho, quando o reservatório principal do sistema contém 5000L.

4.2 Procedimentos experimentais

4.2.1 Captura e transporte dos peixes

Os indivíduos foram capturados no rio São Francisco, em Três Marias – Estado de Minas Gerais, a jusante da barragem de mesmo nome, próximo à ponte da rodovia BR-040 (Figura 4.9). Os contatos com os pescadores, residentes na região, foram feitos por via telefônica, com antecedência de quatro a sete dias da data da viagem. Os peixes foram capturados pelos pescadores tanto com anzol e linha, quanto com tarrafas, sendo os espécimes deslocados para um viveiro de grades plastificadas (semelhante a um tanque-rede comercial), o qual ficava imerso na corrente do próprio rio.

Durante o desenvolvimento do trabalho houve uma troca do fornecedor dos peixes (pescador) visando obter indivíduos com melhor estado geral após a pesca. Esta mudança foi bem sucedida, acarretando redução do número de indivíduos mortos nos dias subsequentes às viagens.

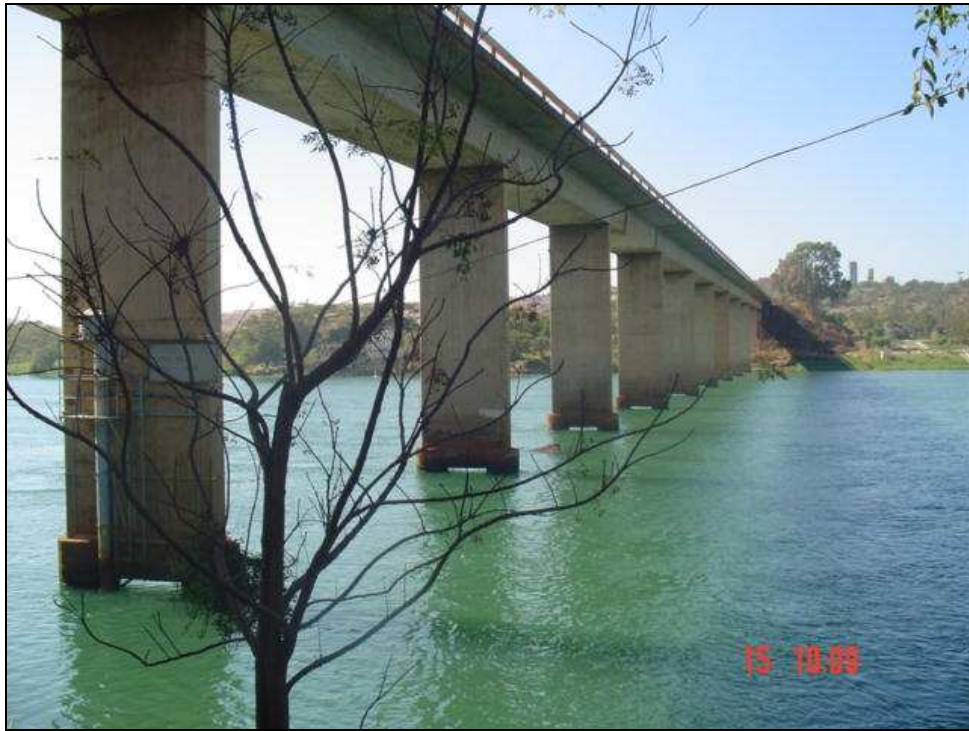


Figura 4.9 – Aspecto da região do Rio São Francisco onde foi capturada a maioria dos indivíduos utilizados nos testes.(fonte própria)

Na data marcada para o traslado dos indivíduos, uma equipe partia do laboratório, em Belo Horizonte, munida de um sistema autônomo de manutenção de vida, composto por uma caixa de fibra de vidro (Figura 4.10), bombas de ar para aquário com mangueiras para difusão e uma bateria elétrica tipo “no-break”, comumente usada em microcomputadores. Este sistema era acondicionado no porta-malas do veículo disponível para a viagem.

A ida (BH/Três Marias) era realizada pela manhã. Na chegada ao rio, a caixa era cheia com água do próprio São Francisco, sendo também colocada na água uma pequena quantidade de cloreto de sódio (sal grosso) cuja função era de profilaxia inicial contra eventuais ferimentos sofridos pelos peixes, desde a captura até o final da viagem.

Uma vez colocados na caixa os peixes e acionadas as bombas de ar ligadas à bateria, iniciava o trajeto de volta (Três Marias/BH), sempre realizado no período vespertino do mesmo dia.



Figura 4.10 – Aspecto da caixa de fibra de vidro para traslado de peixes.(fonte: Santos, 2004).

Na chegada ao laboratório tinha lugar o processo de aclimação dos peixes e posterior transferência para os aparatos de sobrevivência. No início deste processo os indivíduos eram submetidos a um banho com Terramicina (antibiótico) na proporção de 10g (5 cápsulas) do produto por 200 litros de água durante 10 minutos. Era então verificado o estado geral dos peixes e eram acondicionados nos tanques de manutenção mediante cuidadoso procedimento de equalização térmica das águas de origem e destino.

Nos dias subseqüentes, concomitantemente ao início dos testes hidrodinâmicos, observava-se o número de peixes mortos nas primeiras horas de cativeiro, bem como tinha início a adaptação à alimentação fornecida em laboratório, constituída basicamente por uma ração de terminação com médio teor protéico (Pirá 22 da fábrica Guabi) a qual apresentou satisfatória aceitação, em conjunto com outras rações vendidas em lojas especializadas.

4.2.2 Manutenção em laboratório

Uma vez estabilizada a condição geral dos peixes, os mesmos eram considerados aptos às atividades desenvolvidas durante os testes. Por ser exigida a melhor condição física dos espécimes para os testes de alta performance a ser executados durante as pesquisas, tornou-se primordial o controle rigoroso das variáveis ambientais presentes nos aquários de manutenção. A temperatura das águas mantinha-se dentro de um intervalo admissível (20°C a 27°C) pela atuação de aquecedores elétricos, com ou sem termostatos.

Os aquários do sistema de manutenção eram compostos por caixas de fibra de vidro e poliuretano, de 500L a 1000L além de caixas de poliuretano de menores capacidades para manejo entre os testes (Figura 4.11). Posteriormente foi construído um grande aquário de vidro, com geometria retangular em circuito e dotado de fluxo contínuo de água para manutenção da condição de nado dos peixes (Figuras 4.12). Todos os aparatos citados dispunham de filtros biológicos de substratos inertes para colonização por bactérias aeróbias ou, pelo menos, bombas de ar com difusores e troca periódica da água de manutenção.



Figura 4.11 – Aspecto dos reservatórios e filtros do sistema de manutenção, onde foram adaptados termostatos e aquecedores elétricos (fonte própria).



Figura 4.12 – Aspecto do aquário de manutenção, de formato retangular com centro vazado, formando um circuito contínuo de fluxo (fonte própria).



Figura 4.13 – Aspecto dos tanques de tratamento e quarentena (fonte própria).

O manejo dos peixes nas caixas e aquários dos sistemas de manutenção era feito de tal forma que fossem separados os peixes já testados daqueles que ainda não o tenham sido. Alguns aquários menores de vidro foram utilizados como tanques de tratamento de indivíduos doentes, funcionando muitas vezes como caixas de quarentena e isolamento (Figura 4.13), visando a sanidade dos grupos maiores, nas grandes caixas. Grupos de peixes já testados foram levados de volta ao Rio São Francisco e restituídos ao seu habitat natural quando da viagem seguinte, para captura de novos espécimes.

4.2.3 Preparação para os ensaios

A preparação para uma bateria de ensaios tinha início com o aquecimento da água do reservatório pertencente ao aparato de testes, com volume de 5000L. Para tanto lançou-se mão de vários recursos disponíveis, como o sistema de aquecimento elétrico acoplado ao reservatório, ou as próprias bombas de circulação do aparato acionadas em sua máxima capacidade. A própria cobertura metálica do galpão do laboratório auxiliava no aquecimento, nas horas com sol mais brilhante, irradiando calor para o interior da construção. De fato, nos dias mais frios, foi necessário lançar mão de todos esses métodos de adequação térmica com a

finalidade de deixar o sistema apto a fornecer aos peixes as condições ambientais ótimas para o desenvolvimento das capacidades natatórias.

Uma vez atingido o patamar desejado de temperatura da água de teste – geralmente em torno de 26°C ou 27°C – passava-se ao procedimento de retirada do espécime a ser testado do aquário de manutenção. A escolha recaía sistematicamente sobre os peixes que apresentassem melhor aspecto físico, denotado pela uniformidade na coloração, vivacidade na resposta à tentativa de captura, aspecto e integridade dos barbilhões e ausência de ferimentos externamente detectáveis. Na impossibilidade de encontrar indivíduos nas condições ideais optava-se pelos que mais se aproximassem destes padrões. A escolha era mais aleatória quando todo o grupo apresentava condições semelhantes, o que tornou-se mais freqüente com o aprimoramento das técnicas de manejo e manutenção e com a troca do pescador fornecedor.

O peixe escolhido era separado do grupo e colhido com o auxílio de um “puçá” de náilon (haste de coleta com invólucro na extremidade), sendo depositado em um balde cheio com água do seu aquário de origem. Neste balde, procedia-se ao transporte desde a sala de aquários de manutenção até as proximidades do aparato de testes. O passo seguinte consistia na homogeneização da água onde o peixe estava imerso através da mistura gradual da água do reservatório de testes com a água do balde, originária do tanque de sobrevivência. Progressivamente adicionava-se água do reservatório ao balde, de forma lenta, até que o balde contivesse apenas água do reservatório. Essa prática tinha por objetivo evitar choques térmicos, os quais poderiam prejudicar tanto a sanidade do indivíduo quanto seu rendimento para o teste. Completa essa preparação, bastava abrir a conexão de inserção do peixe no aparato de testes, previamente cheio de água com o auxílio das bombas, acionadas pelos inversores de freqüência.

4.2.4 Etapas dos ensaios

Após a preparação, estando cheia a tubulação do túnel hidrodinâmico, ligado o medidor eletromagnético de vazões e habilitados os inversores de freqüência, colocava-se o peixe na seção de testes pela abertura na conexão de montante. Fechada a abertura com uma tampa rosqueada e vedada com um anel de borracha e um soquete que se adapta ao perfil interno do tubo de testes, abre-se o registro de jusante (com botoeira e servo-acionador elétrico) e

também o registro de recalque da primeira bomba a ser acionada. Ao mesmo tempo coloca-se esta bomba em funcionamento, atingindo a primeira velocidade a ser vencida pelo peixe.

Os testes se dividem em dois tipos a partir deste ponto:

- Testes com incrementos sucessivos de velocidade (para velocidade prolongada crítica)
- Testes a velocidade fixa, após fase de adaptação (para velocidade prolongada)

O primeiro grupo de testes compreende aqueles realizados segundo a metodologia definida por Brett (1964) para peixes de clima temperado e adaptada por Santos (2004) para peixes de clima tropical. Seu objetivo é determinar a velocidade prolongada crítica para uma dada espécie através de testes realizados com incrementos pré-determinados de velocidade de fluxo em intervalos fixos de tempo. Mede-se o tempo resistido pelo peixe no último intervalo, do qual se conhece a velocidade. Com estes dados obtém-se a velocidade crítica através da equação 1, apresentada anteriormente:

$$U_{crit} = U_{max} + \frac{t_t}{t_f} \times \Delta U \quad \text{EQ. 1}$$

Onde U_{crit} é a velocidade crítica em metros por segundo, U_{max} é a velocidade nominal do último intervalo ao qual o peixe resistiu, ΔU é o incremento de velocidade para cada intervalo de tempo T_t . O tempo resistido no último intervalo é designado por T_f .

Para esses testes de velocidade crítica, optou-se por incrementos de velocidade de 0,05 m/s em intervalos de tempo de 5 minutos, começando com a velocidade de 0,2 m/s. (correspondente a 6,9 Hz de frequência no inversor Siemens para a bomba 1, de 7,5cv.)

O segundo grupo de testes, realizado a velocidade fixa (para determinação de velocidade prolongada) exige uma fase de adaptação do peixe ao fluxo que deve enfrentar, constituindo procedimento de rotina na literatura. Como primeiro passo dessa adaptação é estabelecido inicialmente um fluxo a baixa velocidade durante 10 minutos. Para o mandi verificou-se experimentalmente, no presente trabalho, que a velocidade inicial de adaptação deveria ser de 0,2 m/s (ou 20 cm/s) pois somente a partir dessa velocidade a maioria dos indivíduos testados apresenta movimentos natatórios, ainda que tênues ou intermitentes.

As etapas seguintes, ainda dentro da adaptação, consistem de aumentos sucessivos da velocidade do fluxo, sempre em intervalos de 2 ou 3 minutos (flexibilidade admitida para divisão dos incrementos de velocidades em intervalos homogêneos de tempo), até ser atingido o valor final escolhido para o teste. Uma vez estabelecida a velocidade pré-determinada para cada teste, esta é mantida fixa até que se verifique a fadiga do peixe ou até que seja atingido o limite de 200 minutos de natação (contados a partir do estabelecimento da velocidade de teste). Registra-se o tempo resistido por cada indivíduo que venceu a etapa de adaptação e não superou o limite de 200 minutos, considerando-se velocidade sustentável para cada indivíduo aquela mantida por tempo superior a este limite.

Os testes a velocidade fixa permitem adquirir dados para determinação da velocidade prolongada da espécie estudada através da adimensionalização dos resultados em função das características físicas de cada indivíduo, representadas pelos fatores de forma. Assim é possível agrupar e avaliar em conjunto as capacidades natatórias de peixes de diferentes dimensões, pesos e idades. Após os testes procede-se às tomadas de peso e medidas dos indivíduos testados. As medidas tomadas são de:

- Comprimento total – da extremidade do focinho à extremidade da nadadeira caudal;
- Comprimento padrão – da extremidade do focinho à raiz da nadadeira caudal;
- Comprimento furcal – da extremidade do focinho à divisão dos lobos da nadadeira caudal;
- Largura – de um lado ao outro do corpo, junto à raiz da nadadeira peitoral;
- Altura – da raiz da nadadeira dorsal à região ventral; (veja Figura 4.9)



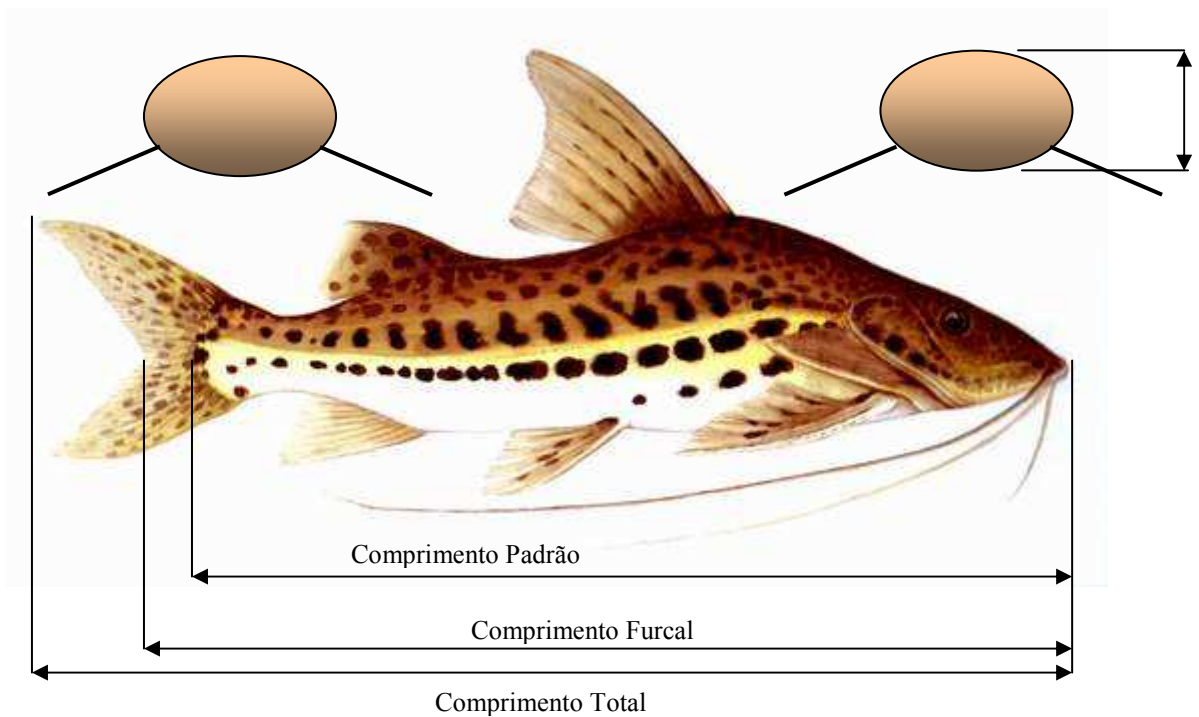


Figura 4.14 – Diagrama das dimensões corporais relevantes no mandi.(fonte própria)

4.2.5 Retorno do indivíduo aos tanques de manutenção

Terminada a tomada de medidas e peso, passa-se ao transporte do indivíduo da área do aparato de testes para o aparato de manutenção. Nesta etapa, assim como na retirada do indivíduo para ser testado, é imprescindível a aclimação, que deve ser executada de forma gradual e lenta, com a mistura progressiva das águas dos aparatos de teste e manutenção, evitando assim choques térmicos que poderiam ser danosos à saúde dos peixes testados. Com esses cuidados atinge-se uma longevidade considerável, superior mesmo a dois anos, de tal maneira que torna-se possível realizar a restituição dos peixes testados ao seu hábitat natural. Algumas dessas viagens de retorno foram empreendidas durante este trabalho.

Os tanques de quarentena são utilizados toda vez que um indivíduo apresenta comportamento apático, lesões físicas visíveis ou sinais de enfermidades. Alguns peixes testados e outros ainda não submetidos aos testes foram acometidos de doença causada por fungos (provavelmente *ictios*) cujos sintomas mais visíveis eram mudança de coloração, perda de apetite, descamação e aparecimento de uma camada esbranquiçada sobre todo o corpo, inclusive sobre os olhos. Uma vez constatado o problema em qualquer indivíduo, este era separado do convívio dos demais, para ser submetido ao tratamento.

A profilaxia adotada neste caso era a imersão do peixe doente num dos tanques de tratamento e quarentena, no qual era preparada uma diluição de Azul de Metileno. Em paralelo era feito o controle rigoroso da temperatura da água de tratamento, com o auxílio de aquecedores elétricos próprios para aquários.

Observou-se que a prevalência desta enfermidade tinha um incremento tanto nos dias mais frios quanto nos meses de inverno. Diante desse cenário optou-se por atuar sobre a variável temperatura, agindo diretamente sobre os sistemas responsáveis pelo controle ambiental nos tanques. Com o aperfeiçoamento dos equipamentos de controle de temperatura aplicados aos tanques de manutenção e tratamento houve uma redução considerável nos casos de acometimento por fungo, tornando cada vez maior a sobrevivência daqueles indivíduos contaminados. Como resultado da redução do número de indivíduos doentes foi verificado o aumento na longevidade do grupo como um todo, tornando maior o número de indivíduos efetivamente aptos à participação nos testes de capacidade natatória.

5 RESULTADOS

Os testes realizados com os indivíduos capturados se prolongaram de outubro de 2004 a junho de 2005, tendo sido testados 85 indivíduos (total de testes de velocidade prolongada e prolongada crítica) e coletados dados de variáveis intervenientes, tais como: temperatura, pH, oxigênio dissolvido na água, peso e medidas corporais dos indivíduos (largura, altura, comprimento total, padrão e furcal – vide Figura 4.14)

Os dados das variáveis relevantes foram assiduamente coletados no local de teste e posteriormente sistematizados em planilhas eletrônicas, alimentadas com os valores adquiridos e capazes de armazenar isoladamente os dados de cada teste. Cada planilha permite trabalhar com os dados do respectivo teste e além disso transportá-los para outras planilhas, com a finalidade de realizar análise e tratamento conjunto dos dados, bem como produção dos gráficos pertinentes. Dessa forma faz-se possível o teste de correlações entre variáveis e dedução de relações entre o meio de teste e as respostas dos peixes, referentes às suas capacidades natatórias.

5.1 A OPÇÃO DE SE TRABALHAR COM O PIMELODUS MACULATUS

Para realizar o levantamento da velocidade prolongada de uma espécie de peixe comum em rios brasileiros, fez-se necessária a opção por uma em particular. Mostrou-se essencial que se trabalhasse com uma espécie representativa, tanto do ponto de vista de biomassa, quanto do ponto de vista da abrangência geográfica e ainda quanto à importância econômica da espécie abordada. Decidiu-se optar pelo mandi amarelo (*Pimelodus maculatus*) tanto pela sua abrangência geográfica, quanto pela sua importância sócio-econômica, pois representa uma das espécies mais utilizadas pelos pescadores para subsistência de suas famílias. Mesmo não sendo a espécie com maior quota de biomassa nos rios brasileiros, ocupa importante nicho tanto na biota constituinte dos ecossistemas fluviais quanto na chamada “ecologia humana” das comunidades ribeirinhas, constituindo um de seus pilares de sustentação. De fato, verifica-se que o pescador tende a colocar os peixes maiores à venda e optar por espécies do porte do mandi para saciar a fome de sua família, especialmente quando se verifica uma diminuição nas populações daqueles peixes de maior valor comercial.

Outro fator determinante na escolha foi a facilidade de manejo do mandi, desde que tomados os devidos cuidados em relação aos ferrões localizados nas nadadeiras peitorais e na dorsal. Além disso, por se tratar de um peixe de couro, que geralmente prefere as regiões próximas ao leito dos rios, acredita-se que desenvolva velocidades menores que aquelas enfrentadas por espécies encontradas no meio da coluna líquida dos rios. Essas espécies, peixes de escama em sua maioria, por enfrentarem velocidades maiores de fluxo, estando adaptadas a condições mais severas de transposição de obstáculos, teriam maior facilidade para ultrapassar um MTP com maior velocidade de escoamento. Assim parece razoável empreender pesquisas mais detalhadas acerca das capacidades natatórias das espécies cujo estilo de vida é compatível com menores velocidades de corrente, tornando-os então balizadores dos parâmetros de projeto em MTP. Em suma é coerente dimensionar um MTP para as espécies mais lentas que poderão utilizá-lo. Para tanto é necessário investigar as velocidades desenvolvidas por cada uma dessas espécies balizadoras, objetivo a que se propõe o presente trabalho, para o caso específico do mandi.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Do conjunto de 85 peixes coletados, transportados e mantidos vivos com sucesso durante os procedimentos experimentais 48 indivíduos foram submetidos aos testes de velocidade

prolongada crítica, com incrementos de velocidade. Desses apenas 25 foram considerados como amostras válidas para a composição das curvas de velocidade.

O critério de validação levou em conta alguns indícios de que o peixe pudesse não estar apto a desenvolver sua capacidade natatória de modo compatível com o que faria na natureza. Uma forma de detectar distúrbios foi a própria observação do comportamento dos peixes durante a atividade de nado. Aqueles que desde as menores velocidades já demonstrassem apatia ou simplesmente se apoiassem na tela protetora localizada a jusante da seção de testes eram considerados inaptos e seu respectivo valor como amostras era tido como baixo.

Outro caso de invalidação de amostras ocorria freqüentemente quando um peixe, mesmo nadando na primeira ou segunda velocidade, cessava logo em seguida sua atividade natatória de modo brusco, dirigindo-se para a tela de jusante e não retornando para a seção de testes.

Tanto neste caso quanto naquele citado acima foi possível deduzir dois tipos de justificativas para o desempenho atípico daqueles peixes que demonstraram atividade natatória excepcionalmente baixa para seu peso e tamanho:

- **Justificativas Físicas:** peixes com pequenos ferimentos ou acometidos por fungos, mesmo em estágio inicial de desenvolvimento de doenças, são mais suscetíveis à degeneração da capacidade natatória. Por vezes esses ferimentos ocorrem dentro dos tanques de manutenção ou mesmo durante o manejo e transporte para os testes. O próprio stress causado pela captura, transporte e alojamento dos indivíduos em ambientes diferentes do seu hábitat original pode desencadear reações físicas negativas, potencializadas pela ocorrência de lesões. Outro fator físico preponderante na constatação de inaptidão aos testes de capacidade natatória diz respeito à mudança da qualidade da água na qual o peixe se encontra. O maior impacto é verificado já na captura, quando o peixe é retirado da água do seu rio de origem e levado para uma outra, com diferentes patamares de pH, luminosidade, turbidez, temperatura e oxigênio dissolvido. Também durante o traslado para o teste, apesar do cuidado tomado durante a aclimatação, é praticamente impossível que os peixes (uns mais, outros menos) não sofram stress.
- **Justificativas Comportamentais:** alguns dos peixes que demonstram maior agressividade também se apresentam ariscos quando manipulados para inserção no aparato de testes, dirigindo-se para a tela de jusante tão logo são colocados na conexão de montante. Esses

indivíduos, uma vez ocultos pela seção opaca localizada junto à conexão de jusante, não se deslocam para a seção de testes nem mesmo quando submetidos a estímulos de fluxo crescente ou estímulos acústicos, através de batidas na parte externa do tubo. Quando se escondem nesse local, freqüentemente os peixes se apóiam na tela protetora, se recusando a nadar.

Como critério de escolha foram considerados válidos para amostragem os peixes que desenvolveram pelo menos a fase inicial da capacidade natatória esperada para os peixes das mesmas características corporais.

A distribuição dos peixes em função de seus comprimentos seguiu o padrão apresentado no gráfico 5.1, onde podemos observar que foram contemplados indivíduos acima do tamanho de primeira maturação definido para o mandi em 18,5cm (Sato, Y.; Cardoso, e. L.; Amorim, J. C. C. 1987). A mediana se localiza em 23,0cm e verifica-se um comportamento uniforme do universo amostral, estando os percentis 25%-75% respectivamente na faixa de 21,0 a 25,0 cm. A variabilidade é moderada, estando todo o universo amostral compreendido no intervalo de 19,0 a 26,0 cm, sem a presença de *outliers*.

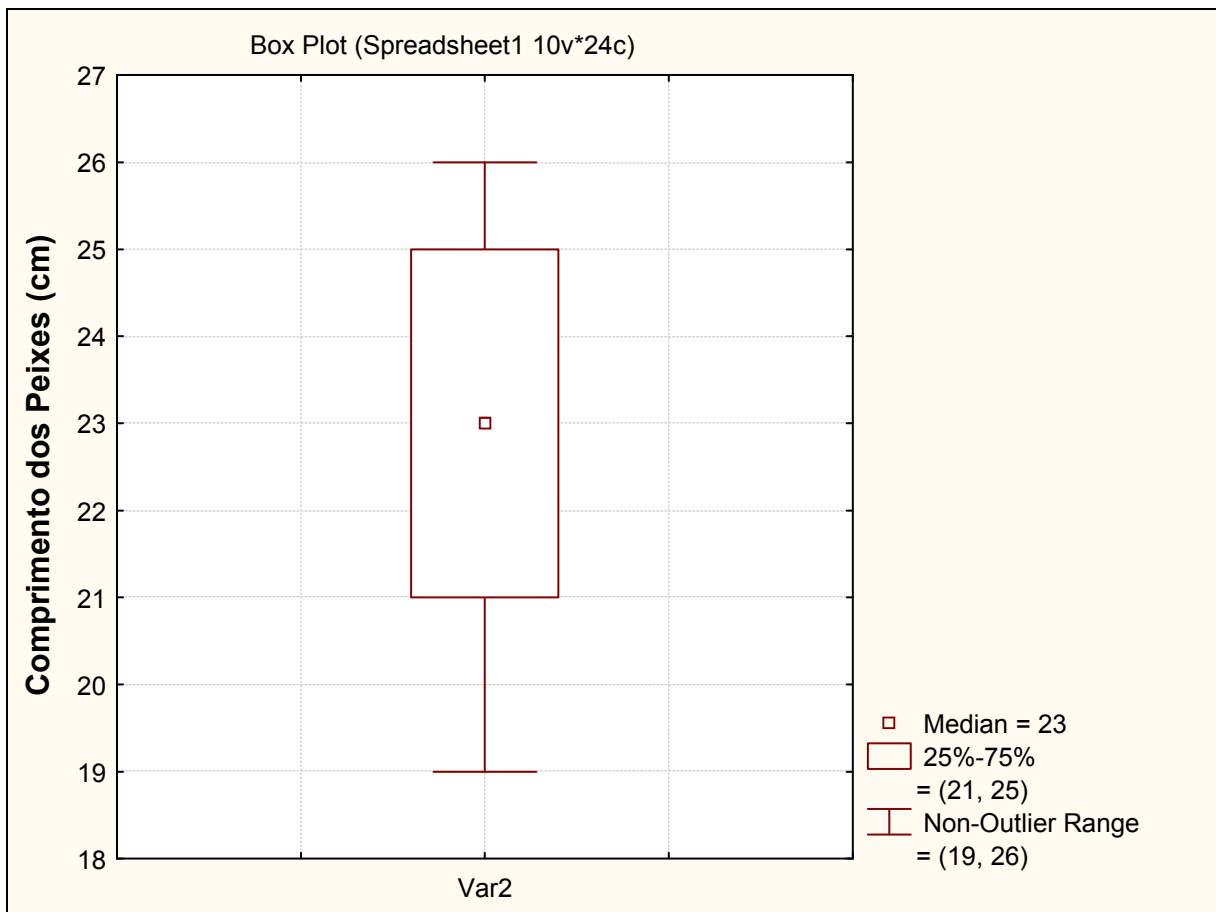


Figura 5.1 – Gráfico (boxplot) da distribuição dos peixes por comprimento (veloc. Crítica).

5.3 RESULTADOS DOS TESTES DE VELOCIDADE PROLONGADA CRÍTICA

As Figuras 5.2 a 5.9, exibidas nas páginas seguintes, apresentam os resultados obtidos nos testes de velocidade prolongada crítica, em função de diferentes fatores intervenientes, cujas e equações de ajuste e coeficientes de determinação (R^2) também são apresentados.

Usando a regressão polinomial de primeiro grau encontramos uma linha de tendência com grande variabilidade das amostras, com R^2 de 0,42. Embora os R^2 não tenham sido altos, ficou bem delineada a relação entre as variáveis comprimento total e velocidade (vide Fig. 5.2), sugerindo que os peixes maiores desenvolvem velocidades também maiores, o que justifica uma posterior análise por adimensionalização. Neste tipo de abordagem a velocidade dos peixes é expressa em “comprimentos do peixe por segundo” no lugar de metros por segundo.

A Figura 5.5 apresenta a variação da velocidade crítica em função do peso, onde podemos observar uma variabilidade ainda maior que aquela apresentada para a influência do

comprimento total sobre a velocidade crítica. Assim como no caso citado, também para o gráfico que considera o peso temos um ajuste fraco, permitindo inferir que a influência do peso sobre a velocidade crítica existe mas não é preponderante se considerada isoladamente. Assim, pode-se dizer que outras variáveis influem sobre a capacidade natatória dos peixes.

A Figura 5.6 apresenta a variação da velocidade crítica em função do fator de condição, onde também podemos observar grande variabilidade. O ajuste obtido também foi fraco, uma vez que a influência do fator de condição sobre a velocidade crítica não apresentou correlação significativa para as amostras obtidas. Tal conclusão pode buscar embasamento no fato de que o fator de condição leva em consideração a massa corporal de cada indivíduo em função de seu comprimento, o que pode acarretar que alguns indivíduos, estando mais debilitados, apresentem menor capacidade de nado para um mesmo comprimento corporal, mesmo sem a ocorrência de perda significativa de peso.

A variação do número de Reynolds em função do comprimento total está apresentada na Figura 5.3 atestando que existe uma correlação muito forte entre a característica tomada pelo escoamento em torno do corpo do peixe e sua dimensão longitudinal máxima.

Neste caso a regressão polinomial de primeiro grau mostrou eficiência na descrição do relacionamento entre as variáveis, mostrando bom coeficiente de correlação.

A forte correlação entre o comprimento total dos indivíduos testados e a respectiva área de seção transversal está expressa na Figura 5.4, atestando que o critério de escolha de animais saudáveis para os testes levou, como consequência, à predileção por indivíduos que apresentassem fatores de condição com valores próximos. Para a descrição desta relação mostrou-se eficaz a regressão linear, com polinômio do primeiro grau cuja equação e coeficiente de determinação se encontram apresentados no gráfico.

De modo semelhante à regressão realizada anteriormente, observou-se um ajuste significativo quando consideradas as variáveis logaritmo natural da velocidade crítica em função do comprimento total, como podemos ver pela Figura 5.7.

Essa constatação permite inferir que os dois tipos de ajuste são válidos na descrição das correlações existentes entre características físicas do corpo dos peixes e comportamento do escoamento em torno dos mesmos. (Fator de condição)

Outra observação cabível diz respeito à adimensionalização, termo aplicado ao tratamento dos dados de velocidade natatória dos peixes levando em consideração seus comprimentos corporais, quando comparados os valores de velocidade de nado de vários indivíduos.

As Figuras 5.8 e 5.9 mostram respectivamente a variação do número de froude em torno do peixe com o seu comprimento e um outro ajuste possível para a velocidade crítica em função do fator de condição. Como verificado pelo exame dos gráficos o ajuste se mostrou fraco para o conjunto amostral obtido. Com bases de dados cada vez maiores há uma tendência de crescimento na qualidade de ajustes como esse.

Nas páginas subsequentes às Figuras são apresentadas as tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 que mostram respectivamente um exemplo de teste para velocidade crítica, um exemplo de coleta de vazões durante o teste citado e finalmente um quadro com o resumo de todos os dados obtidos com os 25 indivíduos submetidos aos testes de velocidade crítica. Tais resultados geraram os gráficos apresentados nas Figuras 5.1 a 5.8, possibilitando as análises apresentadas.

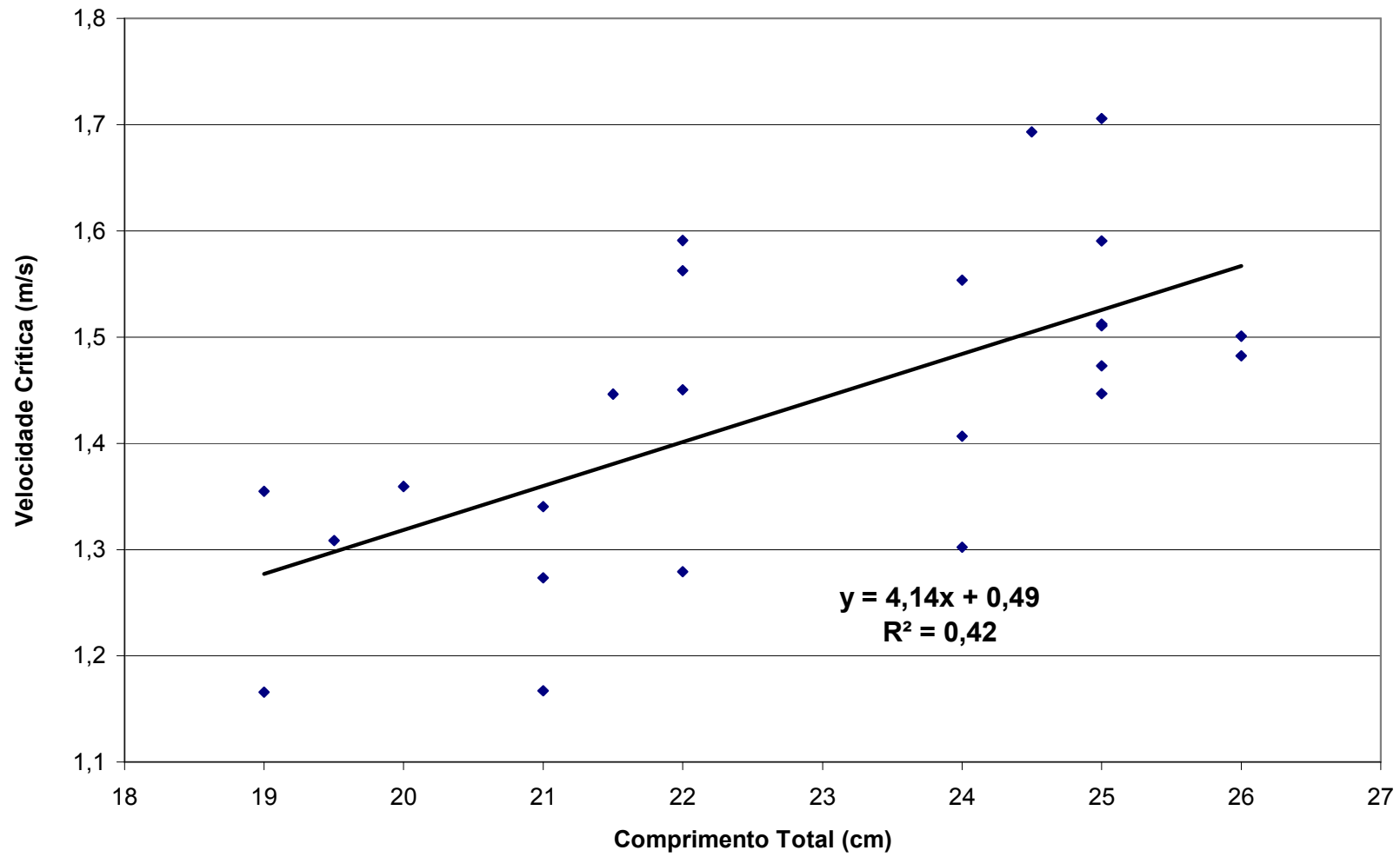


Figura 5.2 – Velocidade crítica em função do comprimento total dos indivíduos.

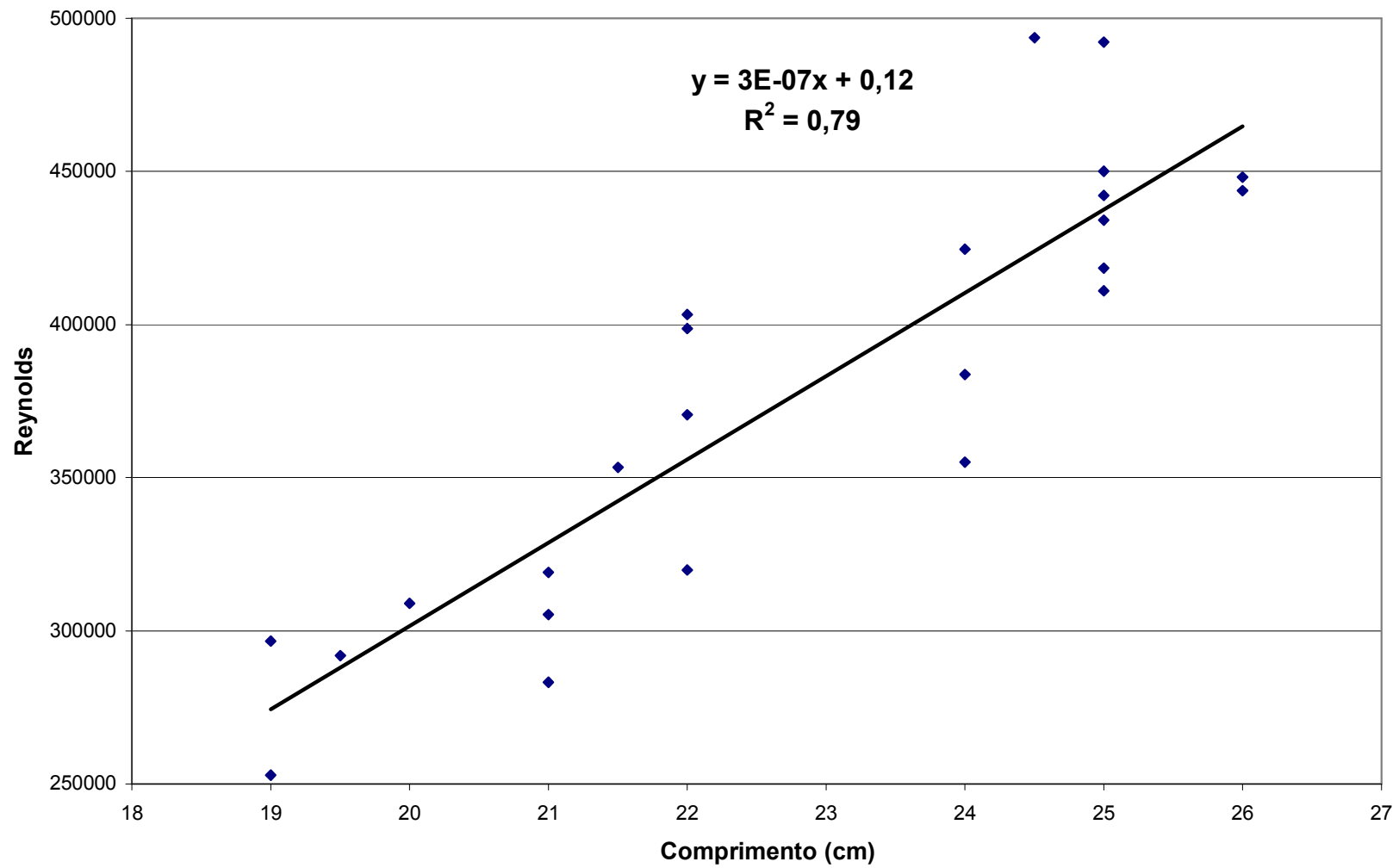


Figura 5.3 – Reynolds em função do comprimento total dos indivíduos.

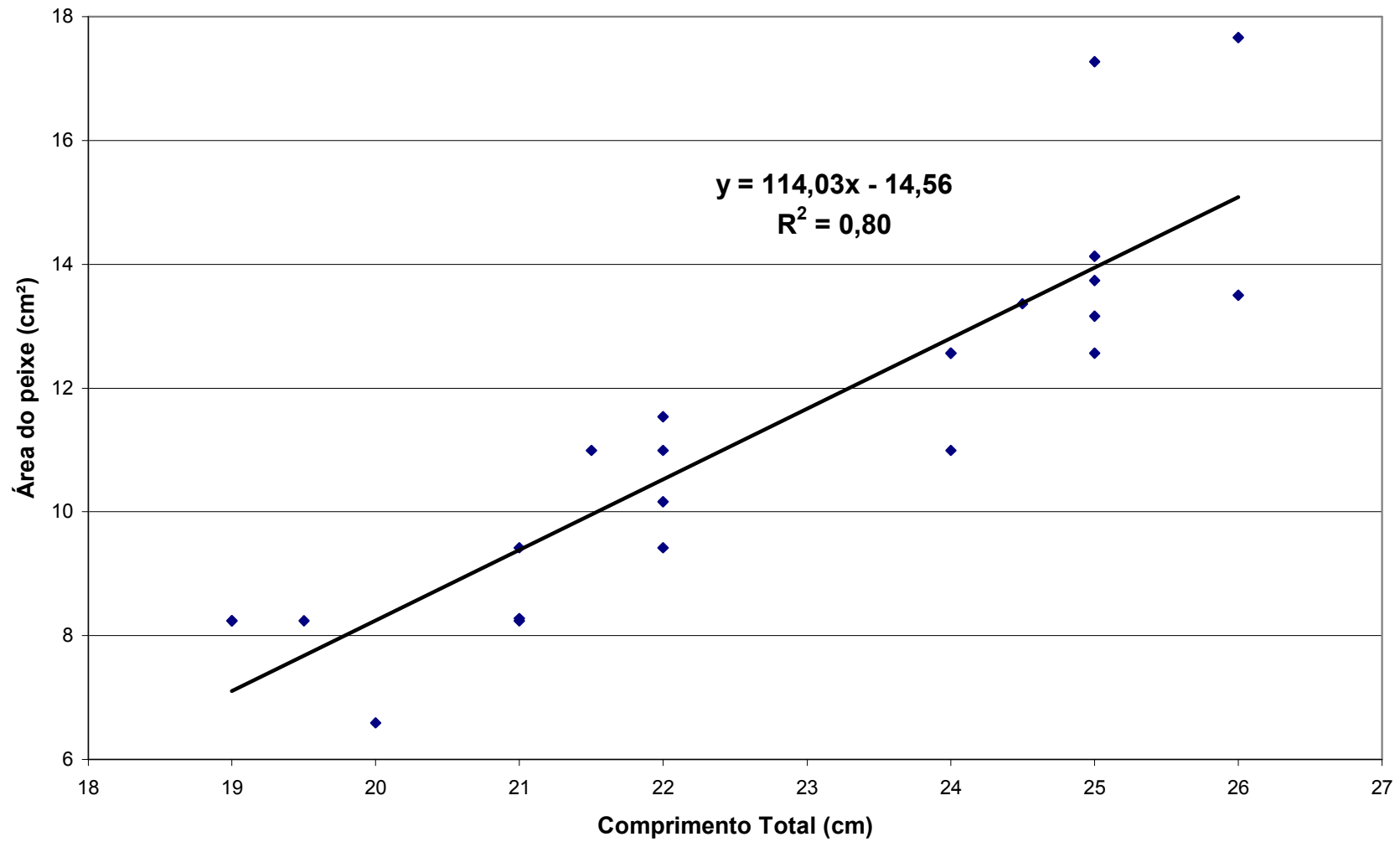


Figura 5.4 – Área do Peixe em função do comprimento total dos indivíduos.

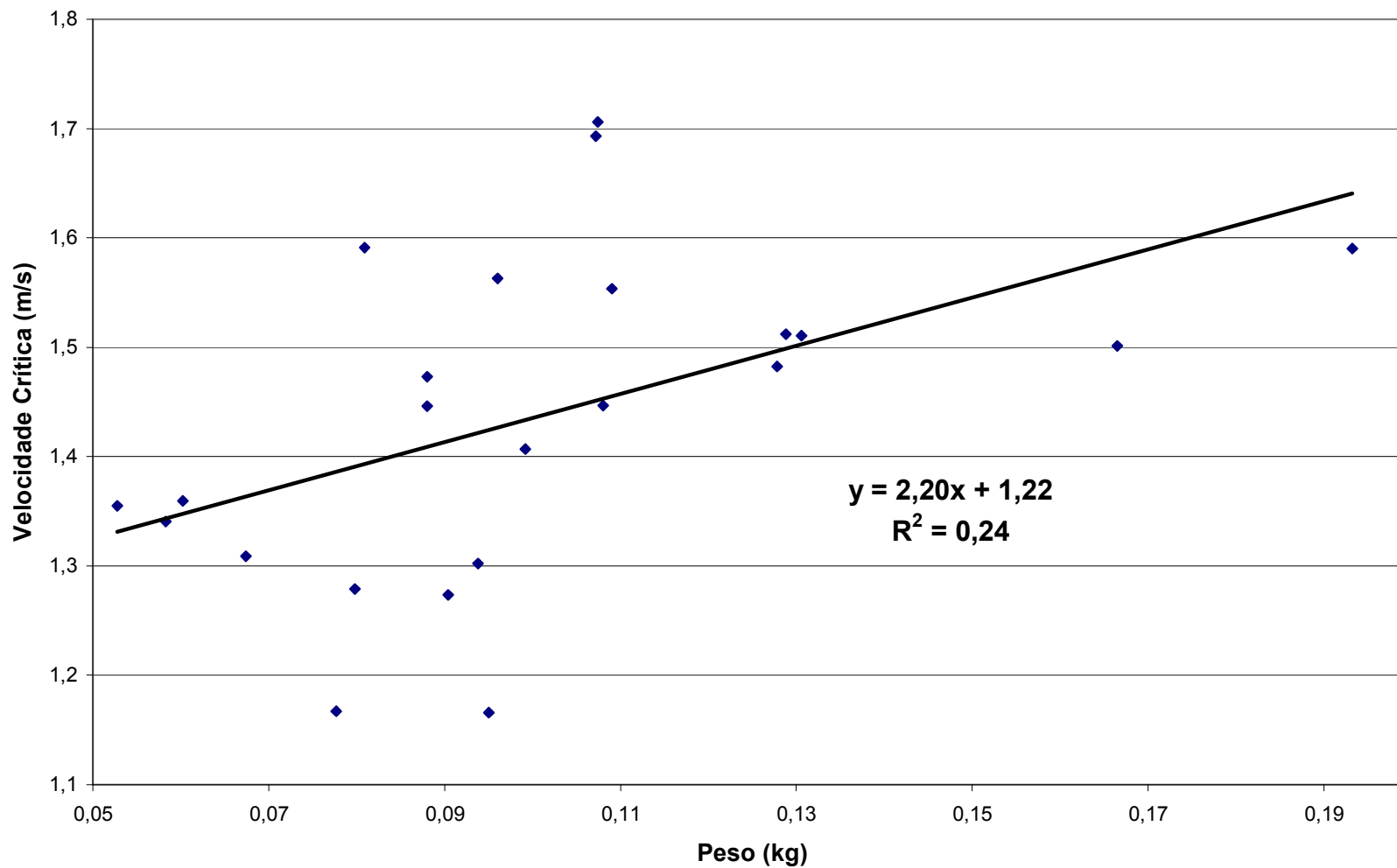


Figura 5.5 – Velocidade crítica em função do peso dos indivíduos.

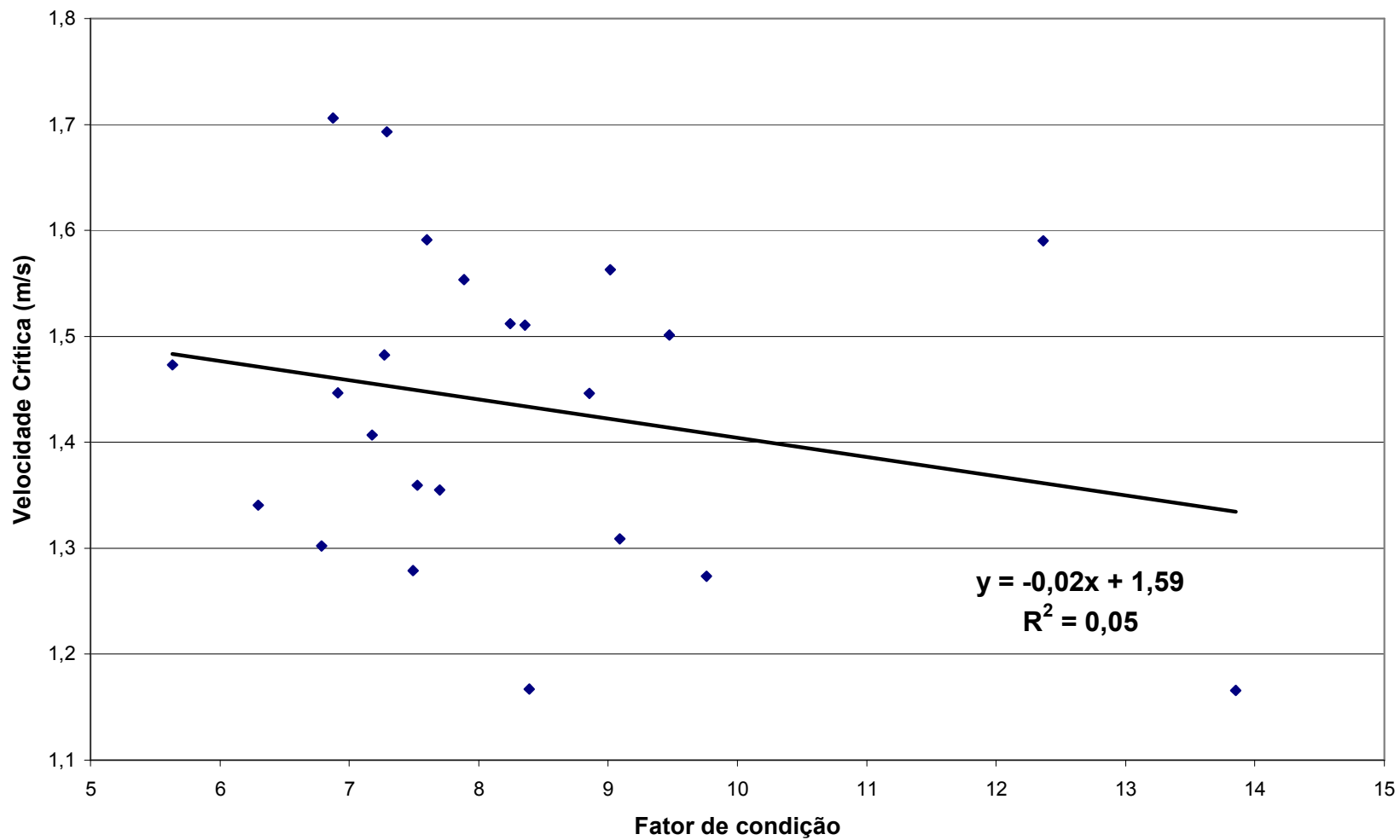


Figura 5.6 – Velocidade crítica em função do fator de condição dos indivíduos (regressão não significativa).

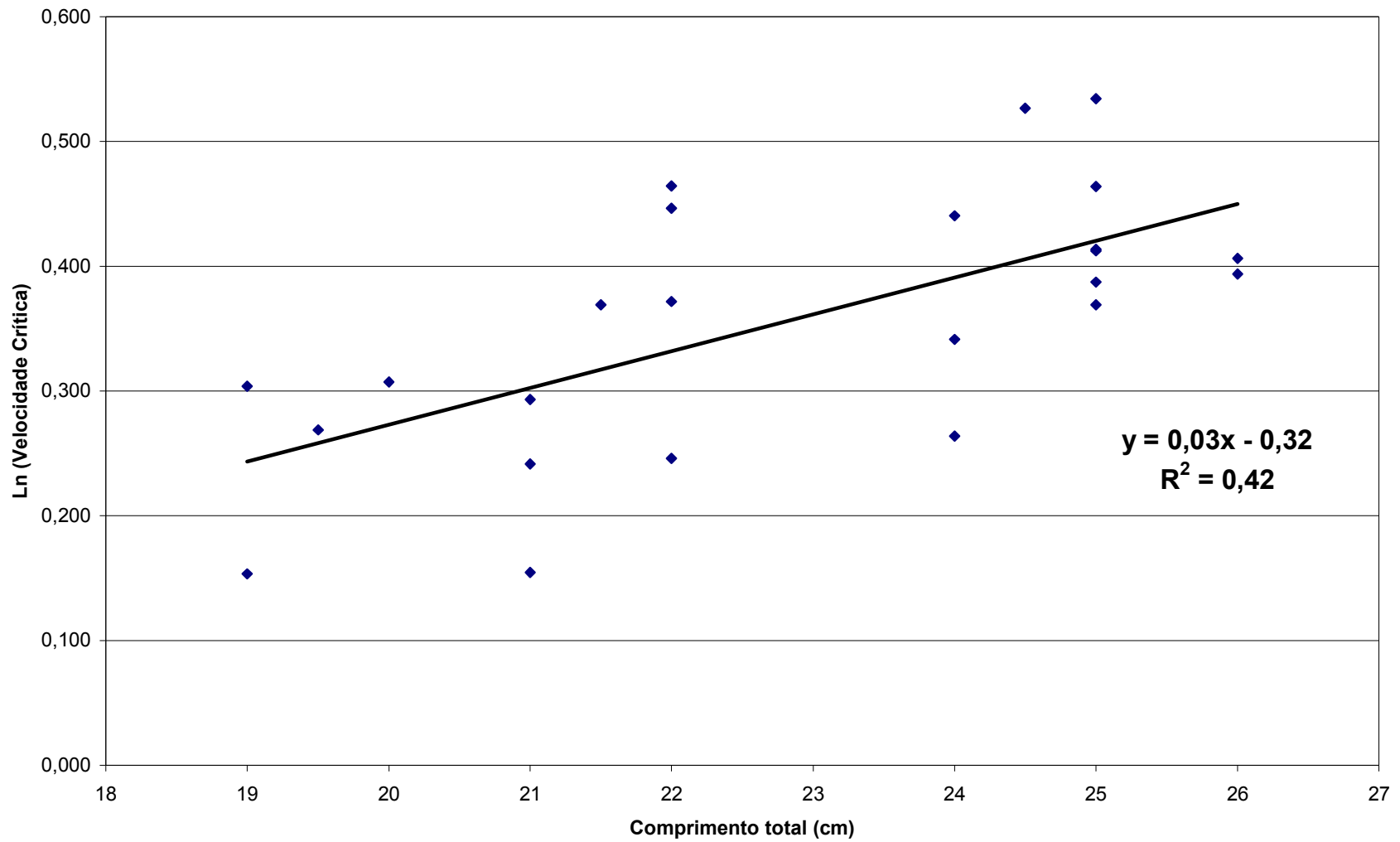


Figura 5.7 – Logaritmo da velocidade crítica em função do comprimento total dos indivíduos.

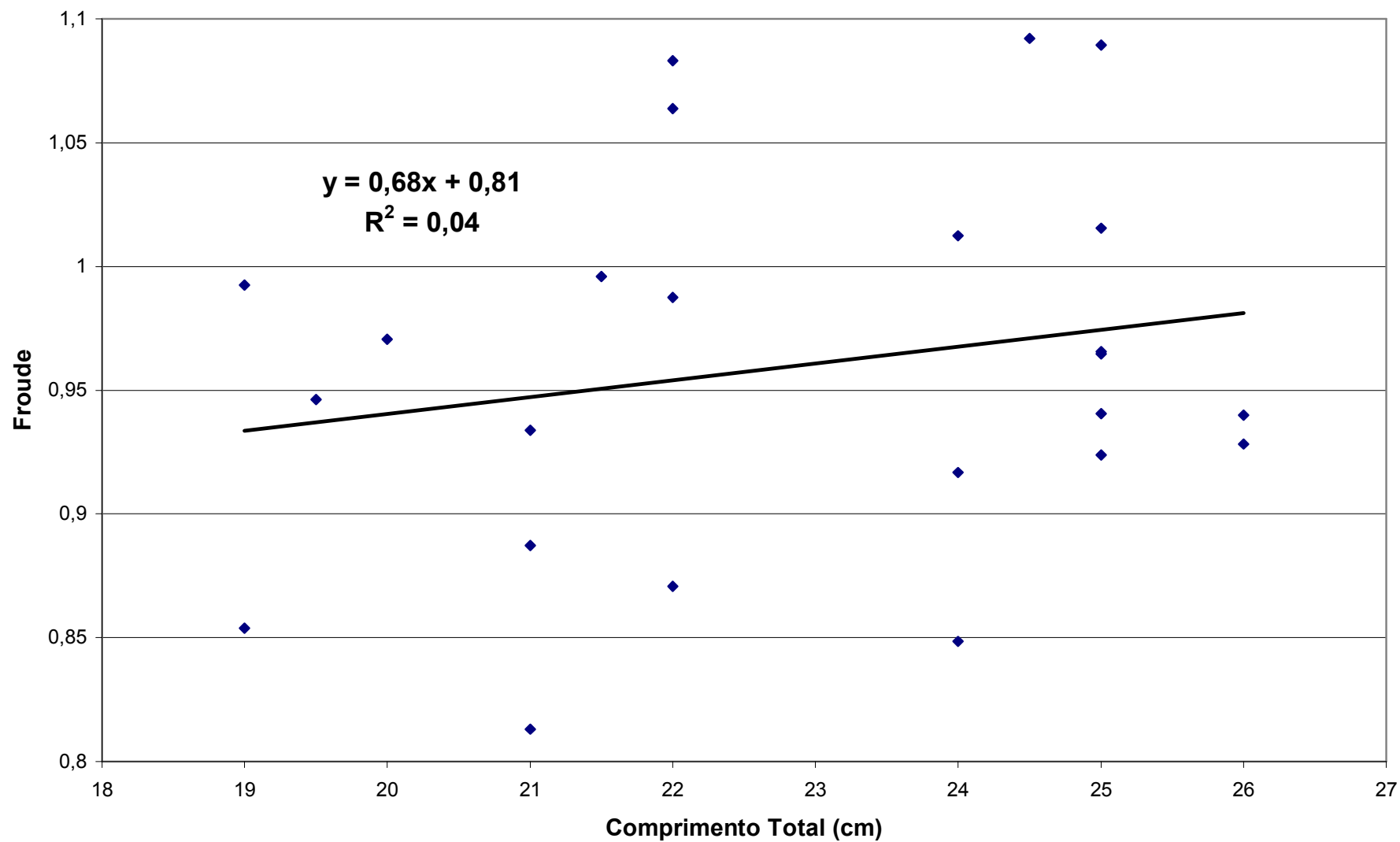


Figura 5.8 – Froude em função do comprimento total dos indivíduos (regressão não significativa).

TABELA 5.1 – Exemplo de teste de velocidade crítica (preenchimento de planilha-padrão).

	Data do teste	11/11/04	Horário		15:51-18:07	
Peixe 1	Peso (g)	96	Correção:		Incerteza:	
	Comprimento Maior (cm)	22	Área transversal do peixe (cm ²)	10,16575	ΔU médio (m/s)	0,049
	Comprimento Menor (cm)	18,5	Área transversal da câmara (cm ²)	164,5913	Desvio padrão ΔU (m/s)	0,013825
	t_i -intervalo de tempo (min)	5	λ	3,055556	Incerteza do ΔU (m/s)	0,008
	Velocidade Máxima (m/s)	1,45	τ	0,8	Inc.da U_{max} corrig.(m/s)	0,0200
	t_f -Tempo de fadiga (sec)	266	Impedimento Sólido (%)	0,037521	Incerteza do t_i (s)	60
	Tempo total de nado (horas)	2,16	Valor do imp. (m/s)	0,05441	Incerteza do t_f (s)	60
	Temperatura Média (°C)	26,9			Incerteza da U_{crit} (m/s)	0,025
	Largura (cm)	3,5	Empuxo horizontal (m/s)	0,0145		
	Altura (cm)	3,7				
	Espessura do peixe (cm)	3,6	U_{max} Corrigida (m/s)	1,51891	U_{crit} corrigida (m/s)	1,563

TABELA 5.2 – Coleta de vazões relacionada ao teste da tab.5.1.

U _{teo}	Vazões												Temperatura	U	ΔU
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão			
0,2	193,02	191,87	192,66	194,41	193,92	193,01	193,34	192,97	193,87	192,92	193,20	0,72	26,8	0,20	
0,25	243,41	241,38	242,85	240,96	241,77	241,94	242,96	241,66	242,71	241,23	242,09	0,84	26,8	0,25	0,05
0,3	278,59	279,14	279,93	280,07	279,08	280,12	280,22	279,5	278,76	279,29	279,47	0,59	26,8	0,28	0,04
0,35	331,22	33,5	332,1	332,8	334,03	330,46	332,62	330,87	333,24	334,62	302,55	94,54	26,8	0,31	0,02
0,4	378,72	377,14	375,39	380,04	374,01	374,27	377,82	366,9	373,07	375,36	375,27	3,68	26,8	0,38	0,07
0,45	415,03	414,91	414,76	419,13	413,16	418,13	416,48	414,4	411,75	411,37	414,91	2,51	26,8	0,42	0,04
0,5	478,04	476,01	474,63	469,99	472,23	471,01	473,03	475,47	471,74	470,11	473,23	2,71	26,8	0,48	0,06
0,55	505,42	508,9	512,08	510,21	504,12	509,41	505,97	506,7	507,85	503,01	507,37	2,84	26,8	0,51	0,03
0,6	554,74	559,94	558,18	561,9	558,62	551,6	559,3	557,77	560,97	561,42	558,44	3,18	26,8	0,57	0,05
0,65	595,53	591,14	603,19	591,39	590,17	594,27	595,16	590,2	589,98	592,2	593,32	4,04	26,8	0,60	0,04
0,7	651,21	647,1	651,99	652,03	651,82	650,27	648,62	646,64	651,1	649,7	650,05	1,99	26,8	0,66	0,06
0,75	711,08	712,84	713,63	711,87	711,32	710,15	711,32	710,65	711,71	708,46	711,30	1,42	26,9	0,72	0,06
0,8	770,13	773,53	775,16	774,5	773,4	774,73	777,04	776,58	779,89	777,63	775,26	2,70	26,9	0,79	0,06
0,85	821,14	820,67	821,72	825,03	826,56	826,33	819,92	824,44	825,59	828,02	823,94	2,85	26,9	0,83	0,05
0,9	878,48	876,28	878,65	880,4	874,34	879,96	878,54	875,91	873,96	878,77	877,53	2,26	26,9	0,89	0,05
0,95	910,9	914,34	914,51	908,97	916,02	911,55	915,22	911,87	915,86	917,52	913,68	2,71	26,9	0,93	0,04
1	965,73	970,45	967,81	968,47	966,9	963,53	970,3	964,7	967,03	964,34	966,93	2,39	26,9	0,98	0,05
1,05	1013,2	1016,4	1007,4	1010,9	1017,8	1020,8	1021,9	1022,6	1019,4	1021,7	1017,21	5,19	26,9	1,03	0,05
1,1	1064	1061	1057,2	1054,9	1058,6	1054,8	1064,8	1058,3	1061	1063,9	1059,85	3,68	27	1,07	0,04
1,15	1103,5	1104,4	1108,2	1107,7	1103,5	1108,7	1101,8	1106,2	1111,5	1109,3	1106,48	3,10	27	1,12	0,05
1,2	1156,2	1155,1	1158	1164,2	1158,9	1158,8	1154,4	1160,6	1158	1156,8	1158,1	2,84	27	1,17	0,05
1,25	1196,7	1191,5	1185,5	1195,3	1194,6	1197,7	1194,5	1198,3	1199,7	1193,4	1194,72	4,05	27	1,21	0,04
1,3	1250,1	1246	1245,3	1249,1	1256,7	1250,7	1249,8	1248,8	1248,5	1244,5	1248,95	3,45	27	1,26	0,05
1,35	1305,4	1311,2	1309,5	1303,7	1300,9	1304	1307,3	1300	1304,7	1301,4	1304,81	3,67	27	1,32	0,06
1,4	1355,8	1349	1356,5	1350,7	1352,2	1354	1357,2	1354,6	1353,2	1355,8	1353,90	2,65	27	1,37	0,05
1,45	1406,5	1410,2	1407,2	1403,1	1399,1	1910,3	1405,6	1411,2	1403,9	1407,2	1456,43	159,51	27	1,47	0,10

TABELA 5.3 – Quadro resumo de todos os resultados obtidos nos testes de velocidade crítica.

Peixe	Intervalo (min)	Temperatura (°C)	Velocidade Crítica	Incerteza da U_{crit}	Porcentagem da incerteza	Tempo total de nado (min)	área do peixe	Comp. Maior (m)	Comp. Menor (m)	Peso (kg)	Fat.Cond M/L^3	Fat.Cond $10M^{1/3}/L$	Fr	Re2
1	5	26,89	1,563	0,025	1,60%	129,43	10,17	0,220	0,19	0,096	9,015778	20,81299	1,06379	398750,0454
2	5	26,67	1,706	0,028	1,62%	140,58	12,56	0,250	0,20	0,107	6,8736	19,01347	1,089378	492185,1592
3	5	26,00	1,473	0,028	1,87%	118,02	14,13	0,250	0,21	0,088	5,632	17,79184	0,940486	418421,8652
4	5	26,00	1,446	0,028	1,91%	118,02	10,99	0,215	0,18	0,088	8,854566	20,68819	0,995843	353346,0855
5	5	26,00	1,279	0,028	2,16%	101,88	10,99	0,220	0,19	0,080	7,494365	19,56943	0,870679	319774,5352
6	5	26,00	1,302	0,028	2,12%	103,02	12,56	0,240	0,19	0,094	6,785301	18,9317	0,848594	355114,6407
7	5	26,00	1,407	0,028	1,96%	112,83	12,56	0,240	0,20	0,099	7,175926	19,28824	0,916736	383630,3619
8	5	26,10	1,553	0,028	1,78%	127,53	10,99	0,240	0,21	0,109	7,884838	19,90357	1,012389	424586,4201
10	5	26,00	1,447	0,028	1,91%	115,33	14,13	0,250	0,21	0,108	6,912	19,04881	0,923789	410993,3383
11	5	26,30	1,309	0,028	2,11%	106,30	8,24	0,195	0,17	0,067	9,089836	20,86982	0,946196	291951,7024
12	5	26,60	1,591	0,028	1,74%	132,50	9,42	0,220	0,18	0,081	7,597671	19,65894	1,083112	403259,9287
13	5	26,60	1,355	0,028	2,04%	110,83	8,24	0,190	0,16	0,053	7,697915	19,74503	0,992512	296581,2737
14	5	25,04	1,590	0,028	1,74%	127,27	17,27	0,250	0,23	0,193	12,3648	23,12397	1,015506	442136,1723
15	5	26,00	1,360	0,028	2,03%	111,87	6,59	0,200	0,16	0,060	7,525	19,59606	0,970597	308983,9559
16	5	26,02	1,501	0,028	1,84%	118,43	17,66	0,260	0,23	0,167	9,473145	21,15914	0,939921	443719,7052
17	5	27,00	1,482	0,028	1,86%	119,02	13,50	0,260	0,22	0,128	7,271279	19,3733	0,928217	448172,9764
18	5	27,98	1,693	0,028	1,63%	139,38	13,36	0,245	0,21	0,107	7,28948	19,38945	1,09216	493634,8884
19	5	28,00	1,512	0,028	1,83%	121,90	13,74	0,250	0,21	0,129	8,2432	20,20065	0,965542	450024,5184
20	5	26,50	1,511	0,028	1,83%	121,98	13,16	0,250	0,21	0,131	8,3584	20,29431	0,964664	434111,6648
21	5	25,89	1,340	0,028	2,06%	109,25	8,24	0,210	0,17	0,058	6,295216	18,46447	0,933897	319083,3449
22	5	26,20	1,273	0,028	2,17%	102,23	9,42	0,210	0,19	0,090	9,761365	21,37159	0,887168	305288,3414
23	5	26,74	1,167	0,028	2,37%	92,38	8,27	0,210	0,19	0,078	8,390023	20,31988	0,81311	283246,5273
24	5	26,20	1,166	0,028	2,37%	92,58	8,24	0,190	0,17	0,095	13,85042	24,01528	0,853955	252869,0972
25	5	26,93	1,451	0,028	1,90%	118,03	11,54	0,220	0,20	0,113	10,6405	21,99483	0,987392	370498,9864

5.4 RESULTADOS DOS TESTES DE VELOCIDADE PROLONGADA

De modo diferente dos testes de capacidade natatória para determinação de velocidade prolongada crítica, os testes de velocidade prolongada, realizados a uma velocidade determinada antes do ensaio, exigem que o peixe seja submetido a uma fase de adaptação à atividade natatória pura e simplesmente para que esteja com seus músculos plenamente aptos ao exercício quando a velocidade de teste é atingida.

Foram realizados 24 testes válidos de velocidade prolongada durante este trabalho, lembrando que, diversamente dos testes de velocidade crítica, basta que o peixe atinja e supere a última velocidade do período de adaptação para que seu teste seja considerado válido. No caso oposto, se o peixe não atinge o final da fase de adaptação, o teste é abandonado, fato ocorrido em 13 testes, totalizando 37 peixes utilizados nos ensaios de velocidade prolongada.

Como nos testes de velocidade crítica obteve-se a distribuição dos peixes por tamanho, cujo padrão está apresentado na Figura 5.10, onde podemos observar que foram contemplados indivíduos acima do tamanho de primeira maturação para o mandi. (definida como sendo de 18,5 cm como citado anteriormente). A mediana se localiza em 24,0cm e os percentis 25%-75% respectivamente em 23,0 e 24,25cm. Temos a presença de dois *outliers*: 28cm e 29cm.

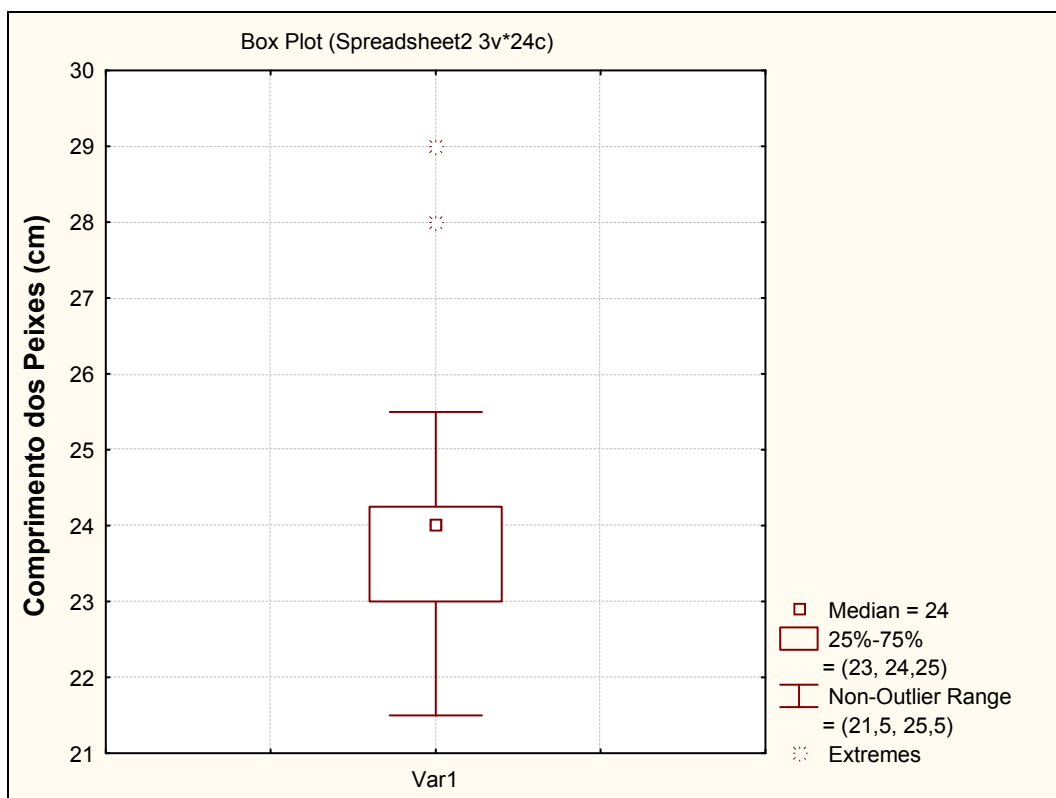


Figura 5.10 – Boxplot do número de peixes testados por comprimento total (prolongada)

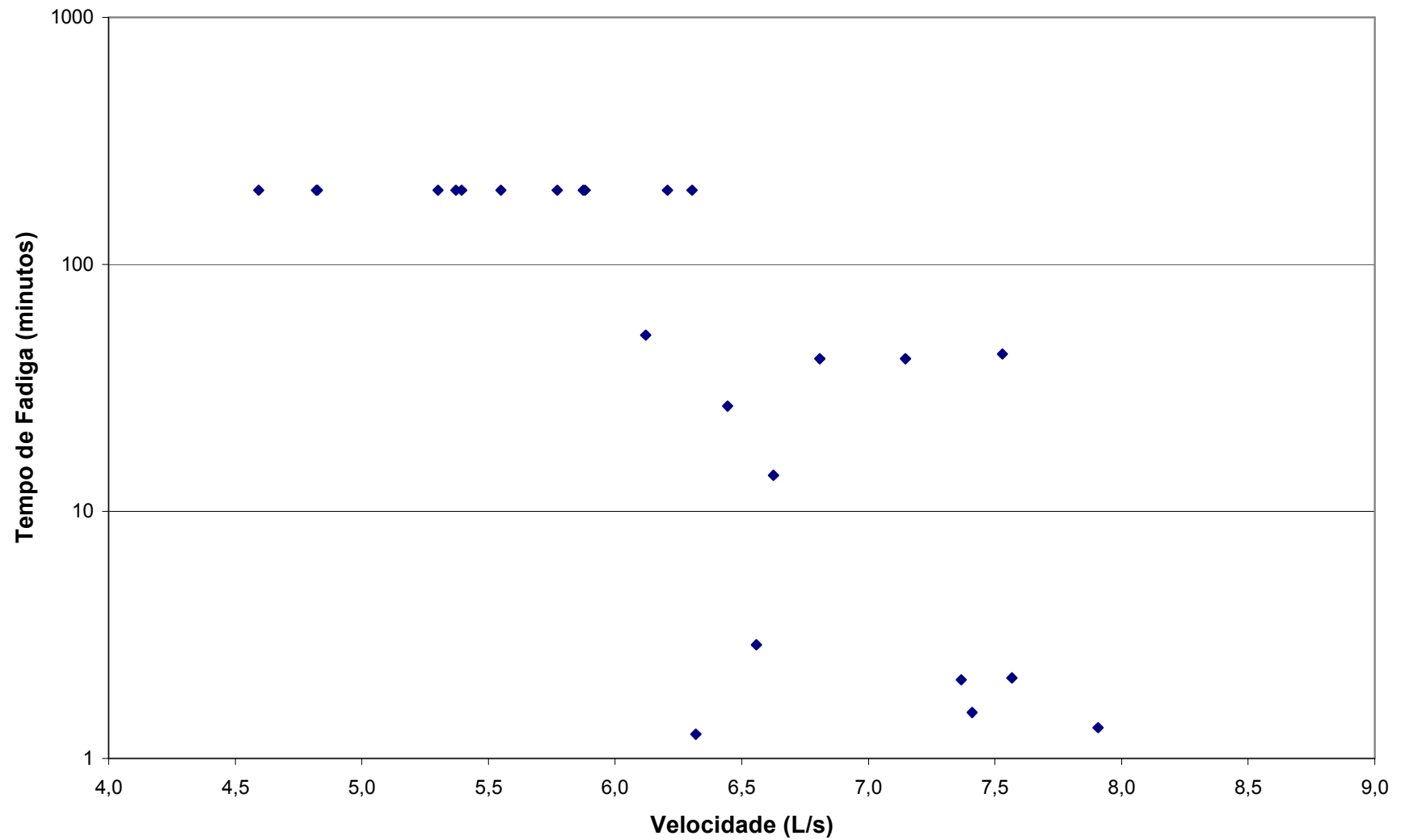


Figura 5.11 – Gráfico da velocidade adimensionalizada em função do tempo de fadiga

Curva de Velocidade Prolongada - Mandi - regressão linear

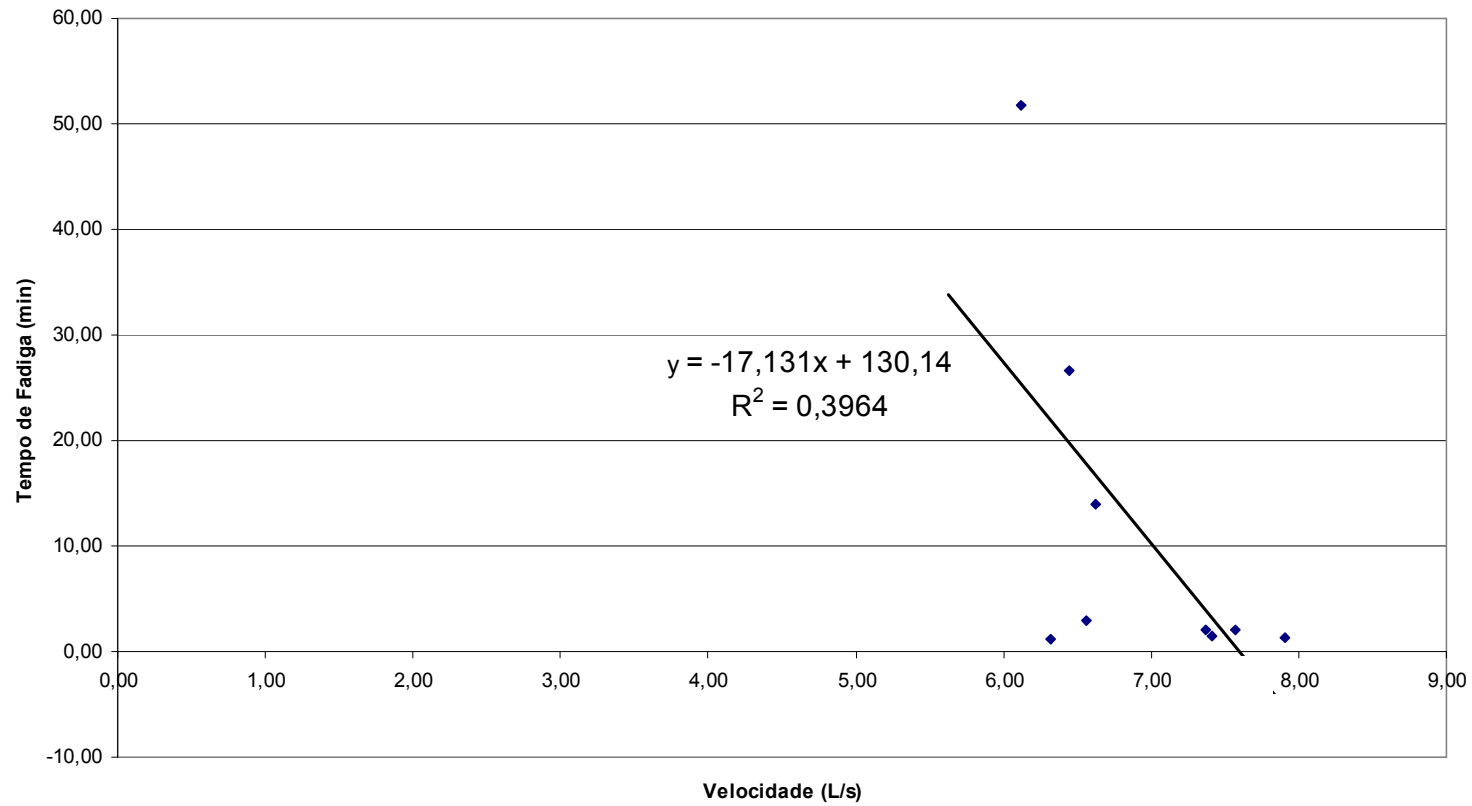


Figura 5.12 – Gráfico regressão linear da velocidade em função do tempo de fadiga.

Curva de Velocidade Prolongada - Mandi - regressão exponencial

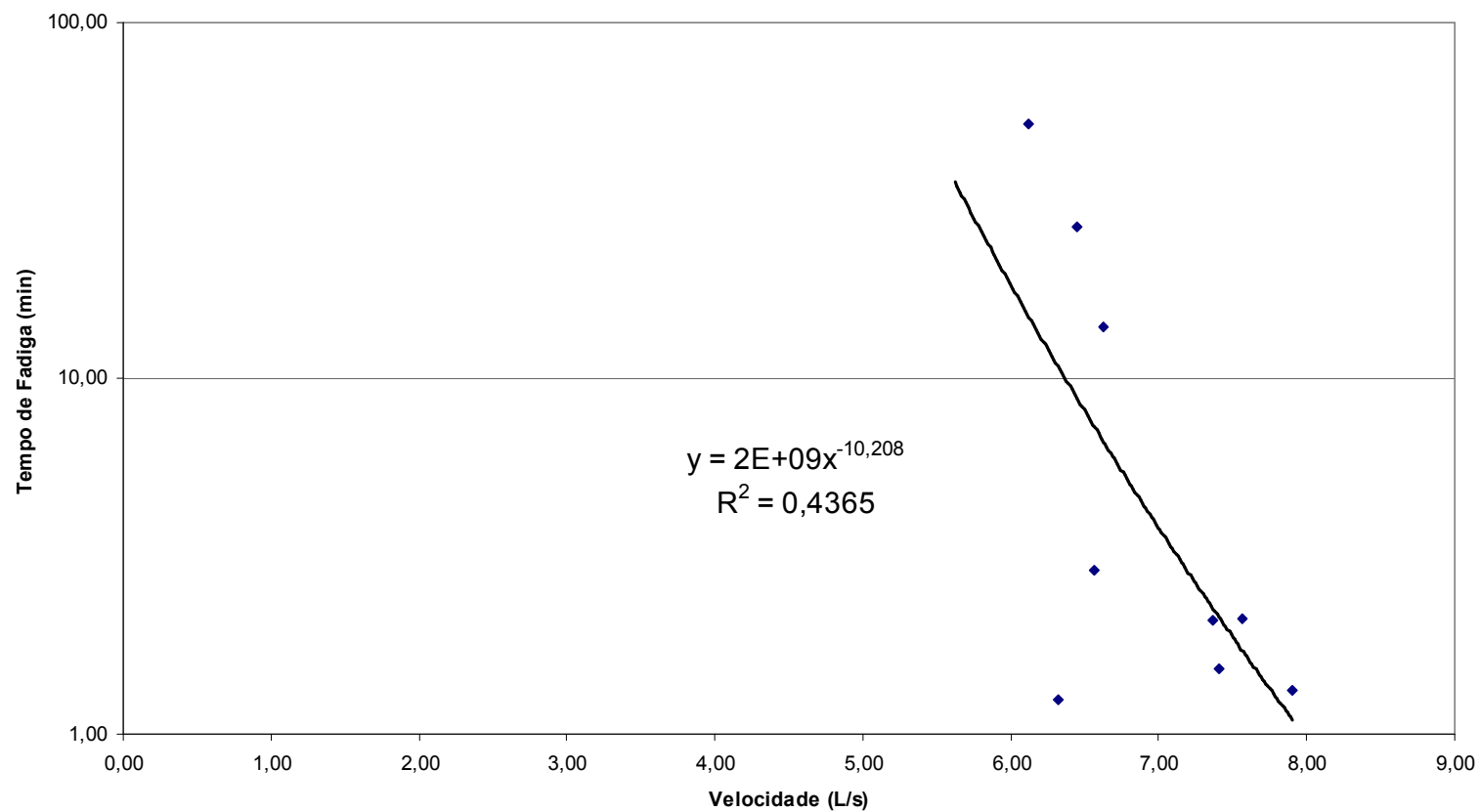


Figura 5.13 – Gráfico regressão exponencial da velocidade em função do tempo de fadiga após tratamento das amostras.

TABELA 5.4 – Exemplo de teste de velocidade prolongada (preenchimento de planilha-padrão).

	Data do teste	23/4/05	Horário		Velocidade (L/s) corrigida	
Peixe 1	Peso (g)	119	Correção:		6,809108403	
	Comprimento Maior (cm)	24	Área transversal do peixe (cm ²)	9,42		
	Comprimento Menor (cm)	20	Área transversal da câmara (cm ²)	164,5913	OD médio mg/l	7,8
	t _i -intervalo de tempo (min)	0	λ	3,428571	PH médio	8,37
	Velocidade Máxima (m/s)	1,30	τ	0,8		
	t _f -Tempo de fadiga (sec)	2492	Impedimento Sólido (%)	0,037555	Comprimento furcal	21 cm
	Tempo total de nado (horas)	2,53	Valor do imp. (m/s)	0,04882		
	Temperatura Média (°C)	26,0				
	Largura (cm)	3	Empuxo horizontal (m/s)	0,013		
	Altura (cm)	4				
	Espessura do peixe (cm)	3,5	U _{max} Corrigida (m/s)	1,36182		

TABELA 5.5 – Quadro resumo de todos os resultados obtidos nos testes de velocidade prolongada.

Peixe	Temperatura (°C)	Velocidade Prolongada (m/s)	Velocidade Pr. corrigida (m/s)	Velocidade Prolongada (L/s)	Tempo de fadiga (minutos)	Log do T de fadiga (minutos)	Tempo de fadiga (segundos)	área do peixe	Comp. Maior (m)	Comp. Menor (m)	Peso (kg)	M/L ³	10M ^{1/3} /L	Fr	Re2
1	26,00	1,300	1,362	6,809	41,53	1,62	2492,00	9,42	0,240	0,20	0,119	8,608218	20,49452	0,847234	354545,4545
2	26,00	1,300	1,358	7,146	41,42	1,62	2485,00	9,42	0,220	0,19	0,105	9,861007	21,44406	0,884907	325000
3	26,50	1,300	1,377	6,558	2,88	0,46	173,00	12,36	0,240	0,21	0,127	9,186921	20,94386	0,847234	358620,6897
4	26,50	1,300	1,391	6,626	14,00	1,15	840,00	14,13	0,255	0,21	0,175	10,55401	21,93508	0,821937	381034,4828
5	26,00	0,900	0,941	4,824	200,00	2,30	12000,00	9,42	0,225	0,20	0,096	8,392867	20,32217	0,605783	230113,6364
6	26,00	0,900	0,964	4,591	200,00	2,30	12000,00	14,70	0,250	0,21	0,123	7,8976	19,9143	0,574696	255681,8182
7	25,60	0,900	0,940	4,820	200,00	2,30	12000,00	9,42	0,220	0,20	0,102	9,551089	21,21702	0,612628	222972,973
8	26,50	1,000	1,052	5,394	200,00	2,30	12000,00	10,60	0,240	0,20	0,121	8,716725	20,58027	0,651718	275862,069
9	26,40	1,000	1,057	5,875	200,00	2,30	12000,00	10,60	0,240	0,20	0,121	8,716725	20,58027	0,651718	275229,3578
10	26,40	1,000	1,047	5,372	200,00	2,30	12000,00	10,60	0,215	0,20	0,105	10,52486	21,91486	0,688567	246559,633
11	26,10	1,100	1,183	5,771	200,00	2,30	12000,00	15,70	0,250	0,21	0,155	9,92	21,48674	0,702406	313211,8451
12	26,00	1,100	1,163	6,122	51,83	1,71	3110,00	12,36	0,230	0,19	0,140	11,50653	22,57606	0,732309	287500
13	25,60	1,100	1,165	5,549	200,00	2,30	12000,00	12,36	0,240	0,21	0,150	10,85069	22,13872	0,71689	297297,2973
14	25,80	1,100	1,176	5,881	200,00	2,30	12000,00	14,76	0,240	0,20	0,125	9,042245	20,83333	0,71689	298642,5339
15	25,80	1,500	1,589	7,567	2,12	0,33	127,00	12,36	0,240	0,21	0,134	9,693287	21,32179	0,977577	407239,819
16	26,20	1,500	1,581	7,906	1,33	0,12	80,00	10,99	0,240	0,20	0,100	7,233796	19,33995	0,977577	410958,9041
17	26,90	1,200	1,261	6,303	200,00	2,30	12000,00	10,99	0,220	0,20	0,128	12,00225	22,89572	0,816837	306264,5012
18	26,40	1,200	1,325	5,300	200,00	2,30	12000,00	19,43	0,290	0,25	0,220	9,02046	20,81659	0,711456	399082,5688
19	25,90	1,200	1,289	6,444	26,67	1,43	1600,00	15,90	0,240	0,20	0,114	8,239294	20,19746	0,782062	326530,6122
20	26,20	1,200	1,273	6,207	200,00	2,30	12000,00	12,36	0,245	0,21	0,115	7,785872	19,81994	0,774041	335616,4384
21	26,50	1,400	1,476	7,529	43,33	1,64	2600,00	11,14	0,238	0,20	0,170	12,61009	23,27588	0,916231	382988,5057
22	25,30	1,400	1,517	6,319	1,25	0,10	75,00	15,70	0,280	0,24	0,206	9,384111	21,09264	0,844723	438478,7472
23	26,00	1,400	1,473	7,366	2,08	0,32	125,00	10,99	0,230	0,20	0,100	8,218953	20,18082	0,932029	365909,0909
24	25,90	1,400	1,482	7,409	1,53	0,19	92,00	12,56	0,230	0,20	0,120	9,862743	21,44532	0,932029	365079,3651

As Figuras 5.12 e 5.13 mostram com clareza a melhor correlação obtida entre as variáveis de estudo, considerando-se, no entanto, que na Figura 5.13 executou-se o descarte de três amostras na região do gráfico, as quais mostravam padrão assimétrico em relação ao corpo principal da regressão.

A observação deste resultado enunciado na Figura 5.13 permite inferir que a velocidade desenvolvida pelos mandis testados apresenta um máximo de velocidade obtida durante os ensaios na faixa de 6,5 a 8,0 comprimentos do peixe por segundo.

Essa constatação leva à conseqüente dedução de que a faixa extrema da curva de velocidade prolongada, obtida com os resultados dos testes a velocidade fixa, nos mostra no limiar inferior, onde ela se funde com a curva de velocidade de explosão, o valor supracitado entre 6,5 a 8,0. No outro extremo (parte superior do gráfico) a curva se funde com a curva de velocidade sustentável, de difícil investigação em laboratório. Nessa região foram observados os tempos próximos a 6,0 comprimentos do peixe por segundo.

5.5 TRATAMENTO DOS DADOS

Dos 85 testes realizados, a primeira opção de tratamento de dados recaiu sobre a validação das amostras, como descrito anteriormente neste mesmo trabalho. Esta seleção permitiu a obtenção de 25 testes válidos de velocidade prolongada crítica e 24 testes válidos de velocidade prolongada, totalizando 49 amostras aptas à continuidade do processo de tratamento de dados.

Os testes de velocidade prolongada crítica foram objeto de tabulação eletrônica, através de planilhas (Excel) que permitiam efetuar cálculos essenciais à análise dos dados, como por exemplo a correção da velocidade do escoamento da água em torno do peixe, calculada na equação 3.1 em função de suas características corporais (Como mostrado no capítulo 3).

O fator de condição (K) também foi calculado com base nos dados disponíveis nas planilhas, levando-se em consideração o peso (P) e o comprimento dos peixes testados, como mostrado na equação 5.1, que relaciona o peso e o comprimento total (CT) sendo a unidade de peso o kg e do comprimento total o metro, fornecendo como resultado o fator de condição em kg/m³.

$$K = \frac{P}{CT^3} \quad \text{EQ. 5.1}$$

No trabalho de Santos (2004) encontramos modelos com equações de ajuste para velocidade crítica, as quais estão apresentadas nas equações 5.2 a 5.3. Dessas equações, e levando em consideração os resultados do trabalho referido, depreende-se que o fator de condição, assim como o comprimento, que entra em seu cálculo, são as principais variáveis intervenientes no processo. Como no presente trabalho foram mantidos patamares de temperatura da água com pequeno percentual de variação, o ajuste mais aproximado para comparação com os dados relacionados na literatura é aquele representado pela equação 5.2.

$$U_{crit} = 0,894 + 0,045 K \quad \text{EQ. 5.2}$$

$$U_{crit} = 2,527 - 0,062 Temp + 0,056 K \quad \text{EQ. 5.3}$$

5.6 ANÁLISE DOS DADOS

Como principal resultado do trabalho tornou-se possível produzir a Figura 5.14, na qual são apresentadas as curvas de velocidades de três espécies de peixes, sendo uma o mandi amarelo, espécie neotropical endêmica nas bacias mais importantes da rede hidrográfica brasileira.

Note-se como o salmão e a truta, apesar de serem espécies de maior porte desenvolvem uma velocidade inferior à do mandi, quando comparadas ao seus próprios comprimentos corporais. Esta constatação nos leva a refletir sobre as outras espécies de peixes neotropicais que povoam os rios brasileiros. Fica destacada no gráfico a diferença entre as faixas de velocidades (em L/s) que delimitam as fronteiras entre os tipos de velocidades. Enquanto as faixas superiores de velocidade prolongada do salmão estão próximas de 4,0 a 4,5 L/s, para o mandi estão, como dito anteriormente, em 7,5 a 8,0 L/s.

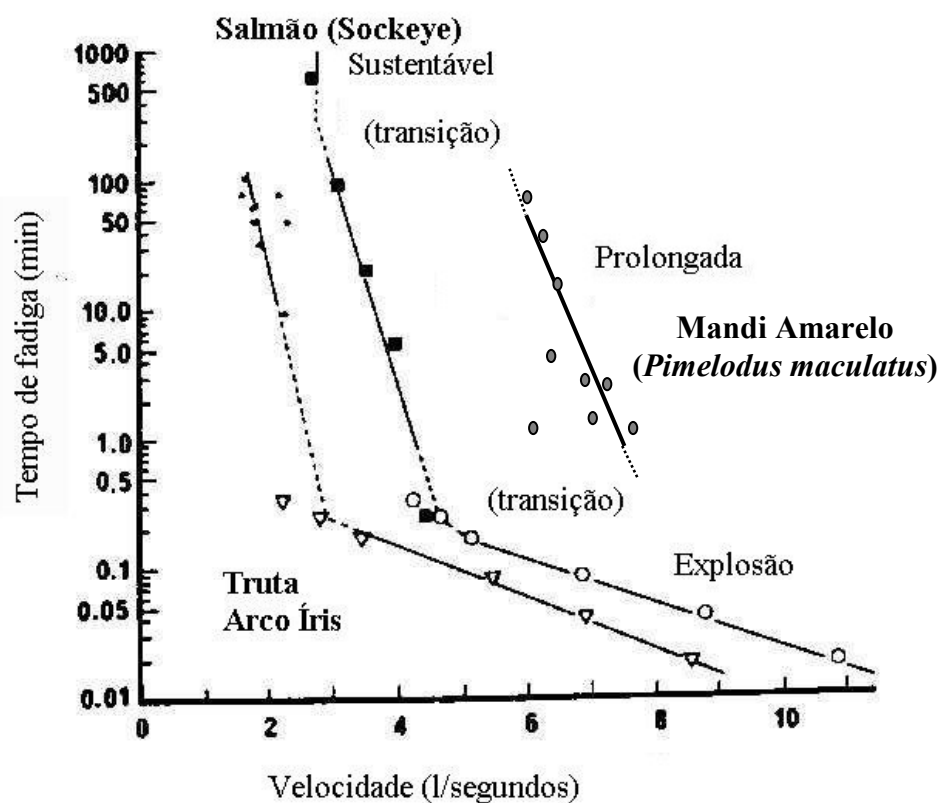


Figura 5.14 – Gráfico comparativo de velocidades em função do tempo de fadiga para o mandi amarelo, a truta arco-íris e o salmão Sockeye. (fonte: própria, baseado em adaptação de Beamish, 1978)

5.7 QUALIDADE DA ÁGUA

Durante os testes de velocidade prolongada houve preocupação em monitorar a qualidade da água do reservatório para conhecer as condições de desenvolvimento das capacidades natatórias dos indivíduos testados. Para tanto foram monitoradas as variáveis temperatura, pH e oxigênio dissolvido (OD) na água disponível para realização dos testes, a qual estava contida no tanque aberto de volume 5000 l e era impulsionada para o aparato pelas bombas centrífugas, circulando em sistema fechado.

O oxigênio dissolvido é particularmente importante para o desenvolvimento das capacidades natatórias dos peixes, uma vez que o oxigênio disponível para as funções metabólicas musculares interfere diretamente na quantidade de energia que o peixe consegue utilizar para as atividades natatórias aeróbias (Jones & Randall, 1978).

Durante seus estudos, Brett (1964) concluiu que o consumo de oxigênio cresce aproximadamente com o quadrado da velocidade de nado, para o grande salmão americano, *Oncorhynchus nerka* (Jones & Randall, 1978). Esta variável, portanto foi acompanhada durante o desenvolvimento dos testes de velocidade prolongada e seus resultados estão apresentados abaixo.

TABELA 5.6 – Variação média da taxa de oxigênio dissolvido com temperatura e pH.

Variação média da taxa de oxigênio dissolvido com temperatura e pH		
Temperatura média	pH médio	Oxigênio Dissolvido médio
25,5 ° C	7,4	7,8
26,0 ° C	7,8	8,0
26,5 ° C	7,9	8,1
27,0 ° C	8,1	8,2

Em média, a cada 3 semanas era feita a renovação dessa água, uma vez que à medida que as bombas centrífugas são usadas, seus rotores soltam óxido de ferro no fluido recalado. Dessa forma, foi levantada a suspeita que com o passar dos dias a qualidade da água caía. Assim, através do uso de equipamento eletrônico da marca YSI, fez-se o levantamento da quantidade de oxigênio dissolvido, do PH, da condutividade e da temperatura.. O objetivo desse levantamento consiste em avaliar se, de um ensaio para outro, ocorria uma mudança significativa na qualidade da água. Os dados são apresentados na TAB. 5.7.

Assim a partir desses resultados percebeu-se que a alteração da quantidade de oxigênio e do PH está relacionada com o nível da agitação da água, isto é, quanto maior a vazão succionada pelas bombas centrífugas, maior será a quantidade de oxigênio e mais alto o valor do PH. Do início do ensaio até o final, tem-se em média uma alteração de 10% no oxigênio dissolvido. Já com relação, ao PH o mesmo torna-se mais básico passando de 7,5 para 7,8. Isso ocorre devido a movimentação das partículas de óxido de ferro, que no começo encontram decantadas no fundo da piscina. À medida que a velocidade aumenta no ensaio, a agitação da água faz com que essas partículas fiquem em suspensão. No entanto, percebe-se que essa alteração é bem pequena, estando dentro inclusive da variação de PH que ocorre na água fornecida pela COPASA.

O mesmo acontece com a quantidade de oxigênio dissolvido, que está relacionado com a temperatura e com a pressão atmosférica. No presente caso, o fator que varia mais

significativamente durante o ensaio é a temperatura. No entanto, percebeu-se que em ensaios de temperaturas diferentes (24 e 27 °C) a quantidade de oxigênio praticamente não variava, estando mais relacionada à variação de agitação da água.

TABELA 5.7

Dados de qualidade de água para os ensaios com temperatura média de 24 e 27°C

Veloc. (m/s)	Temp (°C)	Sp Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O.D. (mg/m^3)	pH	Veloc. (m/s)	Temp (°C)	Sp Cond ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O.D. (mg/m^3)	pH
0,2	24,18	0,123	5,15	7,5	0,2	27,15	0,094	5,32	7,45
0,25	24,17	0,127	5,18	7,51	0,25	27,15	0,091	4,78	7,38
0,3	24,17	0,127	5,26	7,52	0,3	27,15	0,092	4,92	7,42
0,35	24,17	0,129	5,37	7,56	0,35	27,15	0,095	5,05	7,47
0,4	24,17	0,134	5,31	7,57	0,4	27,16	0,097	5,01	7,49
0,45	24,17	0,251	5,48	7,6	0,45	27,16	0,106	5,17	7,53
0,5	24,18	0,124	5,49	7,61	0,5	27,16	0,083	5,23	7,55
0,55	24,19	0,154	5,51	7,62	0,55	27,17	-0,056	5,28	7,59
0,6	24,2	0,166	5,6	7,65	0,6	27,18	0,147	5,27	7,59
0,65	24,22	0,175	5,62	7,67	0,65	27,19	0,087	5,4	7,65
0,7	24,24	0,192	5,65	7,69	0,7	27,2	0,135	5,29	7,66
0,75	24,26	0,202	5,67	7,71	0,75	27,21	0,143	5,3	7,68
0,8	24,29	0,215	5,69	7,72	0,8	27,23	0,151	5,35	7,69
0,85	24,33	0,222	5,74	7,74	0,85	27,24	0,105	5,4	7,69
0,9	24,37	0,228	5,77	7,74	0,9	27,24	0,164	5,38	7,72
0,95	24,41	0,223	5,82	7,75	0,95	27,25	0,182	5,42	7,73
1	24,47	0,23	5,84	7,76	1	27,26	0,188	5,5	7,73
1,05	24,53	0,23	5,71	7,77	1,05	27,27	0,195	5,52	7,75
1,1	24,6	0,234	5,77	7,78	1,1	27,28	0,201	5,53	7,76
1,15	24,68	0,231	5,8	7,78	1,15	27,28	0,205	5,59	7,75
1,2	24,77	0,217	5,83	7,79	1,2	27,28	0,206	5,6	7,8
1,25	24,87	0,249	5,85	7,79	1,25	27,29	0,211	5,65	7,8
1,3	24,98	0,211	5,85	7,8	1,3	27,29	0,204	5,65	7,81

(Fonte: adaptado de Santos, 2004)

6 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

6.1 Conclusão

Quando lançou-se braços ao presente trabalho, foi enunciada a proposta da realização de um estudo de levantamento das capacidades natatórias de peixes neotropicais, especificamente para o caso do mandi. Este projeto, realizado no âmbito do CPH-UFMG, em conjunto com o CT-Peixes – UFMG, foi baseado no trabalho de Santos (2004), seguindo uma de suas recomendações para estudos futuros.

Assim, foram implementadas melhorias no aparato desenvolvido originalmente por Santos(2004), bem como a aplicação da metodologia de levantamento de algumas velocidades de nado, adaptada a peixes neotropicais por ocasião do referido trabalho. Como passo à frente também foi implementada a metodologia, largamente difundida na literatura, para determinação de velocidade prolongada, com testes a fluxo estabilizado.

Frente aos resultados dos testes, resumidos no gráfico 5.14, torna-se possível concluir que os valores obtidos apontam exatamente na direção vislumbrada no trabalho precedente (Santos, 2004), mostrando a peculiaridade das capacidades de nado de nossa ictiofauna em detrimento daquela dos países de clima temperado, afirmando portanto a necessidade de realização de novos estudos, similares a este, os quais permitirão traçar diretrizes mais adequadas ao projeto de MTP em rios brasileiros.

Contribuíram para que houvesse coerência entre este grupo de amostras obtidas, os melhoramentos realizados no próprio processo de teste, representados pela inserção de medidor de vazões não-invasivo, controle eficaz dos valores de temperatura, oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), como variáveis ambientais intervenientes. No trabalho anterior a falta de um controle constante da temperatura da água por meio de aquecedores ou refrigeradores contribuía para uma variação desse parâmetro durante os ensaios.

Assim, pode-se concluir que os estudos de velocidade natatória realizados para o mandi amarelo são consistentes e incrementam o conhecimento da espécie especificamente, além de abrir um novo horizonte de estudos para outras espécies neotropicais. Santos (2004) lembra que essa espécie possui comportamento de nado próximo às paredes, local de menor

velocidade. Confirmando nos testes realizados no presente trabalho que os valores de velocidade prolongada crítica giram na faixa de 1 a 1,6 m/s, para essa espécie que é de pequeno porte, pode-se recomendar que velocidade média do escoamento em MTP do tipo escada deve girar em torno de 1,4 m/s. Já para a velocidade que geralmente ocorre na passagem entre os anteparos é adotada, em projetos de escada, o valor máximo de 2,0 m/s de velocidade de escoamento. Ressalva-se no entanto a necessidade de realização de estudos relativos a outras espécies, a fim de que seja contemplada parte suficientemente representativa da biota aquática.

6.2 *Recomendações para trabalhos futuros*

A análise crítica dos resultados obtidos descortina a necessidade de realização de outros estudos que possibilitarão entender melhor a capacidade natatória das outras espécies migradoras de peixes. São necessários portanto alguns avanços na construção e adaptação de aparatos para que seja possível contemplar outras espécies nos estudos de velocidades natatórias, considerando outros portes para as dimensões corporais (maiores ou menores), sem perder de vista os avanços realizados no monitoramento e controle das variáveis ambientais e físicas do peixe.

Propõe-se para pesquisas futuras, uma adaptação do aparato no que diz respeito ao mecanismo (ou conjunto de mecanismos) responsável pela inserção do peixe no aparato, por seu isolamento na seção de testes, e pela sua retirada após os testes.

Recomenda-se também atenção especial ao controle da temperatura nos dias mais quentes, principalmente em testes mais longos, motivo pelo qual sugere-se a construção, calibração e adaptação de um sistema eficiente de refrigeração da água de teste, o qual poderia ser montado com uma estação condensadora de médio porte.

Uma outra proposta para trabalhos futuros é a o estudo de outros tipos de velocidades permitindo comparação com a literatura disponível para velocidade de explosão (obtida com estímulo mecânico ou com estímulo elétrico) e mesmo para velocidade sustentável. Um grande desafio, a propósito, é o desenvolvimento de novos procedimentos para testes de velocidade sustentável em campo (GPS por exemplo) e mesmo sua adaptação para laboratório, recriando trechos de ambientes naturais.

Uma sugestão de estudo interessante é a obtenção de diferentes patamares de temperatura, pois é importante que sejam levantados vários valores da variável estudada, para que sua influência sejam explicada de forma significativa. No presente trabalho apenas traçou-se como meta a manutenção da temperatura dentro de patamares preestabelecidos de baixa variabilidade.

Enfim, considerando-se cumpridos os objetivos geral e específicos propostos no capítulo 2, sugere-se como seguimento a este trabalho a realização de levantamentos das velocidades prolongada, prolongada crítica, de explosão e sustentável para as outras espécies neotropicais com hábitos migratórios em rios brasileiros, bem como o estudo das influências de natação em grupos e cardumes sobre essas velocidades.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAINDRIGDE, R.; BROWN, R. H. J. An apparatus for the study of the locomotion of fish. *Journal of experimental biology*, n. 35, p. 134-137, 1957.

BAINDRIGDE, R. Problems of fish locomotion. *Symp. Zool. Soc. London*, n. 5, 1961, p. 13-32 apud LINDSEY, C. C. Form, function and locomotory habits in fish. In: HOAR, W. S.; RANDALL D. J., 1978, *Fish Physiology*, 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap.1, p. 1-100.

BARKHAMSTED ORGANIZATION, EUA 2003 (FIG1.1) escada tipo ranhura vertical disponível em <http://www.barkhamstedhistory.org/Diary-%20May%202003.htm>

BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, *Fish Physiology*, 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.

BELL, W. H.; Terhune, L. D. B. Water tunnel design for fisheries research. *Fish Res. Board Canada Tech. Rep.*, n. 195, p. 1-69, 1978 apud KORSMEYER, Keith E.; Steffensen, John F.; HERSKIN, Jannik. Energetics of median and paired fin swimming, body and caudal fin swimming an gait transition in parrotfish (*Scarus schlegeli*) and triggerfish (*Rhinecanthus aculeatus*). *Journal of experimental biology*, n. 205, p. 1253-163, 2002.

BISHAI, H. M. The effect of water currents on the survival and distribution of fish larvae. *Journal Cons., Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, n. 25, 1960, p. 134-146 apud BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, *Fish Physiology*, 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.

BLAZKA, P.; VOLF, M.; CEPELA, M. A new type of respirometer of the determination of the metabolism of fish in an active state. *Physiol. Zool.*, n. 31, 1960, p. 553-558 apud BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, *Fish Physiology*, 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.

BODDEKE, R.; SLIJPER, E. J.; STELT, A. Histological characteristics of the body musculature of fishes in connection with their mode of life. *Proc. K. Ned. Akad. Wet. Ser. C Biol. Med. Scii*, n. 62, 1959, p. 576-588.

BONE, Q. Muscular and energetic aspects of fish swimming. In: WU, T. Y.; BROKAW, C. J.; BRENNEN, C. Swimming and flying in nature. New York: Academic Press, 1975. 493 p. apud WEBB, Paul W. Swimming. In: EVANS, David H., 1993, The physiology of fishes, 1 ed.. Londres: CRC, 1993. cap.2, p. 47-73.

BRASIL, Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil, Brasília: Senado, 1988.

BRASIL, Lei 7.735 de 22 de fevereiro de 1989. Dispõe sobre a extinção de órgão e de entidade autárquica, cria o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, e dá outras Providências. Diário Oficial da União, Brasília, 23 fev. 1989.

BRETT, J. R. The respiratory metabolism and swimming performance and sustained swimming speed of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). Journal Fish. Res. Board Can., n. 23, 1964, p. 1183-1226 apud BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.

CEMIG, Sistemas para transposição de barragens por espécies de peixes de piracema. 2002. Disponível em: < http://www.cemig.com.br/meio_ambiente/prog_transp.asp> Acesso em: 03 jan. 2004

CEMIG-CETEC, Guia ilustrado de peixes da bacia do rio Grande. 1 ed., Belo Horizonte: CEMIG/CETEC, 2000, 141 p.

CLAY, C. H. Design of fishways and other fish facilities, 2. ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 248 p.

CODESP 2000 (FIG 1.4) apresenta exemplo de estrutura de uma eclusa disponível em <http://www.portodeestrela.com.br/hidrovias.php>

FRY, F. E. J.; HART, J. S. Cruising speed of goldfish in relation to water temperature. Journal Fish. Res. Board Can., n. 7, 1948. p. 169-175 apud BEAMISH, F. W. H.- Swimming capacity. In: HOAR, W. S. ; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 2, p. 101-187.

FUNBIO, Brasil 2003 (FIG1.1) sitio do convênio FUNBIO/CEMIG/UFMG disponível em <http://www.funbio.org.br/publique/web/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=21&sid=32>

GODINHO, Hugo P.; GODINHO, Alexandre L.; VONO, Volney. Peixes da bacia do rio Jequitinhonha. In: LOWE-MCCONNELL, R. H., 1999, Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais, 1ed., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999, cap. 18, p. 414-423.

GODINHO, A.L. & POMPEU, P.S. A importância de ribeirões para os peixes de piracema. p. 361-372. In: GODINHO, H.P. & GODINHO, A.L. (org) Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Gerais. Belo Horizonte: PUC Minas, 2003. 468p.

GODOY, M. P.; Aquicultura, Atividade multidisciplinar: Escadas ou outras facilidades para passagens de peixes, 1985.

GRAY, J. Studies in animal locomotion- VI. The propulsive powers of the dolphin. Journal of experimental biology, n. 13, p. 192-199, 1936.

HAMMOND, B.R. e HICKMAN, C.P. Jr.; The effect of physical conditioning on the metabolism of lactate, phosphate and glucose in rainbow trout *Salmo gairdneri* – Journal of Fisheries Research Board, Canadá 1966. Cap 23. p 65-83.

JONES, D. R. & RANDALL, D. J.; The respiratory and circulatory systems during exercise. In Fish Physiology. vol. VII. New York, 1978, p. 425-492.

JOHNSTON, I. A. Structure and function of fish muscle, Symp. R. Soc. London, n. 48, 1981 apud WEBB, Paul W. Swimming. In: EVANS, David H., 1993, The physiology of fishes, 1 ed.. Londres: CRC, 1993. cap.2, p. 47-73.

KORSMEYER, Keith E.; STEFFENSEN, John F.; HERSKIN, Jannik. Energetics of median and paired fin swimming, body and caudal fin swimming and gait transition in parrotfish (*Scarus schlegeli*) and triggerfish (*Rhinecanthus aculeatus*). Journal of experimental biology, n. 205, p. 1253-163, 2002.

KIRBY, R. S.; WITHINGTON S.; DARLING A. B. ; KILGOUR G. F. Engineering in history, 1 ed, New York: McGraw Hill, 1956, 530 p.

LANE, F. W.; How fast do fish swim? Country Life, Londres 1941, p. 534-535.

LARINIER, M.;" Upstream and downstream fish passage experience in France", in Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. (eds.), 1998, Fish migration and fish bypasses, Fishing News Books, Blackwell Science Ltd Publisher.

LARINIER, M. Fishways- General considerations. In: LARINIER M.; TRAVADE F.; PORCHER J. P., 2002a, Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Fr. Pêche Piscic., n°364, cap2, 21 a 27p.

LARINIER, M. Baffle fishways. In: LARINIER M.; TRAVADE F.; PORCHER J. P., 2002b, Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Fr. Pêche Piscic., n°364, cap6, 83 a 101p.

LINDSEY, C. C. Form, function and locomotory habits in fish. In: HOAR, W. S.; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap.1, p. 1-100.

LOWE-MCCONNEL, R. H. Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais, 1ed., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999, 534 p.

LUETKEN, C.F. Peixes do rio das Velhas: Uma contribuição para a ictiologia do Brasil. In: ALVES, C. B .M. & POMPEU, P. S. (Orgs). Peixes do Rio das Velhas: passado e presente. Belo Horizonte, SEGRAC 2001. cap. 2, p. 23-164.

MAGALHÃES V. P. F.; Estudo De Motorização De Mecanismos De Transposição De Peixes. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. 170 p.

MAGNUSON, John J. Locomotion by scombrid fishes: hydromechanics, morphology, and behavior. In: HOAR, W. S.; RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1ed., Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 4, p. 239-313.

MARSHALL, N. B. Explorations in the life of fishes. Cambridge: Harvard University Press, 1971 apud LINDSEY, C. C. Form, function and locomotory habits in fish. In: HOAR, W. S.;

RANDALL D. J., 1978, Fish Physiology , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap.1, p. 1-100.

MARTINS S. L.; Sistemas para a Transposição de Peixes - Mestrado em Engenharia Civil [SP-Capital].Universidade de São Paulo, USP, Brasil, 2000.

MINAS GERAIS, Lei n. 12.488 de 9 de julho de 1997. Torna obrigatória a construção de escadas para peixes de piracema em barragem edificada no Estado. Minas Gerais, Órgão Oficial dos Poderes do Estado, Belo Horizonte, 10 abr. 1997.

PESCA BRASIL 2004 –figuras pág.33 <http://www.pescabrasil.com.br/especies/aguadoce.htm>

POMPEU, P. S. & ALVES, C. B. M. 2003. Local fish extinction in a small tropical lake in Brazil. Neotropical Ichthyology 1(2): 133-135. 2003.

POMPEU, P.S.; Estudo da Regra Operativa e avaliação de um Mecanismo de Transposição de Peixes do tipo Elevador com Caminhão Tanque - Tese (Doutorado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2005. 123 p.

PORCHER, J. P.; TRAVADE, F. Fishways: biological basis, limits and legal considerations. In: LARINIER M.; TRAVADE F.; PORCHER J. P., 2002, Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Fr. Pêche Piscic., nº364, cap1, p. 9-20.

QUIRÓS, R. Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: Latin America. Copescal Technical Paper, nº5, Roma: FAO, 1989. 41p.

REINHARDT, J. T. 1851. Nye sydamerikanske Ferskvandsfiske. Vidensk. Meddr. dansk naturh. Foren., Copenhague, (3-5):29-57.

SANTOS, Hersília A. Metodologia de Medição de Capacidade Natatória de Peixes Brasileiros, dissertação de mestrado – Programa de Pós Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2004, 218 p.

SÃO PAULO, Lei n. 9.798 de 7 de outubro de 1997. Dispõe sobre a construção de escadas para peixes em barragens em cursos de água de domínio do Estado. Diário Oficial de São Paulo, 107, São Paulo 8 out. 1997.

SATO, Y.; CARDOSO, E.L.; AMORIM, J.C.C. 1987. Peixes das lagoas marginais do São Francisco a montante da represa de Três Marias (Minas Gerais). Brasília, CODEVASF, 42pp.

SATO, Yoshimi; GODINHO, Hugo P. Peixes da bacia do rio São Francisco. In: LOWE-MCCONNELL, R. H., 1999, Estudos Ecológicos de Comunidades de Peixes Tropicais, 1ed., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999, cap. 17, p. 401-413.

SFAKIOTAKIS, Michael; LANE, David M.; DAVIES, Bruce C., Review of fish swimming modes for aquatic locomotion. IEEE Journal of oceanic engineering, v. 24, n 2, p. 237-252, abril 1999.

SILVA, L. G. M.; Migração de mandis-amarelos *Pimelodus maculatus* e curimbas *Prochilodus lineatus* no rio Grande, bacia do Alto Paraná, Mestrado em Zoologia de Vertebrados, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC Minas, Brasil, 2004.

THOMAS, A. E.; BURROWS, R. E.; CHENOWETH, H. H. A device for stamina measurement of fingerling salmonides. Bur. Sport Fish. Wildl. (U.S), n. 67, 1964, p. 181-197.

TRAVADE, F.; LARINIER, M. Fish Locks and Fish Lifts. In: LARINIER M.; TRAVADE F.; PORCHER J. P., 2002, Fishways: biological basis, design criteria and monitoring. Bulletin Fr. Pêche Piscic., nº364, cap7, 102 a 118p.

TRIANAFYLLOU, Michael S.; TRIANAFYLLOU, George S. An efficient swimming machine. Scientific American, n. 272 , p. 40 – 46, mar. 1995.

TUNDISI, J. G. Ambiente, represas e barragens, Ciências Hoje, Rio de Janeiro, v. 5, n. 27, p.48-54, nov./dez. 1986

USACE 2001 (FIG1.4 e 1.5) figuras demonstrativas de MTP's disponíveis em <http://www.nu.com/environmental/steward/fishpassage.asp>

VIANA E. M .F.; Mapeamento do Campo de Velocidades em Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Slot Vertical em Diferentes Escalas, Programa de Pós Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 2005. 226 p.

- VIDELER, John J. Fish swimming, 1 ed., Londres: Chapman & Hall, 1993, 260 p.
- VIDELER, John J.; WEIHS, D. Energetic advantages of burst-and coast swimming of fish at high speeds. *Journal of experimental biology*, n. 97, 1982, p. 169-178.
- VOGEL, Steven Life in moving fluids: The physical biology of flow, 2 ed., Princeton: Princeton University Press, 1994, 467p.
- WASSERWIRTSCHAFTSAMT BAYREUTH , Alemanha 2004 (FIG1.2) denil disponível em <http://www.wwa-bt.bayern.de/gewaesser/wasserbau/durchgaengigkeit/allgemeines.htm>
- WALTERS, V. e FIERSTINE, H. L.; Measurements of swimming speeds of yellow fin tuna and wahoo. *Revista Nature*, Londres 1964 p. 208-209.
- WEBB, Paul W. The swimming energetics of trout- I. Thrust and power output at cruising speeds. *Journal of experimental biology*, n. 55, p. 489-520, 1971.
- WEBB, Paul W. Hydrodynamics an energetics of fish propulsion. *Bull. Fish Res. Board Can.*, n. 31, 1975, p. 1-159.
- WEBB, Paul W. Hydrodynamics: Nonscombrid Fish. In: HOAR, W. S.; RANDALL D. J., 1978, *Fish Physiolgoy* , 1. ed. Londres: Academic Press, 1978. v. 7, cap. 3, p. 189-237.
- WEBB, Paul W. Swimming. In: EVANS, David H., 1993, *The physiology of fishes*,1 ed.. Londres: CRC, 1993. cap.2, p. 47-73.
- WEBB, Paul W.; BLAKE, R. W. Swimming. In: HILDEBRAND, M.; BRAMBLE, D. M.; LIEM, K. F.; WAKE, D. B. *Functional vertebrate morphology*. Cambridge: Harvard University Press, 1985, 110p. apud WEBB, Paul W. Swimming. In: EVANS, David H., 1993, *The physiology of fishes*,1 ed.. Londres: CRC, 1993. cap.2, p. 47-73.
- WEIHS, D.; WEBB, P. W. Optimization of locomotion. In: WEBB, P. W.; Weihs, D. *Fish Biomechanics*, New York: Eds. Praeger, 1983, 339p. apud WEBB, Paul W. Swimming. In: EVANS, David H., 1993, *The physiology of fishes*,1 ed.. Londres: CRC, 1993. cap.2, p. 47-73.