



PERFORMANCE DO CANAL EXPERIMENTAL DE
TRANSPOSIÇÃO DO AHE SANTO ANTÔNIO
(relatório técnico do ano de 2011)

Relatório técnico apresentado ao
Consórcio Santo Antônio Energia

Junho de 2011

APRESENTAÇÃO

O presente documento apresenta os resultados dos testes realizados no Canal Experimental de Transposição (CET) da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio em 2011. Os testes conduzidos no ano anterior indicaram performance inadequada do CET devido, possivelmente, à turbulência do escoamento provocada pela inadequada dissipação da energia pelos matacos e manilhas. Para os testes de 2011, nova geometria dos dissipadores de energia foi previamente avaliada em modelo reduzido no Laboratório de Hidráulica Experimental e Recursos Hídricos de Furnas no Rio de Janeiro. Os testes de 2011 no CET foram conduzidos para determinar qual largura da ranhura (1,1 ou 1,6 m) do dissipador oferece condições hidráulicas mais adequadas para a passagem de maior número de peixes das espécies-alvo no menor intervalo de tempo.

DESCRIÇÃO DO CANAL EXPERIMENTAL DE TRANSPOSIÇÃO

O CET foi construído na margem direita do rio Madeira, logo a montante da Cachoeira de Teotônio (Figuras 1 e 2). Ele foi concebido para funcionar de janeiro a maio, durante as cheias do rio Madeira. O piso da comporta de montante fica na cota 62,40 m e o piso da comporta de jusante, na cota 61,50 m. O CET tem comprimento de 51 m, largura interna de 3,75 m, altura de 4,6 m (montante) a 5,5 m (jusante). Duas comportas ensecadeiras permitem o esvaziamento do CET. Duas comportas basculantes localizadas logo a jusante das comportas ensecadeiras regulam a vazão interna. A seção com dissipadores de energia tem 25,5 m de comprimento e inclinação de 3%. Um tanque lateral de 3 m de comprimento por 4 m de largura conectado no terço inicial da seção de testes por uma ranhura vertical permite a introdução dos peixes experimentais, sendo denominado área de introdução. Devido a sua localização, o CET será afogado com o enchimento do reservatório de Santo Antônio e não mais será funcional.

Para os testes de 2011, foram instalados no CET três dissipadores de energia (D1, D2 e D3 – sentido montante) com ranhura vertical, espaçados entre si por 13,5 m (Figuras 3 e 4). Na base da ranhura vertical, foi colocada soleira de 0,75 m de altura para auxiliar na regularização do escoamento. Os três dissipadores criaram dois tanques, T2 e T3, a jusante de D2 e D3, respectivamente. Duas grades metálicas foram instaladas no início da seção de testes para impedir o peixe de sair por jusante. Duas dimensões da largura da ranhura da ranhura vertical foram testadas: 1,1 m (Tratamento 1) e 1,6 m (Tratamento 2, Figura 4).

METODOLOGIA

Os testes foram realizados de 11 de fevereiro a 16 de maio de 2011, totalizando 38 dias de testes. Testes não foram conduzidos de 21 de março a 1º de abril para

alteração da largura da ranhura dos dissipadores, e de 7 a 27 de abril por causa do nível da água do rio Madeira que ultrapassou a cota de segurança.

Estimativa das variáveis hidráulicas

O nível da água NA em 14 réguas posicionadas dentro e ao longo do CET foram determinadas todos os dias em que peixes foram soltos no CET. Nesses dias, também foi medido o NA do rio Madeira em régua localizada 20 m a montante do CET. Quando o NA no CET variava mais do que 20 cm, a vazão no canal foi medida imediatamente a jusante da comporta enseadeira de montante com auxílio de um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Com os dados do NA de cada régua e da vazão, foram estimados as seguintes variáveis hidráulicas para cada um dos dois tanques:

- i. Carga hidráulica: diferença no nível da água imediatamente a montante e a jusante do dissipador;
- ii. Potência específica do escoamento: medida indireta da turbulência do escoamento, é diretamente proporcional à vazão e à carga hidráulica, e inversamente proporcional ao volume do tanque;
- iii. Velocidade da água: calculada em função da carga hidráulica do dissipador; e
- iv. Profundidade média.

Estimativa das variáveis biológicas

Captura e marcação dos peixes

Para captura dos peixes, foram utilizadas oito equipes de pescadores. Cinco equipes focaram a pesca na dourada. Eles capturaram os peixes num trecho do rio Madeira de cerca de 4 km de extensão, iniciando a cerca de 4 km a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio. Essas equipes eram compostas por dois pescadores que utilizaram redes de deriva de fundo (localmente conhecidas como caçoeiras), e pescaram das 7 às 18 h (Figura 5). Nos meses de abril e maio, três dessas equipes passaram a pescar das 4 às 7 h.

Os peixes capturados eram imediatamente colocados em caixa d'água de 500 L contendo cerca de 150 L de água e transportados de barco até o canteiro de obras da UHE Santo Antônio, viagem que durava entre 5 e 10 minutos. No canteiro, os peixes eram transferidos para caixa de transporte de peixes contendo cerca de 2.500 L de água. Um caminhão levava a caixa de transporte de peixes até ao CET (Figura 6). Esse transporte levava por volta de 50 minutos para ser realizado. No máximo, três peixes eram transportados por vez. Para reduzir o estresse da captura e transporte, 500 mL de Protect Plus® eram diluídos na água da caixa de transporte.

As outras três equipes pescavam próximas à cachoeira do Teotônio. Uma equipe composta por cinco pescadores capturava os peixes com tarrafa, basicamente babão e zebra, na cachoeira de Teotônio. As outras duas equipes utilizavam espinheis e

malhadeiras para captura de peixes de outras espécies em igarapés e no rio Madeira (Figura 7). Os peixes capturados por essas três equipes eram, primeiramente, colocados em tanques-rede (2 x 2 x 1,5 m) no rio Madeira e depois transportados de barco e de camionete até o CET em caixa d'água de 500 L contendo cerca de 100 L de água.

Ao chegarem no CET, os peixes capturados eram imediatamente transferidos para um dos oitos tanques circulares de 1.000 L (Figura 8). Esses tanques eram mantidos cheios e em constante renovação com água do rio Madeira. Toda a água do tanque era renovada em cerca de 20 min. Os indivíduos capturados nas proximidades do CET eram mantidos por cerca de cinco horas antes de serem soltos dentro do CET. Em cada caixa ficavam no máximo oito indivíduos das espécies pequenas (barba-chata, surubim, jatuarana, piramutaba, entre outras) e no máximo quatro das espécies de maior porte (jaú, peixe-lenha e babão). Os indivíduos capturados na cachoeira de Santo Antônio permaneciam isolados nos tanques por cerca de 24 h antes da soltura.

Antes da soltura no CET, cada indivíduo teve o seu comprimento padrão (CP) determinado e uma etiqueta do tipo PIT presa a um anzol foi afixada em sua nadadeira adiposa (Figura 9). Os peixes foram soltos na área de introdução, utilizando-se de maca e guincho elétrico (Figura 10). O processo de marcação e soltura de cada indivíduo levava, em geral, menos de três minutos.

Sistema de identificação por rádio frequência (SIRF)

Para quantificação do movimento dos peixes dentro do CET, foram instaladas 16 antenas leitoras de etiquetas PIT. Essas antenas foram dispostas de modo a formar seis transectos verticais (T1, T2, T3, T5, T6 e T8, de jusante para montante) e dois horizontais (T4 e T7; Figura 3). Cada transecto vertical possuía duas ou três antenas posicionadas horizontalmente uma sobre a outra, enquanto que cada transecto horizontal apenas uma antena.

Cada antena foi configurada para ter alcance mínimo de 30 cm na região central, tanto para jusante quanto para montante. Desta forma, bastava o peixe aproximar-se da antena para ter o código do seu PIT registrado, não necessitando atravessá-la. Para considerar, então, que determinado peixe atravessou certo transecto era necessário registrá-lo em outro transecto.

Os peixes detectados pela última vez nos transectos a montante do dissipador D2 (T5, T6, T7 ou T8) foram classificados como tendo saídos do canal. Por outro lado, aqueles detectados pela última vez nos transectos a jusante do D2 (T0, T1, T2, T3 ou T4) foram considerados como mortos. As grades instaladas ao final da seção de testes do CET impediam a saída dos peixes por jusante. Assim, ou eles saíam por montante ou morriam no canal.

Calculou-se a eficiência geral do SIRF como sendo a porcentagem do número de indivíduos com zero detecção em relação ao número total de indivíduos marcados. A eficiência de cada transecto foi calculada como sendo a porcentagem de não detecções de um transecto em relação à todas as detecções desse transecto.

Com os registros feitos pelo SIRF, foram calculadas as seguintes variáveis biológicas para cada peixe testado:

- i. Tempo total no canal (TT): tempo de permanência do peixe no canal, desde o momento de sua introdução até o momento que foi registrado pela última vez (determinado apenas para os peixes que saíram do canal);
- ii. Tempo para passar o dissipador (TD): tempo do peixe entre os transecto mais de jusante de um tanque e o primeiro transecto a montante do dissipador. Para o D2, tempo entre T2 e T5 e para o D3, tempo entre T5 e T8. O tempo que o peixe permaneceu parado em um mesmo transecto foi desconsiderado. Para indivíduos com mais de um TD para D2 ou D3, foi utilizado apenas o primeiro TD de cada dissipador;
- iii. Tempo total no tanque (TTA): tempo total de permanência nos tanques 2 ou 3. Para o peixe que voltou para um tanque ocupado previamente, foi utilizado apenas o primeiro TTA.

Análise dos dados

Em razão da mudança diária das condições hidráulicas devido às alterações no NA do rio Madeira (Figura 11) e de muitos peixes terem permanecidos mais de um dia dentro do CET, as variáveis biológicas foram relacionadas às variáveis hidráulicas do dia da soltura para o TT, do dia que o peixe passou o dissipador para o TD e do dia que o peixe deixou o tanque para o TTA.

As variáveis biológicas apresentaram, frequentemente, distribuição fortemente assimétrica para a direita e não foi possível obter normalidade com transformações. Por isso, foram utilizados testes não paramétricos para a análise dos dados. Mesmo assim, para encurtar a amplitude dos dados, foram retirados nove pontos que eram maiores que 30 vezes o limite superior do terceiro quartil do TD, e para TTA foram retirados 23 pontos que estavam 3.000 vezes acima do limite superior do terceiro quartil.

Diferenças no TT entre as larguras da ranhura 1,1 e 1,6 foram avaliadas com o teste de Wilcoxon. Os testes foram feitos considerando todos os peixes (independente da espécie) e para as espécies-alvo. Diferenças no TD foram testadas considerando dois fatores: largura da ranhura e dissipador. Dois fatores (largura da ranhura e tanque) também foram considerados para testar diferenças no TTA. O teste de Scheirer-Ray-Hare (SRH) foi utilizado para os dados não normais e/ou para variâncias não homogêneas enquanto que a ANOVA de dois fatores para dados normais e variâncias

homogêneas (Dytham, 2003). Usou-se o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias (Snedecor & Cochran, 1983). As variáveis biológicas foram correlacionadas com as variáveis hidráulicas utilizando-se a correlação de Spearman, devido à natureza não-paramétrica dos dados (Sokal e Rohlf, 1995).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do R (R Development Core Team, 2010). O nível de significância (α) adotado foi 0,05.

RESULTADOS

Variáveis hidráulicas

A vazão no canal variou de 0,6 a 11,3 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (média = 4,1 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e foi influenciada pelo NA do rio Madeira (Figura 11). Para um mesmo tanque, todas as variáveis hidráulicas, exceto profundidade média, foram significativamente diferentes (teste de Wilcoxon) entre os dois tratamentos (Tabela 1). Num mesmo tratamento, as variáveis hidráulicas foram diferentes entre os dois tanques (teste *t* unicaudal).

A potência específica do escoamento variou de 11,4 a 300,7 $\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$ no T2 e de 33,4 a 355,4 $\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$ no T3 (Tabela 1). Ela foi maior que a 200 $\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$ em 5 dias no T2 e em 4 dias no T3. A potência específica do escoamento de T2 e T3 apresentou correlação de Spearman de 0,94. Ela foi sempre maior, exceto em uma única ocasião, em T3 do que no T2. Na metade das vezes, a potência específica do escoamento em T3 foi 50% maior do que em T2. Em algumas poucas ocasiões, essa diferença chegou a quase 200%.

A carga hidráulica de D2 variou de 0,10 a 0,40 m e de D3 de 0,20 a 0,48 m (Tabela 1). Valores iguais ou maiores que 0,40 m de carga hidráulica ocorreram em 2 dias em D2 e em 7 dias no D3. A correlação de Spearman da carga hidráulica de D2 e D3 foi de 0,71.

Variáveis biológicas

Foram marcados 512 peixes, de 20 espécies diferentes, sendo 157 no tratamento 1 e 355 no tratamento 2. Os peixes marcados pertenceram às famílias Characidae, Prochilodontidae e Serrasalminidae (ordem Characiformes) e Loricariidae, Doradidae e Pimelodidae (Siluriformes), sendo essa última a família com mais peixes marcados (Tabela 2). As espécies com maior número de peixes testadas foram surubim, babão e barba-chata (Figura 12).

Foram capturadas 77 douradas ao todo, das quais 42 foram testadas. As demais foram descartadas pelos seguintes motivos principais: predação por boto (16 exemplares), predação por candiru (6) ou morte durante a captura/manuseio (6) (Figura 13). Dos 83 babões capturados, 75 foram testados. Todos os cinco zebras capturados foram testados.

Eficiência do SIRF

A eficiência geral de detecção do SIRF foi de 97,4%, com apenas 13 peixes não sendo detectados por nenhum dos transectos. A eficiência de detecção do SIRF nos tratamentos 1 e 2 foi idêntica à geral. A eficiência de detecção dos transectos variou mais entre transectos do que entre tratamentos (Tabela 3). O transecto 6 apresentou a menor eficiência de detecção, especialmente no segundo tratamento quando ele foi avariado e ficou inativo durante todo o último mês de teste. A exata causa da elevada porcentagem de falha do transecto 6 no tratamento 1 não é conhecida, mas pode estar relacionada à posição do peixe não favorável à leitura do PIT ao passar pelo transecto.

Saída de peixes do canal

Saíram do canal, 62 peixes (39,7% dos peixes detectados) no tratamento 1 e 198 (57,7% dos peixes detectados) no tratamento 2 (Tabela 4). A minoria das douradas (cerca de 34% para ambos tratamentos) e dos babões (por volta de 17% para ambos os tratamentos) e a maioria dos zebras (80%) saíram do canal. Das 14 douradas que saíram do canal, sete foram no tratamento 1 e sete no tratamento 2. No caso do babão, oito saíram no tratamento 1 e cinco no tratamento 2. Todos os zebras foram testados no tratamento 1. Alguns outros Siluriformes (e.g., barba-chata, jaú, peixe-lenha, piramutaba e surubim) apresentaram porcentagem de peixes que saíram do canal superior à das espécies-alvo. Com relação aos Characiformes, nenhum indivíduo das espécies testadas (*i.e.*, jatuarana, tambaqui e curimba) conseguiu sequer passar o primeiro dissipador.

Tempo total no canal (TT)

Não houve diferenças significativas no TT entre tratamentos ($P = 0,14$, Figura 14). A mediana do TT foi de cerca de 1 dia em ambos os tratamentos. Não houve correlação entre TT e nenhuma das variáveis hidráulicas (Figura 15).

Para a dourada, não houve diferenças do TT entre tratamentos ($P = 0,07$, Figura 16). Sem o valor máximo, o TT da dourada foi negativamente correlacionado com a vazão e a potência específica do tanque 3 (Figura 17).

Para o babão, também não houve diferença no TT entre tratamentos ($P = 0,10$, Figura 18). O TT do babão foi negativamente correlacionado com a potência específica, carga hidráulica e velocidade da água do tanque 3 (Figura 19).

Babão foi a espécie que saiu mais rapidamente do canal. No tratamento 2, babões levaram cerca de 2:30 h, em média, para deixar o canal. Seguem ao babão, a dourada (6:30 h), a pirarara (8:30 h) e o peixe-lenha (9:30 h). Por outro lado, as espécies que permaneceram mais tempo no canal foram o surubim (58:30 h) e a piramutaba (67:00 h) (Tabela 5).

Tempo para passar o dissipador (TD)

Considerando dados de todas as espécies, não houve diferenças significativas no TD entre os dissipadores D2 e D3 ($P = 0,11$) e nem entre os tratamentos ($P = 0,83$) (Figura 20). Também não houve correlação entre TD e as variáveis hidráulicas, independente do tratamento.

O TD da dourada foi significativamente menor para passar o dissipador D2 do que o D3 ($P = 0,03$, Figura 21). O tratamento não influenciou o TD da dourada ($P = 0,41$). Não houve correlação entre TD da dourada e as variáveis hidráulicas em nenhum dos dois tratamentos.

Para o babão, o TD não foi diferente entre dissipadores ($P = 0,66$) e tratamento ($P = 0,76$, Figura 22). Também não houve correlação entre TD do babão e as variáveis hidráulicas em nenhum dos tratamentos avaliados.

Para as espécies-alvo, o TD médio dos dissipadores 2 e 3 no tratamento 1 foram, em geral, semelhantes àqueles registrados no tratamento 2. O TD médio das espécies-alvo foi, em geral, menor do que o TD médio das demais espécies (Tabela 6).

Tempo total no tanque (TTA)

Houve diferenças significativas no TTA entre os tanques ($P < 0,001$). Os peixes permaneceram menos tempo em T3 (o tanque mais de montante), tanto no tratamento 1 quanto no tratamento 2 (Figura 23). Não houve diferenças significativas no TTA entre tratamentos ($P = 0,47$). Não houve correlação entre o TTA e as variáveis hidráulicas do tanque, independente da largura da ranhura.

Em ambos os tratamentos, o TTA da dourada foi menor no tanque T3 do que no T2 ($P = 0,03$) (Tabela 7, Figura 24). Não houve correlação entre TTA da dourada e as variáveis hidráulicas do tanque. Para o babão, não houve diferenças do TT entre tanques ($P = 0,64$) nem entre tratamentos ($P = 0,75$). Da mesma forma, não houve correlação do TTA do babão com as variáveis hidráulicas do tanque. O TTA das demais espécies, em geral, foi menor também no tanque 3 (Tabela 7).

DISCUSSÃO

Tratamentos realizados

Havia sido, inicialmente, proposto a realização de três tratamentos no CET em 2011 para avaliar diferenças na performance dos peixes entre três níveis de potência específica do escoamento (150, 200 e 250 W.m³) para carga hidráulica constante de 40 cm nos dissipadores D2 e D3. Os três níveis de potência específica do escoamento seriam obtidos variando a largura da ranhura.

Carga hidráulica constante de 40 cm nos dissipadores não se concretizou nos testes realizados no CET. A carga hidráulica variou temporalmente e ela, na maioria dos dias,

foi menor que 40 cm. Por ser diretamente influenciada pela carga hidráulica, a potência específica do escoamento também variou ao longo dos dias. Assim, avaliar diferenças na performance dos peixes em três níveis de potência específica não foi possível. Alternativamente, foram avaliadas as diferenças na performance dos peixes entre diferentes larguras da ranhura.

A primeira largura da ranhura utilizada foi 1,10 m e peixes foram testados nessa condição de 11 de fevereiro a 18 de março de 2011. A segunda largura da ranhura testada foi de 1,60 m e ela foi empregada no restante do período de testes. A terceira largura da ranhura seria de 1,35, mas esse tratamento não foi testado. A sua falta não prejudicou as conclusões já que não houve diferenças marcantes na performance dos peixes entre as duas larguras da ranhura testadas.

Captura de douradas

Os encaminhamentos da ata da reunião de 4 de outubro de 2010 realizada na sede do IBAMA em Brasília para definição dos testes de 2011 no CET cita que esforço de captura satisfatório seria realizado para alcançar a meta de seis indivíduos por espécie por dia, considerando o descarte e o princípio da razoabilidade.

Para atingir a meta de seis douradas/dia, foram empregadas cinco duplas de pescadores, que receberam apoio de três barcos, um caminhão e seis biólogos. Ao todo, foram capturadas 77 douradas, sendo que 55% delas foram testadas e 45% descartadas.

Como foram 33 dias de testes, deveriam ter sido marcadas 198 douradas para alcançar a meta prevista. Para se atingir esse número, teria sido necessário capturar 360 indivíduos, considerando descarte de 45% dos peixes. Os dados do desembarque pesqueiro de Porto Velho e Jaci Paraná indicam produção média de 140 peixes por mês para os meses de fevereiro a abril (mesmo período dos testes no CET) dos anos de 2009 a 2011. Para capturar 360 douradas para o CET, teria sido necessário, então, mobilizar todos os pescadores de douradas de Porto Velho e Jaci Paraná, o que fere o princípio da razoabilidade citada pela ata.

Mortalidade de peixes durante os testes

Elevada porcentagem de babões, douradas e filhotes morreram no CET durante os testes. O estresse provocado pela captura, transporte e manuseio é um dos fatores mais prováveis da elevada mortalidade. Entre as espécies testadas, babão, dourada e filhote eram as mais indóceis ao manuseio, sendo o filhote o mais indócil das três e o babão, o menos. Dourada e o babão têm epiderme frágil, que facilmente se fere na captura (Figura 26). Além das injúrias provocadas pela captura, os peixes eram manuseados e transportados até o CET, onde novamente precisavam ser manuseados.

Manuseio e transporte de peixes são considerados efeitos estressantes de grande magnitude (e.g., Hasan e Bart, 2007; Cho *et al.*, 2009). Os efeitos cumulativos das diversas fontes de estresse podem ser letais aos peixes, mesmo se os efeitos individuais de cada estressor for sub-letal (Barton e Iwama, 1991). Além disso, a mortalidade tardia pode ser até 10 vezes superior à mortalidade imediata (Hasan e Bart, 2007), devido aos efeitos deletérios dos altos níveis de cortisol, adrenalina e substâncias oxidantes liberadas durante a situação estressante (Braun *et al.*, 2010). Esses fatores possivelmente explicam a alta mortalidade ocorrida com douradas, babões e filhotes.

Por outro lado, jáu, peixe-lenha e pirarara, embora também de grande porte, tiveram taxas de mortalidade bem inferiores as das douradas e dos babões e filhotes. O manuseio do jáu, peixe-lenha e pirarara era mais fácil do que o do babão, da dourada e do filhote por serem mais dóceis. Suas menores taxas de mortalidade podem ter sido decorrentes do menor estresse ocorrido durante o manuseio.

Performance do CET

Os resultados obtidos nos testes de 2011 indicaram melhora na porcentagem dos peixes que saíram do canal em relação ao testes de 2010. Nos testes de 2011, mais de 50% dos peixes testados de várias espécies saíram do canal. Em 2010, somente o peixe-lenha teve mais de 50% dos peixes saindo do canal (por montante). Em 2011, cerca de um terço das douradas saíram, enquanto que em 2010, apenas uma. A única espécie que merece ressalva é o babão já que a porcentagem de peixe que saiu em 2010 pode ter sido ligeiramente maior do que em 2011.

A velocidade do escoamento no dissipador não impôs dificuldades à passagem dos peixes já que o tempo para passar o dissipador (TD) foi inferior a 1 mim para a maioria dos peixes. Como a velocidade do escoamento no dissipador foi determinada pela carga hidráulica, as cargas hidráulicas ocorridas no presente estudo foram apropriadas para a passagem dos peixes pelos dissipadores.

Os peixes passaram com facilidade pelos dissipadores, mas ficaram longos período dentro do canal (TT acima de 1 dia para 50% dos peixes testados). O TT da dourada e do babão foi negativamente correlacionado com potência específica do escoamento. Os valores máximos recomendados da potência específica do escoamento em canais com tanques sucessivos é de 150 a 200 W.m³ (Larinier, 2002). Foi exatamente nessa faixa de potência específica do escoamento que as douradas apresentaram menores TTs. Passagem de peixes muito conservativas, como aquelas com baixa potência específica do escoamento, podem ter performance reduzida (Orsborn, 1987) devido a falta de condições hidráulicas que estimulem o deslocamento para montante (Castro-Santos & Haro, 2010). Isso talvez explique os elevados TT encontrados no CET. Maior

potência específica do escoamento talvez também seja a explicação para o menor tempo que os peixes passaram no tanque 3 em relação ao tanque 2.

A performance dos peixes foi mas influenciada pela potência específica do escoamento. A largura da ranhura teve pouca ou nenhuma influencia sobre a performance dos peixes em razão da variação da carga hidráulica.

CONCLUSÕES

A geometria dos dissipadores utilizadas nos testes de 2011 foi mais favorável a passagem dos peixes do que as geometrias testadas em 2010. A potencia específica do escoamento foi a variável hidráulica que mais influenciou a performance dos peixes. Potência específica do escoamento de 150 a 200 W.m⁻³ parece adequada à passagem dos peixes. Valores menores parecem reduzir a performance dos peixes.

EQUIPE TÉCNICA

Alexandre Godinho (coordenador de peixes): Universidade Federal de Minas Gerais

Ricardo Junho (coordenador da hidráulica): Hídricon

Boyd Kynard (consultor internacional): BK Riverfish Inc.

Donald Pugh (consultor internacional): BK Riverfish Inc.

Gabriel Torquato: Biólogo CRBio 62363/04 – D

Raoni Rodrigues: Biólogo Pleno CRBio 57417/04 – D

BIBLIOGRAFIA

- Barton, B. A. & Iwama, G. K. 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases* 1:3–26.
- Braun, N.; Lima, R. L.; Baldisserotto, B.; Dafre, A. L.; Nuñez, A. P. O. 2010. Growth, biochemical and physiological responses of *Salminus brasiliensis* with different stocking densities and handling. *Aquaculture* 301: 22–30.
- Castro-Santos, T & Haro, A. 2010. Fish guidance and passage at barriers. In: Domenici P. & Kapoor, B.G. *Fish locomotion*. Enfield, Science Publishers.
- Dytham, C. 2003. *Choosing and using statistics: a biologist's guide*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Hasan, M. & Bart, A. N. 2007. Effects of capture, loading density and transport stress on the mortality, physiological responses, bacterial density and growth of rohu *Labeo rohita* fingerlings. *Fish Physiol Biochem* 33: 241–248.

- Larinier, M. 2002. Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 364(suppl.): 54-82.
- Orsborn, J.F. 1987. Fishways—historical assessment of design practices. *American Fisheries Society Symposium* 1: 122–130.
- Sho, S.J.; Caldwell, C.A.; Gould, W.R. 2009. Physiological Stress Responses of Rio Grande Silvery Minnow: Effects of Individual and Multiple Physical Stressors of Handling, Confinement, and Transport. *North American Journal of Fisheries Management* 29: 1698–1706.
- Snedecor, George W. and Cochran, William G. 1989. *Statistical Methods*, Eighth Edition, Iowa State University Press.
- Sokal, R. R. & Rohlf, F. J. 1995. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 3rd edition. W. H. Freeman and Co.: New York.

TABELAS & FIGURAS

Tabela 1: Média (Mínimo – Máximo) das variáveis hidráulicas estimadas para os dois tanques do CET por tratamento.

Variável hidráulica	Tratamento 1	Tratamento 2
	Tanque 3	
Carga hidráulica (cm)	0,30 (0,20 – 0,40)	0,36 (0,25 – 0,48)
Velocidade (m.s ⁻²)	2,41 (1,98 – 2,80)	2,65 (2,21 – 3,07)
Potência específica (W.m ⁻³)	104,25 (55,82 – 152,96)	169,77 (33,41 – 355,38)
Profundidade média (m)	2,35 (1,40 – 3,00)	2,13 (1,15 – 3,55)
	Tanque 2	
Carga hidráulica (cm)	0,22 (0,18 – 0,33)	0,27 (0,10 – 0,40)
Velocidade (m.s ⁻²)	2,09 (1,88 – 2,54)	2,28 (1,40 – 2,80)
Potência específica (W.m ⁻³)	71,45 (31,57 – 107,79)	122,36 (11,39 – 300,75)
Profundidade média (m)	2,58 (1,65 – 3,20)	2,31 (1,35 – 3,75)

Tabela 2: Relação das espécies testadas no CET em 2011 (N = número total de indivíduos marcados; N1 = número de indivíduos marcados no tratamento 1; N2 = número de indivíduos marcados no tratamento 2; CP = comprimento padrão.)

Taxon	Nome comum	N	N1	N2	Média de CP (Mínimo – Máximo)
Doradidae					
<i>Megalodoras uranoscopus</i>	Bacu	1	1	0	56.0
<i>Oxydoras niger</i>	Cuiu-cuiu	7	2	5	40.6 (29.5 – 68.0)
<i>Pterodoras granulosus</i>	Bacu	2	0	2	62.5 (62.0 – 63.0)
Loricariidae					
<i>Hypostomus</i> sp.	Bodó	1	0	1	21.0
Pimelodidae					
<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Filhote	26	4	22	89.2 (63.0 – 148.0)
<i>Brachyplatystoma platynemum</i>	Babão	75	47	28	63.7 (41.0 – 76.0)
<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	Dourada	42	21	21	82.0 (61.0 – 104.0)
<i>Brachyplatystoma tigrinum</i>	Zebra	5	5	0	54.2 (43.0 – 76.0)
<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	Piramutaba	35	3	32	43.6 (33.0 – 61.0)
<i>Leiarinus marmoratus</i>	Jundiá	7	0	7	46.3 (34.0 – 51.0)
<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>	Pirarara	5	0	5	95.8 (80.0 – 113.0)
<i>Pinirampus pinirampu</i>	Barba-chata	71	8	63	42.0 (31.0 – 56.0)
<i>Platynemichthys notatus</i>	Coroatá	2	1	1	59.5 (49.0 – 70.0)
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubim	141	50	91	60.2 (42.0 – 93.0)
<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Caparari	1	0	1	54.0
<i>Sorubimichthys planiceps</i>	Peixe-lenha	15	0	15	92.3 (75.0 – 108.0)
<i>Zungaro zungaro</i>	Jaú	58	3	55	53.2 (36.0 – 94.0)
Characidae					
<i>Brycon malanopterus</i>	Jatuarana	9	9	0	32.4 (31.0 – 35.0)
Prochilodontidae					
<i>Prochilodus nigricans</i>	Curimba	3	3	0	29.5 (26.0 – 33.5)
Serrasalminidae					
<i>Colossoma macropomum</i>	Tambaqui	4	1	3	37.0 (32.0 – 43.0)
TOTAL		512	157	355	

Tabela 3: Número de detecções perdidas e percentagem de falha (PF) por transecto vertical, teste e direção do movimento (M = para montante, J = para jusante). T6 parou de funcionar em 30/04.

Transecto	Tratamento 1			Tratamento 2			Total		
	M	J	PF	M	J	PF	M	J	PF
T2	11	21	2,0%	13	51	2,5%	24	72	2,3%
T3	49	34	5,6%	7	5	1,0%	56	40	3,6%
T5	1	2	1,1%	0	1	0,3%	1	3	0,6%
T6	58	23	34,6%	210	52	335,9%	268	75	109,9%

Tabela 4: Número total de indivíduos detectados pela última por transecto e tratamento. Espécies-alvo ordenadas à frente das demais.

Espécie	Transecto									%	Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Tratamento 1											
Babão	6	33							8	17,0	47
Dourada		13	1			1			6	33,3	21
Zebra		1							4	80,0	5
Bacu		1								0,0	1
Barba-chata	3	2					1		2	37,5	8
Coroatá		1								0,0	1
Cuiu-cuiu		1							1	50,0	2
Curimba		3								0,0	3
Filhote		1							3	75,0	4
Jatuarana	1	7								0,0	8
Jaú		1							2	66,7	3
Piramutaba		1							1	50,0	2
Surubim	12	2			3				33	66,0	50
Tambaqui		1								0,0	1
Todas	22	68	1		3	1	1		60	39,7	156
Tratamento 2											
Babão		21	2			1			4	17,9	28
Dourada	1	11	1						7	35,0	20
Bacu									2	100,0	2
Barba-chata	4	15	3	1				1	38	62,9	62
Caparari									1	100,0	1
Cascudo		1								0,0	1
Coroatá		1								0,0	1
Cuiu-cuiu	1	3	1							0,0	5
Filhote		12	3						7	31,8	22
Jaú	6	3	4	2		2		1	36	72,2	54
Jundiá		4	1	1					1	14,3	7
Peixe-lenha									15	100,0	15
Piramutaba		11	3	1					16	51,6	31
Pirarara	1								4	80,0	5
Surubim	2	15	7			2		1	59	72,1	86
Tambaqui		3								0,0	3
Todas	15	100	25	5		5		3	190	57,7	343
Total Geral	37	168	26	5	3	6	1	3	250	52,1	499

Tabela 5: Média do tempo total no canal e número de indivíduos (N) por espécie e tratamento, considerando apenas os indivíduos que deixaram o canal. Espécies-alvo ordenadas antes das demais.

Espécie	Tratamento 1		Tratamento 2		Total	
	N	Média	N	Média	N	Média
Babão	8	9:08:36	5	2:28:40	13	6:34:47
Dourada	7	27:50:10	7	6:24:04	14	17:07:07
Zebra	4	55:21:56			4	55:21:56
Bacu			2	46:43:00	2	46:43:00
Barba-chata	3	198:57:11	39	30:46:28	42	42:47:14
Caparari			1	85:39:41	1	85:39:41
Cuiu-cuiu	1	5:42:22			1	5:42:22
Filhote	3	71:21:14	7	19:41:08	10	35:11:10
Jaú	2	46:03:13	39	37:00:57	41	37:27:24
Jundiá			1	0:06:40	1	0:06:40
Peixe-lenha			15	9:30:57	15	9:30:57
Piranutaba	1	15:08:24	16	70:41:13	17	67:25:10
Pirarara			4	8:20:13	4	8:20:13
Surubim	33	54:42:11	62	61:06:58	95	58:53:19

Tabela 6: Média do tempo para passar os defletores por espécie e tratamento. Espécies-alvo ordenadas antes das demais.

Espécie	Tratamento 1		Tratamento 2	
	D2	D3	D2	D3
Babão	0:05:33	0:00:41	0:00:30	0:00:47
Dourada	0:00:28	0:00:50	0:00:13	0:00:48
Zebra	0:00:06	0:00:40		
Bacu			0:00:17	0:00:07
Barba-chata	0:01:15	0:08:46	0:03:55	0:01:14
Caparari			0:00:59	0:00:07
Cuiu-cuiu	0:00:27	0:02:32		
Filhote	0:00:49	0:00:32	0:01:02	0:03:40
Jaú	0:01:03	0:14:07	0:08:04	0:04:14
Jundiá			0:00:33	0:00:23
Peixe-lenha			0:00:24	0:02:15
Piramutaba			0:03:57	0:01:26
Pirarara			0:00:14	0:00:10
Surubim	0:04:25	0:04:25	0:03:42	0:02:43
Tambaqui	0:00:04			

Tabela 7: Média do tempo total nos tanques T2 e T3 por espécie e tratamento. Espécies-alvo ordenadas antes das demais.

Espécie	Tratamento 1		Tratamento 2	
	T2	T3	T2	T3
Babão	10:28:18	2:47:47	2:27:27	2:17:43
Dourada	9:24:59	1:30:32	8:01:12	0:42:59
Zebra	46:52:21	1:33:38		
Bacu			6:59:26	0:07:21
Barba-chata	28:07:15	37:21:20	19:38:10	1:42:17
Caparari			84:51:51	0:20:40
Coroatá	15:22:09			
Cuiu-cuiu	5:11:50	0:04:44		
Curimba	0:02:01			
Filhote	45:38:46	8:18:42	4:57:10	3:31:07
Jatuarana	0:01:44			
Jaú	20:56:24	5:11:37	21:14:52	4:05:39
Jundiá			0:39:36	
Peixe-lenha			3:39:44	1:06:20
Piramutaba	71:14:04		18:27:21	16:26:02
Pirarara			0:05:50	0:22:17
Surubim	19:21:44	4:20:04	37:15:28	7:13:37
Tambaqui	8:12:05	104:30:32	0:02:42	



Figura 1: Localização do CET (linha amarela) na cachoeira do Teotônio. (Imagem: Google Earth).

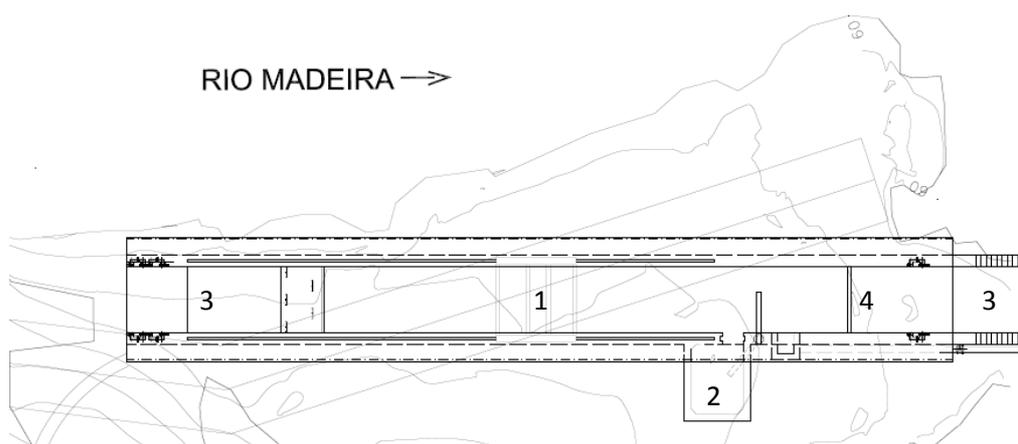
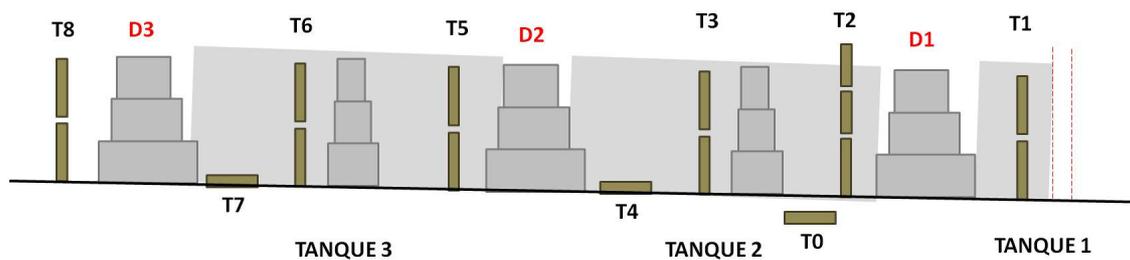
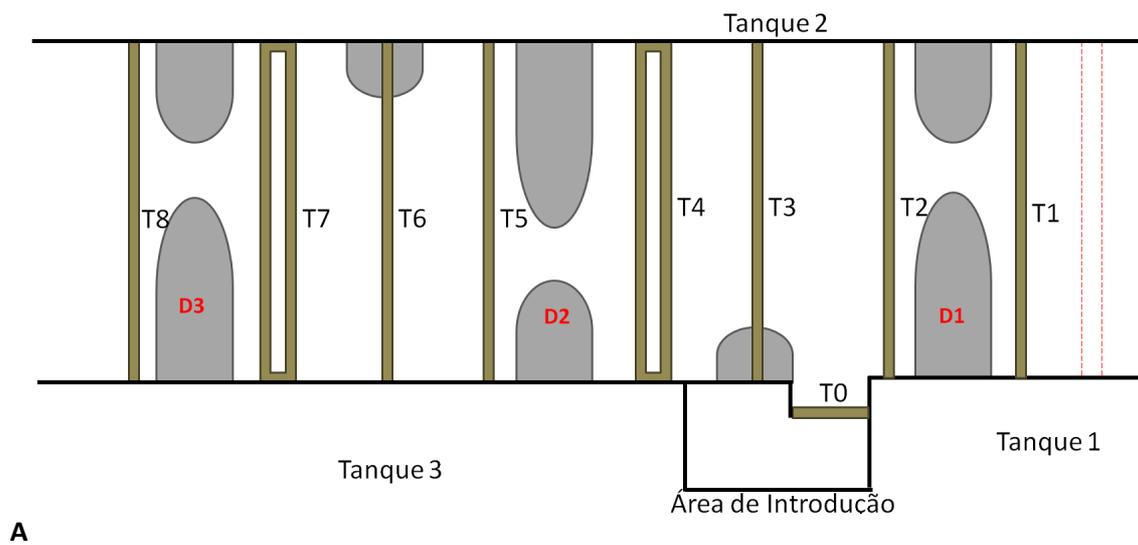


Figura 2: Planta baixa do CET. 1: seção com dissipadores de energia; 2: tanque lateral; 3: comportas ensecadeiras; 4: tela metálica.



B
Figura 3: Esquema em planta baixa (A) e em corte transversal (B) mostrando a posição dos dissipadores, das antenas do SIRF e o número de antenas por transecto nos tratamentos do CET em 2011. (D = dissipadores. T = transectos das antenas SIRF. Linhas pontilhadas vermelhas representam telas. T4 e T7 posicionados no fundo do canal, paralelos ao chão.)



Figura 4: Dissipadores construídos no CET em 2011. As molduras de madeiras dão suporte às antenas do SIRF. (A: largura da ranhura de 1,1 m (tratamento 1); B: largura da ranhura de 1,6 m (tratamento 2)).



Figura 5: Pesca com rede de deriva (çaçoeira) no rio Madeira para a pesca da dourada. (A: pescadores lançando a rede (foto: Donald Pugh). B: vista de cima, cada um dos barcos segura uma ponta da rede.)



Figura 6: Caminhão com a caixa de transporte de peixes de 2.600 L, utilizada para transporte dos exemplares capturados próximos à cachoeira de Santo Antônio. Foto: Donald Pugh.



Figura 7: Logística da pesca nos igarapés próximos à cachoeira do Teotônio. Cada equipe de pescador recebeu um tanque-rede onde os peixes capturados ficavam até serem transportados para o CET.



Figura 8: Plataforma com os tanques onde os peixes foram mantidos antes de serem soltos.



Figura 9: Metodologia de marcação dos peixes. A: medição do tamanho de um filhote; B: Etiqueta PIT preso em um anzol, preso na nadadeira adiposa de uma pirarara. Fotos: Luiz Rocha.



Figura 10: Método de soltura dos peixes na área de introdução com auxílio de maca e guincho elétrico. Foto: Luiz Rocha

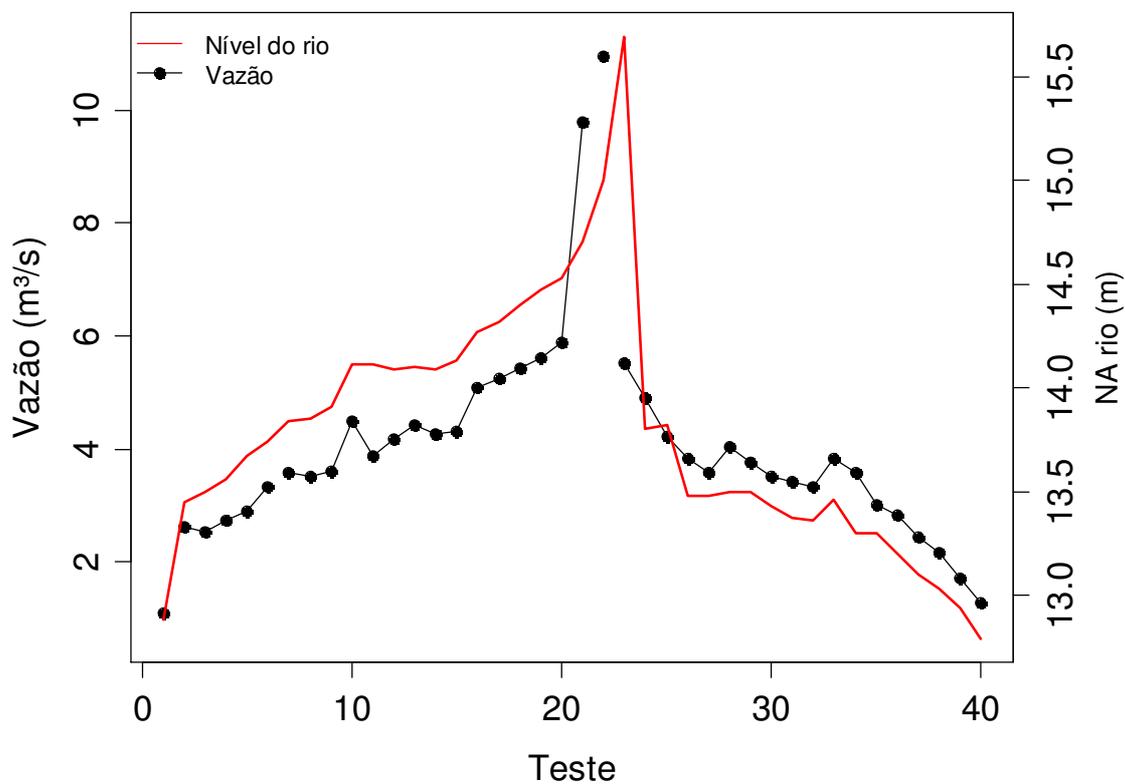


Figura 11: Vazão no CET e nível da água do rio Madeira durante os testes realizados em 2011.

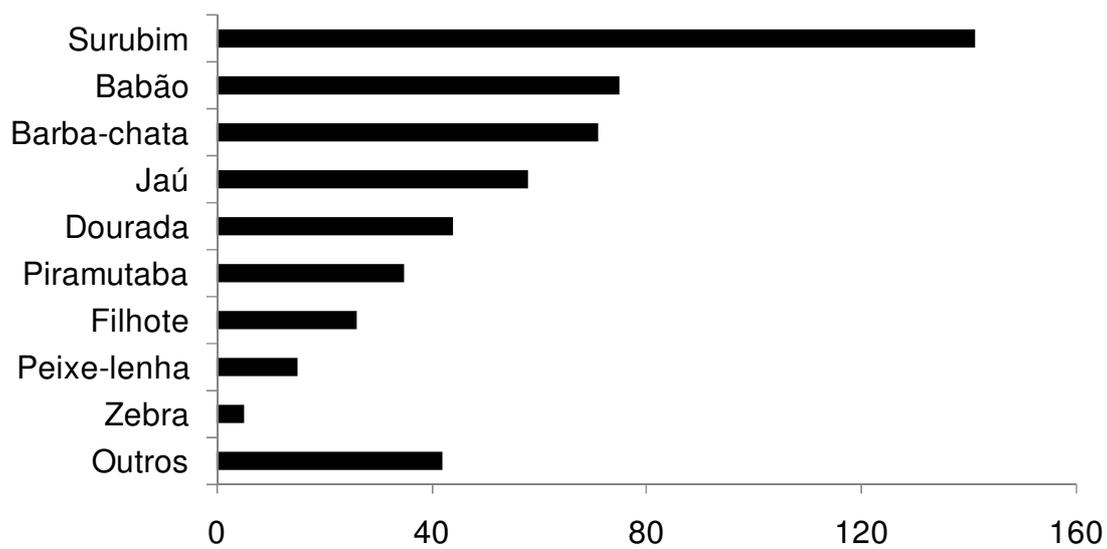


Figura 12: Número de peixes testados por espécie.



Figura 13: Douradas capturadas para teste, mas predadas por botos (A e B) e por candirus (C e D).

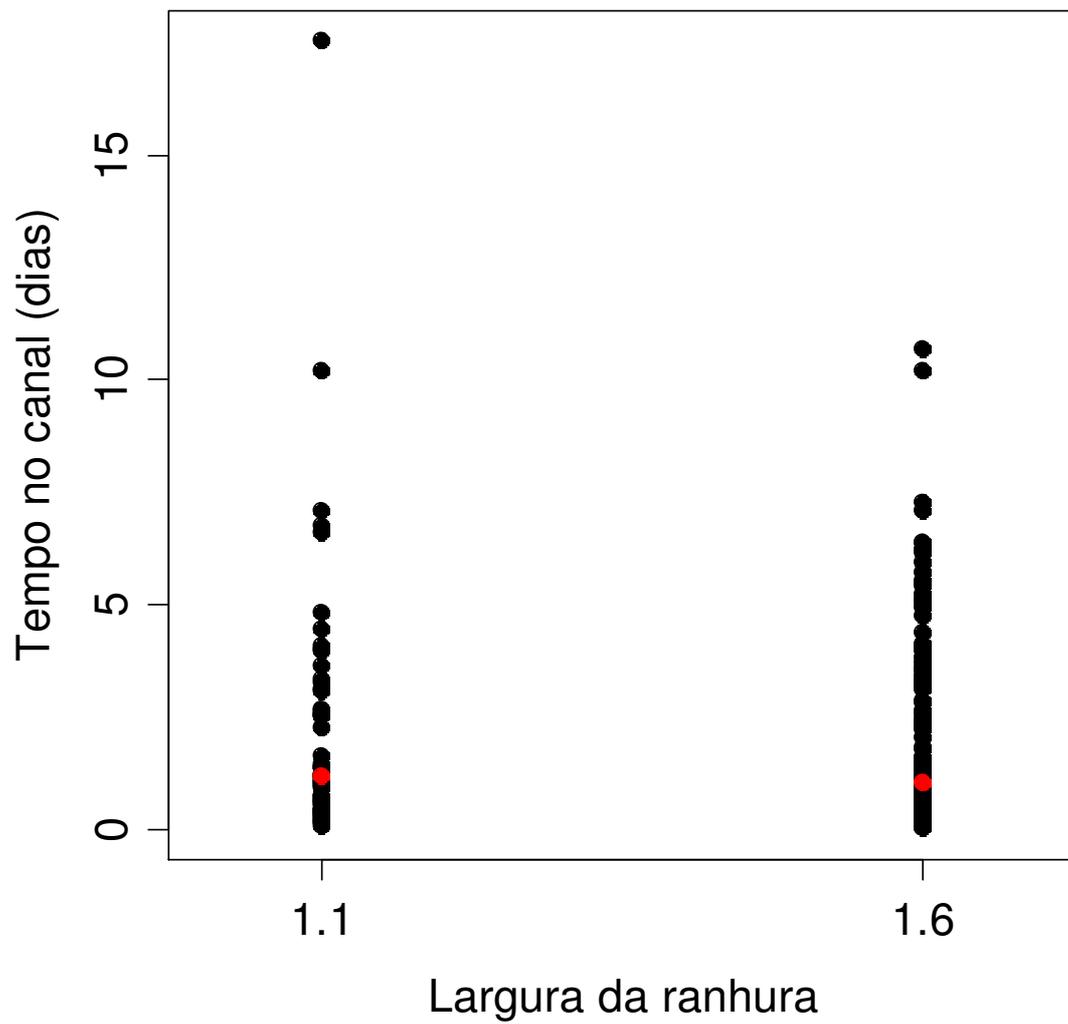


Figura 14: Tempo total no canal por largura da ranhura. Os pontos vermelhos representam a mediana.

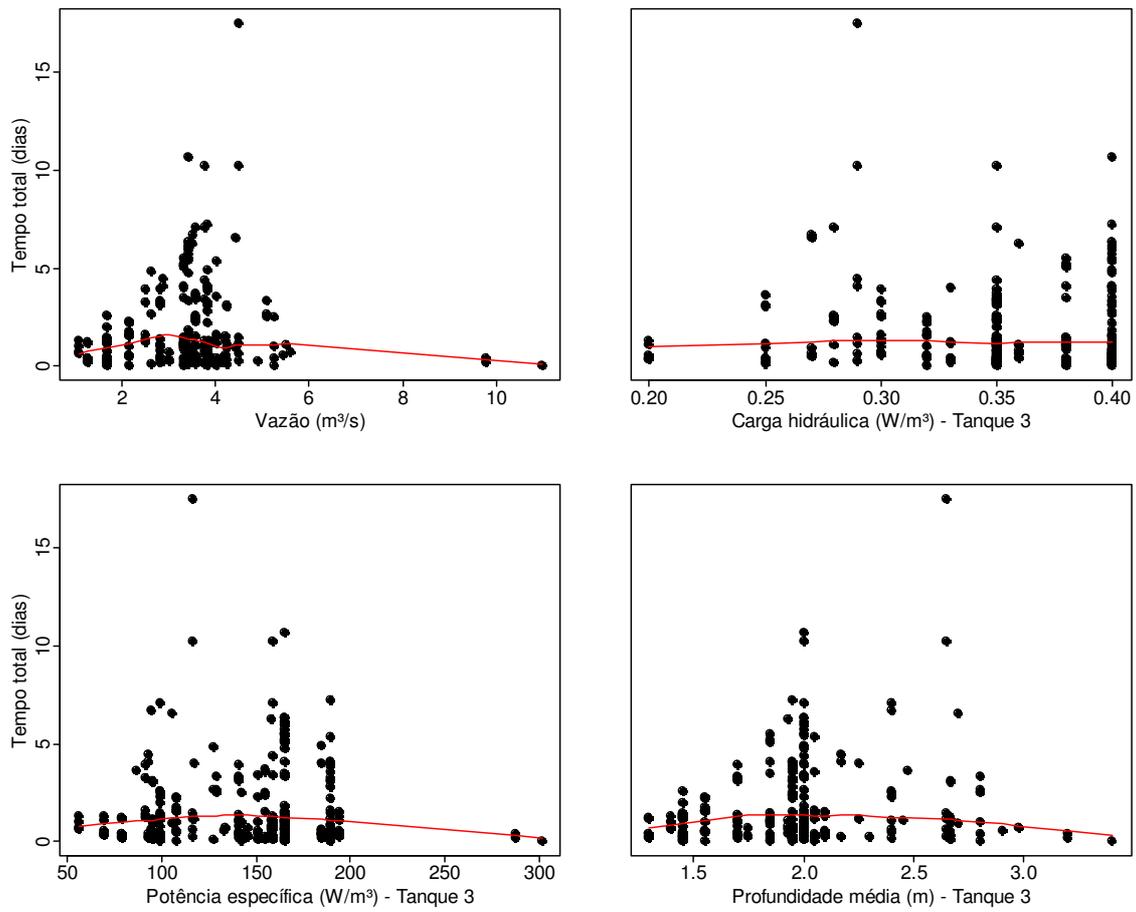


Figura 15: Relação entre tempo total no canal com algumas variáveis hidráulicas. A linha vermelha representa a linha de tendência dos pontos.

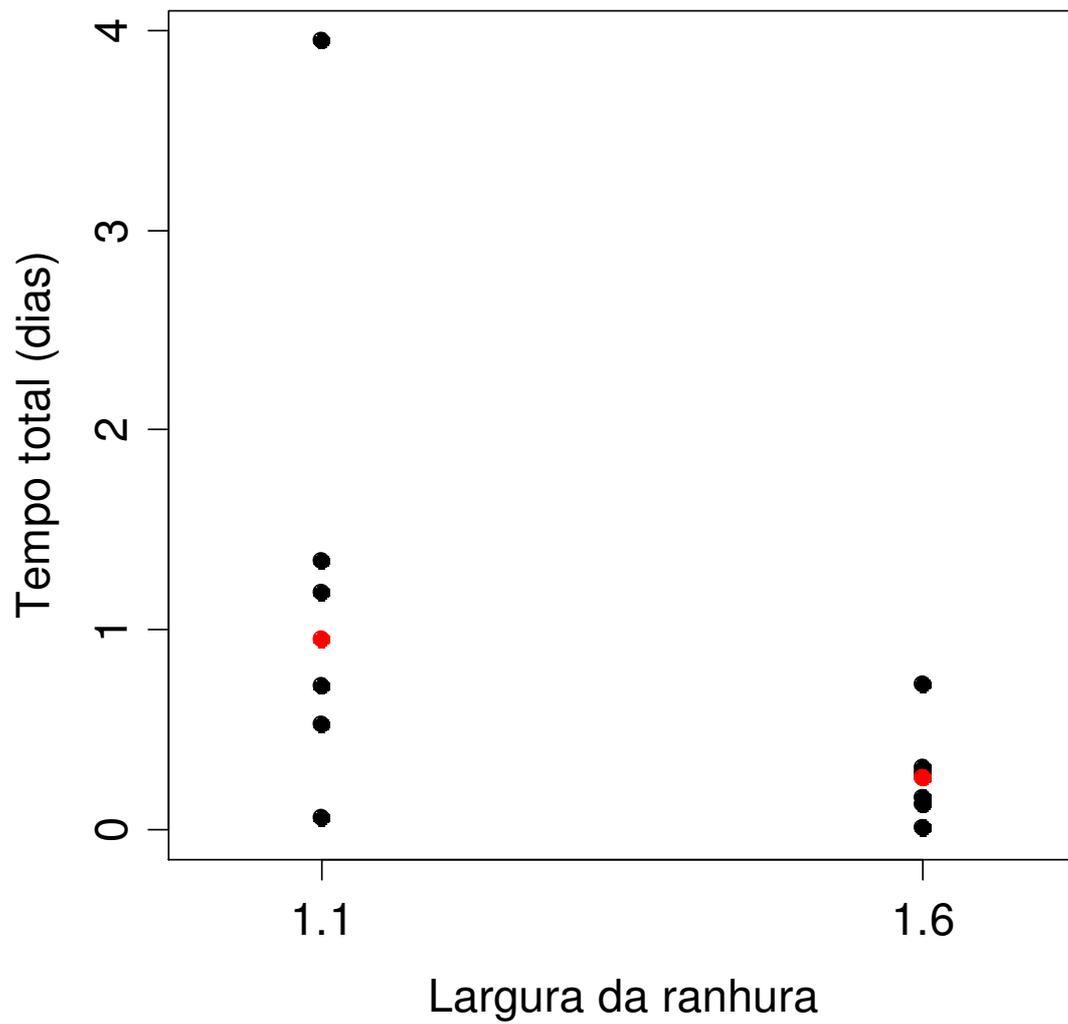


Figura 16: Tempo total no canal da dourada para as duas larguras da ranhura. Os pontos vermelhos representam as medianas.

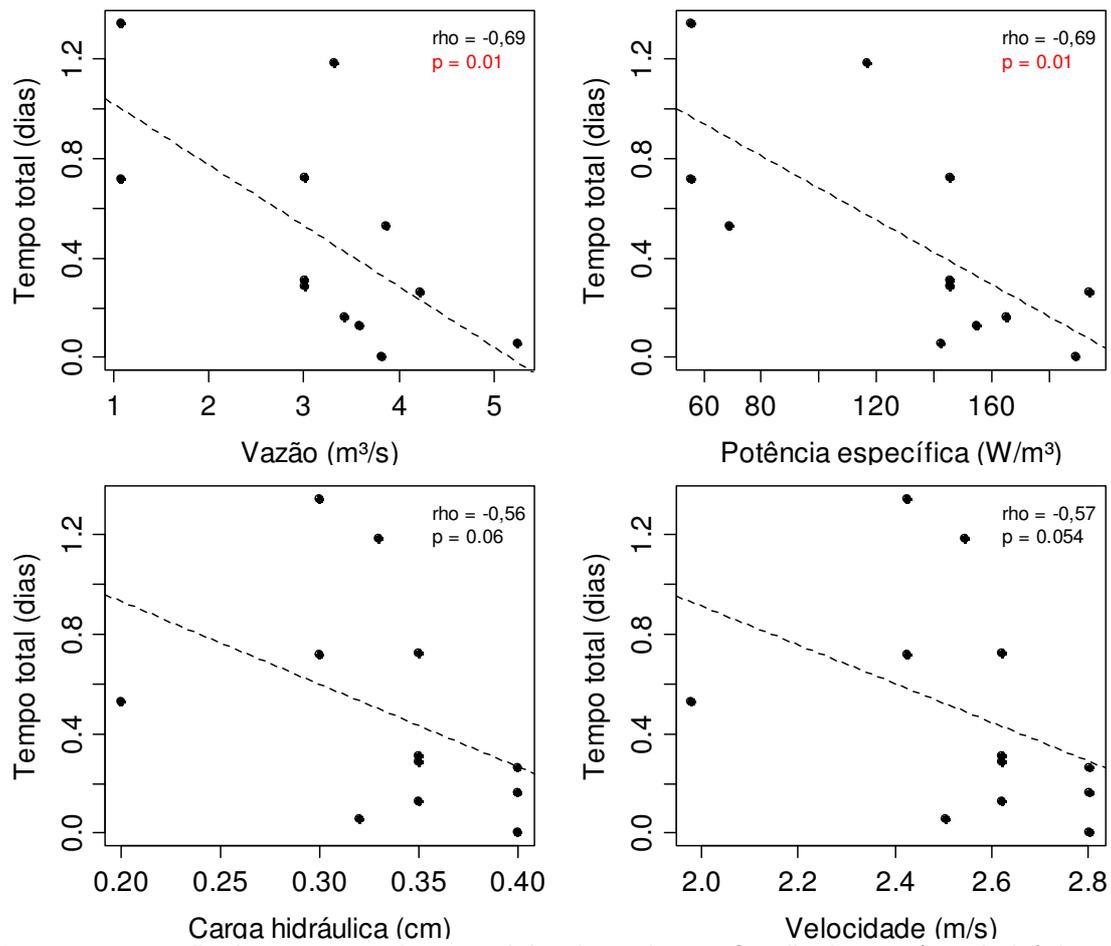


Figura 17: Variação do tempo total no canal das douradas em função das variáveis hidráulicas. Correlações significativas estão marcadas em vermelho.

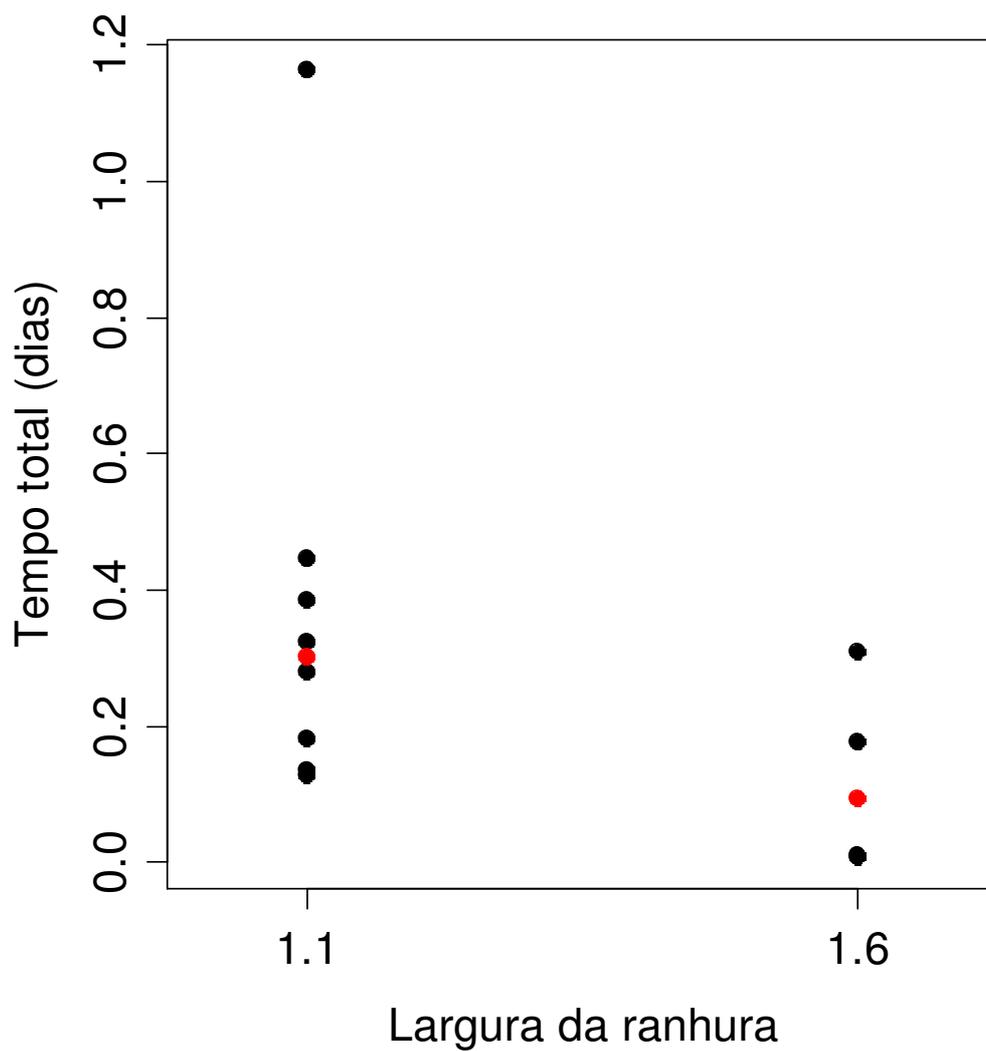


Figura 18: Tempo total no canal do babão por largura da ranhura. Os pontos vermelhos representam a mediana.

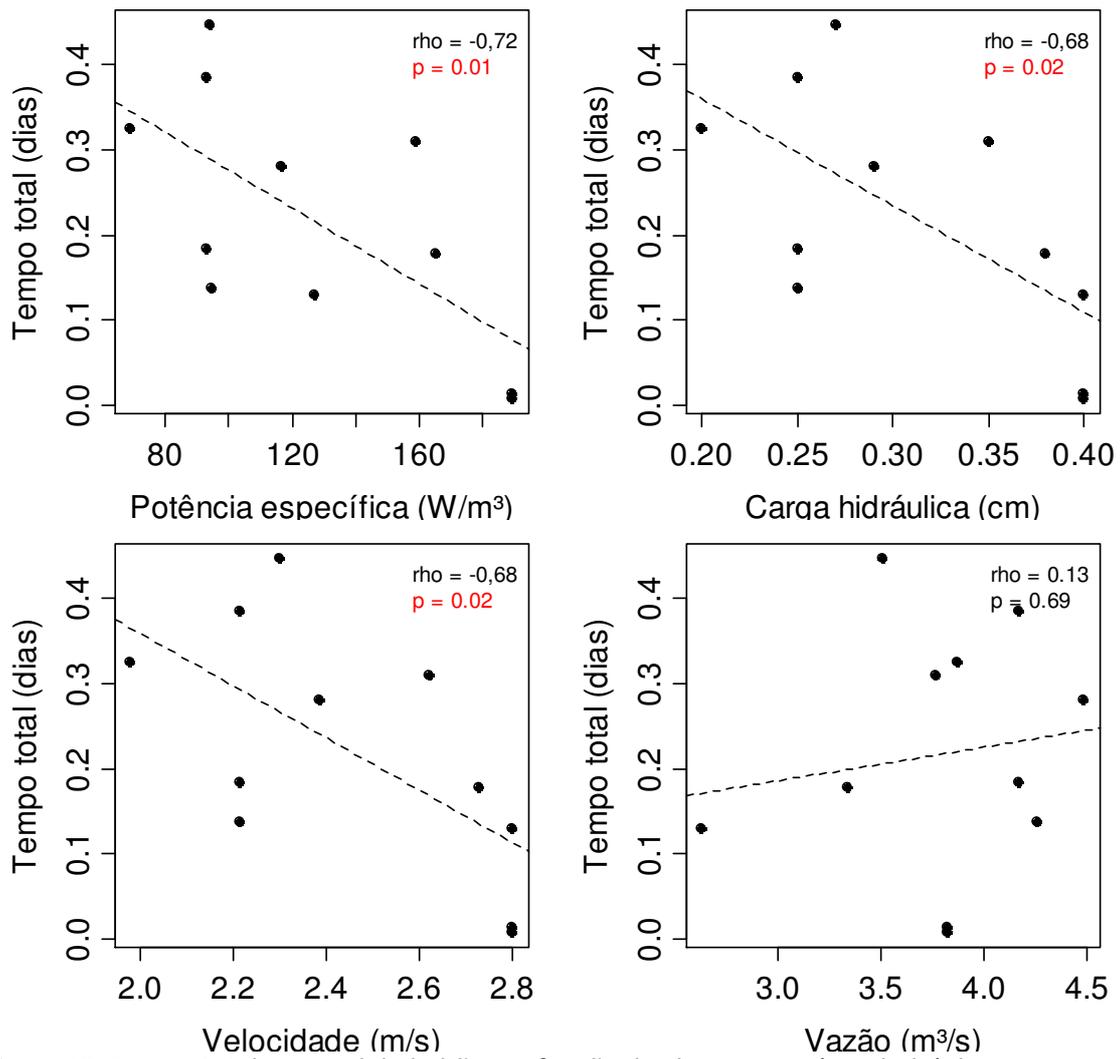


Figura 19: Tempo total no canal do babão em função de algumas variáveis hidráulicas. Correlações significativas estão marcadas em vermelho.

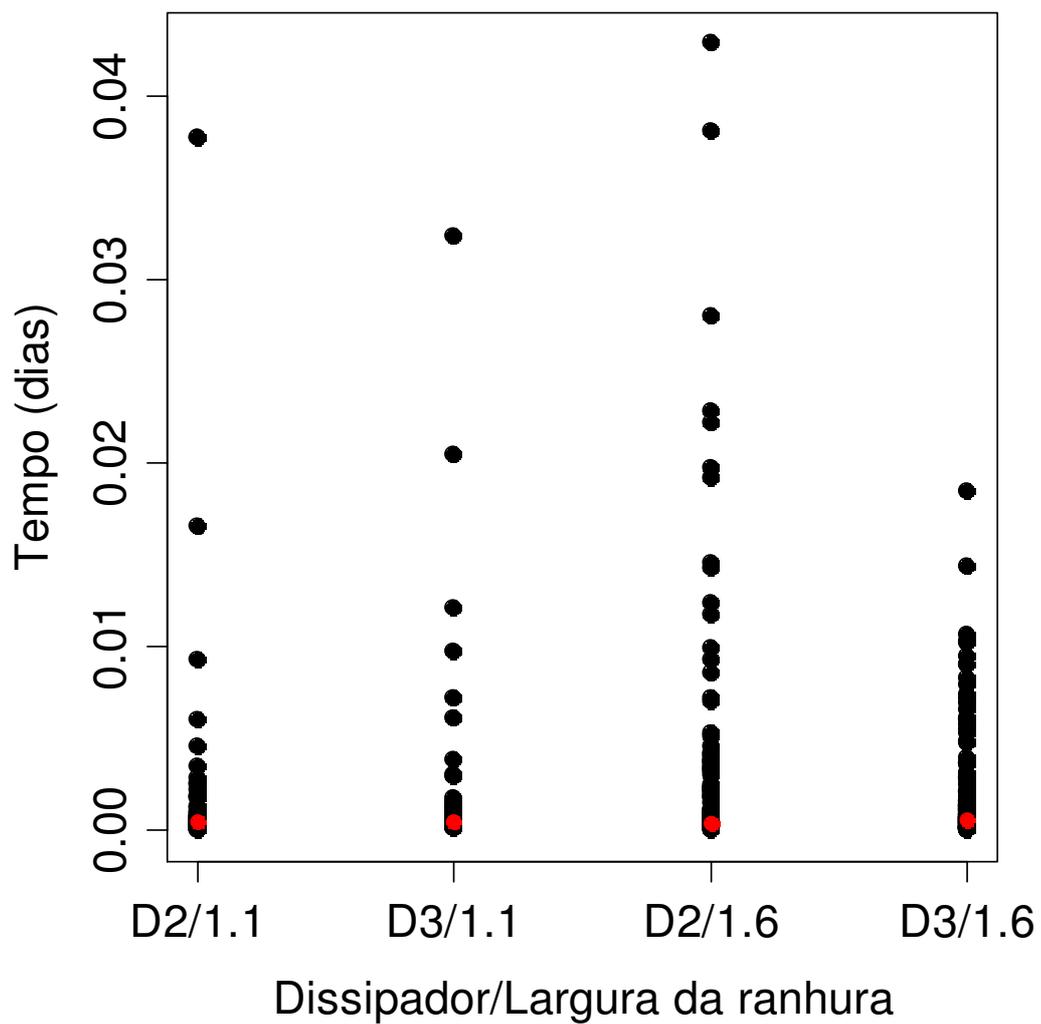


Figura 20: Tempo para passar o dissipador nas larguras da ranhura de 1,1 e 1,6 m. Ponto vermelho representa a mediana. (0,04 dia \approx 1 h).

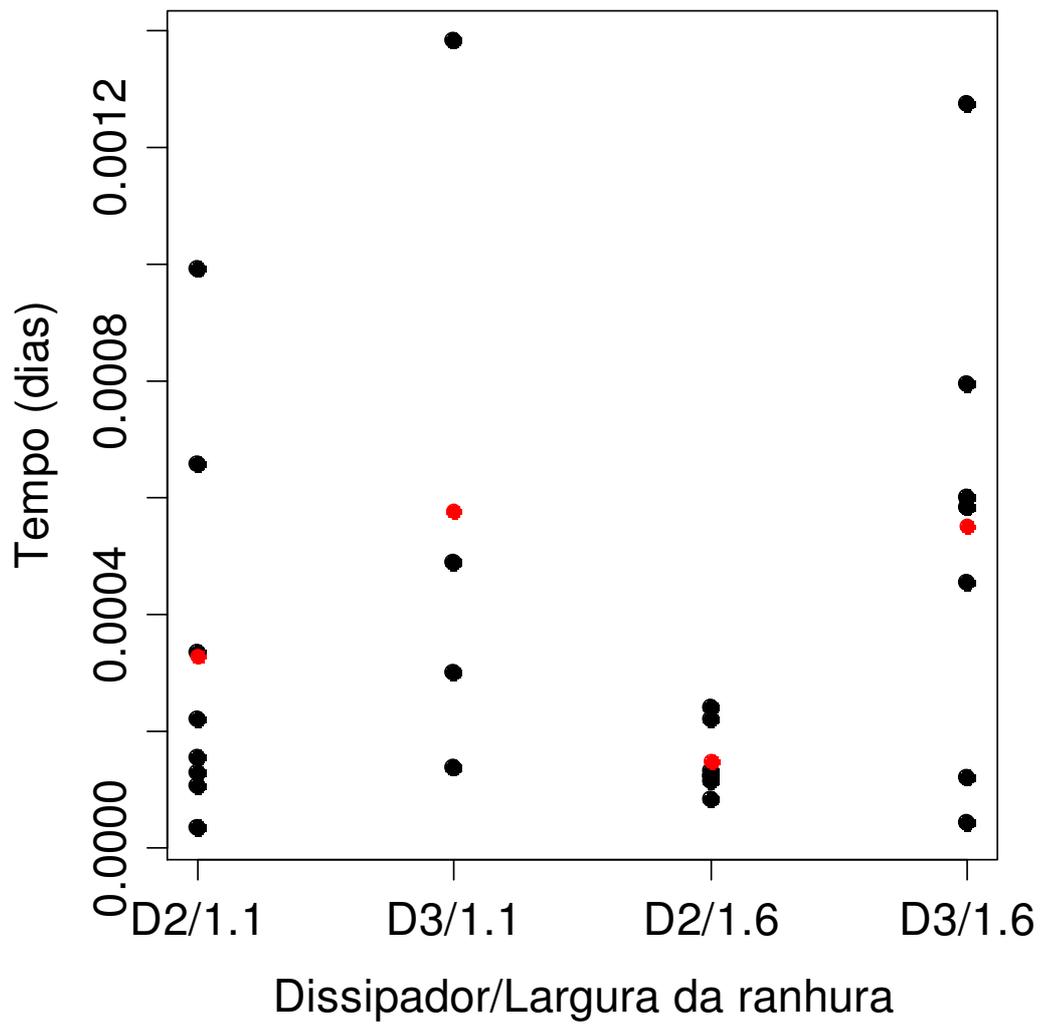


Figura 21: Tempo para passar o dissipador das douradas nas larguras da ranhura de 1,1 e 1,6 m. Os pontos vermelhos representam a média dos tratamentos. (0,004 dias \approx 30 segundos).

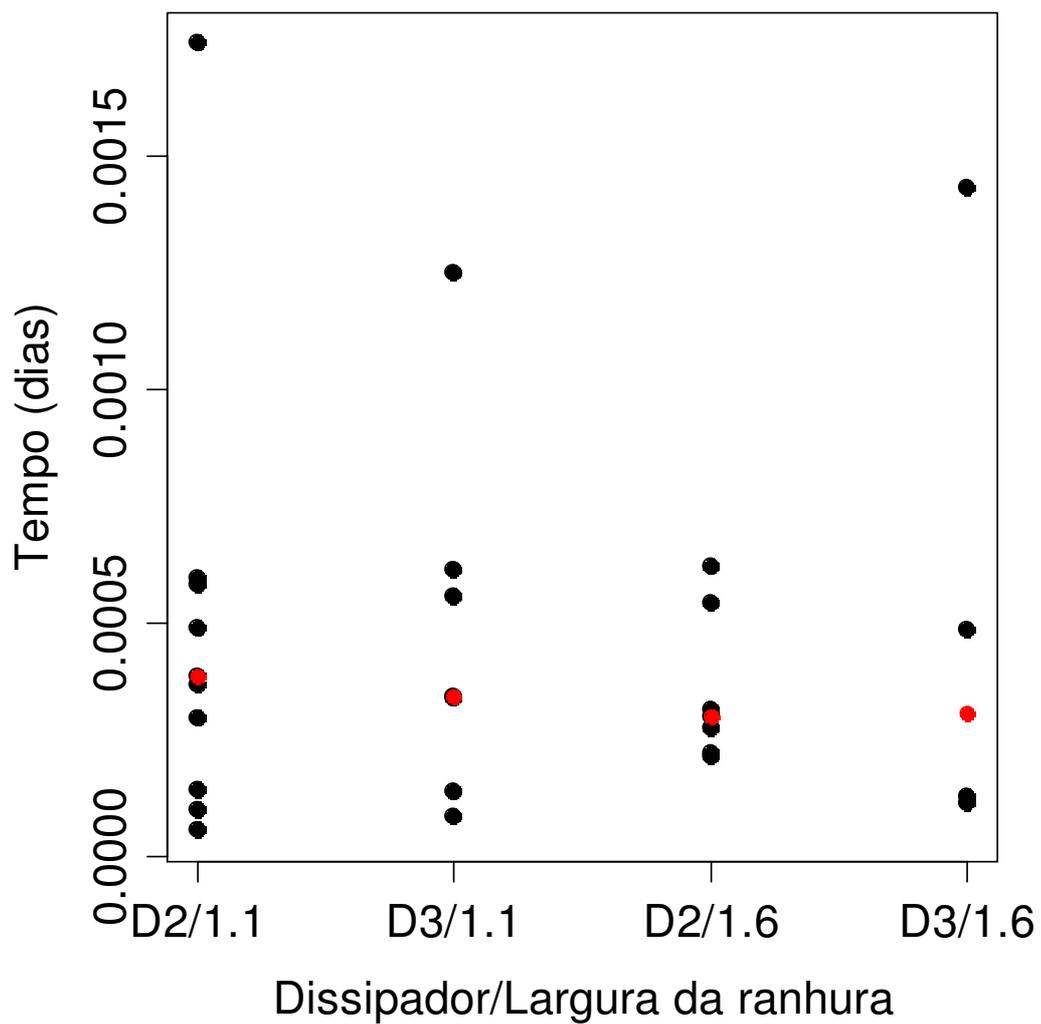


Figura 22: Tempo para passar o dissipador dos babões nas larguras da ranhura de 1,1 e 1,6 m. Os pontos vermelhos representam a média. (0,004 dias \approx 30 segundos).

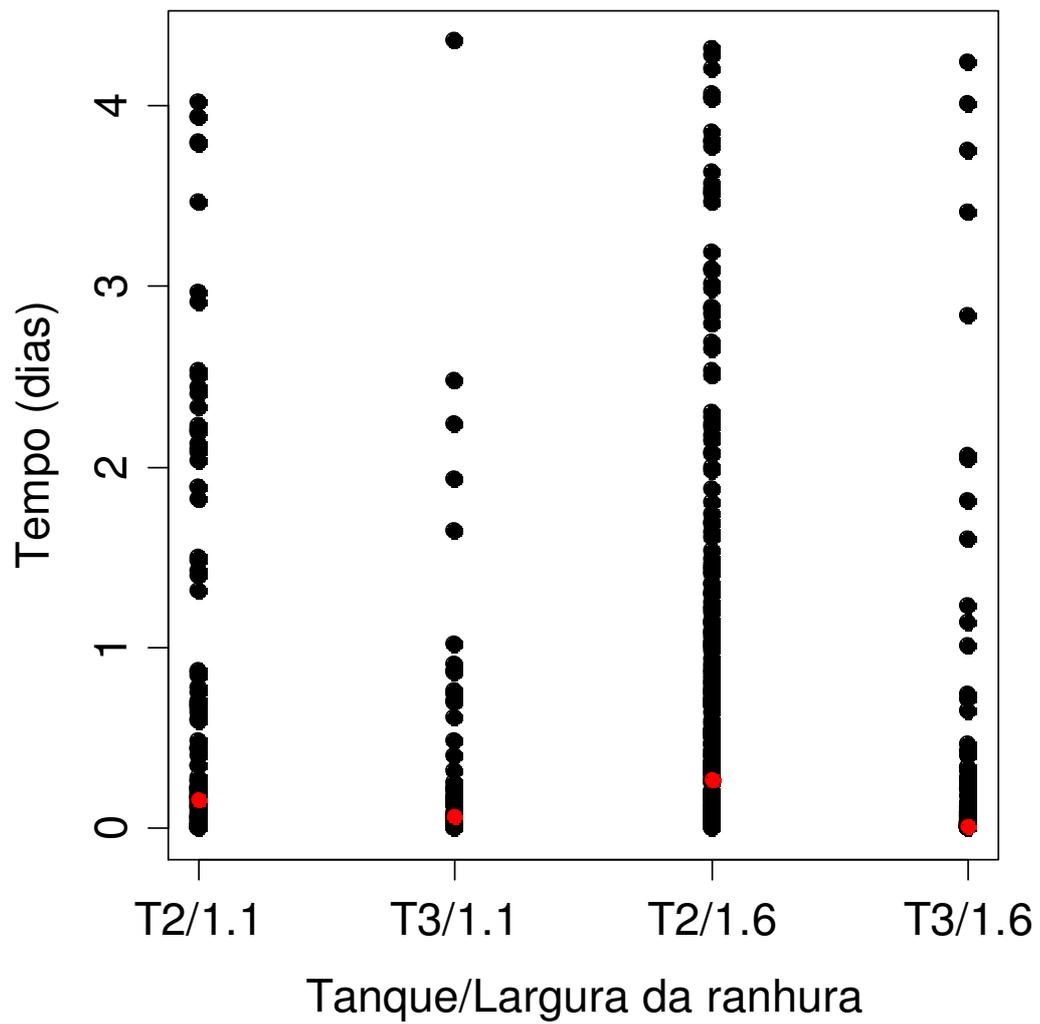


Figura 23: Tempo total nos taques T2 e T3 para todas as espécies nas larguras da ranhura de 1,1 e 1,6 m. Os pontos vermelhos representam a mediana.

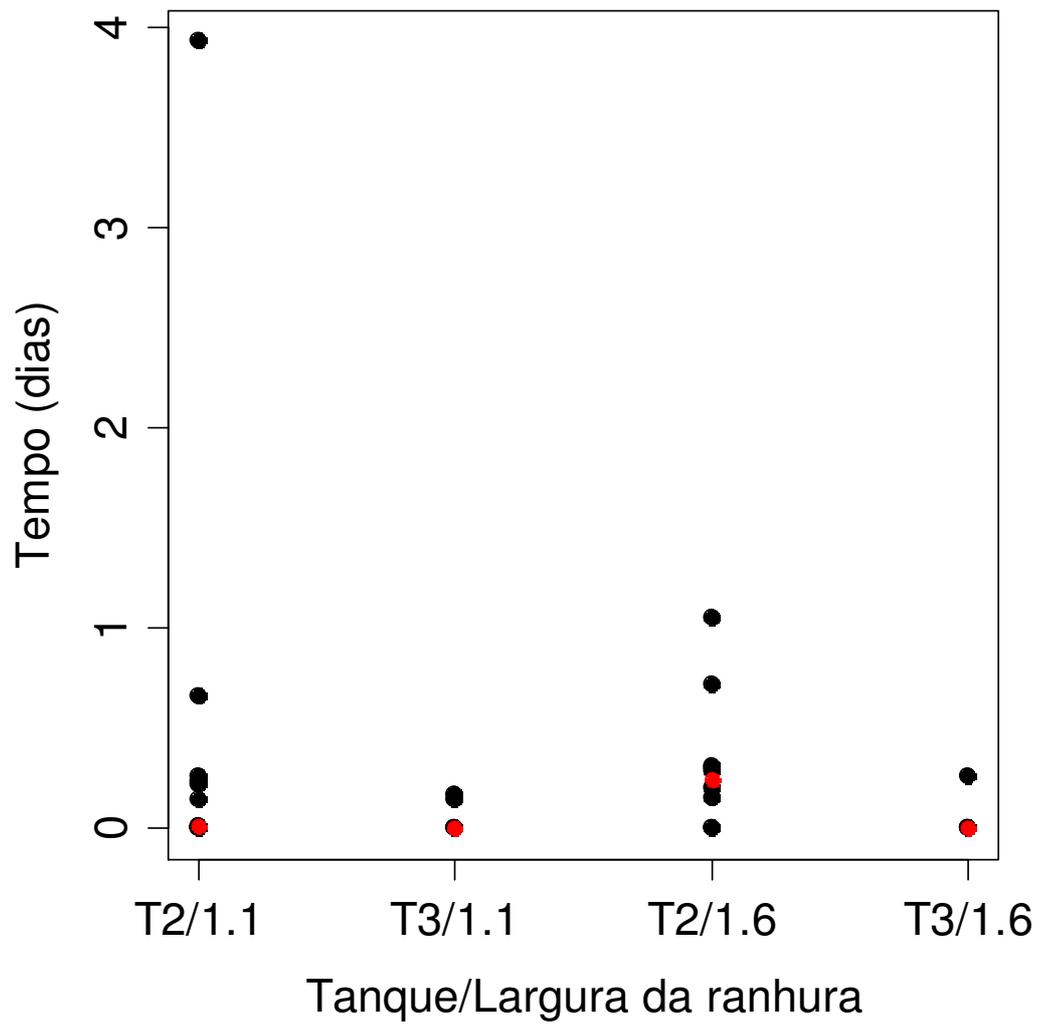


Figura 24: Tempo total nos tanques T2 e T3 da dourada para as larguras da ranhura de 1,1 e 1,6 m. Os pontos vermelhos representam as medianas.

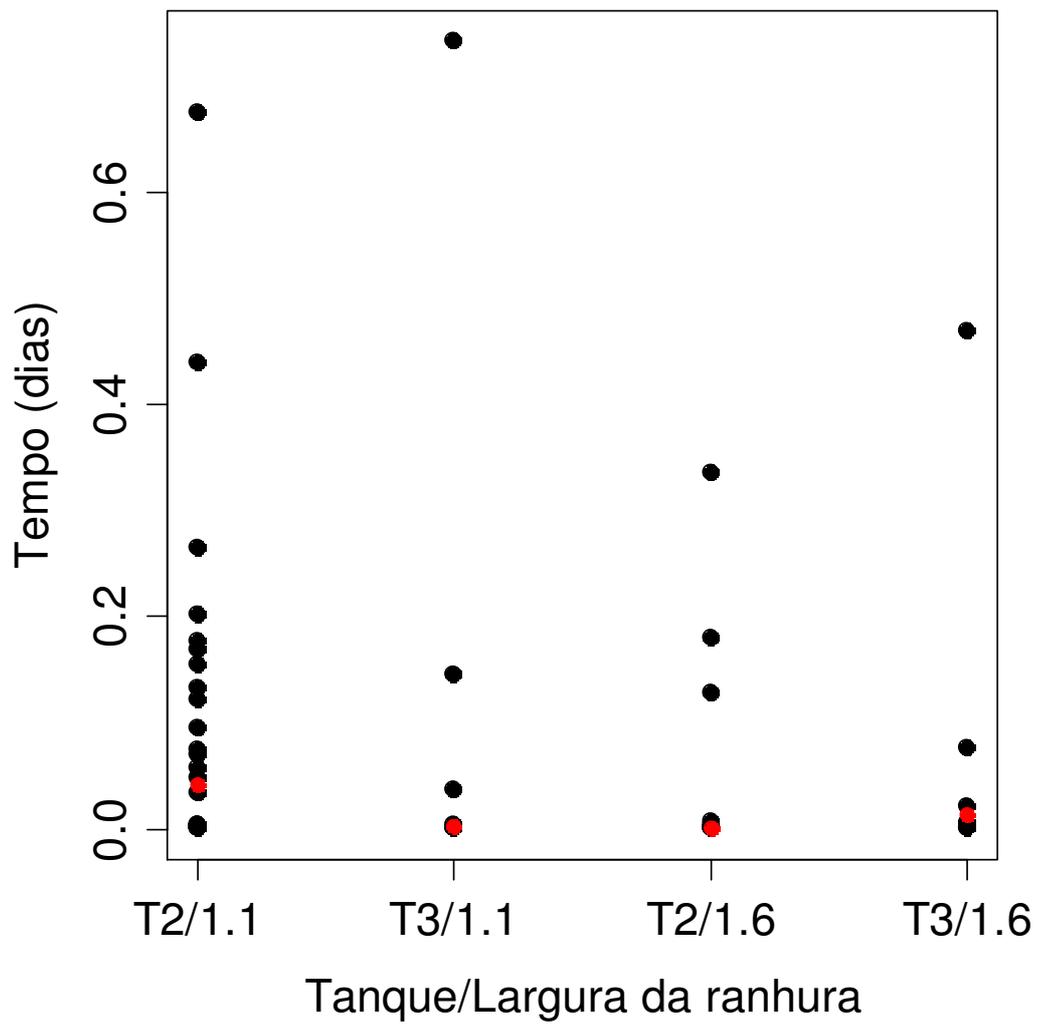


Figura 25: Tempo total no tanque 2 e 3 dos babões para as larguras da ranhura de 1,1 e 1,6 m. Os pontos vermelhos representam as medianas.



Figura 26: Escoriações causadas na epiderme da dourada devido à captura com redes de caçoeira. A: comparação com o filhote, cuja epiderme é mais firme (Foto: Maurício José Correia). B: exemplar de dourada com a lesões na epiderme causada pelas redes e ferimento lateral causado pela própria nadadeira peitoral do animal, ao ser pressionada pela rede para junto do corpo (Foto: Luiz Rocha). C: dourada não lesionada capturada com espinhel.