

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

**DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES DE PASSAGEM DE  
PEIXES EM UM MODELO FÍSICO DE MTP TIPO  
RANHURA VERTICAL**

**Rodrigo Soares Alonso**

**Belo Horizonte  
2018**

**DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES DE PASSAGEM DE  
PEIXES EM UM MODELO FÍSICO DE MTP TIPO  
RANHURA VERTICAL**

**Rodrigo Soares Alonso**

# **DETERMINAÇÃO DAS REGIÕES DE PASSAGEM DE PEIXES EM UM MODELO FÍSICO DE MTP TIPO RANHURA VERTICAL**

Projeto de Pesquisa apresentado 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: Hidráulica e Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Modelagem Física e Matemática em Hidráulica

Orientadora: Edna Maria de Faria Viana

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG  
2018

A454d Alonso, Rodrigo Soares.  
Determinação das regiões de passagem de peixes em um modelo físico de MTP tipo ranhura vertical / Rodrigo Soares Alonso. – 2018.  
v, 60 f., enc.: il.

Orientadora: Edna Maria de Faria Viana.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 55-60.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. 3. Peixe - Migração - Teses. 4. Peixe - Locomoção - Teses. 5. Hidráulica - Teses. I. Viana, Edna Maria de Faria. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

http://www.smarh.eng.ufmg.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO

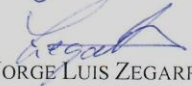
Determinação das Regiões de Passagem de Peixes Em Um Modelo Físico de Mtp  
Tipo Ranhura Vertical

**RODRIGO SOARES ALONSO**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

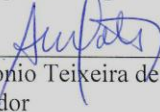
  
Prof. EDNA MARIA DE FARIA VIANA

  
Prof. DR. ALOYSIO PORTUGAL MAIA SALIBA


  
Prof. DR. JORGE LUIS ZEGARRA TARQUI

  
HERSÍLIA DE ANDRADE E SANTOS

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

  
Prof. Antonio Teixeira de Matos  
Coordenador

Versão Final aprovada por

  
Prof.ª Edna Maria de Faria Viana  
Orientadora

Belo Horizonte, 29 de junho de 2018.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me trouxe depois de uma longa caminhada com vários erros e acertos me trouxe até aqui.

A Sônia Lucia Soares Alonso e Alberto Alonso Yglesias, meus pais queridos que muitas vezes foram fonte de inspiração nessa caminhada. Seu Alberto hoje vai abrir aquela cerveja gelada em uma praia lá no céu!

A Prof.<sup>a</sup> Edna pela orientação, motivação e amizade nesses longos anos desde fenômenos de transporte até hoje. Eu não poderia esperar orientadora melhor. Muito obrigado por tudo.

Ao meus irmãos e primos, por toda ajuda, em especial ao Vinicius que me salvou várias vezes nesses últimos 2 anos.

Aos amigos do mestrado, em especial ao Bruno Comini, André Sandim o mestrado sem vocês não ia ter graça nenhuma.

Aos professores, funcionários e amigos do CPH, em especial ao Prof. Aloysio e Prof. Jorge, ao Paulinho e ao Wilson, a Mila e ao Andrés. Ao Fórmula UFMG pelas ferramentas emprestadas.

Ao Stenio pela ajuda no projeto do carrinho e várias outras ajudar nesses últimos anos.

Ao Guilherme meu estagiário escudeiro e amigo, obrigado pela ajuda nesses últimos meses

E finalmente a Amanda que esteve do meu lado todo esse tempo, obrigado pela paciência!

## RESUMO

Os reservatórios constituem parte da paisagem na maioria das bacias do Brasil. As barragens podem ser, em diversos casos, uma barreira ecológica intransponível para algumas espécies de peixes, principalmente as que precisam da liberdade de movimento ascendente para reproduzir. Na tentativa de minimizar os impactos ecológicos e tentar reduzir a barreira criada pelos barramentos, opta-se muitas vezes pela construção de mecanismos de transposição de peixes (MTP), cujo principal objetivo é permitir a subida ou descida dos peixes, viabilizando a migração da ictiofauna, principalmente a reofílica, entre a jusante e a montante da barragem. No entanto, pouco se conhece sobre os parâmetros hidráulicos dentro do tanque que são ideais para a passagem dos peixes. Assim, busca-se correlacionar os parâmetros hidráulicos de um tanque do tipo ranhura vertical, simulados a partir de diferentes regimes de vazão com as regiões preferenciais de passagem e descanso para duas espécies de peixes neotropicais típicos da bacia do rio São Francisco.

Nesse trabalho, foram feitas observações para identificar as regiões com melhores condições de passagens e descanso, dentro de modelo físico de um tanque circular que simula um MTP do tipo ranhura vertical, para duas espécies de peixes neotropicais (Mandi e Piau). Essas espécies foram testadas em 3 vazões diferentes utilizando-se motores elétricos nos horários de manhã, tarde e noite para determinar seu comportamento. Foram ainda obtidos os parâmetros de velocidade, vazão, tensões cisalhantes de Reynolds e energia cinética turbulenta.

O Piau e o Mandi se mostraram com um comportamento bem diferente devido a suas diferenças anatômicas. No entanto, as tensões cisalhantes de Reynolds para as duas espécies ficaram entre  $-6\text{N/m}^2$  e  $6\text{N/m}^2$ , a energia cinética turbulenta se mostra um importante fator para a escolha dos pontos de descanso e de negociação para transposição dos mecanismos, sendo que as duas espécies buscaram regiões próximas de zero para descanso e promover a passagem. Assim, observou-se que a combinação da energia cinética e da tensão cisalhante pode explicar as regiões preferenciais de descanso das duas espécies testadas.

Palavras chaves: mecanismo de transposição, modelagem física, Mandi, Piau

## ABSTRACT

The reservoirs are part of the landscape in most of the basins of Brazil. In many cases, dams can be an ecological barrier that cannot be overcome by some species of fish, especially those that need the freedom of upward movement to reproduce. In an attempt to minimize ecological impacts and try to reduce the barrier created by the buses, it is often chosen to construct a fishway, whose main objective is to allow the fish to ascend or descend, making it possible to migrate the ichthyofauna, mainly the rheophilic, between the downstream and upstream of the dam. However, little is known about the hydraulic parameters inside the tank that are ideal for the passage of fish. Thus, sought to correlate the hydraulic parameters of a vertical slot type tank, simulated from different flow regimes with the preferential regions of passage and rest for two neotropical fish species typical of the São Francisco river basin

In this work, observations were made to identify the regions with better conditions of passage and rest, within a physical model of a circular tank that simulates a vertical slot fishway for two neotropical fish species (Mandi and Piau). These species were tested at 3 different flows using electric motors at morning, afternoon and evening to determine their behavior. The parameters of velocity, flow, Reynolds shear stresses and turbulent kinetic energy were also obtained.

Piau and Mandi showed a very different behavior due to their anatomical differences. However, the Reynolds shear stresses for the two species were between  $-6\text{N} / \text{m}^2$  and  $6\text{N} / \text{m}^2$ , turbulent kinetic energy is an important factor in the choice of rest and negotiation points for transposition of the mechanisms. two species sought regions close to zero for rest and to promote passage. Thus, it was observed that the combination of kinetic energy and shear stress may explain the preferential resting regions of the two species tested.

Keywords: Fishway, physical modeling, Mandi, Piau

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
3.1	MIGRAÇÃO ESPÉCIES ESCOLHIDAS .....	4
3.1.1	<i>Migração</i> .....	4
3.1.2	<i>Piau (Leporinus obtusidens)</i> .....	5
3.1.3	<i>O Mandi Amarelo (Pimelodus maculatus Lacépède, 1803)</i> .....	6
3.2	MECANISMOS DE TRANSPOSIÇÃO DE PEIXES .....	8
3.2.1	<i>MTP do tipo Denil</i> .....	9
3.2.2	<i>MTP do Tipo Tanque com Vertedor</i> .....	10
3.2.3	<i>MTP do tipo Ranhura Vertical</i> .....	11
3.3	TENSÃO DE CISALHAMENTO .....	13
3.4	VELOCIDADE .....	16
3.5	NÍVEL DE TURBULÊNCIA DO ESCOAMENTO .....	17
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
4.1	CONSTRUÇÃO DO CANAL .....	20
4.2	COMPORTAMENTO DOS PEIXES .....	23
4.3	PARÂMETROS HIDRÁULICOS .....	26
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
5.1	COMPORTAMENTO DOS PEIXES .....	29
5.1.1	<i>Piau</i> .....	29
5.1.2	<i>Mandi</i> .....	33
5.2	DETERMINAÇÃO DA VAZÃO .....	36
5.3	VELOCIDADE DE ESCOAMENTO .....	38
5.4	TENSÃO DE CISALHAMENTO .....	43
5.5	ENERGIA CINÉTICA TURBULENTA .....	45
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Modelo da história de vida dos movimentos de peixes de piracema do rio São Francisco.....	5
Figura 3.2: Piau, <i>Leporinus obtusidens</i> .....	6
Figura 3.3: Mandi amarelo, <i>Pimelodus maculatus</i> .....	7
Figura 3.4: Esquema de modelo de um MTP tipo Denil .....	9
Figura 3.5: MTP tipo Denil .....	9
Figura 3.6: Modelo de um MTP tipo tanque com vertedor por Larinier, 2002.....	11
Figura 3.7: Parâmetros de construção de um MTP tipo ranhura vertical (modificado de RAJARATNAM et al. 1992).....	12
Figura 3.8: Protótipo do MTP utilizado por Romão, et Al em 2017.....	13
Figura 3.9: Valores de passagem simulados por Gao et al (2016).....	17
Figura 3.10: Energia cinética turbulenta segundo Goetel et al (2015).....	18
Figura 4.1: Planta baixa do tanque utilizado para os estudos.....	20
Figura 4.2: tanque quadriculado .....	20
Figura 4.3: Modelo de ranhura vertical do modelo (Rajaratnam, 1986).....	21
Figura 4.4: Planta baixa do tanque de MTP experimental .....	22
Figura 4.5: Tanque de MTP experimental em construção (janeiro de 2017).....	22
Figura 4.6: Tanque experimental.....	23
Figura 4.7: Local de filmagem do tanque.....	25
Figura 4.8: Medidor ADV .....	26
Figura 4.9: Pontos de coleta de velocidade no tanque.....	27
Figura 4.10: Ponto de posicionamento do ADV para medição de vazão .....	28
Figura 5.1: Matriz de passagem piau com 1 motor .....	29
Figura 5.2: Zonas de descanso para piau com 1 motor .....	30
Figura 5.3: Matriz de passagem piau com 2 motores .....	30
Figura 5.4: Zonas de descanso para piau com 2 motores .....	31
Figura 5.5: Matriz de passagem piau com 3 motores .....	32
Figura 5.6: Zonas de descanso para piau com 3 motores .....	32
Figura 5.7: Matriz de passagem mandi com 1 motor .....	33
Figura 5.8: Matriz de descanso para mandi com 1 motor .....	34
Figura 5.9: Matriz de passagem mandi com 2 motores.....	34
Figura 5.10: Matriz de descanso para mandi com 2 motores .....	35

Figura 5.11: Matriz de passagem mandi com 3 motores .....	35
Figura 5.12: Matriz de descanso para mandi com 3 motores .....	36
Figura 5.13: Mapa de velocidades para 1 motor em m/s.....	39
Figura 5.14: Mapa de velocidades para dois motores em m/s.....	40
Figura 5.15: Mapa de velocidade para 3 motores em m/s .....	40
Figura 5.16: Velocidade de descanso Piau .....	41
Figura 5.17: Velocidade de descanso Mandi.....	42
Figura 5.18: Tensões de cisalhamento de Reynolds com 1 motor, valores em N/m <sup>2</sup> .....	43
Figura 5.19: Tensões de cisalhamento para 2 motores, valores em N/m <sup>2</sup> .....	44
Figura 5.20: Tensões de cisalhamento para três motores, valores em N/m <sup>2</sup> .....	45
Figura 5.21: Energia cinética turbulenta para um motor, valores em m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> .....	46
Figura 5.22: Energia cinética turbulenta para dois motores, valores em m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> .....	47
Figura 5.23: Energia cinética turbulenta com três motores valores em m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> .....	48
Figura 5.24: Áreas preferenciais de descanso do Piau .....	49
Figura 5.25: Áreas preferenciais de passagem para o Piau .....	49
Figura 5.26: Áreas preferenciais de descanso mandi .....	50
Figura 5.27: Áreas preferenciais de passagem para o Mandi .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Dimensões utilizadas no tanque teste .....	21
Tabela 4.2: Cenários Propostos .....	24
Tabela 5.1: Vazões para um motor .....	36
Tabela 5.2: Vazões para dois motores .....	37
Tabela 5.3: Vazões para três motores .....	37
Tabela 5.4: Resumo das vazões encontradas.....	38

## LISTA DE ABREVIACOES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADV – Anemmetro Doppler Velocímetro

ANNEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

$b_0$  – unidade básica de parâmetro para construo de MTP tipo ranhura vertical

CGH – Central geradora hidrelétrica

cm – centímetro

k - energia cinética turbulenta,

l/s – litro por segundo

lb - libra

m – metro

m/s – metro por segundo

$m^2/s^2$  -metro ao quadrado por segundo ao quadrado

$m^3$  - metro cúbico

$m^3/s$  – metro cúbico por segundo

MTP – Mecanismo de transposio de peixes

MW – MegaWatt

$N/m^2$  – Newton por metro quadrado

O – oeste

PCH – Pequena central hidrelétrica

$\mu$  - velocidade de escoamento no eixo x (m/s)

UHE – Usina hidrelétrica

$v$  - velocidade de escoamento no eixo y (m/s)

$v'_x$  - raiz da média das flutuaes quadráticas de velocidade em x,

$v'_y$  - raiz da média das flutuaes quadráticas de velocidade em y,

$v'_z$  - raiz da média das flutuaes quadráticas de velocidade em z.

$V_s$  – velocidade de escoamento

$\rho$  - massa específica ( $kg/m^3$ )

S – Sul

# 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Comitê Brasileiro de Barragens o Brasil possui mais de 9 mil barragens para abastecimento de água, controle de cheias, regularização de vazões, geração de energia e para paisagismo e urbanismo, destes 4.665 são empreendimentos de geração elétrica com potência instalada de 152.196,94 MW em operação, perfazendo um total de 64,87% de toda energia elétrica gerada no país (ANEEL, 2017).

Não importando a finalidade, as barragens, muitas vezes, fragmentaram o curso do rio, criando uma barreira intransponível para as espécies aquáticas, principalmente as espécies migratórias.

No Brasil tem-se muitas espécies de peixes migratórios, sendo o grupo mais importante o do *Ostariophysi* (HILSDORF & MOREIRA, 2008). A migração é um fenômeno muito complexo que envolve reprodução, alimentação e refúgio contra a predação, não envolvendo apenas o rio principal, mas também os pequenos tributários (GODINHO E POMPEU, 2003).

Os mecanismos de transposição de peixes foram idealizados para atrair e conduzir os peixes nas migrações de montante para jusante e vice-versa (LARINIER E TRAVADE, 1999). Na busca de condições melhores para a passagem e descanso dos peixes, Alvarez-Vázquez (2007) realizou várias simulações computacionais, chegando a um tipo de configuração, o tipo escada ranhura vertical, onde existem áreas de recirculação com velocidades minimizadas, criando uma área de descanso para os peixes.

Verificando o estudo de Alvarez-Vázquez (2007), Tolentino *et. al.* (2014) apresentaram um estudo experimental do comportamento hidráulico de um MTP do tipo escada com ranhura vertical, com o objetivo de analisar os campos de velocidade, os níveis de dissipação de energia e os campos de tensão de cisalhamento de Reynolds para dois valores de declividade, 6% e 12%. Os valores da velocidade foram obtidos em um modelo reduzido de MTP utilizando-se um sistema de medição de velocidades ADV (Velocímetro Anemômetro Doppler). Chegando a um comportamento diferente do observado por Alvarez-Vázquez (2007). Numa etapa posterior, os valores medidos de velocidade foram pós-processados permitindo a geração de mapas de velocidades em um tanque. Os mapas de velocidade permitem estimar os níveis de dissipação de energia e de tensão de cisalhamento de Reynolds. Essa tensão está relacionada com a transferência contínua de momentos entre massas de água com diferentes velocidades e

pode exercer uma interferência no desempenho natatório do peixe devido a essa tensão criar uma força paralela ao corpo do peixe (SILVA, 2011).

Este trabalho busca identificar as regiões com melhores condições de passagem e descanso em um modelo físico de MTP do tipo ranhura vertical, correlacionando os campos de velocidade, tensão cisalhante de Reynolds e energia cinética com as áreas de passagem e descanso para duas espécies de peixes neotropicais. Para isso, utilizando-se um modelo de MTP simulado em um tanque circular com três vazões impulsionadas por motores elétricos, buscando estender pesquisas correntes em nível mundial para peixes neotropicais. Foram estudados o comportamento de duas espécies de peixes, Piau (espécie de escama) e Mandi amarelo (espécie de couro), escolhidas devido sua abundância na bacia do São Francisco. Medidas de velocidade em um modelo reduzido de um MTP foram efetuadas neste sentido. A combinação da energia cinética e da tensão de cisalhamento de Reynolds pode explicar as regiões preferenciais de descanso das duas espécies, pois claramente preferem as áreas onde esses dois valores são próximos a zero, enquanto a energia cinética turbulenta se mostra um importante fator para a escolha dos pontos de descanso e de negociação para transposição dos mecanismos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 *Objetivo geral***

Identificar as regiões com melhores condições de passagens e descanso em um modelo físico de tanque de MTP do tipo ranhura vertical, para duas espécies de peixes neotropicais.

### **2.2 *Objetivos específicos***

São objetivos específicos deste trabalho:

- Desenvolver metodologia para a avaliação das regiões de passagem e descanso, através de medições e filmagem, no laboratório utilizando tanques circulares;
- Correlacionar os parâmetros hidráulicos com as regiões preferenciais de passagem, observadas nas filmagens, das duas espécies de peixes neotropicais;
- Definir os locais preferenciais de passagens dos peixes de acordo com os parâmetros hidráulicos observados.

## 3 REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1 Migração espécies escolhidas

#### 3.1.1 Migração

Peixes migradores podem ser definidos como aqueles que apresentam segregação espacial entre os diversos sítios de alimentação, reprodução e crescimento (VAZZOLER, 1996). Dentre as espécies migradoras, espécies potamódramas correspondem aquelas continentais fluviais que migram em águas doces e desenvolvem seu ciclo no leito do rio (MARTINS, 2000). Durante os vários estágios de vida dos peixes, é normal vários e complexos tipos de migração. Essa migração pode ser tanto de montante a jusante, como de jusante a montante. As migrações a jusante normalmente são relacionadas com os primeiros estágios de vida dos peixes, enquanto as migrações a montante é uma característica relacionado com a vida adulta (KATOPIS, 1992).

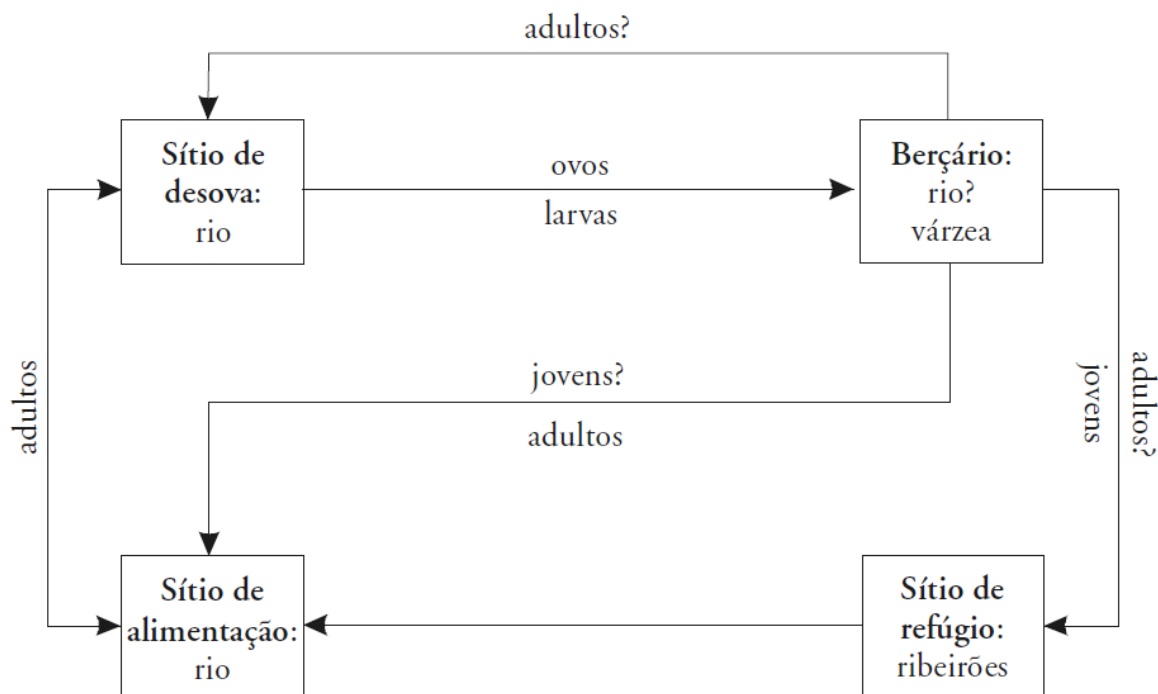
No Brasil são conhecidas cerca de 2600 espécies de peixes, a maior parte, cerca de 2100 estão no grupo do *Ostariophysi*, que contemplam as espécies conhecidas que realizam migração. Os *Ostariophysi* incluem peixes das ordens dos Characiformes, Cypriniformes, Siluriformes, Gonorhynchiformes e Gymnotiformes. Na ordem dos Characiformes são encontrados peixes como o Piau, Dourado, Pacu, Lambari e Piranha. Os Siluriformes estão representados principalmente pelo Mandi, Bagre, Pintado e Surubim (HILSDORF & MOREIRA, 2008).

A migração dos peixes é um fenômeno biologicamente complexo. O padrão biológico básico para os peixes de água doce inclui o deslocamento entre dois sítios principais, os de alimentação e o de reprodução, ainda pode haver um terceiro sítio, o de internada ou de refúgio, onde os peixes podem se deslocar caso as condições sejam desfavoráveis ou adversas durante o inverno (NORTHCOTE, 1978). Segundo Godoy e Bonetto (PETRERE, 1985) para peixes da bacia do São Francisco existem três sítios: reprodução, alimentação e berçário. Os sítios de reprodução e alimentação localizam-se na calha dos rios enquanto o de berçário se localiza nas várzeas.

Os peixes adultos podem migrar entre os sítios de reprodução e alimentação, enquanto os ovos são carregados rio abaixo para os sítios de berçário. Os dados apresentados por Godinho e Pompeu (2003), após estudarem ribeirões de pequena ordem, sugerem que existem pelo menos mais um sítio nesse modelo biológico, o sítio de refúgio. Apesar de grandes dúvidas quanto aos peixes adultos estarem presentes nesse modelo, existe uma abundância de peixes jovens nesse

sítio provavelmente para a fuga à predação. O modelo sugerido para a história de vida dos movimentos de peixes para o rio São Francisco pode ser representado pela Figura 3.1.

**Figura 3.1:** Modelo da história de vida dos movimentos de peixes de piracema do rio São Francisco



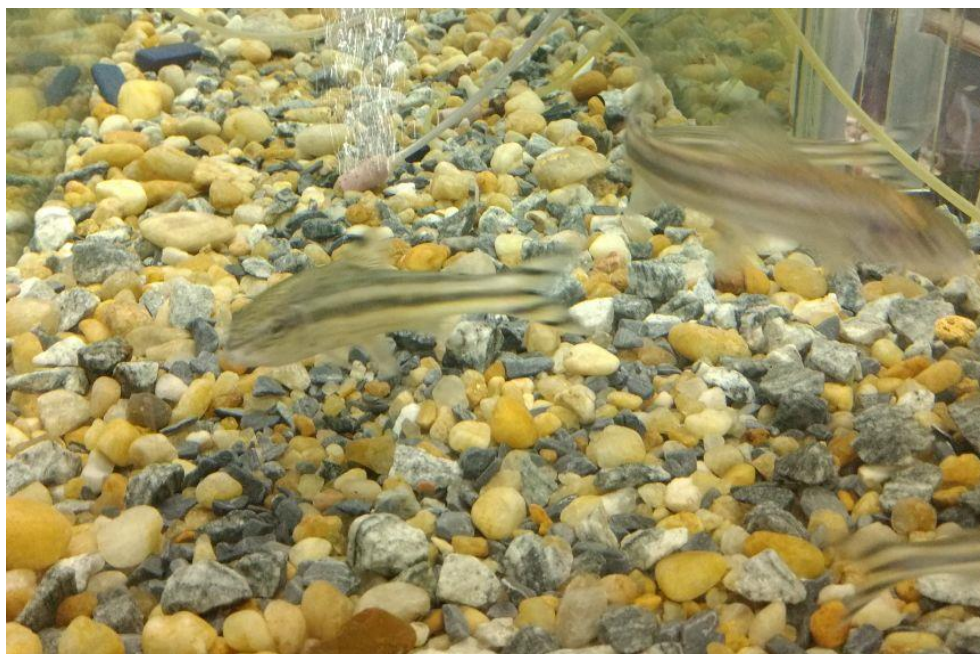
Fonte: Godinho e Pompeu (2003)

### 3.1.2 Piau (*Leporinus obtusidens*)

O Piau, *Leporinus obtusidens*, também conhecido como piapara ou piau-verdadeiro é um peixe de importância econômica para as pescas artesanais e esportiva (ANDRADE, 2009, CEMIG, 2006), pertence à classe Actinopterygii, ordem Characiforme, família Anostomidae, gênero *Leporinus*. Ele possui uma série exclusiva de apenas três ou quatro dentes, ou uma combinação de ambos, em cada pré-maxilar e dentário, dispostos como degraus de uma escada (REIS et al., 2003). O corpo é alongado e coberto por escamas prateadas; nadadeiras peitorais, ventrais e anal, amareladas, focinho um tanto proeminente e boca subinferior, corpo com faixas transversais e podendo ter até três máculas no flanco, é um peixe de médio porte (Figura 3.2), alcançando até 40 cm de comprimento, sendo a espécie de Piau de maior tamanho na bacia do São Francisco (CEMIG, 2006) ou até 76 cm de comprimento nas bacias dos rios Paraná ou do Uruguai (ZANIBONI-FILHO, 2004). Essa espécie apresenta uma dieta onívora altamente

adaptável em todas as idades, com forte tendência alimentar com frutos, grãos, vegetais e caramujos (PARMA, 1980).

**Figura 3.2:** Piau, *Leporinus obtusidens*



Fonte: foto do autor

O Piau é uma espécie reofílica (peixes que precisam nadar contra a correnteza dos rios para amadurecer sexualmente e procriar) a medida que eles avançam suas gônadas vão sofrendo maturação gradual para futura desova nas cabeceiras dos rios, tendo uma fecundidade absoluta de cerca de 255 mil ovócitos (VAZZOLER, 1996). Semelhante a outros peixes de rios, apresenta uma reprodução sazonal de acordo com a bacia em que ele está localizado, na bacia do Paraná ele se reproduz entre outubro e dezembro (TELICHEVSKY DE FOLGUERA, 1981); ou entre setembro e dezembro com migrações longitudinais (ZANIBONI-FILHO; SCHULZ, 2003), no alto Paraná entre novembro e janeiro (AGOSTINHO ET L., 2003), na bacia de São Francisco entre novembro a fevereiro (CEMIG, 2006).

### **3.1.3 O Mandi Amarelo (*Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803)**

*Pimelodus maculatus*, conhecido como mandi-amarelo, é um Siluriforme amplamente distribuído nas bacias de rios sul-americanos (FOWLER, 1951), ele pode ser encontrado no Brasil, Guianas, Peru, Bolívia e Venezuela, nas bacias do Paraná, do Prata, Uruguai e Iguazu (GODOY, 1987). O Mandi é um peixe de couro, 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 cônica com olhos situados lateralmente, a cabeça é revestida com placas ósseas até a raiz da nadadeira dorsal, com quatro barbilhões maxilares característicos com função sensorial que ultrapassam a metade do corpo (OLIVEIRA,2013). Apresenta ferrões cobertos por muco tóxico nas nadadeiras peitorais e na nadadeira dorsal (VAZ *et al.*, 2000).

**Figura 3.3:** Mandi amarelo, *Pimelodus maculatus*



Fonte: foto do autor.

De hábito alimentar onívoro com tendência à ictiofagia, o mandi amarelo apresenta uma ampla plasticidade na dieta (LUZ *et al*, 2002) principalmente de larvas de insetos, algas, moluscos, peixes e vegetais (BENNEMANN *et al*, 2000). É um espécie de porte médio, chegando a alcançar 40 cm de comprimento e peso até 3Kg (OLIVEIRA,2013).

O Mandi Amarelo é uma espécie de hábitos migratórios que habita remansos das margens dos rios (OLIVEIRA,2013), onde a desova é admitida como total (SATO; GODINHO, 1988; CARVALHO *et al*, 1995) ou parcelada (BAKER *et al*, 1972; GODINHO *et al*, 1974; BAZZOLI *et al*, 1997) É um peixe Ovulíparo onde a fertilização ocorre em meio externo, quando elimina o óvulo ainda não fertilizado para o meio-ambiente para a sua reprodução. O período de reprodução coincide com a época mais quente e chuvosa do ano, não possui cuidados parentais e preferem desovar em pequenos afluentes.

O Mandi Amarelo ocorre em abundância nas bacias do Paraná, Paraguai, os rios Grande, Parnaíba e no São Francisco. 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).

### **3.2 Mecanismos de transposição de peixes**

Os mecanismos de transposição de peixes (MTP) foram construídos por todo o mundo visando a redução da barreira ecológica criada pela construção das barragens para diversos usos como geração de energia, controle de enchentes e abastecimento de água. Os MTP são definidos como um dispositivo para atrair e conduzir seguramente a migração de peixes: trófica e reprodutiva, aos seus ambientes (LARINIER E TRAVADE, 1999). Assim, a função primária dos MTP é permitir a passagem dos peixes pelas barragens.

Muitos tipos de mecanismos de transposição têm sido construídos pelo mundo. Dentre eles temos, elevadores, eclusas e o tipo escada, sendo os principais de ranhura vertical, do tipo Denil e tanque com vertedor. Basicamente todos dos MTP do tipo escada possuem as seguintes características:

- São formados por uma série de tanques sucessivos,
- Conduzem água para a jusante do barramento,
- Cada tanque é separados por defletores dissipadores,
- Permitem o deslocamento dos peixes da jusante para a montante.

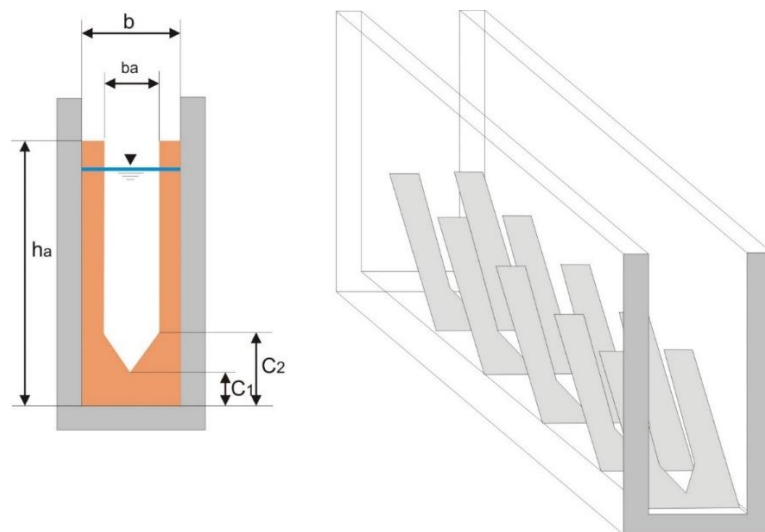
No Brasil, o primeiro MTP foi construída na represa de Itaipava, rio Pardo, afluente do rio Paraná em 1911, construída com um desnível de sete metros, sendo considerada um MTP bem-sucedido (MARTINS, 2000). Nos últimos anos, MTP foram instalados em diferentes barragens em Minas Gerais, fruto da lei estadual nº 12.488/1997, que em seu art. 1º estabelece que “é obrigatória a construção de escadas para peixes de piracema em barragem a ser edificada em curso de água de domínio do Estado” (MINAS GERAIS, 1997).

Os elevadores e eclusas são de construção, manutenção e operação mais onerosos. Dessa forma, no Brasil tem-se mais escadas que os outros tipos de MTP. Assim, esse trabalho terá seu foco em Mecanismos de Transposição de peixes do tipo escada.

### 3.2.1 MTP do tipo Denil

Os mecanismos do tipo Denil foram idealizados no século XIX pelo engenheiro belga G. Denil. Esse mecanismo constitui é um canal linear retangular, com uma série anteparos inclinados em  $45^\circ$  colocados próximos uns aos outros com uma abertura central (Figura 3.4 e Figura 3.5). Esse canal é construído em grandes inclinações entre 10% a 20% (KATOPODIS, 1992). Esse tipo de MTP possui uma grande velocidade escoamento tornando-a um MTP que impede a passagem de um grande número de espécies.

**Figura 3.4:** Esquema de modelo de um MTP tipo Denil



Fonte: adaptado de Rome, 2002

**Figura 3.5:** MTP tipo Denil



O escoamento nesse tipo de escada não permite a criação de áreas de descanso, fator limitante para a passagem dos peixes, principalmente aqueles de pequeno porte e assim menor capacidade natatória.

### 3.2.2 MTP do Tipo Tanque com Vertedor

O tanque com vertedor consiste em um canal dividido em diversos tanques com anteparos contendo ou não vários orifícios. A água passa por cima dos anteparos e pelos orifícios quando existem. Os anteparos ajudam a dissipar a energia do escoamento tornando o sistema mais tranquilo a passagem do peixe. As Figura 3.6 e 7 mostram MTP do tipo Tanque com vertedor.

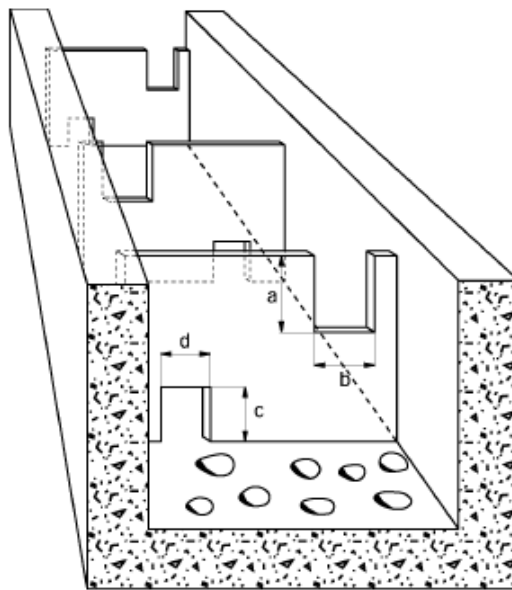
**Figura 6:** Foto de um MTP tipo tanque com vertedor



Fonte: Chis Maeder, 2015

Os peixes migram de tanque em tanque saltando por cima dos anteparos ou passando pelos orifícios deles (ROME,2002). Como visto na Figura 6, nesse tipo de mecanismo, os peixes só encontram grandes velocidades de escoamento durante a passagem pelos orifícios, dando a eles oportunidade de descanso entre a migração entre cada um dos tanques (ROME, 2002).

**Figura 3.6:** Modelo de um MTP tipo tanque com vertedor por Larinier, 2002



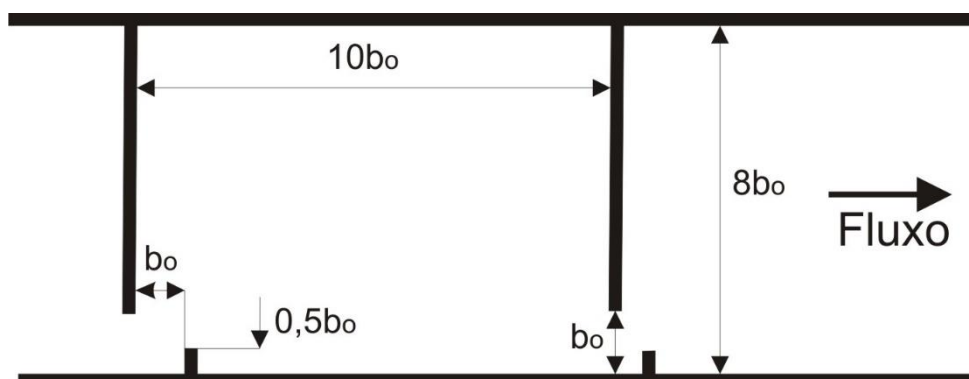
Fonte: Larinier, 2002

O grande problema desse dispositivo é para peixes que não saltam como os cascudos, muito presentes no Brasil. Como esse tipo de espécie é encontrada em abundância no nosso país, torna esse tipo de sistema seletivo a passagem dessas espécies.

### **3.2.3 MTP do tipo Ranhura Vertical**

O mecanismo de transposição do tipo Ranhuras Verticais (*Vertical Slot*) consiste basicamente em um canal retangular dividido em vários tanques por anteparos onde os peixes pode passar em diferentes alturas de lâmina e assim nadar de acordo com sua capacidade. Esses anteparos permitem uma dissipação de energia quando a água circula pelo tanque (KATOPODIS & RAJARATNAM 1983). Ele pode ser construído para o uso em uma variada gama de condições hidráulicas, permitindo a utilização para diversos ecossistemas, mas sua configuração básica é mostrada na Figura 3.7 (RAJARATNAM et al., 1992).

**Figura 3.7:** Parâmetros de construção de um MTP tipo ranhura vertical (modificado de RAJARATNAM et al. 1992).



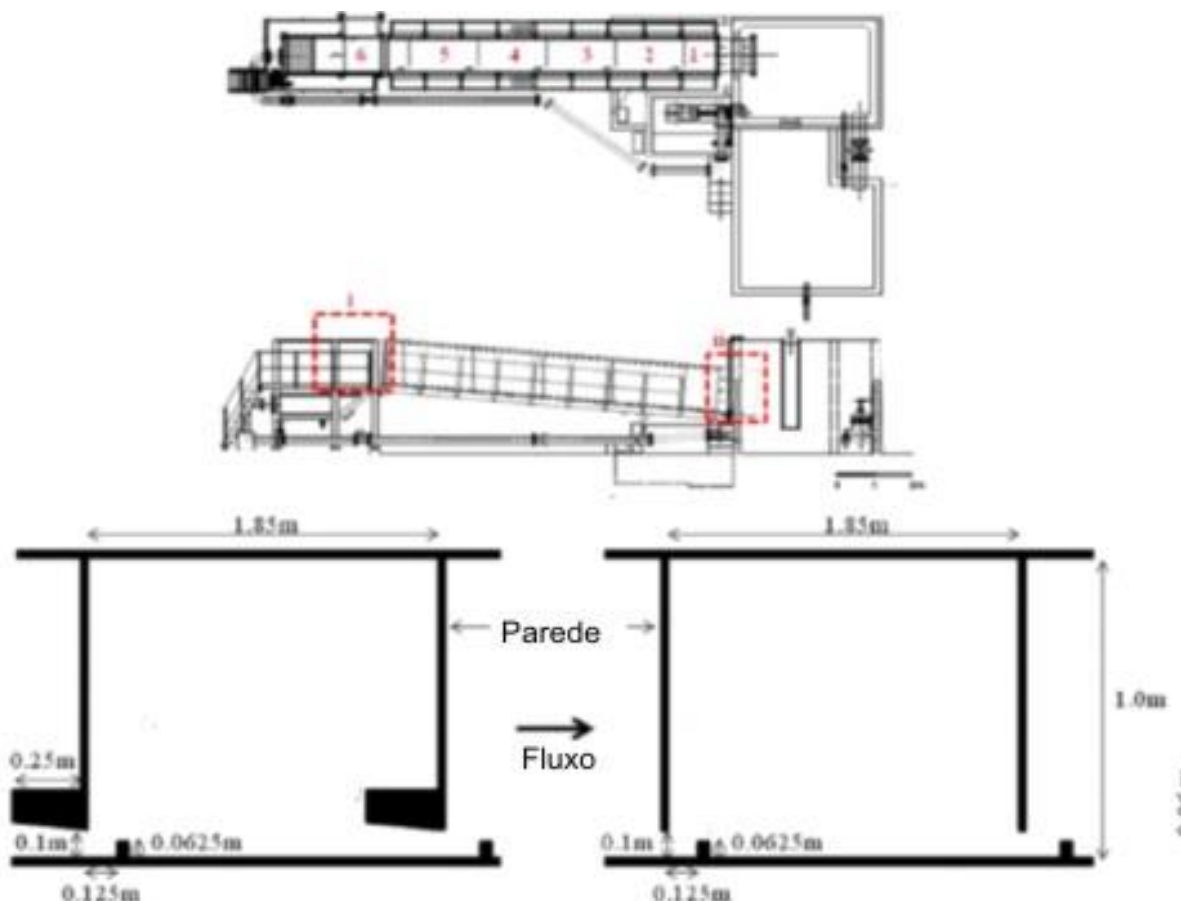
Outra importante característica desse tipo de MTP é que ele opera em diversos níveis do rio, tanto em condições de montante como de jusante, necessários para acomodar os diversos movimentos migratórios dos peixes e acomodar os efeitos de diferentes níveis de água através dos anos (MARRINER et al., 2016).

A usina hidroelétrica de Igarapava possui um MTP do tipo ranhura vertical construído em 1999 com declividade de 6% e 87 degraus com uma vazão de  $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Estudos realizados nessa barragem mostram que mais de 95% dos indivíduos que transpuseram esse MTP foram dos gêneros *Pimelodus* e *Leporinus* (BIZZOTO, 2006).

De acordo com Viana et al. (2016) em suas análises de tensão cisalhante, as inclinações de 6% são as mais indicadas para esse tipo de MTP, enquanto declividades de 12% podem causar sérias limitações de passagem para os peixes devido a incômodos ou lesões causadas pelo deslocamento.

Romão et al (2017) realizaram experimentos em um protótipo de MTP tipo ranhura vertical possuindo 6 câmaras e uma inclinação de 8,5%, nesse experimento eles testaram duas configurações diferentes de ranhura vertical (Figura 3.8) e duas espécies representantes da fauna portuguesa o *Luciobababus bocagei* e o *Squalius pyrenaicus*, ambos representantes da família Cyprinidae. O objetivo do trabalho era verificar qual configuração possuía melhores condições de passagem para as espécies escolhidas. Em seu protótipo ele possuiu uma câmara de aclimação (ii) e uma câmara de recebimento no alto do mecanismo (i). Foram encontradas diferenças significativas entre essas duas configurações, sendo a segunda mais eficiente para a migração das duas espécies.

**Figura 3.8:** Protótipo do MTP utilizado por Romão, et Al em 2017.



Fonte: Romão,2017

### 3.3 Tensão de Cisalhamento

A tensão de cisalhamento de Reynolds surge quando duas massas de água de velocidades paralelas se movem uma em relação a outra. Esse parâmetro é uma variável hidráulica determinante para a localização dos peixes, visto que os indivíduos evitam áreas com altos valores de tensão de Reynolds (SILVA et al.,2010), permanecendo em áreas onde as tensões são menores. Variações de vazão em um mesmo MTP tipo ranhura vertical pode apresentar grandes variações nas tensões de Reynolds, portanto essa variável deve ser considerada no dimensionamento dos MTP (DUARTE et al., 2014). Além disso, altos valores das tensões podem causar danos corporais e até a morte dos organismos (SILVA et al., 2012).

Os peixes preferem nadar em condições onde a tensão de cisalhamento é semelhante, evitando variações de tensões, e quando essas tensões são elevadas os peixes tendem a variar o caminho no MTP, evitando áreas de altas tensões, mas somente essa métrica não pode explicar todas as linhas natação ou comportamento dos peixes nos MTP (GOETTEL et al., 2015). A tensão

dificulta o desempenho natatório e a estabilidade do peixe, por exercer uma força paralela o seu corpo (TOMÉ, 2016), e o impacto dessa tensão depende da sua direção em relação ao corpo do organismo. A tensão pode ser definida como um tensor formado por 6 componentes simétricas, que formam três planos, o plano horizontal (XY), o vertical (XZ) e o transversal (YZ) (WHITE 2010), sendo as principais as componentes de velocidade longitudinal e transversal do tanque, que formam o plano XY (SILVA, 2012).

A velocidade é a principal variável hidráulica no escoamento de obras hidráulicas (SANTOS, et al., 2009). Nos escoamentos encontrados nos MTP, a valor da velocidade varia em torno de um valor médio, independente do ponto ou direção a serem considerados (PINTO, 2010). A flutuação das velocidades fornece informações de onde há zonas de variação da turbulência. A tensão de cisalhamento de Reynolds pode ser então encontrada em função das médias das flutuações das componentes de velocidade x e y em um tanque de MTP (WHITE, 2010). Como demonstrado na equação 1.

$$\tau_{x,y} = -\overline{\rho u'v'} \quad (3.1)$$

Na qual,

$\rho$  é a massa específica (kg/m<sup>3</sup>);

$u'$  é a flutuação instantânea da velocidade de escoamento no eixo x (m/s);

$v'$  é a flutuação instantânea da velocidade de escoamento no eixo y (m/s).

Aos valores de tensão cisalhante em um tanque de MTP varia de acordo com as suas dimensões e velocidades de escoamento, Duarte et al. (2014) encontraram em seus experimentos tensões cisalhantes variando entre 0 e 5 N/m<sup>2</sup> como as ideais para a passagem de *Leporinus reinhardti*. Duarte et al. (2012) observam que *P. maculatus* prefere em 80% das observações áreas com tensões cisalhantes próximas a zero, e regiões com tensões cisalhantes entre -10N/m<sup>2</sup> e 10N/m<sup>2</sup> correspondem a mais de 90% das observações.

Sanagiotto (2007) em teste de um modelo reduzido, na escala 1:5, encontrou valores de tensão de cisalhamento do Reynolds entre -5N/m<sup>2</sup> e 5N/m<sup>2</sup> na maior parte do tanque e um valor pico de 30N/m<sup>2</sup>, transpondo esses valores para o protótipo, temos valores entre -25N/m<sup>2</sup> e 25N/m<sup>2</sup> e o máximo de 150N/m<sup>2</sup> no escoamento principal. Viana et al. (2016) observaram valores ente -200N/m<sup>2</sup> e 100N/m<sup>2</sup> na maior parte do tanque de valores máximos de 700N/m<sup>2</sup> na região do escoamento. Segundo Silva et al. (2012) valores de 500N/m<sup>2</sup> devem ser utilizados como limite para a tensão de cisalhamento nos MTP e valores superiores a 1000N/m<sup>2</sup> pode ser considerado como letal para os peixes.

Duarte et al. (2014) construíram um gráfico para as tensões de Reynolds em MTP do tipo ranhura vertical para as vazões de 20L/s e 35L/s, como o esperado, maiores vazões estão relacionadas a maiores tensões, em ambas as vazões temos picos de tensões de 50N/m<sup>2</sup>. Para vazões de 20L/s temos mais de 80% da área com tensões entre 0N/m<sup>2</sup> e 5N/m<sup>2</sup> enquanto para vazões de 35L/s essa área cai para cerca de 60%.

Viana et al. (2016) também construíram gráficos para as tensões cisalhantes de Reynolds em um modelo de um MTP do tipo ranhura vertical para declividades de 6% e 12% com vazão de 2,14m<sup>3</sup>/s. Esse estudo mostra que as variações da declividade nos MTP podem gerar grandes variações nas tensões cisalhantes de Reynolds (150N/m<sup>2</sup> para declividade de 6% e 700N/m<sup>2</sup> para 12%), tornando-o inadequado para muitas espécies de peixes.

Romão et al. (2017) normalizaram os valores das tensões cisalhantes de Reynolds dividindo-os por  $\rho V_s^2$  encontrando assim valores adimensionais, onde  $V_s$  é a velocidade média de orifício (ranhura). Em seus experimentos com duas configurações de MTP tipo ranhura vertical (Figura 3.8), as configurações sem o defletor lateral se mostraram mais eficientes para os *Cypririmidaes* testados, do que os modelos com o defletor lateral, onde observam-se altos valores de tensões na saída do tanque.

### **3.4 Velocidade**

A eficiência de um MTP está diretamente ligada as condições de entrada do sistema e dos campos de velocidade, visto que para a passagem dos peixes sua capacidade natatória deve ser respeitada (VIANA, 2016). Nos MTP a velocidade pode ser um fator limitante, caso excedam a capacidade natatórias dos peixes (ALVAREZ-VÁZQUES et al., 2008). Sabe-se que determinadas espécies de peixes apresentam preferências em relação às características dos escoamentos em que se encontram: algumas preferem áreas rápidas e outras preferem escoamentos com baixa velocidade e altas profundidades (PAVLOV, 1989).

Estudos realizados com velocidades natatórias críticas, que são as velocidades máximas que o peixe pode alcançar, demonstram que o *P. maculatus* possui uma velocidade crítica de até 1,61m/s, 33% superior ao *Sockeye salmon* para o mesmo comprimento (SANTOS et al, 2008), valores semelhantes foram encontrados para o *Prochilodus costatus* e valores superiores foram encontrados para o *Leporinus reinhardti* (SANTOS et al., 2008).

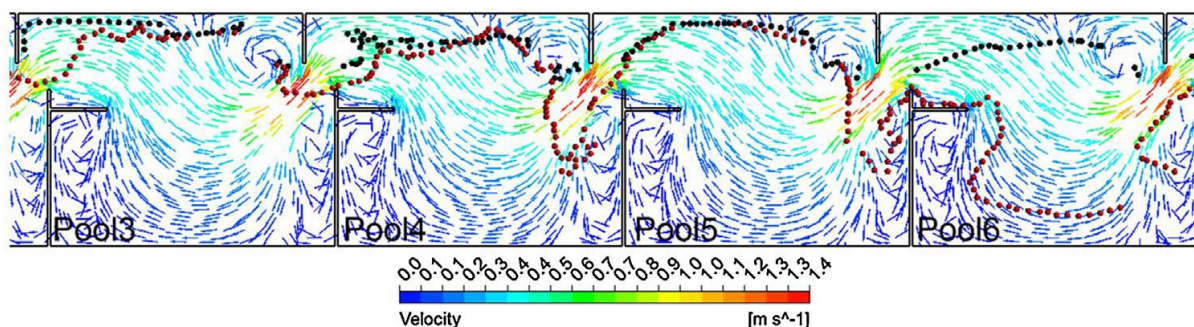
Duarte et al. (2012) fizeram experimentos com um MTP do tipo ranhura vertical com tanque com tamanho de 0,87m x 1,00m e declividade de 4,5% e vazão de 20L/s, encontrando velocidades de até 0,6 m/s. No trabalho os autores observaram que as espécies *P. maculatus* preferiram as velocidades de até 0,1m/s em 50% das observações, enquanto os *L. reinhardti* preferiram velocidades de até 0,3 m/s.

Duarte et al. (2014) realizaram novos experimento no mesmo canal de 0,87m x 1,00m e declividade de 4,5% com vazões de 20L/s e 35L/s. Nesse trabalho os autores observaram que os peixes permaneciam majoritariamente nas áreas de baixas velocidades, porém, alguns ficavam nos campos de alta velocidade, provavelmente para negociar a passagem ao tanque a montante.

Viana et al. (2016) realizaram testes de velocidade em um modelo de canal em escala 1:7,5, composto por tanques com dimensões de 50,0 cm por 40,0 cm em declividades de 6% e 12% e vazão de 55 m<sup>3</sup>/h, encontrando um padrão de escoamento semelhante aos obtido por Duarte et al. (2014). Nesse experimento após a correlação para protótipo, em escala de 7,5, observa-se velocidade máximas de 1,6 m/s para declividades de 6% e velocidades máximas de 2,2 m/s para declividades de 12%.

Gao et al. (2016) realizaram experimentos em geometria computacional, em que se realizaram simulações com MTP tipo ranhura vertical com 11 piscinas de 1,85 m x 1,5 m e com velocidades de até 1,4 m/s. A partir dos vetores de velocidade das piscinas, simularam-se os caminhos de suposta passagem para dois peixes, representados pelas linhas negras e vermelhas na Figura 3.9.

**Figura 3.9:** Valores de passagem simulados por Gao et al (2016)



Fonte: Gao, 2016

Romão et al. (2017) normalizou a matriz de velocidade ( $U_{xy}/V_s$ ) para as duas configurações do MTP, encontrando na primeira configuração um grande aumento da velocidade na saída do MTP. Esses valores aumentados sugerem a melhor eficiência para a passagem dos peixes na segunda configuração, mostrando que a aumento das velocidades deve ser evitado nos MTP para os Cypirimidaes.

### 3.5 Nível de Turbulência do Escoamento

O nível de turbulência de escoamento é um parâmetro importante a ser avaliado em MTP, pois ela pode deixar os peixes desorientados e, portanto, parâmetros de turbulência devem ser avaliados em qualquer experimento de MTP (PUERTAS *et al* 2004). A Energia Cinética Turbulenta é um parâmetro que demonstra o nível de turbulência visto sua determinação com as componentes de flutuação de velocidades do escoamento nas três direções.

A energia Cinética Turbulenta ( $k$ ) pode ser calculada pela Eq. 3.2 como definida por Rodi (1980 apud Puertas et al., 2004):

$$k = \frac{1}{2}(u'^2_x + v'^2_y + w'^2_z) \quad (3.2)$$

Na qual,

$k$  é a energia cinética turbulenta ( $m^2/s^2$ ),

$u'_x$  é a flutuação instantânea de velocidade em  $x$  (m/s),

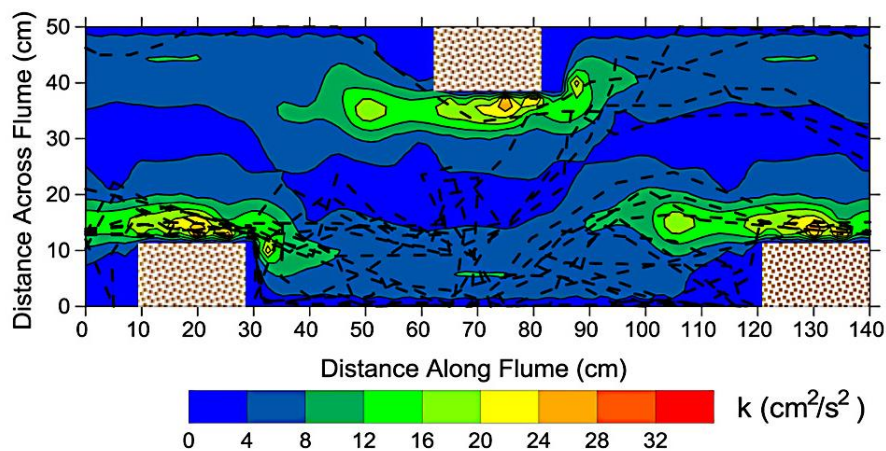
$v'_y$  é a flutuação instantânea de velocidade em  $y$  (m/s),

$w'_z$  é a flutuação instantânea de velocidade em  $z$  (m/s).

As áreas de alta energia cinética turbulenta normalmente estão relacionadas a maiores velocidade e zonas de baixa turbulência estão relacionadas as áreas de recirculação (PUERTAS et al., 2004, PENA, 2004 e SILVA, 2010). Nos MTP do tipo ranhura vertical, em que o escoamento é de natureza altamente turbulenta, pode-se identificar as áreas de jato onde as velocidades são maiores (PENA 2004). Foi verificado que a energia cinética turbulenta também não se altera ao longo da profundidade, entretanto, tentem a ser maiores próximo ao fundo e na superfície (PUERTAS et al., 2004, PENA, 2004 e SILVA, 2012).

Goetel et al. (2015) observaram em seus experimentos utilizando a vazão de 16L/s variações de até 2% na energia turbulenta em seu modelo de tanque com 50cm de largura, conforme observado na Figura 3.10. As linhas tracejadas são os caminhos de passagem dos peixes observados nesse mecanismo.

**Figura 3.10:** Energia cinética turbulenta segundo Goetel *et al* (2015)



Fonte: Goetel et al., 2015

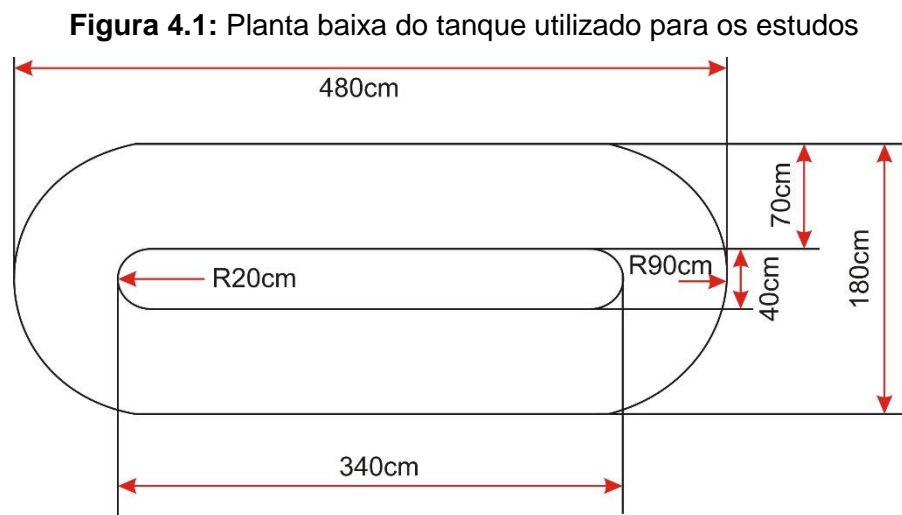
Romão et al. (2017) normalizaram a matriz de energia cinética turbulenta ( $K^{0,5}/V_s$ ) para as duas configurações do MTP, encontrando na primeira configuração um grande aumento da energia cinética turbulenta na saída do MTP. Esses valores aumentados também sugerem a melhor eficiência da segunda configuração, mostrando que o aumento das velocidades e energia cinética turbulenta deve ser evitado nos MTP para os *Cypirimidaes*.

Estes resultados forneceram subsídios para escolha da configuração a estudar no MTP avaliado em modelo reduzido.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Construção do canal

Para a realização dos experimentos foi utilizado um canal oval com 70 cm de largura, 60 cm de profundidade e comprimento máximo de 480 cm. A planta baixa está demonstrada pela Figura 4.1, com dimensões em centímetros.



O tanque foi todo quadriculado em espaçamentos de 5 cm para servir de orientação para a localização dos peixes durante as filmagens, e para a realização das medidas dos parâmetros hidráulicos e posicionamento dos anteparos, conforme Figura 4.2.

**Figura 4.2:** tanque quadriculado



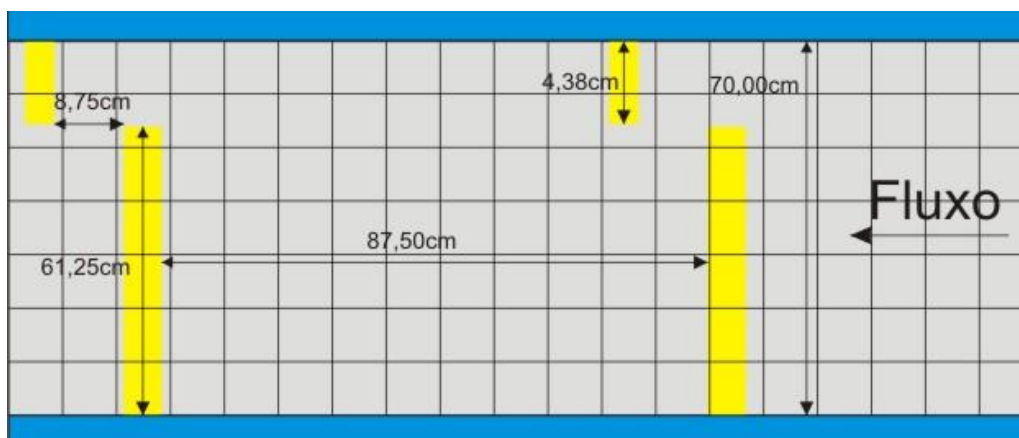
A construção dos anteparos seguiu ao indicado por Rajaratnam et al. (1986), que propõem que a largura seja de  $8b_0$ . Uma vez que o canal possui 70 cm de largura, todas as outras medidas seguiram essa relação, como foi apresentado na Figura 3.7 e demonstrado na Tabela 4.1

**Tabela 4.1:** Dimensões utilizadas no tanque teste

Descrição	Medida	Dimensões (cm)
Largura do canal	$8b_0$	70
Anteparo grande	$7b_0$	61,25
Anteparo pequeno	$0,5b_0$	4,38
Distância entre os anteparos	$8b_0$	87,50
Distância entre o anteparo o canal	$b_0$	8,75
Distância entre o anteparo grande e o pequeno	$b_0$	8,75

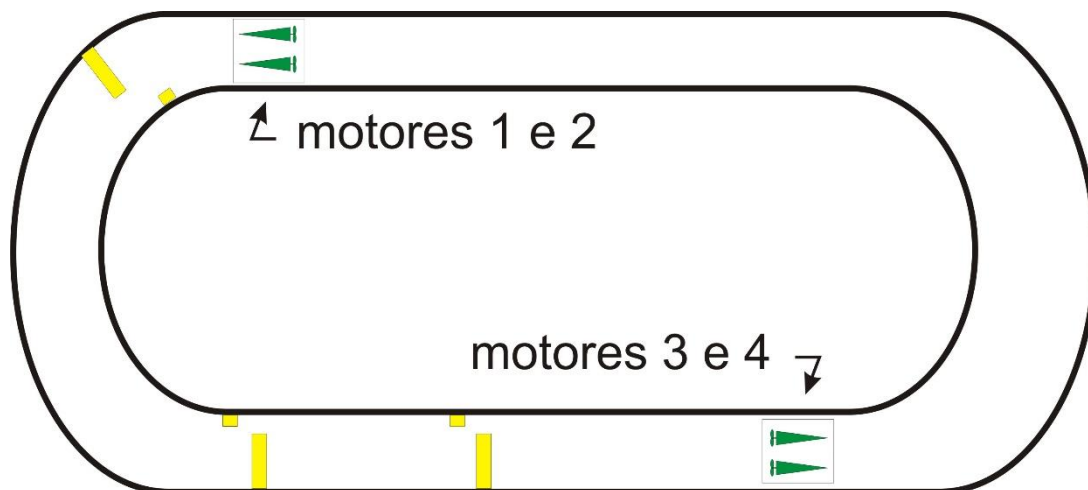
Assim, os tanques ficaram com as dimensões descritas na Figura 4.3.

**Figura 4.3:** Modelo de ranhura vertical do modelo (Rajaratnam, 1986).



O valor de  $b_0$  é de 8,75 cm, o canal construído comporta 3 estruturas como a mostrada na Figura 4.3, a vazão na estrutura foi simulada com a utilização de quatro motores elétricos do tipo Phanton 551b, como mostrado na Figura 4.4, que promoverão a escoamento dentro do canal.

**Figura 4.4:** Planta baixa do tanque de MTP experimental



Os anteparos foram construídos com madeira de compensado naval em 61,25 cm de comprimento para os maiores e de 4,38 cm para os menores, como mostrado na Figura 4.5. Eles foram fixados na parede do canal utilizando sílica especial para aquários.

**Figura 4.5:** Tanque de MTP experimental em construção (janeiro de 2017).



Para todas as análises, o tanque foi cheio com uma coluna de água de 55cm de altura e um volume aproximado de 3m<sup>3</sup> de água. O tanque pronto para os experimentos está demonstrado na Figura 4.6.

**Figura 4.6:** Tanque experimental



Para o levantamento das condições suportadas pelos peixes, com relação a velocidade e tensão cisalhante de Reynolds e energia cinética turbulenta foi feito através de filmagem do local preferencial de permanência em um canal circular com diferentes condições hidráulicas de funcionamento. Foram colocados uma espécie de peixe de couro (mandi amarelo, *Pimelodus maculatus* Lacépède) e uma espécie de escama (piauí, *Leporinus obtusidens*), para que fosse determinada a diferença entre as condições ideais para esses dois tipos de peixes.

Após as filmagens foi feito o levantamento dos parâmetros hidráulicos. Para isso foi utilizado um velocímetro acústico Doppler (ADV) posicionado em um carrinho móvel sobre o tanque, demonstrado na Figura 4.6.

## **4.2 Comportamento dos Peixes**

Para realização dos testes foram coletados 43 indivíduos de duas espécies de peixes, sendo 22 mandis e 21 piaús foram coletados utilizando a técnica de pesca por rede nos dias 14 e 15 de maio de 2017 no rio São Francisco, município de Três Marias no ponto 18°11'21"S e 45°15'15"W.

Os indivíduos foram acondicionados em caixas de transportes com aeração forçada e levados ao laboratório de pesquisas CPH no dia 16 de maio de 2017, onde receberam um tratamento preliminar com fungicida e foram acondicionados em 2 aquários com aeração forçada e

filtragem constante. Cada aquário possui a capacidade de 1,3m<sup>3</sup>. Foram deixados aclimatando, visto o stress sofrido durante a viagem. O período de aclimação é importante para que não influencie nos resultados dos testes (SAMPAIO, 2013).

Para a determinação dos parâmetros preferenciais dos peixes, foram definidos três cenários de funcionamento, no cenário 1 apenas o motor 1 foi ligado em potência máxima e será referido como “1 motor”. No cenário 2, os motores 1 e 2 foram ligados em potência máxima esse cenário recebeu o nome de “2 motores”. Por último fez-se o cenário 3 que será referido como “3 motores” onde estava acionados os motores 1,2 e 3. Cada um dos cenários e quais os motores foram ligados estão representados na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2: Cenários Propostos**

cenário	Motores ligados	visualização
1 motor	1	<p>↑ motores 1 e 2  <span style="color:red">■</span> Ligado  <span style="color:green">■</span> Desligado            motores 3 e 4 ↘</p>
2 motores	1 e 2	<p>↑ motores 1 e 2  <span style="color:red">■</span> Ligado  <span style="color:green">■</span> Desligado            motores 3 e 4 ↘</p>
3 motores	1,2 e 3	<p>↑ motores 1 e 2  <span style="color:red">■</span> Ligado  <span style="color:green">■</span> Desligado            motores 3 e 4 ↘</p>

Em cada um dos cenários, o Mandi e o Piau foram testados separadamente, com cinco indivíduos presentes no tanque durante cada teste. Foram realizados dois testes pela manhã (07:00 às 09:00 horas), dois à tarde (15:00 às 17:00 horas) e um a noite (19:00 às 21:00 horas), entre os dias 21/08/17 até 08/09/17 para o Piau e dos dias 23/10/17 até 27/10/17 para o Mandi

Ao fim dos testes com diferentes cenários, os peixes presentes no tanque eram retirados e cinco novos indivíduos eram escolhidos de maneira aleatória e inseridos no tanque, passando por um período de aclimação de pelo menos 18 horas. Cada um dos testes teve duração definida em trinta minutos, sendo registrados através de filmagens por uma câmera tipo Logitech C920 utilizando sua máxima resolução de 1920x1080 pixels. Devido às limitações da câmera de filmagem, apenas uma parte do tanque, pode ser utilizado para a determinação do caminho preferencial de cada espécie no mecanismo e as suas áreas de descanso, conforme observado na Figura 4.7.

Para a observação do comportamento foram desconsiderados os cinco minutos iniciais e finais de cada teste (considerado como tempo de aclimação para o fluxo induzido pelos motores), totalizando cinco horas de conteúdo para cada umas das espécies. Através de observação visual das filmagens. Assim temos 6 matrizes resultados, 2 para cada cenário (1 matriz de passagem e outra de descanso).

**Figura 4.7:** Local de filmagem do tanque



### 4.3 Parâmetros hidráulicos

Para a determinação dos parâmetros hidráulicos, dentro do canal circular, foram coletados valores de velocidade e desvio padrão da velocidade utilizando um velocímetro Acústico Doppler (ADV).

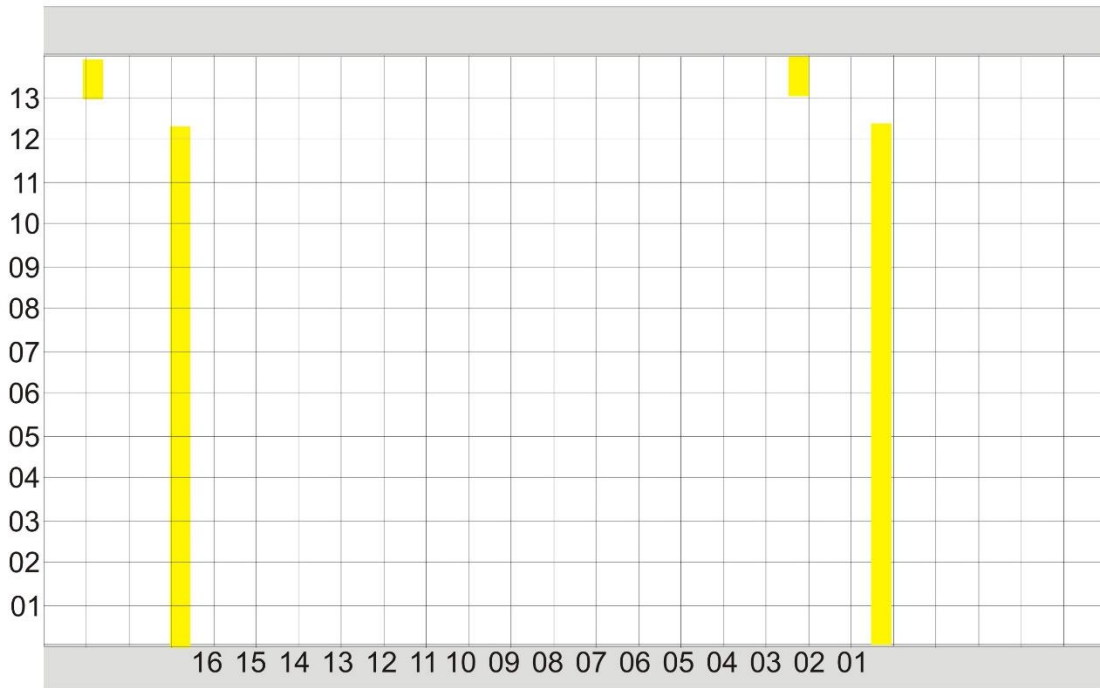
O medidor ADV permite a medição instantânea da velocidade de escoamento nos três planos (x, y e z). O modelo do medidor ADV são apresentados na Figura 4.8. Este é um micro ADV modelo SonTek 10MHz, que é composto por um transmissor e três receptores acústicos.

**Figura 4.8:** Medidor ADV



Durante o processo de medição, a sonda ADV é orientada por meio de trilhos, o canal foi dividido em intervalos de 5 cm no eixo transversal e horizontal, assim, temos 16 medições na direção x e 13 na direção y, totalizando 208 pontos para cada uma das velocidades, os pontos de amostragem estão demonstrados na Figura 4.9, o ponto de interseção entre a linha x e y foi onde o ADV foi posicionado. Todas as medidas foram realizadas a profundidade de 35 cm, visto que os peixes permaneceram nessa próxima ao fundo em todas as filmagens.

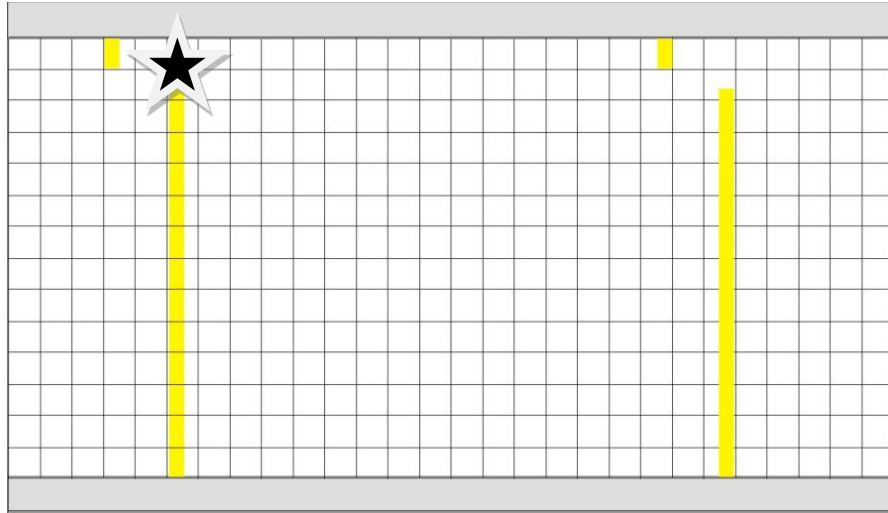
**Figura 4.9:** Pontos de coleta de velocidade no tanque



Quinhentos valores de velocidade foram coletados em cada um dos pontos nas três direções ortogonais de escoamento (x, y e z). Os valores obtidos, de velocidade instantânea, foram exportados para uma planilha eletrônica, a velocidade foi variada ligando-se 1, 2 ou 3 motores e para cada uma dessas medidas foi criada uma planilha separada que foi utilizada para a geração dos mapas no programa Matlab para realização das correlações desejadas.

Para a determinação da vazão simulada pelo MTP, o ADV foi posicionado na ranhura segundo demonstrado na Figura 4.10, esse ponto foi escolhido por possuir a menor área por onde passa a água (8,75cm de largura). A seção foi dividida em 4 alturas, com medidas a 10cm, 20cm, 30cm e 45cm, resultando em 4 áreas, três de 8,75cm x 10cm (87,5cm<sup>2</sup> de área) e uma de 8,75cm x 15cm (131,25cm<sup>2</sup> de área). A velocidade média foi medida em cada uma das alturas a partir de 500 medições. A vazão de cada uma das seções foi obtida multiplicando a velocidade média pela área. A vazão final foi determinada pela somatória das 4 seções.

**Figura 4.10:** Ponto de posicionamento do ADV para medição de vazão



Para a determinação da tensão cisalhante de Reynolds, foi utilizada a metodologia usada por Viana et al. (2016) e Tomé et al. (2016). Nessa metodologia em cada um dos pontos foi calculada a velocidade média em x e y a partir dos 500 pontos de velocidade instantânea. Para cada uns dos pontos de velocidade instantânea foi calculada a flutuação de velocidade e a tensão cisalhante através do produto da flutuação de velocidade. A tensão cisalhante do ponto foi obtida pelo média das tensões para cada uma das velocidades instantâneas.

Para o cálculo da turbulência do Escoamento foi utilizada a metodologia proposta por PUERTAS et al. (2004), em que foi realizado um processo semelhante ao da tensão cisalhante, porém considerando as velocidades nas três direções ortogonais e a flutuação de velocidade, a tensão em cada uma das velocidades instantânea foi calculada a partir da metade da soma quadrática da flutuação de velocidade nos três eixos, a fórmula do cálculo foi definida na Equação 2.2 (PUERTAS et al 2004).

$$k = \frac{1}{2} (v'_x{}^2 + v'_y{}^2 + v'_z{}^2) \quad (4.4)$$

Onde:

k = energia cinética turbulenta ( $m^2/s^2$ ),

$v'_x$  = flutuação instantânea de velocidade em x (m/s),

$v'_y$  = flutuação instantânea de velocidade em y (m/s),

$v'_z$  = flutuação instantânea de velocidade em z (m/s).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

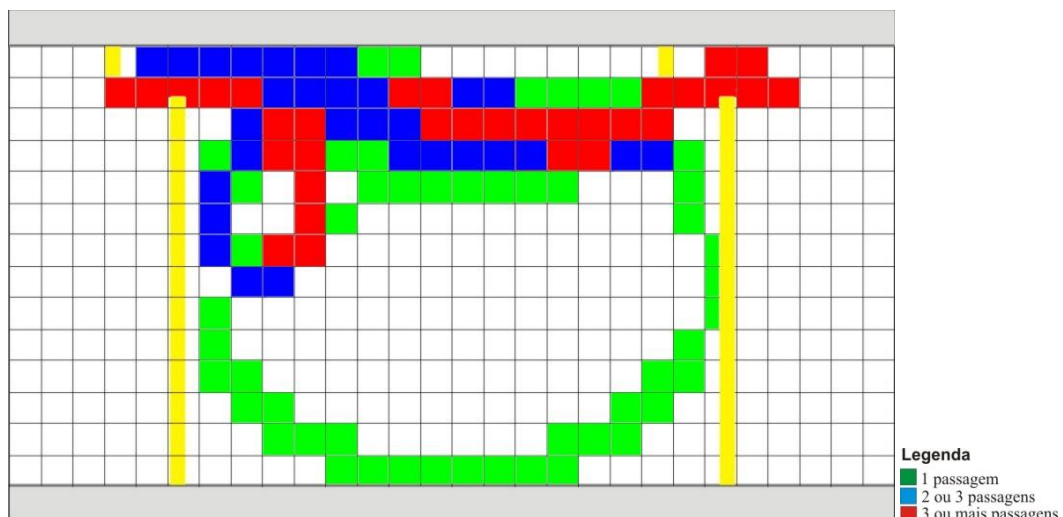
Após a análise das filmagens, foi escolhido a filmagem que é mais representativa do comportamento de cada uma das espécies para cada um dos fluxos gerados pelos motores. Gerando-se matrizes das passagens pelo MTP e das áreas de descanso separadamente, considerando uma, duas e três ou mais passagens.

### 5.1 Comportamento dos peixes

#### 5.1.1 Piau

Com um motor ligado temos a seguinte matriz de passagem e local preferencial segundo a Figura 5.1.

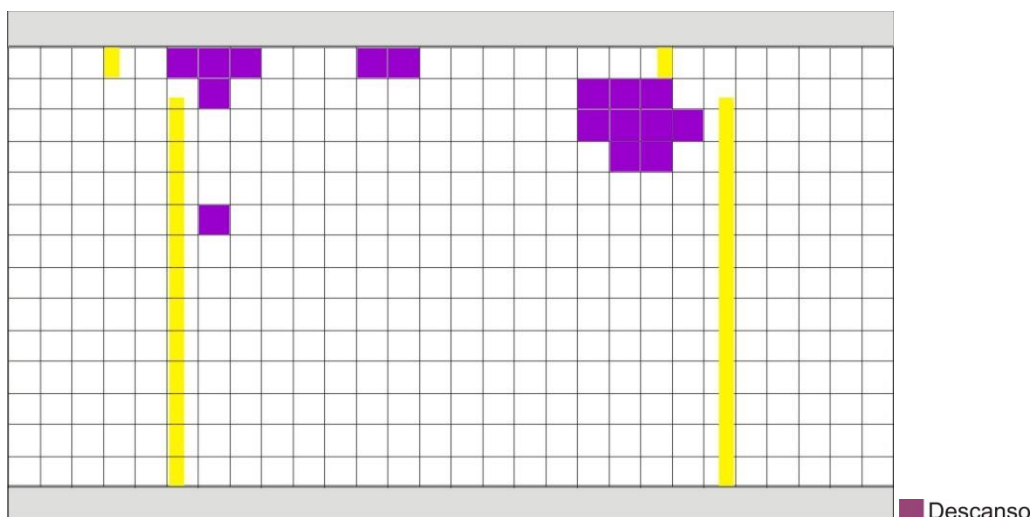
Figura 5.1: Matriz de passagem piau com 1 motor



Na matriz de passagem observada pela Figura 5.1 que existe uma clara preferência por uma zona de passagem específica pelo fluxo principal do sistema. Poucas passagens ocorreram fora do fluxo principal. Com essa velocidade de escoamento claramente o piau não possui nenhuma dificuldade em transpor o MTP e estão completamente confortáveis com o fluxo.

Em seguida foi analisada para a condição de um motor os pontos de descanso, como pode ser observado na Figura 5.2.

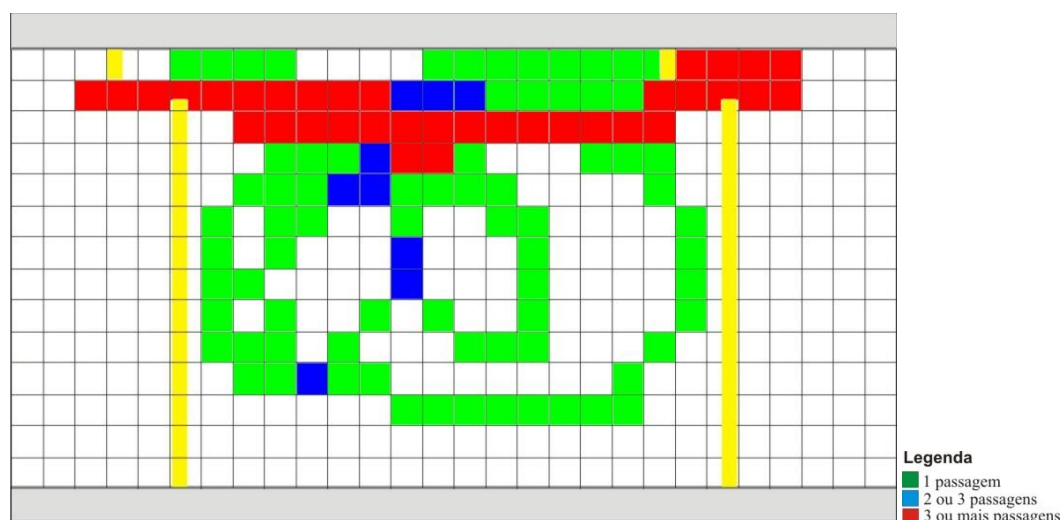
**Figura 5.2:** Zonas de descanso para piau com 1 motor



Na matriz das zonas de descanso representados pela Figura 5.2 podemos ver duas grandes zonas de descanso, uma na área de alta velocidade e outro próximo à parede do tanque, com baixa velocidade. Esse comportamento, esperado nas áreas de baixa velocidade, está relacionado com o descanso do peixe no MTP enquanto na área de alta velocidade está ligado à negociação do peixe com o fluxo para transpor o mecanismo.

Para dois motores ligados, temos os seguintes resultados de passagem e locais de descanso são verificados na Figura 5.3.

**Figura 5.3:** Matriz de passagem piau com 2 motores

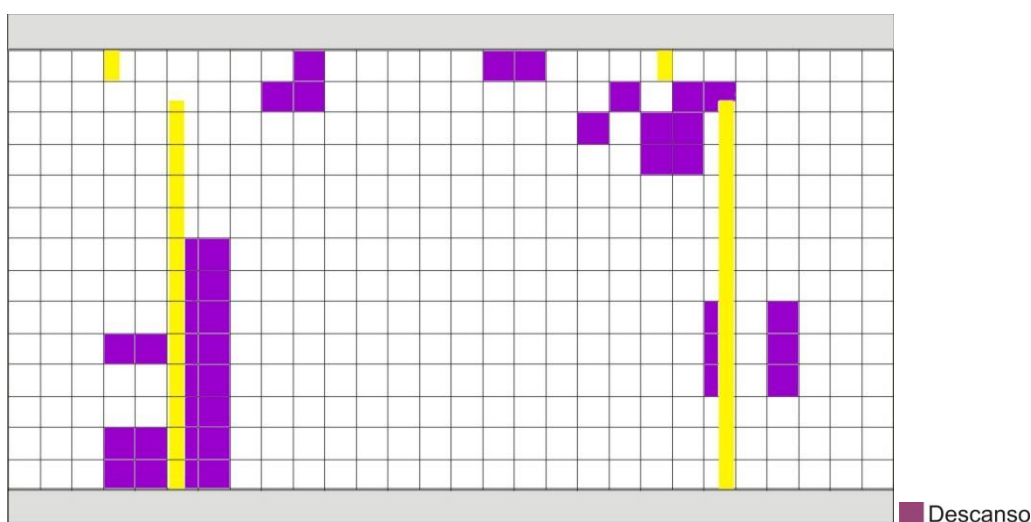


Podemos observar que nessa velocidade de escoamento, temos um número maior de passagens pelo mecanismo. Com essa velocidade de escoamento vemos muitas passagens pelo fluxo principal de escoamento, mas também passagens adotando um caminho maior, mas com

menores velocidades. Nessa velocidade de escoamento o Piau encontra uma certa dificuldade para transpor o MTP, mas não é arrastado pelo fluxo. Essa foi a melhor velocidade de escoamento para o piau nesse experimento.

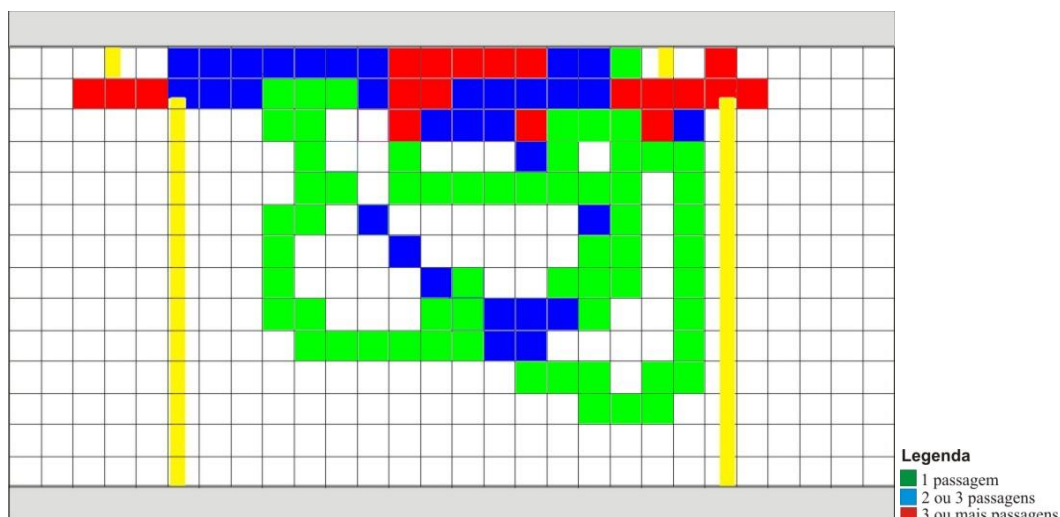
Para as zonas de descanso, vemos um grande número de áreas de baixo escoamento escolhidos, além de uma área de alto fluxo, como demonstrado na Figura 5.4. É esperado a aumento das áreas de descanso em baixa velocidade em relação a 1 motor ligado, pois com o aumento do fluxo de água aumenta a dificuldade do Piau em transpor o mecanismo, nas áreas de alta velocidade, vemos o mesmo comportamento do que com 1 motor ligado, com o peixe fica negociando a passagem, nesse caso, o Piau fica muitas vezes mais tempo nessa área antes de transpor o mecanismo.

**Figura 5.4:** Zonas de descanso para piau com 2 motores



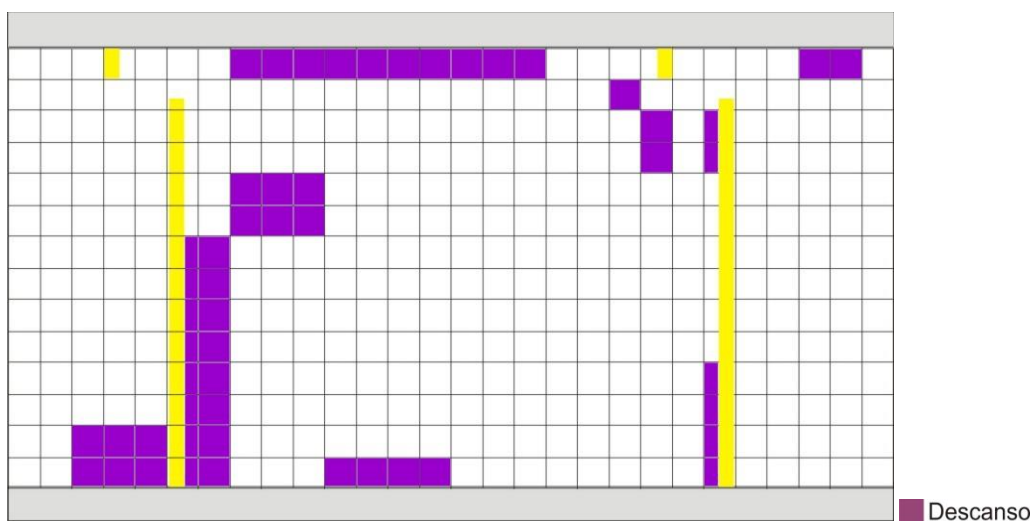
A matriz de passagem para três motores, vemos um pequeno número de passagens pelo mecanismo, conforme Figura 5.5. Nessa velocidade o Piau encontra muita dificuldade para transpor o mecanismo tendo que optar várias vezes por um caminho onde a velocidade é menor, várias vezes o peixe foi arrastado pelo fluxo não conseguindo transpor o MTP. Essa velocidade de escoamento é claramente alta para o piau e não se mostra adequada para essa espécie.

**Figura 5.5:** Matriz de passagem piau com 3 motores



Para as áreas de descanso com três motores, vamos um grande número de áreas de baixa velocidade, principalmente colado a parede do mecanismo, representado pela Figura 5.6. Esse comportamento está claramente associado ao alto fluxo gerado pelos motores, a parede do mecanismo tem velocidade menores do que o resto do mecanismo, a área de altas velocidades estão ligados a negociação para transpor o fluxo e estão presentes em todos os cenários.

**Figura 5.6:** Zonas de descanso para piau com 3 motores



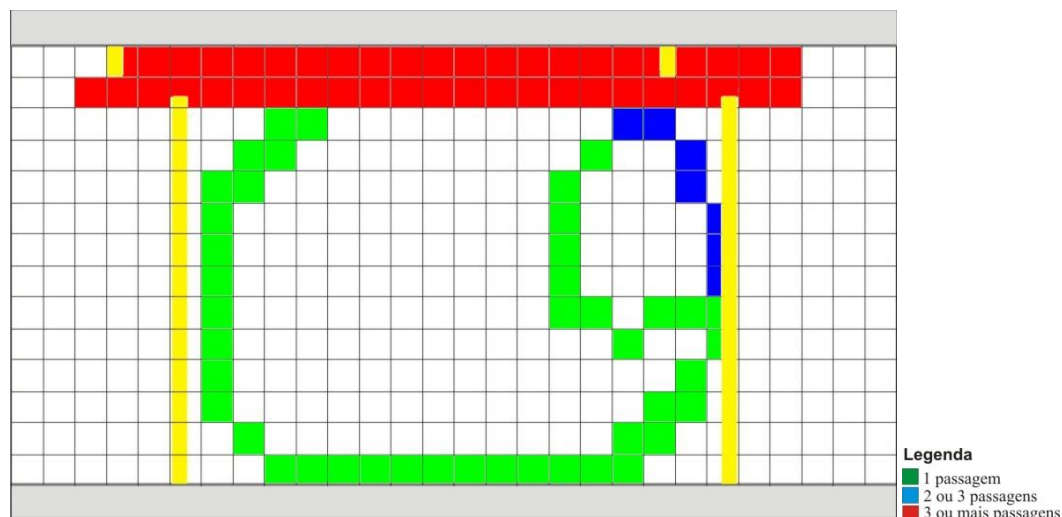
Pode-se perceber pelas filmagens que o mecanismo funciona muito bem quando temos um ou dois motores ligados, pois os peixes não encontram nenhuma dificuldade para transpor o mecanismo a favor ou contra o fluxo. A melhor situação de passagem foi verificada com dois motores ligados, quando temos todas os três motores ligados, vemos uma grande dificuldade de transposição, vendo os peixes frequentemente sendo arrastados contra o fluxo. As regiões

de descanso estão sempre ligadas a áreas de baixa velocidade de escoamento ou na área de negociação para transpor o MTP, esse comportamento está presente em todos os testes, independentemente do número de motores ligados no experimento.

### 5.1.2 Mandi

Com um motor ligado temos a seguinte matriz de passagem e local preferencial para o Mandi (Figura 5.7).

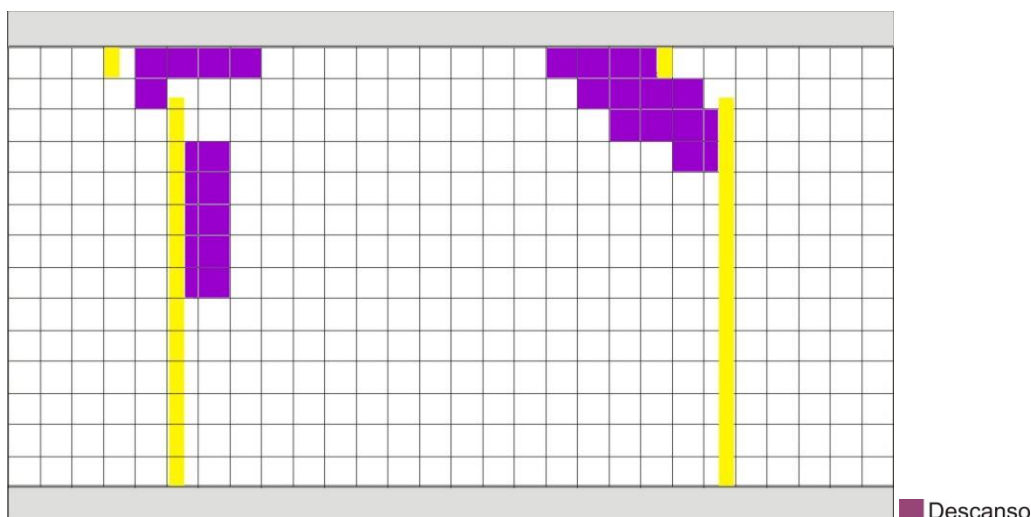
**Figura 5.7:** Matriz de passagem mandi com 1 motor



Na matriz de passagem observada pela Figura 5.7 vemos uma clara preferência pela passagem nos quadrantes superiores, nessa velocidade de escoamento o Mandi não encontra nenhuma dificuldade em transpor o mecanismo e normalmente adota o caminho mais rápido. Diferentemente do Piau, o Mandi prefere fazer as passagens próximo à parede do mecanismo e raramente utiliza outros caminhos.

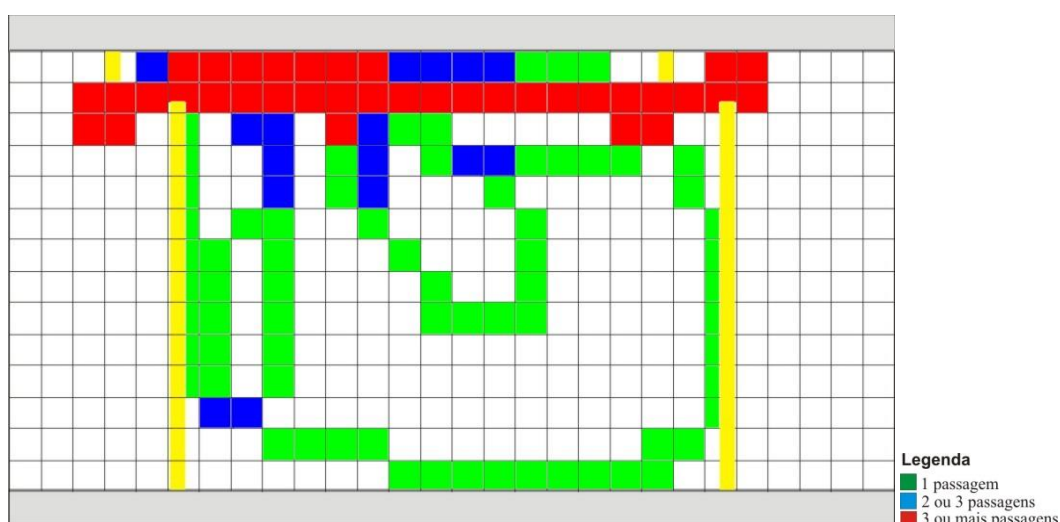
Para as zonas de descanso, vemos uma área de baixo escoamento escolhida, além de duas áreas de alto fluxo, como demonstrado na Figura 5.8. A área de baixa velocidade está relacionada com o descanso do peixe, as áreas de alta velocidade estão relacionadas com a negociação do peixe para transpor o mecanismo.

**Figura 5.8:** Matriz de descanso para mandi com 1 motor



Para dois motores ligados, os resultados de passagem que são verificados na Figura 5.9.

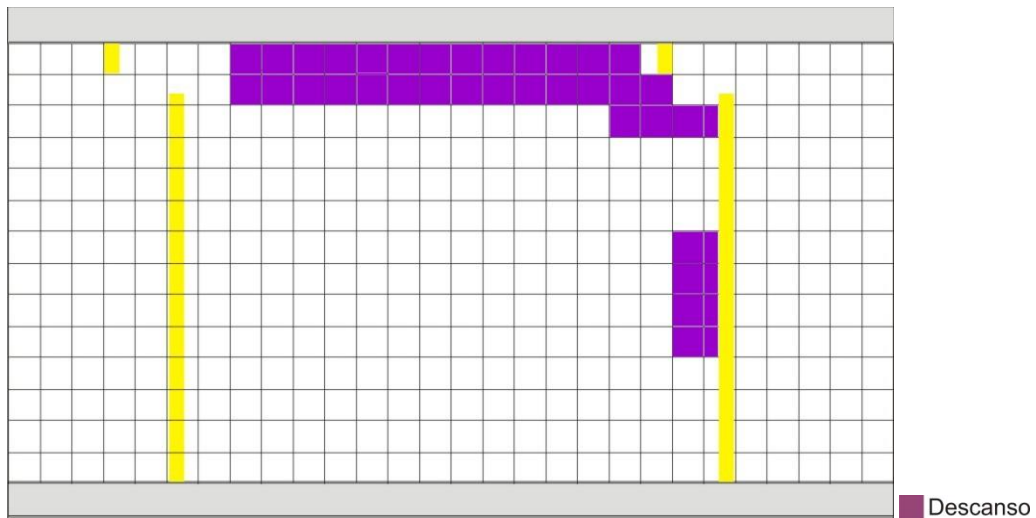
**Figura 5.9:** Matriz de passagem mandi com 2 motores



Percebe-se que nessa velocidade de escoamento, os Mandis já apresentam dificuldade de transpor o mecanismo apresentando uma quantidade de passagens menor do que com um motor. Frequentemente os peixes param no fluxo e prosseguem após certo tempo, enquanto por vezes são levados pelo fluxo. Observou-se que os indivíduos também usam um caminho mais longo para transpor o mecanismo evitando as áreas de alto fluxo.

Observou-se uma grande área de descanso na área de passagem, muitas vezes relacionada à sua passagem, onde os peixes frequentemente faziam uma pausa antes de prosseguir com a transposição, conforme observada na Figura 5.10. A área de descanso no alto fluxo também está presente, relacionada à negociação para transpor o mecanismo.

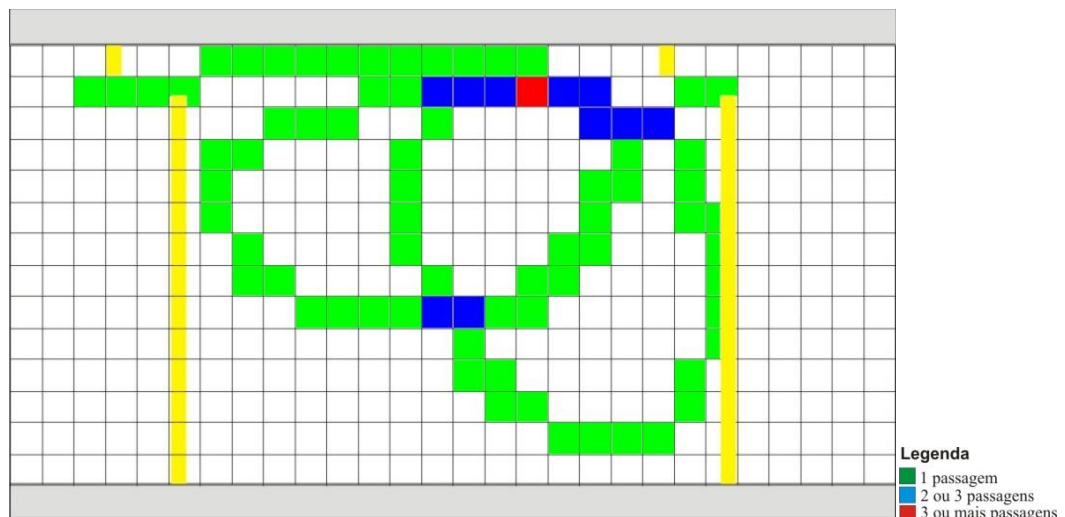
**Figura 5.10:** Matriz de descanso para mandi com 2 motores



Pode se perceber pelas filmagens que a velocidade de dois motores não se mostra muito adequada para essa espécie, por vezes arrastando indivíduos, como também se observou casos em que os peixes tentavam passar encostados na parede, onde a velocidade de escoamento é menor.

Para três motores ligados, temos os seguintes resultados, verificados na Figura 5.11.

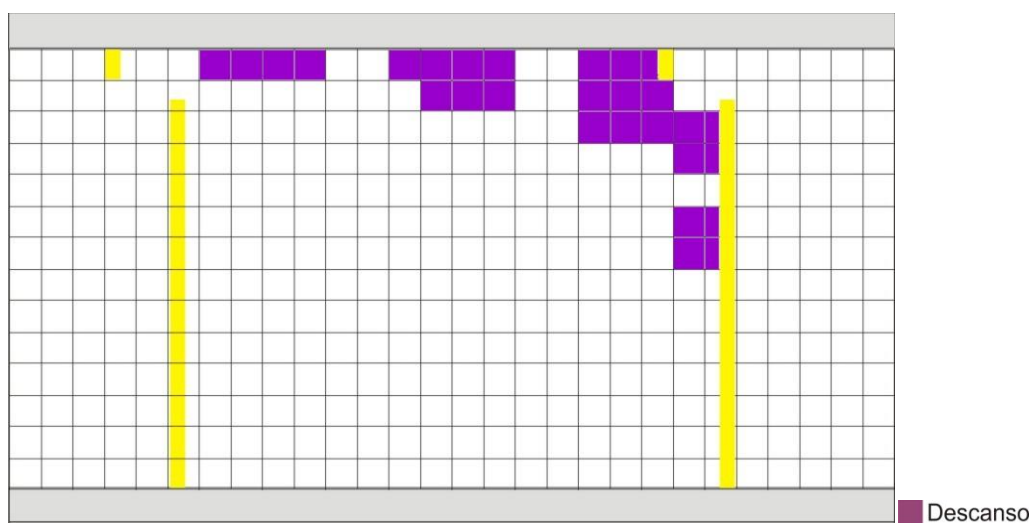
**Figura 5.11:** Matriz de passagem mandi com 3 motores



Observa-se que essa velocidade é completamente inadequada para essa espécie, sendo frequente o arraste dos indivíduos e suas poucas passagens, quando realizadas, ocorreram com muita dificuldade.

Para as zonas de descanso foram observadas poucas zonas, frequentemente relacionadas com paradas durante as tentativas de passagem conforme demonstrado na Figura 5.12.

**Figura 5.12:** Matriz de descanso para mandi com 3 motores



Nessa velocidade por termos poucas passagens, temos também poucas áreas de descanso, por se tratar de uma velocidade inadequada para essa espécie.

Analisando-se os resultados de ambas as espécies, observou-se que a velocidade de escoamento resultante do funcionamento de um motor é adequada para o Mandi, enquanto velocidades resultantes da operação de até dois motores são adequadas para o Piau, mas inadequadas para o Mandi. Com 3 motores, temos uma vazão inadequada, muito alta para ambas espécies, não sendo assim recomendada essa vazão para MTP do tipo ranhura vertical.

## 5.2 Determinação da vazão

Para um motor ligado foram obtidos os seguintes resultados demonstrados na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1:** Vazões para um motor

Ponto	Velocidade (cm/s)	Área (cm)	Vazão (L/s)
1	16,02	87,5	1,40
2	17,36	87,5	1,52
3	18,68	87,5	1,63
4	18,62	131,25	2,44
Total (L/s)			7,00

Neste caso, obtém-se uma vazão de aproximadamente 7,0 L/s ou 0,0070 m<sup>3</sup>/s. Para dois motores ligados foram obtidos resultados apresentados na Tabela 5.2.

**Tabela 5.2:** Vazões para dois motores

Ponto	Velocidade (cm/s)	Área (cm)	Vazão (L/s)
1	29,85	87,5	2,61
2	32,69	87,5	2,86
3	31,19	87,5	2,72
4	30,42	131,25	3,99
Total (L/s)			12,20

Neste caso, obteve-se uma vazão superior a 12,2 L/s ou 0,0122 m<sup>3</sup>/s. Para três motores ligados foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 5.3

**Tabela 5.3:** Vazões para três motores

Ponto	Velocidade (cm/s)	Área (cm)	Vazão (L/s)
1	44,98	87,5	3,93
2	45,25	87,5	3,96
3	43,81	87,5	3,83
4	47,23	131,25	6,20
Total (L/s)			17,92

Temos então uma vazão próxima a 17,9 L/s ou 0,0179 m<sup>3</sup>/s

Foram observadas vazões iguais a 7 L/s para um motor operando, 12,2 L/s para dois motores operando, representando um acréscimo de 5,2 L/s. esse resultado era esperado, por mesmo os dois motores sendo idênticos, a velocidade do escoamento não deve dobrar, pois a relações de resistência ao escoamento não são lineares. Com 3 motores ligados obteve-se a vazão de 17,9 L/s, representando um acréscimo de 5,79 L/s ao sistema em relação a dois motores. Esse incremento maior na vazão do que com 2 motores também já é esperado, pois esse motor se encontra mais perto dos anteparos, conforme pode ser observado na Figura 4.4. a tabela resumo de todas as vazões de acordo com cada cenário pode ser observada na Tabela 5.4

**Tabela 5.4:** Resumo das vazões encontradas

cenário	Vazão medida (L/s)
1 motor	7,00
2 motores	12,20
3 motores	17,92

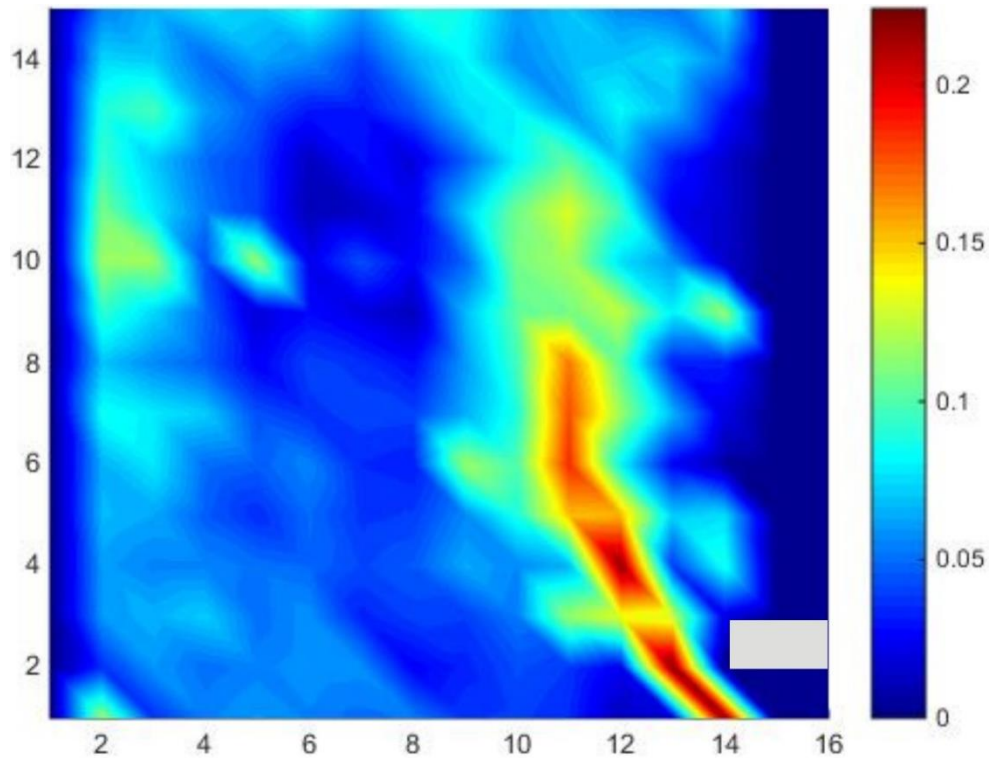
Os valores de vazão do modelo utilizados se assemelham aos valores utilizados por Duarte et al. (2014) que foram iguais a 20 L/s e 35 L/s, e bem inferior aos 2,114 m<sup>3</sup>/s utilizado por Viana et al. (2016). A vazão somente não é um parâmetro de comparação adequado, pois as dimensões do MTP são igualmente importantes para se definir os parâmetros hidráulicos dos experimentos.

### **5.3 Velocidade de Escoamento**

A velocidade de escoamento em MTP do tipo ranhura vertical apresentam um gráfico peculiar observado em todos os experimentos realizados. Onde observa-se uma grande velocidade na entrada do mecanismo, na passagem da ranhura, um fluxo principal e no resto do tanque temos áreas com velocidade menores. As áreas de baixo fluxo são importantes para os peixes por permitirem locais para “descanso”.

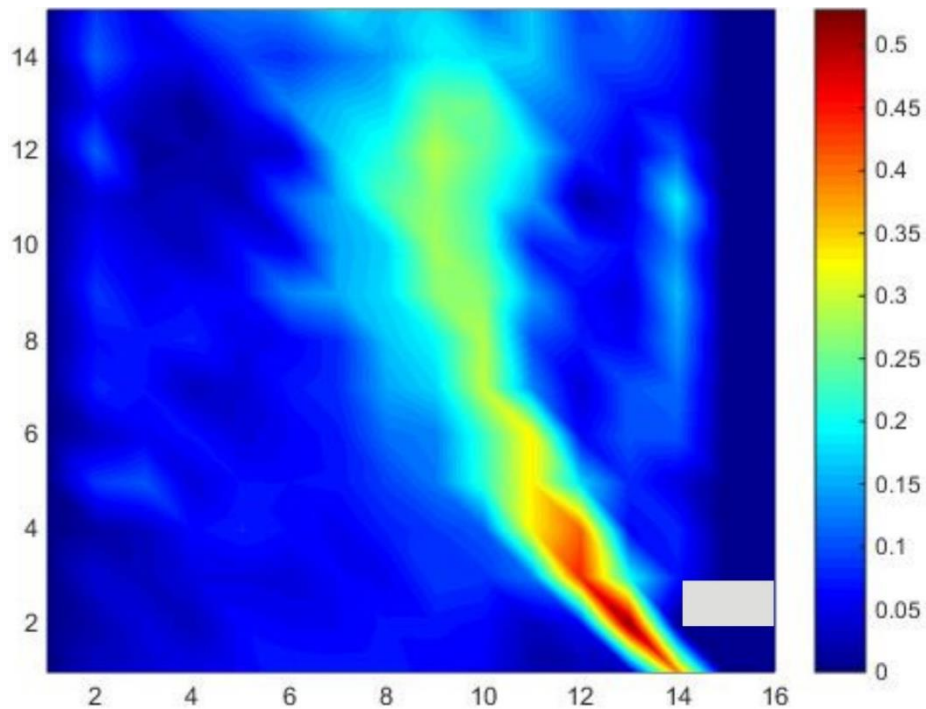
Para um motor ligado no experimento, temos o seguinte mapa de velocidade representado pela Figura 5.13.

**Figura 5.13:** Mapa de velocidades para 1 motor em m/s



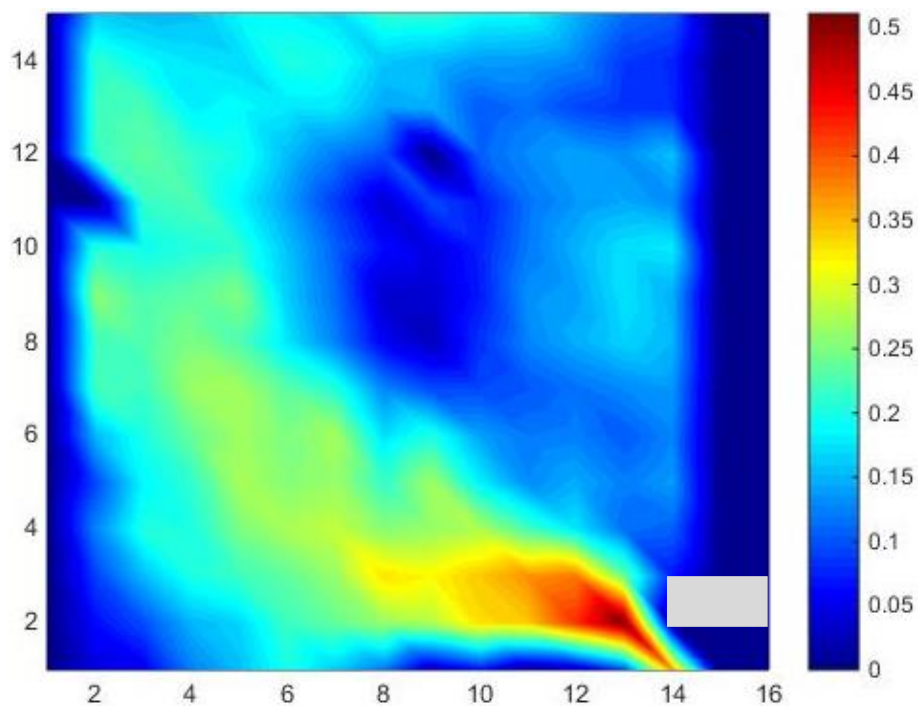
Com um motor ligado temos um mapa de velocidade esperado, com um fluxo principal e áreas de baixa velocidade no tanque. As maiores velocidades registradas foram de 0,22m/s na região da entrada de água do canal, 90% das velocidades estão no intervalo de 0m/s até 0,092m/s. Com dois motores ligados, temos um incremento da velocidade conforme observado na Figura 5.14.

**Figura 5.14:** Mapa de velocidades para dois motores em m/s



O gráfico da velocidade com 2 motores ligados, é bem semelhante ao de 1 motor, porém observam-se velocidades superiores 0,5 m/s na região de entrada do canal, 90% das velocidades estão entre 0 m/s e 0,196 m/s. Com três motores ligados obteve-se mapa de velocidade observado na Figura 5.15.

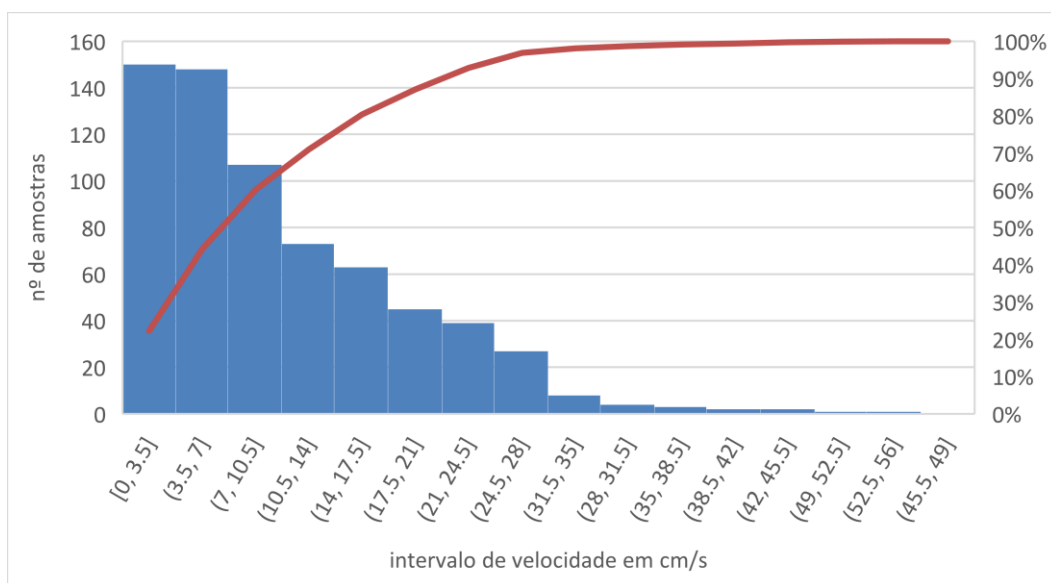
**Figura 5.15:** Mapa de velocidade para 3 motores em m/s



Com três motores ligados não se observa um grande incremento da velocidade em relação a dois motores ligados, a velocidade máxima observada continua de 0,5 m/s, semelhante a com dois motores, o gráfico de velocidade apresenta uma região de escoamento principal muito maior do que observado nas outras velocidades, 90% do tanque está com velocidade entre 0ms/ e 0,265m/s. Acredita-se que isso tenha ocorrido pelo fato do terceiro motor está muito próximo do anteparo de montante, provocando grande perturbação e recirculação na seção anterior do tanque medido. Além disso, observa-se um deslocamento do escoamento principal com grande variação nas velocidades.

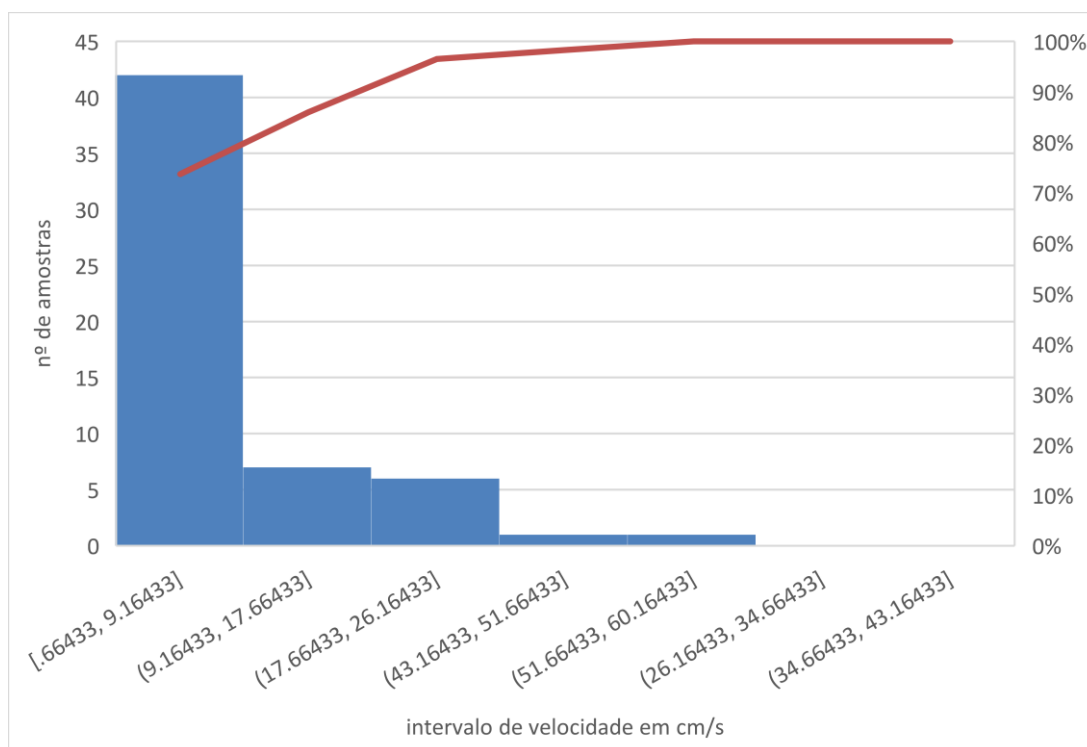
De acordo com Duarte et al. (2012) as velocidades preferidas para descanso do *P. maculatus* é de até 0,1 m/s e para o *L. reinhardti* é de 0,3 m/s. Ao analisar todas as amostras de velocidade, independente do número de motores ligados, temos que 90% das regiões de descanso o Piau preferia velocidades de até 0,23 m/s (Figura 5.16) enquanto para o Mandi velocidade é de até 0,1 m/s (Figura 5.17).

**Figura 5.16:** Velocidade de descanso Piau



Ao analisar todos os pontos de descanso para todas as velocidades de escoamento, encontra-se uma clara preferência do Piau em utilizar áreas de baixa velocidade para suas zonas de descanso, 90% das amostras estão em velocidades abaixo de 21cm/s e as amostras em altas velocidades estão todas relacionadas com as áreas de negociação para transposição mecanismo.

**Figura 5.17:** Velocidade de descanso Mandi



O comportamento do Mandi é semelhante ao do Piau quando se analisa as regiões de descanso, porém, o Mandi possui 90% das amostras inferiores a 17,66 cm/s, um pouco inferior ao Piau. Isso se deve pelo fato do Mandi possuir áreas de negociação de alta velocidade menores que o Piau e áreas de descanso de baixa velocidade maiores.

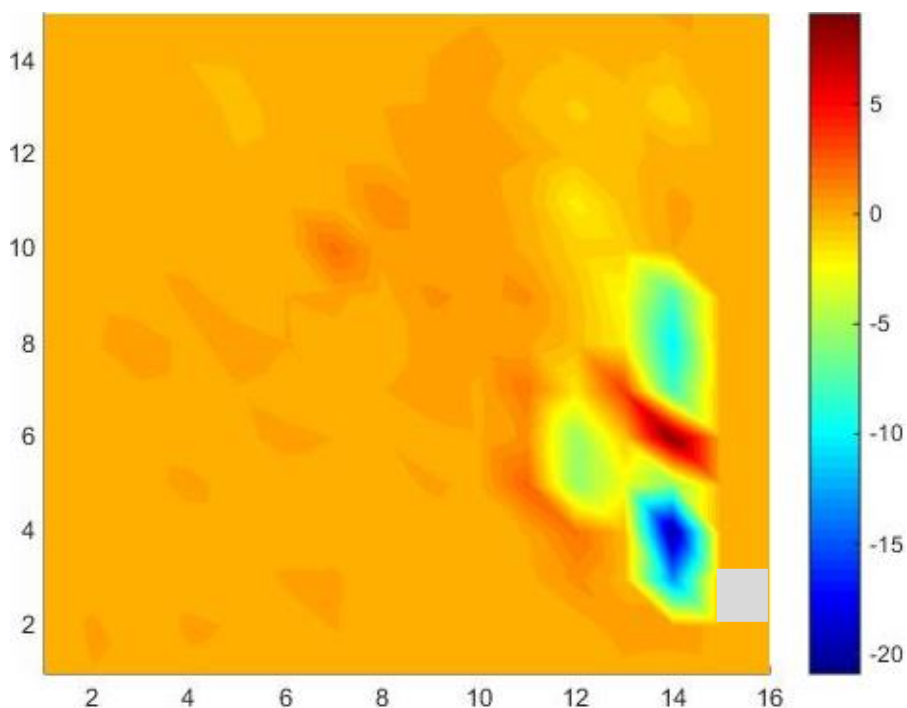
O Piau por ser um peixe com habitat preferencial de coluna d'água possui uma capacidade de enfrentar velocidades de escoamento maiores que o Mandi com mais facilidade, o Mandi por sua vez utiliza a estratégia de colar nos cantos do tanque quando tem que enfrentar velocidades de escoamento maiores, com isso ambas espécies têm capacidade de transpor o mecanismo em todas as velocidades testadas.

As velocidades máximas de escoamento no tanque foram apenas da ordem de 0,5 m/s, enquanto Duarte et al. (2014) encontraram velocidades de 1m/s, Viana et al. (2016) velocidade de até 2,2m/s e Gao et al. (2016) velocidades de 1,4m/s. A vazão simulada pelos motores, mesmo com todos ligados, não foi capaz de produzir velocidades de escoamento suficientemente altas como nos experimentos encontrados na literatura devido as dimensões reduzidas do tanque testem.

## 5.4 Tensão de Cisalhamento

Para as tensões de cisalhamento de Reynolds com 1 motor ligado, temos o seguinte resultado, representado na Figura 5.18

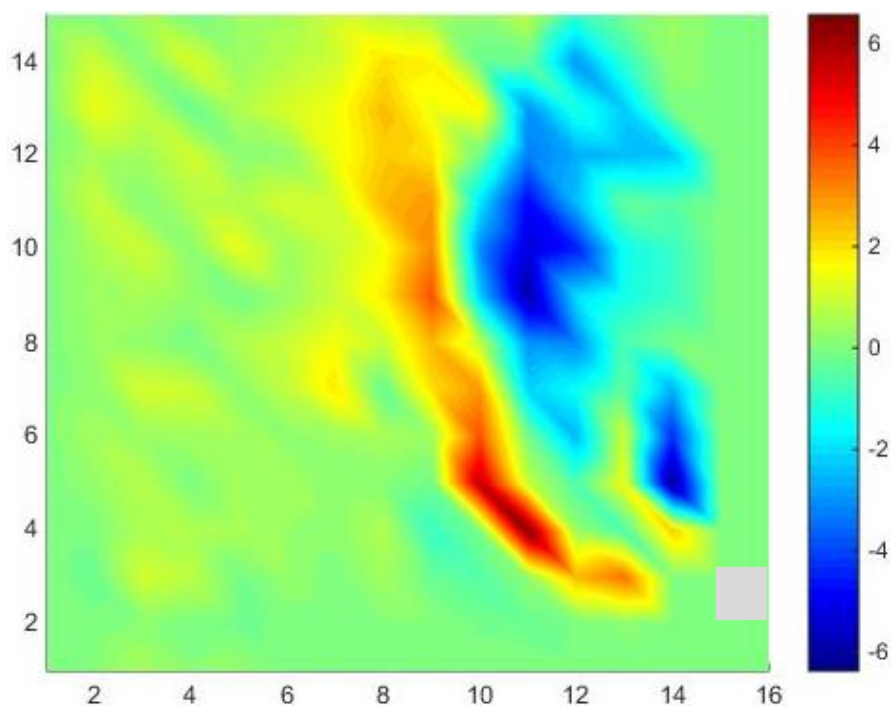
**Figura 5.18:** Tensões de cisalhamento de Reynolds com 1 motor, valores em  $N/m^2$



As tensões de cisalhamento encontram-se em valores próximos a zero em quase todo o tanque, somente na saída do escoamento temos grandes variações da tensão. Esses valores de tensão estão dentro do intervalo de  $-20N/m^2$  e  $5 N/m^2$ , valores semelhantes ao encontrado por Duarte et al. (2012), que em seu experimento, onde define os valores de  $-5 N/m^2$  e  $5 N/m^2$  como ideais para passagem do *Leporinus reinhardti*. Os valores máximos estão próximos aos encontrados, entretanto os mínimos estão bem abaixo, o que pode acarretar em um fator que pode incomodar os peixes na hora da transposição.

Os resultados para a configuração em que operam dois motores simultaneamente são representados na Figura 5.19.

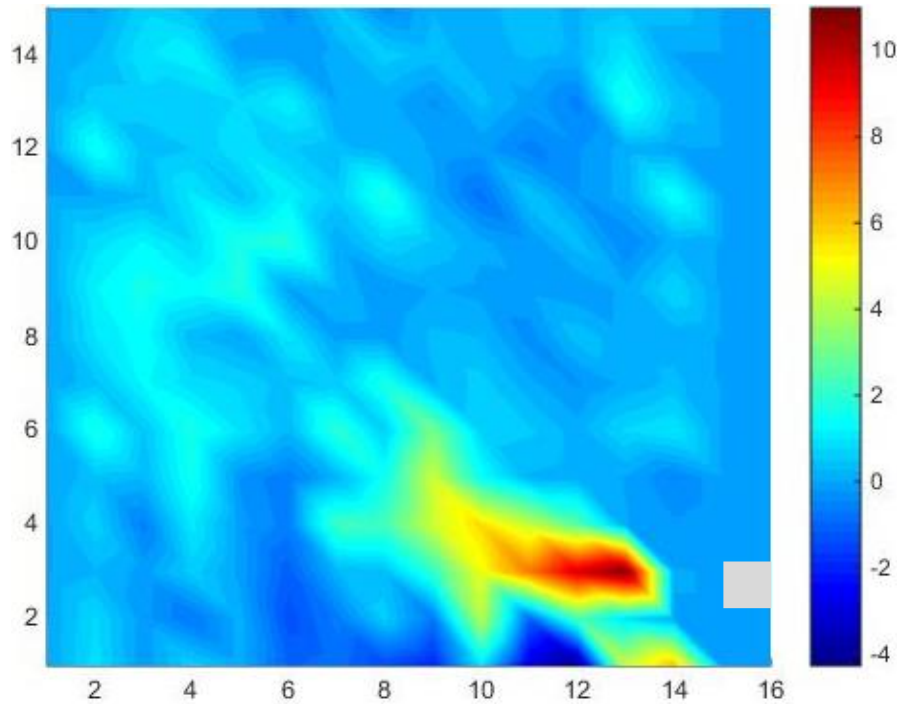
**Figura 5.19:** Tensões de cisalhamento para 2 motores, valores em N/m<sup>2</sup>



Observam-se valores de tensões de cisalhamento muito mais distribuídos pelo tanque do que com 1 motor, o tanque quase todo encontramos valores de tensões próximos a 1N/m<sup>2</sup> e todos os valores de tensões estão dentro do intervalo de -6N/m<sup>2</sup> e 6N/m<sup>2</sup>, muito próximo os valores ideais encontrados para o *L. reinhardti*. Essa configuração de motores é ideal para o Piau que é um peixe do mesmo gênero que o *L. reinhardti* e também é aceitável para o Mandi.

Os resultados para a configuração em que três motores operam simultaneamente são representados na Figura 5.20.

**Figura 5.20:** Tensões de cisalhamento para três motores, valores em  $N/m^2$

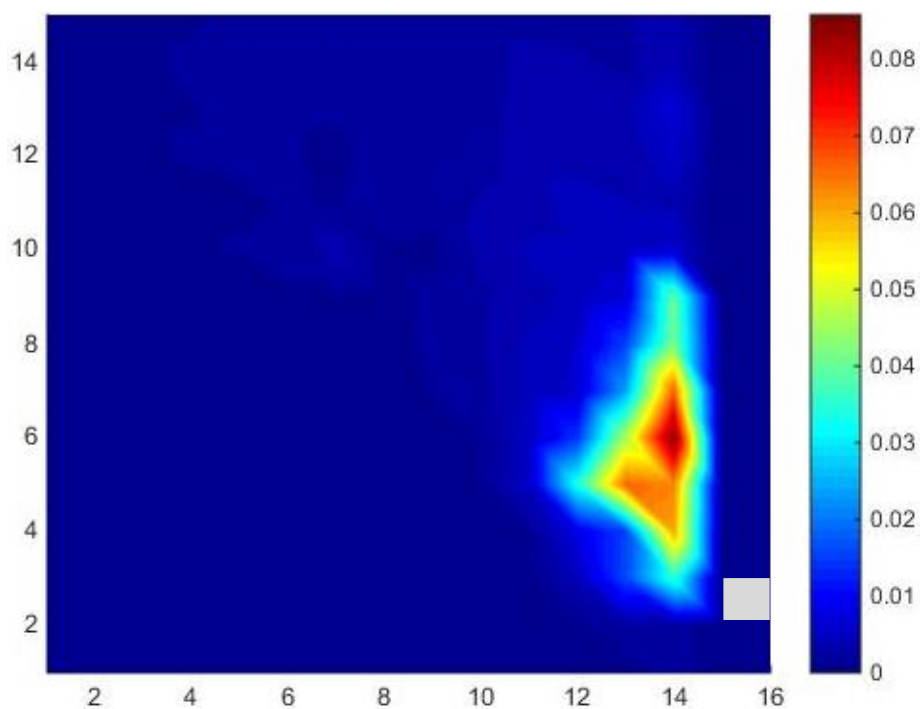


Com o incremento da velocidade temos um aumento da tensão cisalhante em todo o tanque que agora está próxima a  $2N/m^2$ , com valores máximos superiores a  $10N/m^2$  apenas no fluxo próximo à ranhura. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Duarte et al. (2012), entretanto muito abaixo dos valores de pico encontrados por Sanagiotto (2007) e Viana et al. (2016), que foram iguais a  $150N/m^2$  e  $700N/m^2$ , respectivamente. Essa diferença é devida às diferenças de escala dos experimentos.

### **5.5 Energia Cinética Turbulenta**

A energia cinética turbulenta foi calculada segundo a equação 2 para cada um dos motores ligados e foi feita uma matriz para cada um deles. O resultado para 1 motor está demonstrado na Figura 5.21.

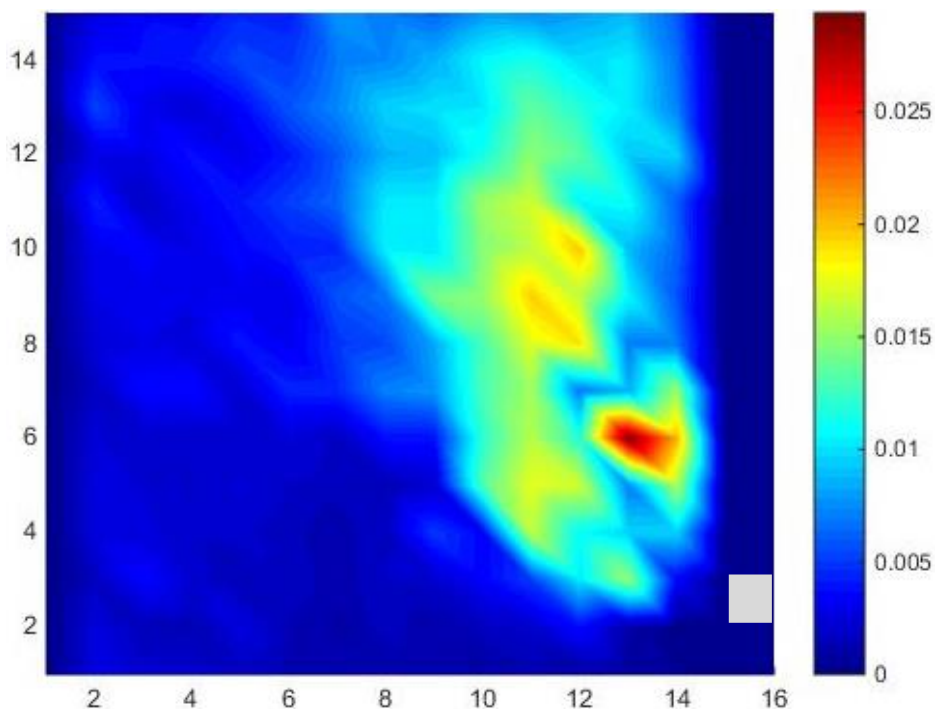
**Figura 5.21:** Energia cinética turbulenta para um motor, valores em  $\text{m}^2/\text{s}^2$



Com essa configuração a maior parte do tanque possui uma energia cinética próxima a  $0 \text{ m}^2/\text{s}^2$  (95% do tanque possui valores de energia cinética entre  $0 \text{ m}^2/\text{s}^2$  e  $0,006 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ). Somente no jato principal temos um aumento da energia, com um máximo de  $0,09 \text{ m}^2/\text{s}^2$ . Esses valores são superiores aos encontrados por Goetel et al. (2015). As regiões de alta energia cinética são utilizadas frequentemente para passagem do mandi, mas é evitada pelo Piau e não é utilizada como área de descanso para nenhuma das espécies e nem para negociação para transportar o MTP.

Para dois motores temos a seguinte matriz de energia cinética turbulenta observado na Figura 5.22.

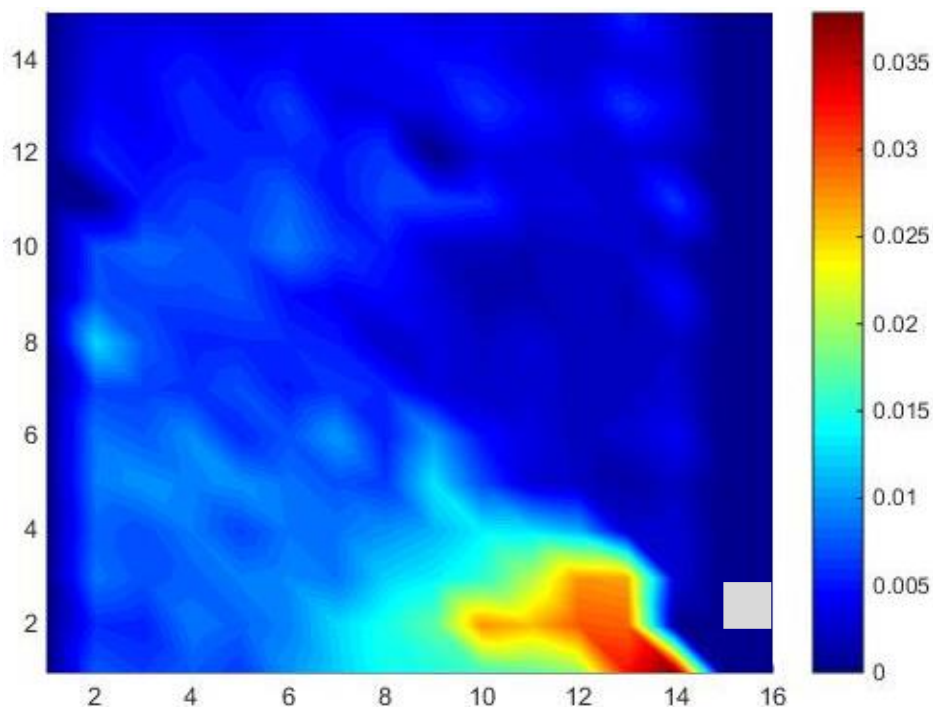
**Figura 5.22:** Energia cinética turbulenta para dois motores, valores em  $\text{m}^2/\text{s}^2$



Com a configuração de dois motores ligados observa-se um aumento da energia cinética média do tanque, principalmente no fluxo principal, em que o ponto com maior energia é apresentou valor igual a  $0,03 \text{ m}^2/\text{s}^2$  enquanto 90% do tanque está entre  $0 \text{ m}^2/\text{s}^2$  e  $0,012 \text{ m}^2/\text{s}^2$ . Nessa configuração, as regiões de alta energia são utilizadas para passagem de ambas as espécie, sendo evitadas pelo Piau como região de descanso e utilizadas pelo Mandi apenas em áreas próximas a parede do canal.

A Figura 5.23 apresenta os resultados obtidos na configuração em que três motores estão ligados.

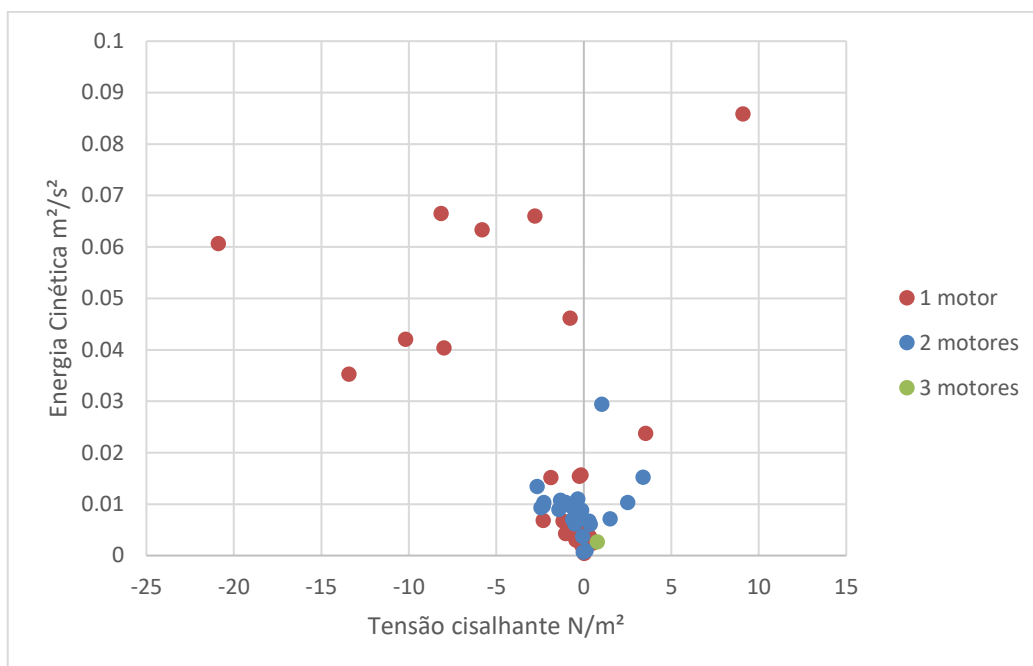
**Figura 5.23:** Energia cinética turbulenta com três motores valores em  $\text{m}^2/\text{s}^2$



Nessa configuração, observa-se aumento da energia cinética em relação à configuração que utiliza dois motores, sendo o maior valor de energia cinética é de  $0,04 \text{ m}^2/\text{s}^2$  no fluxo principal e 90% do tanque está no intervalo de  $0 \text{ m}^2/\text{s}^2$  até  $0,013 \text{ m}^2/\text{s}^2$ . o comportamento de evitar as áreas de alta energia cinética para descanso é observada novamente para as duas espécies, porem são utilizadas para a passagem, principalmente pelo Piau.

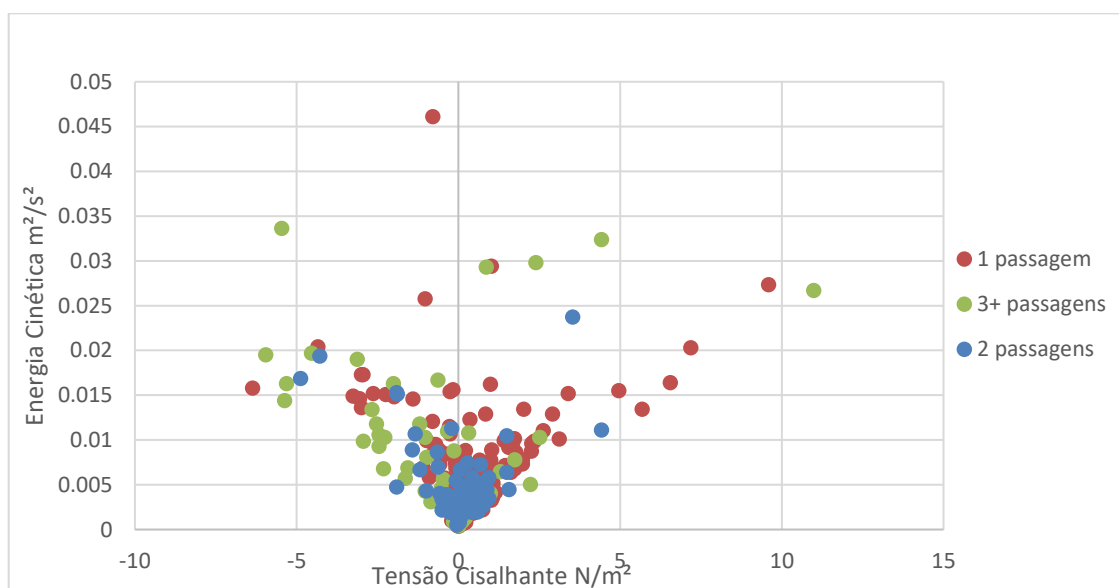
Observando as áreas de descanso para o Piau e relacionando a energia cinética com a tensão cisalhante obtém-se a Figura 5.24.

**Figura 5.24:** Áreas preferenciais de descanso do Piau



Na Figura 5.24 observa-se que, independentemente da velocidade de escoamento, o Piau tem uma clara preferência por áreas em que a energia cinética turbulenta e a tensão cisalhante é próxima a zero. Os pontos de alta energia e tensão cisalhantes estão todos relacionados aos pontos de negociação para transportar o MTP. Os valores de energia cinética na maioria das condições não supera a  $0,007 \text{ m}^2/\text{s}^2$  e a tensão cisalhante de Reynolds não supera o valor de  $2 \text{ N/m}^2$ . A Figura 5.25 apresenta estas variáveis nas regiões de passagens para o Piau.

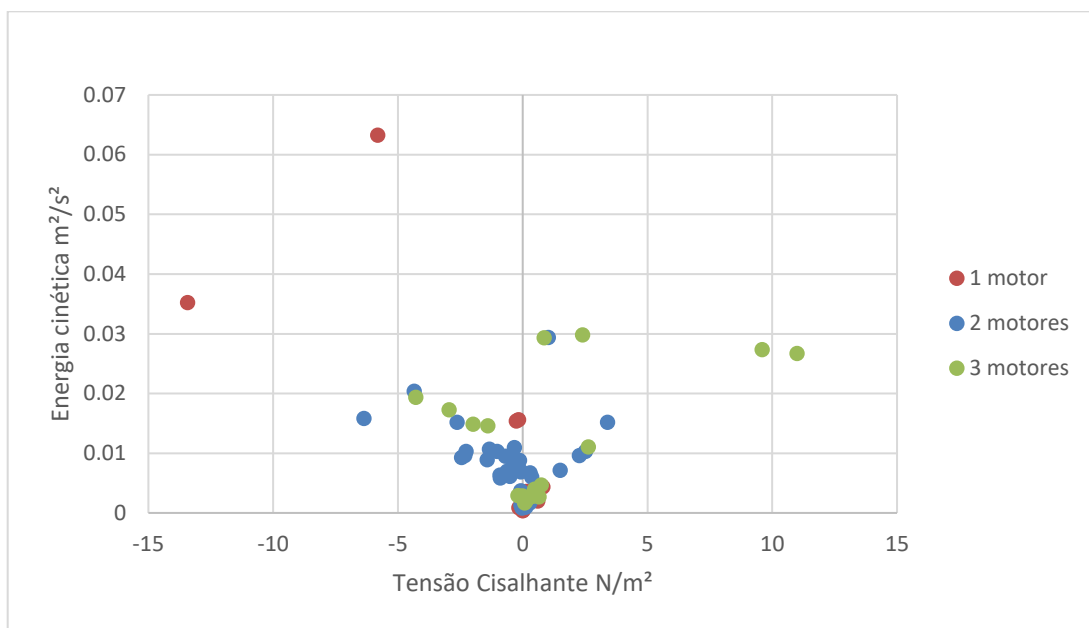
**Figura 5.25:** Áreas preferenciais de passagem para o Piau



Na Figura 5.25 observa-se que o Piau prefere zonas de tensão cisalhante e energia cinética próximos a zero para passagem e descanso. Os valores da energia cinética estão entre  $0 \text{ m}^2/\text{s}^2$  e  $0,047 \text{ m}^2/\text{s}^2$ , enquanto os valores de tensão cisalhante estão na maioria entre  $-4 \text{ N}/\text{m}^2$  e  $4 \text{ N}/\text{m}^2$ . Assim, observa-se que a espécie enfrenta valores de turbulência maior quando está passando pela ranhura.

A Figura 5.26 apresenta resultados de energia cinética e tensão cisalhante obtidos para as áreas de descanso do Mandi.

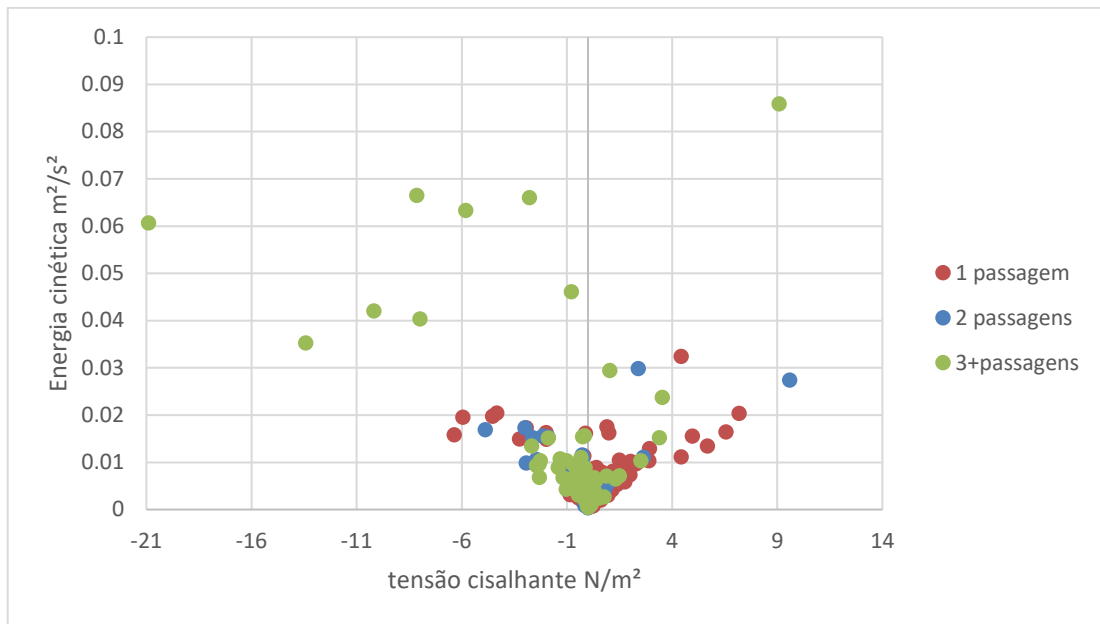
**Figura 5.26:** Áreas preferenciais de descanso mandi



O comportamento observado do Mandi é muito semelhante ao do Piau. Foi observado claramente a preferência por áreas em que a energia cinética e a tensão cisalhante são próximas a zero. As áreas de alta energia e tensão estão relacionadas aos pontos de negociação para transpor o mecanismo ou ainda áreas próximas à parede do tanque. Os valores encontrados são parecidos com os escolhidos pelo Piau.

A Figura 5.27 apresenta os resultados de energia cinética e tensão cisalhante obtidos para a zona de passagem do Mandi..

**Figura 5.27:** Áreas preferenciais de passagem para o Mandi



Na Figura 5.27 observa-se que o Mandi prefere áreas de passagem com valores de tensão cisalhante e energia cinética próximos a zero. Os valores da energia cinética observados estão entre 0m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> e 0,086 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>, enquanto os valores de tensão cisalhante estão entre -5 N/m<sup>2</sup> até 4 N/m<sup>2</sup>. Os pontos de maiores tensões e energia estão todos relacionados a 3 motores ligados. No entanto, os peixes buscam, mesmo com 3 motores, regiões que se aproximam de valores próximos a zero.

O Mandi, claramente suporta regiões de passagem com tensões e energia cinética muito maiores que o Piau, isso está relacionado com a capacidade que o Mandi possui de ficar encostado na parede do canal assim ele consegue permanecer em áreas com grandes tensões e energia cinética.

## 6 CONCLUSÕES

Simular a vazão no MTP em um canal circular impulsionado por motores elétricos ao invés de utilizar declividade se mostrou altamente eficaz visto que as condições hidráulicas simuladas no modelo ficaram próximas aos modelos convencionais. O canal circular é mais fácil de operar do que modelos com declividade, pois permite simular diferentes vazões e controlar o nível d'água com facilidade, o que torna esse tipo de canal promissor para futuros experimentos. No entanto, os motores não foram eficientes para a simulação de vazões maiores, fazendo com que os testes se desenvolvem em condições limitadas em termos de parâmetros hidráulicos.

O Piau e o Mandi mostraram com um comportamento bem diferente, mas dentro do esperado. O Piau é um peixe com melhor hidrodinâmica, sendo esperado que fosse capaz de vencer vazões maiores que o Mandi em um MTP.

A vazão de 12 L/s (dois motores) se mostrou a mais adequada das testadas para esse modelo tipo ranhura vertical pois foi a que obteve melhores condições de passagem tanto para o mandi quanto para o piau, provavelmente uma vazão um pouco menor poderia ser mais adequada. A vazão de 18 L/s (três motores) se mostrou ser muita alta para essas duas espécies e a de 7 L/s (um motor) se mostrou ser de pouca eficiência quanto ao número de indivíduos transpostos, embora não impeça que ambas espécies transponham o mecanismo. Esse fator pode ter sido influenciado pela dimensão do sistema devido a concentração do escoamento principal.

As velocidades dentro do tanque não ultrapassaram 0,5m/s e estão dentro da capacidade natatória das duas espécies. Para as regiões de descanso, observa-se uma preferência de velocidade de até 0,23m/s para o Piau e de até 0,1m/s para o Mandi, valores estão dentro dos valores encontrados para outras espécies nos experimentos de Duarte et al (2012) que foi de 0,1m/s para o *P. maculatus* e de 0,3m/s para o *L. reinhardti*.

As tensões cisalhantes de Reynolds não ultrapassaram o limite de  $-20\text{N/m}^2$  até  $10\text{N/m}^2$  em nenhum dos testes. O cenário de melhores condições para os peixes (dois motores) os limites ficaram entre  $-6\text{N/m}^2$  e  $6\text{N/m}^2$  próximos ao limite considerado ideal por Duarte et al (2012) para o *L. reinhardti* ( $-5\text{N/m}^2$  até  $5\text{N/m}^2$ ), valores agora recomendados para o Mandi e o Piau.

A energia cinética turbulenta se mostra um importante fator para a escolha dos pontos de descanso e de negociação para transposição dos mecanismos, valores altos de energia cinética

turbulenta que pode deixar os peixes desorientados, são sempre evitados pelas espécies durante a transposição. O Mandi aparenta ter uma estratégia de evitar as áreas de alta energia mantendo o seu corpo junto à parede do tanque para ultrapassar essas áreas.

A combinação da energia cinética e da tensão cisalhante pode explicar as regiões preferenciais de descanso das duas espécies, elas claramente preferem as áreas em que esses dois valores são próximos a zero.

No entanto, acredita-se que possa ter ocorrido a influência da escala nos parâmetros levantados, considerando o escoamento principal concentrado na passagem. Caso o sistema tivesse maior escala poderia ocorrer situações diferentes de posicionamento dos peixes, visto que a escala dinâmica é complexa no sua correlação.

## 7 RECOMENDAÇÕES

A declividade pode ser um fator importante para a migração dos peixes, repetir os experimentos em um modelo com declividade é importante para validar a utilização de canais circulares planos para modelos experimentais.

Exauridos os testes em laboratório, sugerem-se testes em escala real em campo, para confirmar a influência dos efeitos de escala..

Finalmente, sugere-se também verificar a influência de cardumes colocando mais indivíduos simultaneamente em um modelo maior, possivelmente nos testes de campo, seria oportuno principalmente para o Piau.

Comparação dos parâmetros dos experimentos para diminuir sobre a dúvida sobre a importância da declividade

## 8 REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A. et al. *Migratory Fishes of the Paraná River Basin, Brazil*. In: J. Carolsfeld; B. Harvey; C. Ross; A. Baer (Eds.). *Migratory Fishes of South America: Biology, Fisheries and Conservation Status*. Canada: IDRC and The World Bank, 2003. p.19-98.

AGOSTINHO, A. A., THOMAZ, S. M., GOMES, L. C., *Conservação da Biodiversidade em Águas Continentais do Brasil*, Megadiversidade, vol. 1, n. 1, 77-86p, jul. 2005.

ALVAREZ-VÁZQUEZ, L. J., MARTÍNEZ, A., RODRÍGUEZ, C., VÁZQUEZ-MÉNDES, M.E., VILAR, M. A. *Optimal shape design for fishways in Rivers*. *Mathematics and computers in simulation*, 218-222 p., 2007.

ALVAREZ-VÁZQUEZ, L.J.; MARTINEZ, A.; VÁZQUEZMENDEZ, M.E.; VILAR, M.A. An optimal shape problem related to the realistic design of river fishways. *Ecological Engineering*, v. 32, p. 293-300, 2008.

ANDRADE, E. S. Aspectos da biologia reprodutiva de piapara (*Leporinus obtusidens*), capturados a jusante da Usina Hidrelétrica do Funil, Perdões/Minas Gerais /– Lavras : UFLA, 2009.

ANEEL <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>, acessado em 01/06/2017.

BAKER, J.M.B.; GODINHO, H.M.; CARVALHO, E.S.; MARTINS, M.A.B. *Fecundidade e local de desova de Pimelodus maculatus*. *Ciên. Cult.*, v.24, p.345, 1972.

BASILE-MARTINS, M.A.; CIPOLLI, M.N.; GODINHO, H.M. *Alimentação do mandi Pimelodus maculatus Lacépède, 1803 (Osteichthyes, Pimelodidae), de trechos dos Rios Jaguarí e Piracicaba*, São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 13, n. 1, p. 17-19, 1986.

BASILE-MARTINS, MA., GODINHO, HM., NARAHARA, MY., FENERICH-VERANI, N. and CIPOLLI, MN., 1986. *Estrutura da população e distribuição espacial do mandi Pimelodus maculatus (Lacépède), 1803 (Osteichthyes, Pimelodidae), de trechos dos rios Jaguarí e Piracicaba*, São Paulo – Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, vol. 13, no. 1, p. 1-16.

BAZZOLI, N.; CANGUSSU, L.C.V.; RIZZO, E.; SANTOS, G.B. *Reprodução e desova de mandis Pimelodus maculatus e Iheringichthys labrosus (Pisces, Pimelodidae) nos reservatórios de Furnas, Marimondo e Itumbiara*. *Bios*, Belo Horizonte, 5: 7-15, 1997.

BELL, M. C., *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*, Corps of Engrs., North Pacific Div., Portland, Oreg., 490 pp., 1973;

BENNEMANN, S.T. *Dinâmica trófica de uma assembleia de peixes de um trecho do rio Tibagi (Sertanópolis – Paraná)*. 1996. 144p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). São Carlos: Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, UFSCar,

BIZZOTTO P.M. *Trânsito de peixes na escada da UHE-Igarapava, rio Grande, alto Paraná*. Dissertação de Mestrado da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, (2006).

CADA, G.F., CARLSON, T. FERGUSON, J., RICHMOND, M., SALE, M., *Exploring the role of shear stress and severe turbulence in downstream fish passage*, Brookshies, P.A. (Ed.) Proceedings of waterpower'99. Hydro's future: Technology, Markets, and Policy. American Society of Civil Engineers, Reston, V.A. 10 pp, 1999.

CARVALHO, E.D.; ALEGRETTI, J.R.; FUJIHARA, C.Y.; GRASSIOTO, I.Q. *Análise preliminar da biologia reprodutiva de mandiúva Pimelodus maculatus (Pisces: Siluriforme, Pimelodidae) no reservatório de Jurumirim (Alto do rio Paranapanema, SP)*. Encontro Brasileiro de Ictiologia, 11, 1995. Campinas, Resumos. Campinas: Sociedade Brasileira de Ictiologia, 1995.

COMPANHIA ENERGETICA DE MINAS GERAIS. *Guia Ilustrado de Peixes do Rio São Francisco de Minas Gerais*. Belo Horizonte: CEMIG, 2006. 118p.

DINIZ, C. C. *Dinâmica Reprodutiva de Leporinus striatus e histologia do ovário de cinco espécies do gênero Leporinus spix 1829 (Osteichthyes, Characiformes, Anostomidae) na represa de Camargos, MG*. 1997. 69 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

DUARTE, A. F., RAMOS I. C. R., SANTOS, H. A. Reynolds *shear-stress and velocity: Positive biological response of neotropical fishes to hydraulic parameters in a vertical slot fishway*. Neotropical Ichthyology. n 10, p813-819, 2012

DUARTE, B. A. F., SANTOS, H. A., *Tensão de Reynolds e velocidade média em uma escada para peixes do tipo ranhura vertical: comportamento preferencial da espécie Leporinus reinhardti*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.19 n2, p157-167, abr./jun. 2014.

ECO 92 - Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, Brasil, 1992;

FENERICH, NA., NARAHARA, MY., GODINHO, HM., *Curva de crescimento e primeira maturação sexual do mandi Pimelodus maculatus (Lacépède), 1803 (Pisces, Siluroídei)*. Boletim do Instituto de Pesca, vol. 4, no. 1, p. 1-28, 1975.

FISHING GUIDE, *The Best Fishing Plans in Brazil*, Editora Almeida Prado & Conceição, 1a Edição, 1996;

FOWLER, H.W. *Os peixes de água doce do Brasil*. Arquivos de Zoologia do Estado de São Paulo, v. 6, n.1, p. 405-625,1951.

GODINHO, A.L. *E os peixes de Minas em 2010*, Ciência Hoje, 16(91): 44-49, 1993;

GODINHO, A.L.et al. *Centro de Estudos de Mecanismos de Transposição de Peixes*. II Simpósio Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, Canela, RS, Brasil, abril, 2000;

GODINHO, H.M.; FERRI, S.; MEDEIROS, L.O.; BARKER, J.M.B. *Morphological changes in the ovary of Pimelodus maculatus Lacépède, 1803 (Pisces, Siluroidei) related to the reproductive cycle*. Revista Brasileira Biologia, Rio de Janeiro, 34: 581-588, 1974.

GODINHO; H. P., POMPEU, P. S., *A importância dos ribeirões para os peixes de piracema. Águas, peixes e pescadores do São Francisco das Minas Gerais* Belo Horizonte, PUC Minas, págs. 361-372; 2003.

GODOY, M.P.D.E., *Peixes do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1987.572p

GOETTEL, M. T., ATKINSON, J. F., BENNETT S. J., Behavior of western blacknose dace in a turbulence modified flow field. *Ecological engineering*, n 74, p 230-240, jan. 2015.

HILSDORF, W., S.; MOREIRA, R., S.; *Porque os peixes migram*. Scientific American Brasil, dezembro 2008, p. 76-80.

IHERING, R. von; WRIGHT, S. *Fisheries investigations in Northeast Brazil*. Trans. Am. Fish Soc., v.35, p.267-271, 1935.

KATOPODIS C. & RAJARATNAM N.A. 1983. *Review and laboratory study of the hydraulics of Denil fishways*. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science 1145. Fisheries and Oceans, Winnipeg, Canada.viii+181 pp.

KATOPODIS, C. *Introduction to fishway Design, Freshwater Institute, Central and Arctic Region*, Department of Fisheries and Oceans, Winnipeg, Manitoba, Canada, 1992.

L. J. ALVAREZ-VÁZQUEZ, A. MARTÍNEZ, C. RODRÍGUEZ, M. E. VÁZQUEZ-MÉNDEZ, and M. A. VILAR, *Optimal shape design for fishways in rivers*. Math. Comput. Simul., in press (2007), doi:10.1016/j.matcom.2007.01.029.

LARINIER M., TRAVADE F., *The development and evaluation of downstream bypasses for juveniles salmonids at small hydroelectric plants in France*. ODEH M. (ed) 1999., *Innovations in Fish Passage Technology*, American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, 25-42

LARINIER, M. L, TRAVADE, F. *The development and Evaluation of Downstream By Passes for Juvenile Salmonoides at Small Hydroelectric Plants in France*, American Fisheries Society, EUA, 1999;

LARINIER, M. L. *Pool fishways, pre-barrage and natural by-pass channels*, Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 364(364 supplément), France, October 2002.

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.

LUZ R. K., FILHO E. Z. *Larvicultura do Mandi-amarelo *Pimelodus maculatus* Lacépède, 1803 (Siluriformes:Pimelodidae) em Diferentes Densidades de Estocagem nos Primeiros Dias de Vida*. Revista Brasileira de Zootecnia, V.31, n2, p.560-565, 2002.

MARRINER B. A., BAKI A. B. M., ZHU D. Z. COOKE S. J. KATOPODIS C., *The Hydraulics of a vertical slot fishway: A case study on the multi-species Vianney-Legendre Fishway in Quebec, Canada*. *Ecological Engineering*, n 90, p190-202, out 2016.

- MARTINS, S. L. 2000. *Sistemas para a transposição de peixes*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) -Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo
- MINAS GERAIS, 1997, *lei nº 12.488 de 09 de abril de 1997. Torna obrigatória a construção de escadas para peixes de piracema em barragem edificada no estado*. Minas Geras, Órgão oficial dos Poderes do estado, Belo Horizonte, 10 de abril de 1997.
- NORTHCOTE, T. G. *Migratory Strategies and Production in Freshwater Fishes*. In: GERKING, S. D. (Ed.) *Ecology of freshwater fish production*. Oxford: Blackwell, p. 326-359, 1978.
- A. OLIVEIRA. *CPT – Centro de Produções Técnicas. Peixes de agua doce do Brasil – Mandi (Pimelodus maculatus)* publicado em 29/04/2013 em [www.ctp.com.br](http://www.ctp.com.br) acessado em 15/05/2018.
- PARMA, J. M. C. *Crecimiento de Leporinus obtusidens (Val.) (Pisces, Anostomidae) bajo diferentes dietas artificiales*. Revista de La Asociacion de Ciências Naturales del Litoral. Santa Fé, n. 11, p. 1-11, 1980.
- PAVLOV, D.S. Structures assisting the migrations of nonsalmonid fish: USSR. FAO, 97 p., 1989.
- PENA, L., CEA, L., PUERTAS J. *Turbulent Flow: An experimental analysis in vertical slot fishways*. Fifht Internacional Symposium on Ecohydraulics, Madri Spain, pp 881-888. IAHR 2014.
- PETRERE JR., M. *Migraciones de peces de agua dulce en América Latina: algunos comentarios*. Copescal Doc. Ocas. 1:17p., 1985.
- PINTO, D. J. J. M., *Caracterização Experimental do Escoamento em Canais de Secção Composta*. 2010. 98 f. – Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2010.
- PUERTAS J., L. PENNA, T. TEIJEIRO *Experimental approach to the hydraulics of vertical slot fishways J. Hydraul. Eng., 130 (10–23) (2004)*
- RAJARATNAM N., VAN DER VINNE G., KATOPODIS C., *Hydraulics of Vertical Slot Fishways, Journal of Engenry Hydraulics*. V.112, 1986.
- REIS, R. E.; KULLANDER, S. O.; FERRARIS JÚNIOR, C. J. (Org.). *Check list of the freshwater fishes of South and Central America*. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2003. 742 p.
- RODRÍGUEZ, T.J., AGUDO, J.P., MOSQUERA, L.P., GONZÁLEZ, E.P., *Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capacities*, Ecological Engineering, 27, p.37-48, 2006;
- ROMÃO, F., QUARESMA, A. L., BRANCO, P., SANTOS, J. M., AMARAL, S. FERREIRA, M. T., KATOPODIS C., PINHEIRO, A. N. *passage performance of two cyprinids with different ecological traits in a fishway with distinct vertical slot configurations*. Ecological engineering, n 105, p 108-188, ago. 2017.
- ROME, F. A. O., *Fish passes – Design, dimensions and monitoring*, p69-109, DVWK,2002

SAMPAIO, M. C. *Estudo comparativo dos intervalos de tempo para medição de velocidade crítica de peixes*[manuscrito]: estudo de caso com o *Pimelodus maculatus*/ 2013.ix, 69f., enc.:il

SANAGIOTTO, D. G. *Análise da macroturbulência do escoamento em escadas para peixes por bacias sucessivas*. 2007. 320 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/13828>>. Acesso em março de 2018.

SANTOS, M. L.; POMPEU, P. S.; ALVES, C. B. M.; SANTOS, H. A.; OKUMA, D. K. L. Evaluation of ictiofauna diversity loss due to flow regulation in the lower course of the São Francisco River (Brazil). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOHYDRAULICS, 7., 2009, Concepcion. Proceedings... Concepcion: Universidad de Concepcion, 2009. p. 1-10.

SATO, Y.; GODINHO, H.P. *Adesividade de ovos e tipo de desova dos peixes de Três Marias, MG*. In: Encontro Anual de Aquicultura de Minas Gerais, 5, 1988. Belo Horizonte, anais... Belo Horizonte: Associação Mineira de Aquicultura, 1988, p.102- 103.

SILVA, A. T., KATOPODIS, C., SANTOS, J. M., FERREIRA, M. T., PINHEIRO A. N., *Cyprinid Swimming Behavior in Response to Turbulent Flow*, Ecological Engineering, n. 44, 2012.

SILVA, A. T., SANTOS, J. M. FERREIRA, M. T., PINHEIRO, A. N., KATOPODIS, C., 2011. *Effects of Water Velocity and turbulence on the Behavior of Iberian Barbal (Luciobarbus bocagei, Teindachner 1846) in an Experimental Pool-Type Fishway*. *Rever Res.* n. 27, 360-373

SILVA, A.T.; FERREIRA, M.T.; PINHEIRO, A.N.; KATOPODIS, C. Effects of water velocity and turbulence on the behavior of Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner 1864) in an experimental pool-type fishway. *River Research and Applications*,2010.

TELCHEVSKY DE FOLGUERA, S. *Ciclo sexual y mecanismo de maduración del ovario de la boga, Leporinus obtusidens*(Val.). *Ecología*, v. 6, n. 1, p. 9-14, 1981.

THEMAG ENGENHARIA, *Usina e Eclusa Porto Primavera, Projeto Executivo, Elevador de Peixes*, Manual de Operação Hidráulica, 13701-EP24-RT-0233-26230, São Paulo, Brasil, 1999;

TOLENTINO, B.S., SAMPAIO, M.C., CASTRO, A.L.P., MARTINEZ, C.B., FARIA, M.T.C., VIANA, E.M.F., *Verificação de variação de dissipação de energia em tanques de um Mecanismo de Transposição de Peixes do tipo ranhura vertical*, XXVI Congresso Latinoamericano de Hidráulica, Santiago, Chile, 2014.

TOMÉ, F. L. F. O, *Levantamento experimental e computacional do comportamento de uma escada de peixes do tipo ranhura vertical em diferentes vazões e declividades*. Dissertação de mestrado para o programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.

TOMÉ, L. F. O. T., MARTINEZ, C. B., FARIA, M. T. C., SILVA, L. G. M., SANTOS, H. A., VIANA, E. M. F. *Verificação da Variação do Comportamento Hidráulico em um Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Escada em Diferentes Declividades*, *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 18, n. 2, Abr./Jun. de 2013.

VAZ, M. M.; TORQUATO, V. C.; BARBOSA, N. D. C. *Guia ilustrado de peixes da bacia do Rio Grande*. Belo Horizonte: CEMIG/CETEC, 2000. 144 p.1996.

VAZZOLER, A. E. M. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: EDUEM, 1996. 169 p.

VIANA, E. M.F., MARTINEZ, C.B., FARIA, M. T.C., *Estudo do comportamento hidráulico de um novo projeto de mecanismo de transposição de peixes do tipo escada*, XXIV Congresso Latino-americano de Hidráulica, Punta Del Este, Uruguai, novembro 2010.

VIANA, E. M.F., MARTINEZ, C.B., FARIA, M. T.C., TOLENTINO B.S., TOME F. L. F. O., SALIBA A. P. M. *Análise do comportamento hidráulico de um mecanismo de transposição de peixes do tipo escada com ranhura vertical em duas declividades*. Revista brasileira de recursos hídricos, Porto Alegre, v.21, n.4, p811-820, out/dez. 2016.

ZANIBONI-FILHO, E. *Piscicultura das espécies nativas de água doce*. In: C. R. Poli; A. T. B. Poli; E. Andreatta; E. Beltrame (Eds.). *Aquicultura: experiências brasileiras*. Florianópolis: Multitarefa, 2004. p.337-368