

USO DE IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA (RFID) PARA O MONITORAMENTO DE PEIXES NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS DA BACIA DO RIO ITAPANHAÚ PARA ABASTECIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Priscila Pantaleoni Mariaca⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Presbiteriana Mackenzie, Especialista (Lato Sensu) em Engenharia de Controle de Poluição Ambiental - Faculdade de Saúde Pública - FSP/USP, Especialista (Lato Sensu) em Gestão de Sustentabilidade - Fundação Getúlio Vargas - FGV, MBA em Parcerias Público Privadas e Concessões - Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo - FESPSP, Gerente de Departamento de Projetos e Soluções de Engenharia - SABESP.

Domingos Garrone Neto⁽²⁾

Biólogo, Doutor em Ciências Biológicas (A/C Zoologia), Docente e Pesquisador da Universidade Estadual Paulista – UNESP – *Campi* de Registro e do Litoral Paulista, Consultor do Consórcio PRIME-AQUÁTICA.

Gabriel Raposo Silva de Souza⁽³⁾

Biólogo, Mestre em Biodiversidade de Ambientes Costeiros, Consultor do Consórcio PRIME-AQUÁTICA.

Hugo Marques⁽⁴⁾

Biólogo, Doutor em Ciências Biológicas (A/C Zoologia), Diretor técnico da Fishtag Consultoria Ambiental Ltda., Consultor do Consórcio PRIME-AQUÁTICA

Vilmar Antônio Rodrigues⁽⁵⁾

Engenheiro Agrimensor, Mestre e Doutor em Agronomia, Docente e Pesquisador da Universidade Estadual Paulista – UNESP – *Campi* de Registro, Consultor do Consórcio PRIME-AQUÁTICA.

Endereço⁽¹⁾: Av. do Estado, 561 - Ponte Pequena - São Paulo - SP - CEP 01107-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 98685-2591 - Fax: +55 (11) 3388-6039 - e-mail: pmariaca@sabesp.com.br.

RESUMO

Nesse estudo caracterizamos os movimentos de duas espécies de peixes caracídeos, *Astyanax paranae* e *Hollandichthys multifasciatus*, em um conjunto de riachos da Serra do Mar de São Paulo por meio de Identificação por Radiofrequência – RFID, com ênfase no trecho do rio Sertãozinho onde uma soleira vertente será construída como parte do *Aproveitamento das Águas da Bacia do Rio Itapanhaú para Abastecimento da RMSP*. Os trabalhos foram realizados de Julho de 2020 a Maio de 2022, por meio da instalação de cinco antenas de RFID e da marcação de 359 peixes com marcas tipo PIT, sendo 276 *A. paranae* e 83 *H. multifasciatus*. Destes, 239 indivíduos foram registrados pelas antenas, dos quais 172 se movimentaram pelo menos uma vez através do local onde a soleira será construída. A espécie *A. paranae* teve o maior número de indivíduos registrados em mais de uma antena (n=146), enquanto somente um indivíduo de *H. multifasciatus* obteve esse resultado, indicando que as espécies utilizam a área de estudo de maneira diferente. Os resultados também atestaram o uso de estações fixas de RFID para a avaliação de eventuais impactos de aproveitamentos hídricos na movimentação de peixes de riachos, constituindo o primeiro estudo dessa natureza realizado no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de impactos, telemetria de peixes, Serra do Mar.

INTRODUÇÃO

O uso da Identificação por Radiofrequência – RFID (sigla em inglês para “Radio Frequency Identification”) em animais começou a ser aplicada no início década de 1980 em estudos com peixes e na década de 1990 passou a ser utilizada no monitoramento desse grupo em sistemas de transposição, normalmente associados a empreendimentos hidrelétricos ou em rios de pequeno porte ou riachos na América do Norte e na Europa (PRENTICE et al., 1990; LUCAS & BARAS, 2000; SCRUTON et al., 2002; RILEY et al., 2003). Essa tecnologia emprega antenas e leitores para a leitura de marcas conhecidas como PIT (“Passive Integrated Transponder” ou Transmissores Indutivos Passivos), que são pequenos circuitos de RFID, selados em uma cápsula de vidro para implante em peixes e outros animais.

As marcas tipo PIT são pequenas (em torno de 2 mm de diâmetro e 12 mm de comprimento), de fácil implante, podem ser programadas com um número quase infinito de códigos individuais e apresentam vida útil indeterminada, uma vez que não possuem bateria. Quando uma marca do tipo PIT está dentro do campo magnético em torno da antena, ela recebe energia por indução elétrica para transmitir seu número de identificação exclusivo. Esse número é registrado no Comitê Internacional de Registro de Animais (ICAR – International Committee for Animal Recording, <https://www.icar.org/>), o que garante que a numeração é única e, que, portanto, o peixe poderá ser identificado e ter todos os seus dados (como local e data de marcação, hora do registro, espécie e tamanho etc.) recuperados.

No Brasil, o uso de RFID para o estudo de peixes em riachos e rios de menor porte é recente, com poucas iniciativas conhecidas até o momento. Apenas um estudo utilizando essa tecnologia foi publicado, onde a atividade de duas espécies de cascudos (família Loricariidae) foi investigada com uso de RFID em um riacho do oeste do Paraná, através de rastreamentos móveis/manuais (CELESTINO et al., 2017). Para os riachos da Serra do Mar de São Paulo não são conhecidos padrões de movimentação das diferentes espécies da ictiofauna com o uso de RFID. Contudo, no âmbito dos monitoramentos ambientais previstos no licenciamento ambiental das obras do “Aproveitamento da Bacia do rio Itapanhaú para Abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP)”, o monitoramento dos movimentos de duas espécies de lambaris (família Characidae) foi indicado como de relevante interesse à qualidade desse ecossistema e, portanto, foi incluído como parte do monitoramento ambiental do empreendimento.

O monitoramento consiste no acompanhamento do movimento das espécies *Astyanax paranae* e *Hollandichthys multifasciatus* por meio da técnica de marcação de indivíduos capturados em diferentes seções do rio Sertãozinho e seus formadores, e a detecção de seus movimentos por meio de RFID, através de um conjunto de estações telemétricas instaladas no sistema hídrico. A área de interesse é o trecho de fluxo laminar do rio Sertãozinho, onde a construção de uma soleira vertente está prevista. Apesar de os impactos dessa obra na ictiofauna terem sido considerados de baixa magnitude em função da existência de amplos ambientes propícios à manutenção do ciclo de vida desses animais, tanto a montante quanto à jusante das instalações da futura soleira vertente, e da garantia de lâmina d’água mínima a ser mantida durante os períodos de bombeamento quando da conclusão da obra, um estudo a respeito dos movimentos de ambas as espécies foi considerado relevante para aprofundar o conhecimento a respeito do movimento das duas espécies na região, sendo útil, também como forma de testar o uso de estações fixas de monitoramento por RFID e servir de modelo para outros empreendimentos.

O monitoramento está concebido para ser realizado em duas etapas: uma primeira etapa durante um ano antes do início da operação, para levantamento da denominada Linha de Base (objeto do presente trabalho), e uma segunda etapa a ser realizada durante os dois primeiros anos da operação (ainda a ser realizada). Os resultados a serem apresentados a seguir fazem parte do Contrato firmado pela Sabesp com o Consórcio PRIME-AQUÁTICA, destinado ao desenvolvimento de “Estudo para Execução de Monitoramentos Ambientais relativos ao Aproveitamento da Bacia do rio Itapanhaú para Abastecimento da RMSP”. Três perguntas foram elaboradas para testar o sistema de monitoramento com RFID para avaliar a movimentação das espécies-alvo: (i) qual é o percentual de detecção dos indivíduos marcados com as marcas PIT pelas estações fixas (antenas)?; (ii) os indivíduos de ambas as espécies utilizam todo o trecho coberto pelas antenas, incluindo o local da futura soleira vertente?; (iii) há variação nos movimentos de ambas as espécies?

Partimos do pressuposto que o padrão de movimentação de peixes de riachos é heterogêneo, ou seja, indivíduos de uma mesma população apresentam comportamento sedentário e móvel (SKALSKI & GILLIAM, 2000; RODRIQUEZ, 2002; RADINGER & WOLTER, 2013; DE FRIES et al., 2021). Segundo este conceito, a maioria dos indivíduos de uma população de peixes de riachos é sedentária e ocupa um trecho pequeno do corpo d’água e, aqueles poucos que se locomovem por distâncias maiores, são os responsáveis pela troca de indivíduos entre populações, pela dispersão, colonização e recolonização de novos habitats (RADINGER & WOLTER, 2013). Com isso, barreiras impostas a esses movimentos podem comprometer a estrutura populacional e o fluxo gênico de populações nativas (MAZZONI & DE BARROS, 2021). Conhecer, portanto, os deslocamentos realizados por peixes de riachos em ambientes naturais é imperativo para balizar discussões a respeito dos possíveis impactos de ações antrópicas no seu modo de vida e é dentro dessa perspectiva que o presente estudo está baseado.

OBJETIVO

Caracterizar os movimentos de duas espécies de peixes de pequeno porte em um conjunto de riachos da Serra do Mar de São Paulo por meio de Identificação por Radiofrequência – RFID, com ênfase em um trecho do rio Sertãozinho que está situado na área de influência das obras do “Aproveitamento da Bacia do rio Itapanhaú para Abastecimento da RMSP”.

MÉTODOS

O estudo foi conduzido na região de planalto da sub-bacia costeira do rio Itapanhaú, em um trecho do rio Sertãozinho e de seus formadores, o ribeirão Leste e o ribeirão Gracianópolis, na Serra do Mar do Estado de São Paulo, de Julho de 2020 a Maio de 2022. O trecho estudado compreende cerca de 2,6 km de extensão, abrangendo os baixos cursos dos ribeirões Leste e Gracianópolis e o trecho do rio Sertãozinho situado do seu ponto de formação, no encontro dos ribeirões supracitados até a área que está sob influência da soleira da Light, situada 3,1 km a jusante do local onde a soleira prevista para captação será construída. A soleira da Light foi construída em 1906 e possui cerca de dois metros de altura a partir do leito do rio Sertãozinho, delimitando um trecho a partir do qual inicia-se uma série de quedas e corredeiras, próximo da cota de 700 m.

Tanto os trechos dos ribeirões Leste e Gracianópolis quanto o trecho do rio Sertãozinho estão situados onde a água drena terrenos de declividade baixa, com média de 0,1% (1 m/km) (cota 750 m), com barrancas bem definidas e largura entre 10-20 m (Figuras 1 e 2). Trata-se de corpos d’água com poucas flutuações de temperatura na água e química da água relativamente estável, sem distinção nítida entre período chuvoso e seco, com alterações observadas temporariamente nos pulsos de cheia após precipitação significativa.

Figura 1 – Localização da área de estudo, com detalhe para a região de planalto da sub-bacia do rio Itapanhaú, onde o sistema de monitoramento por RFID foi instalado.

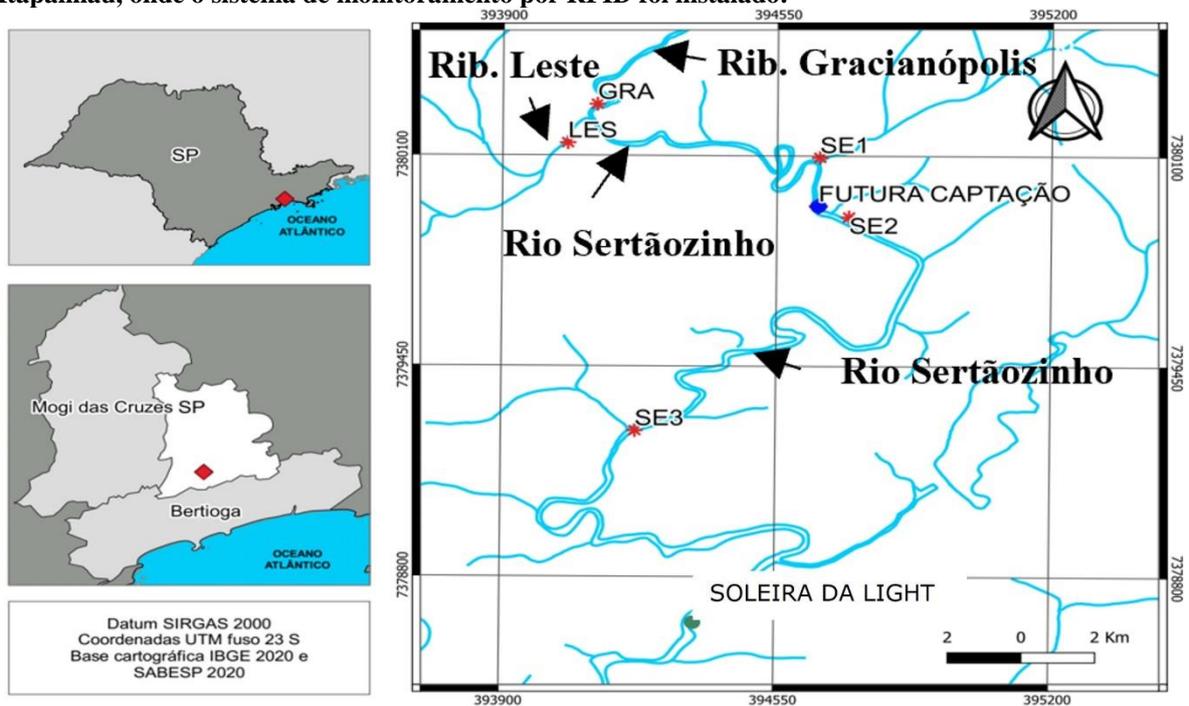


Figura 2 – Vista do rio Sertãozinho na área onde a soleira vertente será construída (A) e dos baixos cursos dos seus formadores, os ribeirões Leste (B) e Gracianópolis (C).

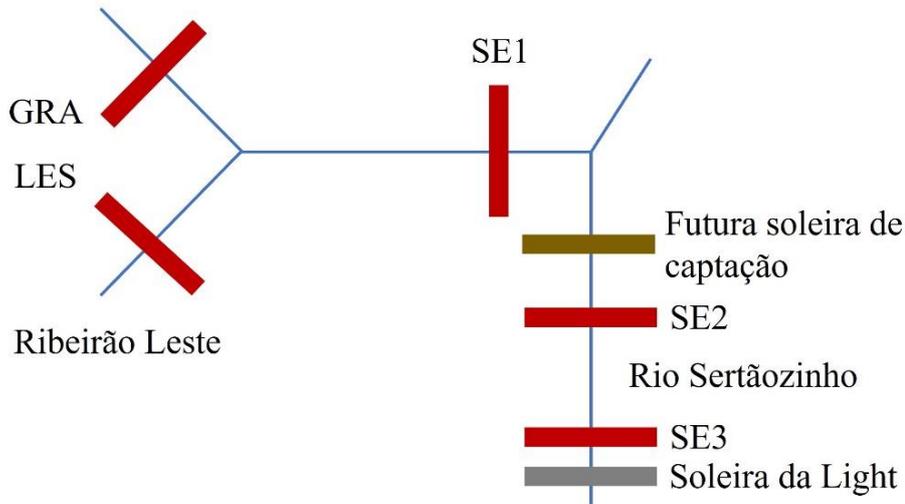


O sistema de monitoramento com RFID foi composto por um conjunto de cinco antenas instaladas no rio Sertãozinho ($n=3$) e nos ribeirões Leste ($n=1$) e Gracianópolis ($n=1$). As antenas foram estruturadas a fim de atender às especificidades da área de estudo, que não contava com acesso à energia elétrica e a acesso por carro. Assim, foi necessário adotar o uso de energia fotovoltaica para alimentar o sistema de monitoramento por RFID e adaptar as estruturas de apoio das estações telemétricas, em uma configuração que levou em consideração as características das seções nas quais as antenas poderiam ter melhor desempenho e a possibilidade de verificação do uso do corpo d'água principal e de seus formadores pelas espécies-alvo (Figura 3A).

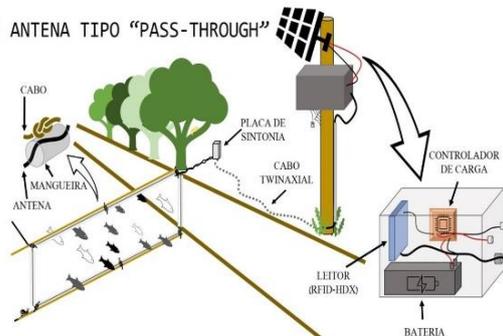
Cada antena foi composta por um conjunto de cabos elétricos e estruturas de sustentação instalados dentro da água, seguindo o modelo conhecido como “pass-through”, e um sistema de alimentação, sintonia e leitura e armazenamento de dados situado em uma das margens de cada seção, fora da água (Figuras 3B e 3C). Quando energizadas, as antenas produzem um campo magnético ao seu redor e no seu interior. Ao entrar no campo de detecção de uma antena, um peixe marcado tem sua marca PIT energizada e, em resposta, a marca emite um sinal de rádio. Este sinal é decodificado pelo leitor, permitindo o registro do número de identificação da marca PIT, da data e do horário da sua detecção. Após um período de instalação e de testes, as antenas foram vistoriadas mensalmente para a manutenção e o “download” de dados, de Agosto de 2020 a Maio de 2022.

Figura 3 – Configuração do sistema de monitoramento por RFID utilizado no estudo: antenas situadas no rio Sertãozinho (SE1, SE2 e SE3) e nos ribeirões Leste (LES) e Gracianópolis (GRA); são também indicadas a futura soleira vertente (retângulo marrom) e a soleira da Light (retângulo cinza).

A Ribeirão Gracianópolis



B ANTENA TIPO “PASS-THROUGH”



Como modelo de estudo, foram selecionadas duas espécies da família Characidae, o lambari-do-rabo-vermelho *Astyanax paranae* (Eigenmann, 1914) e o lambari-listrado *Hollandichthys multifasciatus* (Eigenmann & Norris, 1900) (Figura 4). Ambas as espécies são de pequeno porte, não ultrapassando 13 cm de comprimento padrão – CP (ABELHA & GOULART, 2008; ABILHOA et al., 2009). São espécies abundantes em riachos e rios de Mata Atlântica da Serra do Mar, normalmente associados aos remansos marginais e às partes mais superficiais da coluna d’água (OYAKAWA et al., 2006; SERRA et al., 2007; FERREIRA et al., 2014).

Figura 4 – Espécies monitoradas no estudo, o lambari-do-rabo-vermelho (*Astyanax paranae*, A) e o lambari-listrado (*Hollandichthys multifasciatus*, B).



Os peixes foram capturados com a utilização de armadilhas do tipo covos posicionadas em diferentes pontos ao longo da área de estudo. Como atrativo foi utilizado um pouco de massa caseira em cada covo. O tempo de permanência dos covos na água foi cerca de quatro horas. Não foram deixados covos armados por mais tempo, a fim de evitar a captura de espécies não-alvo e para evitar danos provocados pelo tempo prolongado de aprisionamento de indivíduos pertencentes às espécies-alvo. Isso inclui a remoção de muco e escamas por abrasão nos covos e pelo adensamento de indivíduos, além da predação por espécies oportunistas, como caranguejos, cágados e alguns peixes.

Após a captura, cada indivíduo passou pelo processo de biometria para a obtenção do comprimento padrão (CP, cm) e sexagem, quando possível. Os peixes foram então marcados com marcas tipo PIT, em estação flutuante de marcação, próximo ao local de captura. Marcas tipo PIT com dimensões de 12 x 2,12 mm (comprimento x diâmetro) e 0,1 g foram inseridas na cavidade celomática dos peixes com o uso de aplicadores (Figura 5). Posteriormente, os peixes foram mantidos em baldes flutuantes de recuperação especialmente preparados para esse fim por cerca de 10 minutos, dentro do próprio rio. Em seguida, os peixes marcados foram submetidos a um teste de reflexos antes da sua soltura. Esse teste, conhecido por RAMP (do inglês, “Reflex Action Mortality Predictors”; DAVIS, 2010), é uma ferramenta de avaliação de campo, de utilização universal, que mede a vitalidade do peixe antes da sua soltura e permite uma inferência sobre a sua sobrevivência. Pelo menos quatro reflexos esperados para peixes em boas condições costumam ser avaliados: resposta caudal após apreensão, reflexo corporal, resposta vestibular ocular e orientação/equilíbrio. Cada reflexo é avaliado categoricamente (0 = intacto, 1 = prejudicado), com uma abordagem conservadora, ou seja, caso o manipulador tenha dúvida se o reflexo está presente, a avaliação será registrada como “prejudicado”. Para os peixes considerados muito vigorosos para permitir a avaliação de reflexos, a estes é atribuído o status de “intacto para todos os reflexos”. A avaliação de reflexos é rápida e ocorre em torno de 20 segundos.

Os procedimentos de captura e marcação foram realizados com autorização das autoridades competentes, seguindo-se protocolos estabelecidos para esse fim (e.g., CLARK, 2016; REEMEYER et al., 2019). A análise dos dados coletados foi realizada em ambiente R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020), com o uso do pacote “ORFID: Manage and summarize data from Oregon RFID ORMR and ORSR Antenna Readers”, desenvolvido para a gerir e organizar dados de telemetria por RFID.

Figura 5 – Procedimento de marcação, onde as marcas tipo PIT são inseridas na cavidade celomática dos peixes com auxílio de aplicador (A, B). Pelas dimensões reduzidas (12 mm comprimento x 2,12 mm diâmetro, C), as marcas podem ser utilizadas em espécies de pequeno porte.



RESULTADOS

Ao todo foram marcados 359 peixes, sendo 276 indivíduos de *Astyanax paranae* e 83 indivíduos de *Hollandichthys multifasciatus* (Tabela 1). Do total de indivíduos marcados, 239 foram registrados pelas antenas das estações de monitoramento por RFID (Tabela 2). Destes, 172 indivíduos se movimentaram pelo menos uma vez através do local onde a soleira vertente será construída, entre as antenas SE1 e SE2, no rio Sertãozinho.

A avaliação sobre a passagem ou não de peixes marcados pelo local da futura soleira vertente foi feita comparando-se as primeiras detecções desses indivíduos com as detecções subsequentes, em antenas diferentes. Um exemplo trata de peixes detectados inicialmente na antena SE1 e posteriormente na antena SE3 ou peixes detectados inicialmente nas antenas SE2 ou SE3 e posteriormente nas antenas SE1, LES ou GRA. Isso indica que os indivíduos em questão se deslocaram pelo local onde a soleira vertente será construída de montante para jusante e de jusante para montante, respectivamente.

Tabela 1 – Sumário dos indivíduos marcados com marcas tipo PIT, por espécie.

Espécie	Total de indivíduos marcados	Comprimento Padrão – CP (cm)	
		Média ±DP	Min - Máx
<i>Astyanax paranae</i>	276	9,67 ±1,14	6,5 – 12,5
<i>Hollandichthys multifasciatus</i>	83	8,43 ±1,11	5,7 – 11,0

Tabela 2 – Total de peixes marcados e total de peixes registrados pelas estações fixas de RFID (dados brutos e percentual), por espécie.

Espécie	N marcado	N registrado	Percentual registrado (%)
<i>Astyanax paranae</i>	276	219	79,34
<i>Hollandichthys multifasciatus</i>	83	20	24,09
TOTAL	359	239	66,57

A antena SE1 obteve o maior número de registros (*Rec*), seguida pelas antenas GRA, LES, SE3 e SE2. Contudo, quando observado o número de indivíduos que foram registrados por antena (*Tag ID*) e não o número geral de detecções, a antena SE1 obteve a maior quantidade de peixes registrados, seguida pelas antenas SE2, SE3, GRA e LES (Tabela 3).

O lambari-do-rabo-vermelho (*Astyanax paranae*) representou a espécie com o maior número de indivíduos registrados em mais de uma antena (n=146), enquanto somente um indivíduo do lambari-listrado (*Hollandichthys multifasciatus*) obteve esse resultado (Tabela 4). Em relação ao período do dia no qual as detecções predominaram, para *A. paranae* 52% dos registros ocorreram durante a noite e para *H. multifasciatus* a maior parte dos registros (69%) ocorreu durante o dia.

Tabela 3 – Sumário dos registros realizados para as espécies pelas antenas da rede de detecção por RFID, de montante para jusante.

Loc (antena)	Rec (nº registros)	Tag ID (nº pit-tags registradas)
GRA	1449	70
LES	1441	67
SE1	15878	167
SE2	958	147
SE3	1295	133

Tabela 4 – Sumário dos registros realizados para as espécies-alvo em duas ou mais antenas que compõem a rede de detecção por RFID.

Espécie	Detecções em 2 antenas	Detecções em 3 antenas	Detecções em 4 antenas	Detecções em 5 antenas
<i>Astyanax paranae</i>	53	54	28	11
<i>Hollandichthys multifasciatus</i>	1	0	0	0

Nas Figuras 6 a 9 são demonstrados detalhes a respeito do número de registros por espécie e do número de indivíduos registrados por espécie para cada uma das antenas que compõem a rede de detecção por RFID, assim como o número de registros por período do dia.

As Figuras 10 e 11 apresentam detalhes a respeito dos indivíduos marcados que se movimentaram pelo local no qual a soleira vertente será construída, entre as antenas SE1 e SE2, no rio Sertãozinho.

As Figuras 12 e 13 trazem exemplos dos registros de quatro indivíduos de *Astyanax paranae* e de quatro indivíduos de *Hollandichthys multifasciatus* na área de abrangência do sistema de antenas.

Figura 6 – Total de registros, por espécie, obtido por todas as estações telemétricas que compõem o sistema de RFID no rio Sertãozinho e em seus formadores.

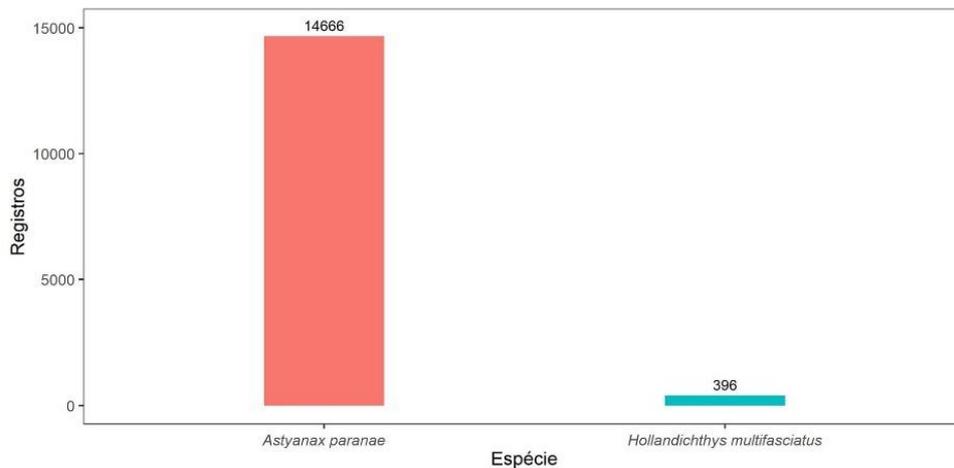


Figura 7 – Registros, por espécie, para cada uma das estações telemétricas que compõem o sistema de RFID no rio Sertãozinho e em seus formadores.

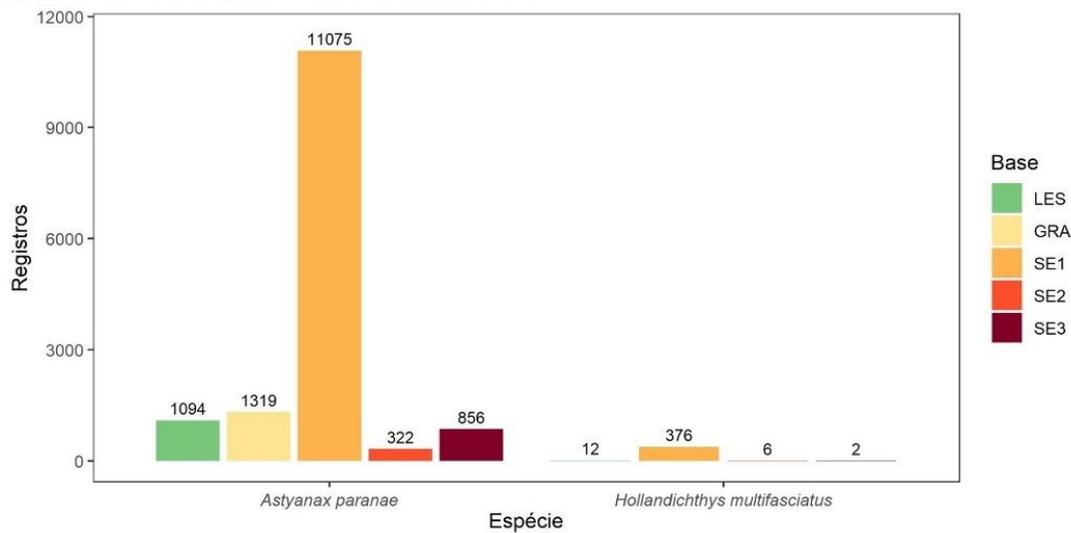


Figura 8 – Indivíduos registrados, por espécie, para cada uma das estações telemétricas que compõem o sistema de RFID no rio Sertãozinho e em seus formadores.

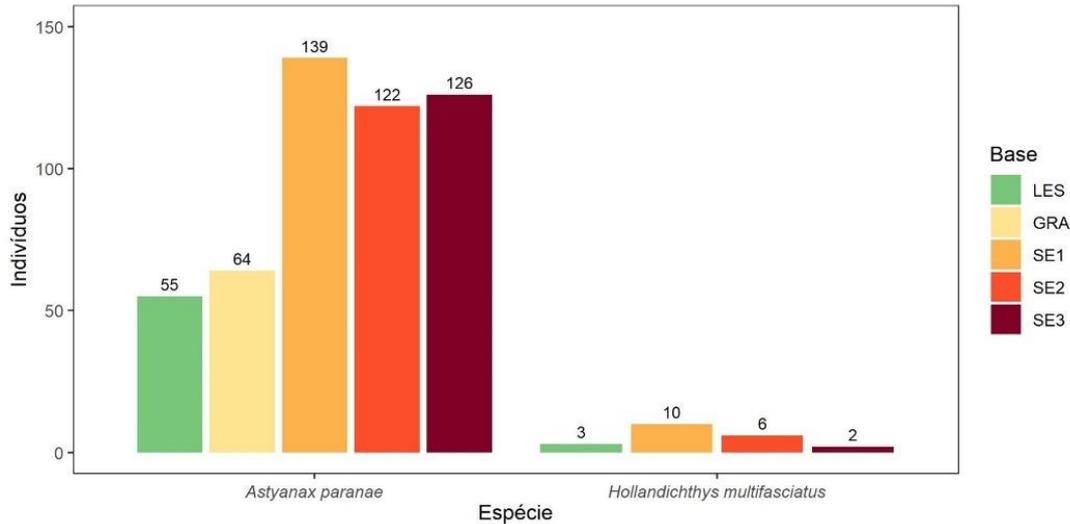


Figura 9 – Valores agregados dos indivíduos registrados, por espécie e por período do dia, em todas as estações telemétricas que compõem o sistema de RFID no rio Sertãozinho e em seus formadores.

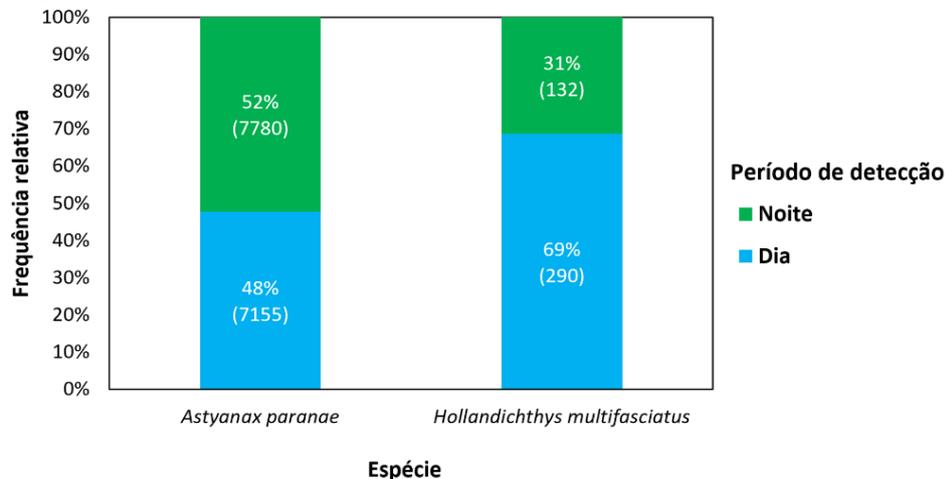


Figura 10 – Indivíduos marcados, por espécie, que se deslocaram pelo local no qual a soleira vertente será construída no rio Sertãozinho, entre as antenas SE1 e SE2.

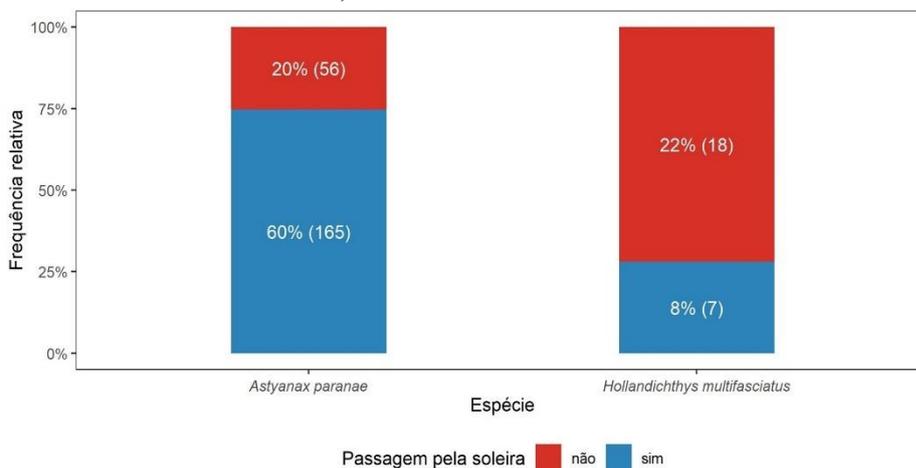


Figura 11 – Sumário dos registros dos indivíduos que se movimentaram através do local no qual a soleira vertente será construída no rio Sertãozinho, entre as antenas SE1 e SE2. Os registros foram agrupados por espécie e por número de vezes nas quais os indivíduos passaram pelo local.

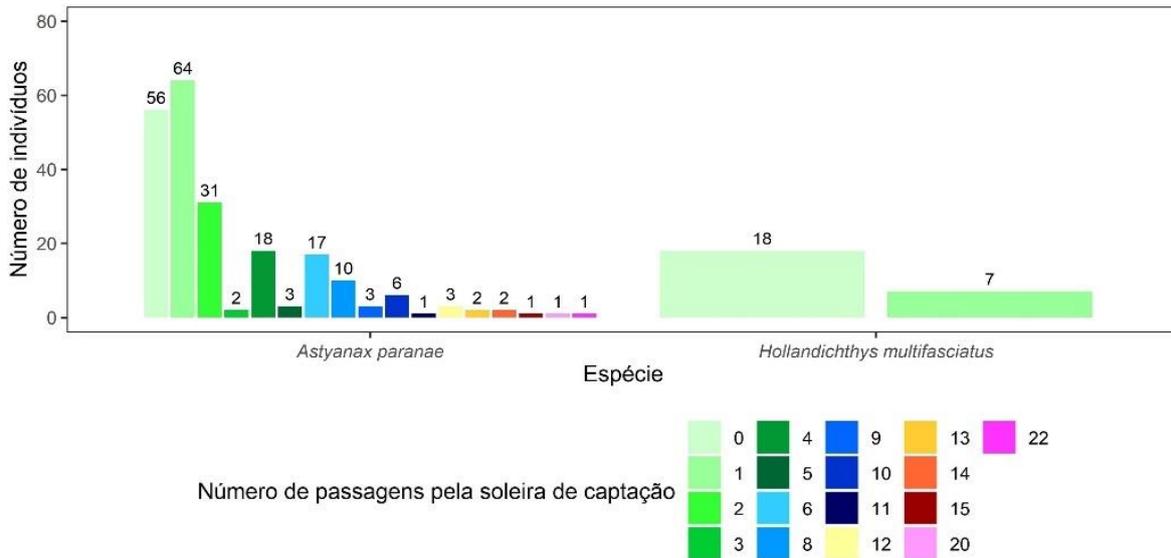


Figura 12 – Perfil de movimentação de quatro indivíduos da espécie *Astyanax paranae* que foram detectados pelas antenas que compõem a rede de detecção por RFID. O eixo y representa as antenas, de montante para jusante: LES, GRA, SE1, SE2 e SE3. A distância entre as antenas está representada, proporcionalmente, no eixo y. As distâncias entre as antenas foram estimadas a partir da soleira da Light, utilizando-se a ferramenta “caminho” do Google® Earth. Os pontos azuis indicam o local de marcação e soltura dos peixes. As linhas pretas ligam os pontos azuis às detecções (pontos pretos) registradas entre a data de marcação de cada indivíduo até o dia 04/05/2022. Os pontos verdes indicam a ocorrência e a localização de recapturas de peixes marcados em armadilhas tipo covo. A linha tracejada representa a futura soleira vertente. A linha contínua representa a soleira da Light.

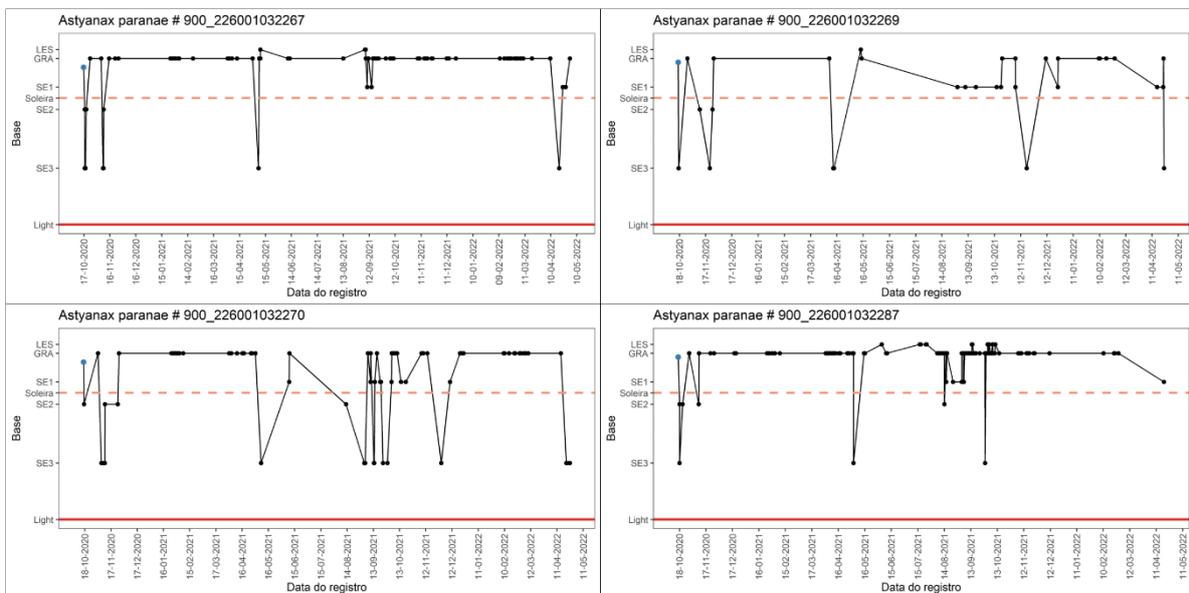
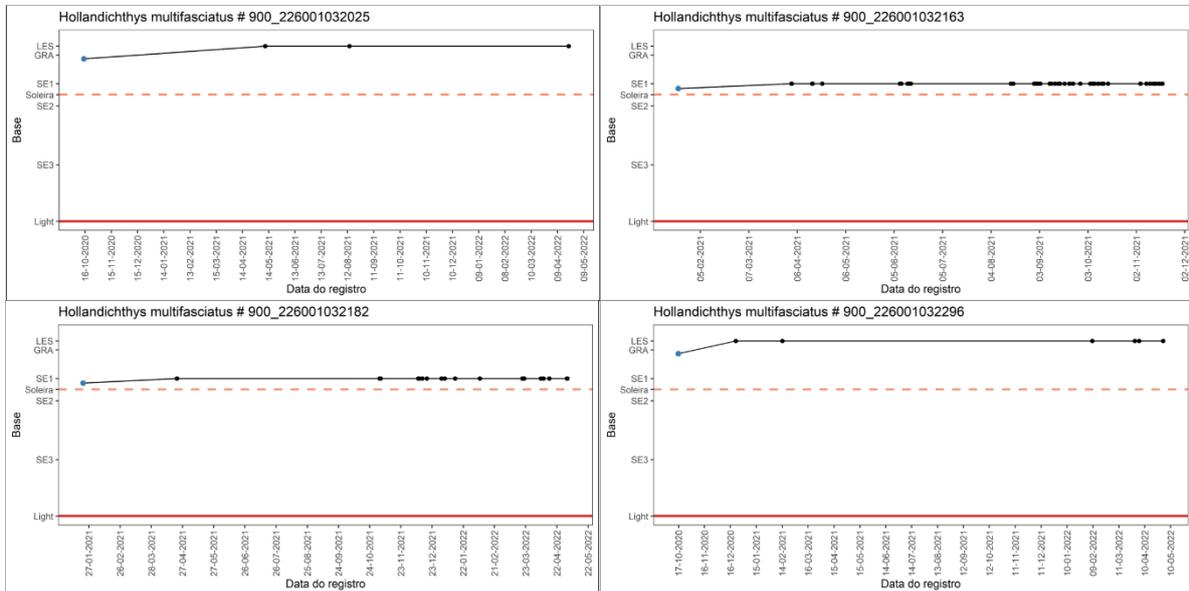


Figura 13 – Perfil de movimentação de quatro indivíduos da espécie *Hollandichthys multifasciatus* que foram detectados pelas antenas que compõem a rede de detecção por RFID. O eixo y representa as antenas, de montante para jusante: LES, GRA, SE1, SE2 e SE3. A distância entre as antenas está representada, proporcionalmente, no eixo y. As distâncias entre as antenas foram estimadas a partir da soleira da Light, utilizando-se a ferramenta “caminho” do Google® Earth. Os pontos azuis indicam o local de marcação e soltura dos peixes. As linhas pretas ligam os pontos azuis às detecções (pontos pretos) registradas entre a data de marcação de cada indivíduo até o dia 04/05/2022. Os pontos verdes indicam a ocorrência e a localização de recapturas de peixes marcados em armadilhas tipo covo. A linha tracejada representa a futura soleira vertente. A linha contínua representa a soleira da Light.



DISCUSSÃO

O levantamento de linha de base antes da construção da soleira vertente no rio Sertãozinho, objeto do presente estudo, revelou informações a respeito dos movimentos de espécies da ictiofauna que até então não haviam sido coletadas com o uso de monitoramento por estações fixas de RFID no Brasil.

As informações obtidas demonstraram que espécies de pequeno porte, como *Astyanax paranae*, são capazes de utilizar longos trechos dos corpos d’água onde ocorrem, incluindo uma gama variada de meso e microhabitats. Diversos indivíduos dessa espécie se deslocaram por praticamente todo o trecho monitorado, entre a antena SE3 e soleira da Light e algumas das antenas de montante como SE1, no rio Sertãozinho, e LES, no ribeirão Leste. Esses deslocamentos ocorreram por mais de uma vez, incluindo passagens pelo local onde a soleira vertente será construída. Por outro lado, os dados a respeito dos movimentos dos indivíduos de *Hollandichthys multifasciatus* sugeriram que a espécie possui um comportamento mais sedentário, com baixa movimentação pela área de estudo em função do número muito baixo de indivíduos detectados pelas antenas.

Esses são resultados importantes, já que os dados sobre os movimentos de *Astyanax paranae* contrariam, em parte, padrões estabelecidos para espécies de riachos, uma vez que a literatura considera que a maioria dos indivíduos de uma população de peixes que ocorre nesses ambientes é sedentária e ocupa um trecho pequeno de rio e que poucos indivíduos se locomovem por distâncias maiores, sendo responsáveis pela troca de indivíduos entre populações, pela dispersão, colonização e recolonização de novos habitats (GOWAN et al., 1994; SKALSKI & GILLIAM, 2000, 2003; RODRÍQUEZ, 2002; RADINGER & WOLTER, 2013; DE FRIES et al., 2021). Contudo, muitos desses padrões estão baseados em conclusões obtidas por meio de estudos realizados em países do Hemisfério Norte, com destaque para América do Norte e Europa, com a utilização de abordagens tradicionais como marcação e recaptura com marcas plásticas ou elastômero e não algum tipo de ferramenta de maior resolução como marcação eletrônica e monitoramento com RFID. Por isso as conclusões da maior parte desses estudos são baseadas numa baixa proporção de recapturas de peixes dentro de um trecho limitado de rio, podendo, muitas vezes, subestimar a proporção de indivíduos que se deslocam por distâncias maiores e o

tamanho da área utilizada por estes indivíduos (GOWAN & FAUSCH, 1996; BREEN et al., 2009; CATHCART et al., 2018; MAZZONI & DE BARROS, 2021). No presente estudo reduzimos esse viés, utilizando marcação com marcas tipo PIT e monitoramento com estações fixas de RFID, o que permitiu a obtenção de uma quantidade maior de recapturas baseadas em registros sobre a movimentação de diversos indivíduos nas antenas da rede telemétrica, em um trecho de rio mais extenso e de forma ininterrupta, tanto de dia quanto durante a noite. Isso atesta o potencial e a importância do estudo não apenas subsidiar discussões a respeito dos movimentos de algumas espécies de peixes no contexto de um empreendimento dedicado a captação de água para abastecimento humano, mas também para servir de modelo para uma melhor compreensão sobre o modo de vida desses animais na natureza, tanto no contexto de atividades antrópicas quanto em ambientes naturais.

Com o avanço das obras de *Aproveitamento das Águas da Bacia do Rio Itapanhaú* e com a construção da soleira vertente no rio Sertãozinho, esperamos reunir informações adicionais a respeito das espécie-alvo, a fim de avaliarmos eventuais alterações do comportamento observado da movimentação de *Astyanax paranae*. Neste caso, é importante mencionar que apesar de *Hollandichthys multifasciatus* ter fornecido fortes indícios de não ser um bom modelo para o estudo de movimentos de peixes em ambientes de cabeceiras como a área de estudo, será oportuno incluir mais indivíduos dessa espécie na amostra, a fim de termos maior segurança com relação aos achados obtidos até o presente momento. A continuidade do monitoramento, bem como a realização de novas campanhas de marcação direcionadas à espécie, bem como a *Astyanax paranae*, permitirão a inclusão de novos indivíduos no estudo, assim como a continuidade do registro dos indivíduos que já foram marcados, caso estes ainda estejam vivos e/ou tenham permanecido na área de estudo.

CONCLUSÕES

O uso do monitoramento com estações fixas de RFID demonstrou ser capaz de fornecer informações de alta resolução a respeito da ecologia espacial de espécies de peixes de riachos em um trecho da Serra do Mar do Estado de São Paulo, indicando que seu emprego para avaliações sobre o efeito de obras de aproveitamento hídrico no comportamento desses animais, pode auxiliar de maneira importante em questões envolvendo o planejamento e a execução de empreendimentos dessa natureza.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABELHA, M.C.F., GOULART, E. *Population structure, condition factor and reproductive period of Astyanax paranae (Eigenmann, 1914) (Osteichthyes: Characidae) in a small and old brazilian reservoir. Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.51, p.503-512, 2008.
2. ABILHOA, V., BORNATOWSKI, H., OTTO, G. *Temporal and ontogenetic variations in feeding habits of Hollandichthys multifasciatus (Teleostei: Characidae) in coastal Atlantic rainforest streams, southern Brazil. Neotropical Ichthyology*, v.7, n.3, p.415-420, 2009.
3. BREEN, M.J., RUETZ, C.R., THOMPSON, K.J., KOHLER, S.L. *Movements of mottled sculpins (Cottus bairdii) in a Michigan stream: how restricted are they? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.66, n.1, p.31-41, 2009.
4. CATHCART, C.N., GIDO, K.B., MCKINSTRY, M.C., MACKINNON, P.D. *Patterns of fish movement at a desert river confluence. Ecology of Freshwater Fish*, v.27, n.1, p.492-505, 2018.
5. CELESTINO, L.F., SANZ-RONDA, F.J., KASHIWAQUI, E.A.L., CELESTINO, E.F., MAKRAKIS, M.C., MAKRAKIS, S. *Daily movement behavior of two Neotropical armored catfish species (Ancistrus aff. cirrhosus Valenciennes, 1836 and Hypostomus ancistroides Ihering, 1911) at a road-stream crossing culvert. Journal of Applied Ichthyology*, v.33, n.6, p.1092-1099, 2017.
6. CLARK, S.R. *Effects of passive integrated transponder tags on the physiology and swimming performance of a small-bodied stream fish. Transactions of the American Fisheries Society*, v.145, n.6, p.1179-1192, 2016.
7. DAVIS, M.W. *Fish stress and mortality can be predicted using reflex impairment. Fish and Fisheries*, v.11, n.1, p.1-11, 2010.

8. DE FRIES, L., CAMANA, M., HARTZ, S.M., BECKER, F.G. *Heterogeneous movement by a small non-migratory stream fish. Environmental Biology of Fishes*, v.105, n.12, p.1-13, 2021.
9. FERREIRA, F.C., SILVA, A.T., GONÇALVES, C.S., PETRERE Jr., M. *Disentangling the influences of habitat structure and limnological predictors on stream fish communities of a coastal basin, southeastern Brazil. Neotropical Ichthyology*, n.12, v.1, p.177-186, 2014.
10. GOWAN, C., FAUSCH, K.D. *Mobile brook trout in two high-elevation Colorado streams: reevaluating the concept of restricted movement. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.53, n.6, p.1370-1381, 1996.
11. GOWAN, C., YOUNG, M.K., FAUSCH, K.D., RILEY, S.C. *Restricted movement in resident stream salmonids: a paradigm lost? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v.51, n.11, p.2626-2637, 1994.
12. LUCAS, M.C., BARAS, E. *Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in natural environment. Fish and Fisheries*, v.1, n.4, p.283-316, 2000.
13. MAZZONI, R., DE BARROS, T.F. *Ecologia do movimento em peixes de riacho. Oecologia Australis*, v.25, n.2, p.381-397, 2021.
14. OYAKAWA, O.T., AKAMA, A., MAUTARI, K.C., NOLASCO, J.C. *Peixes de riachos de Mata Atlântica nas Unidades de Conservação do Vale do rio Ribeira de Iguape no Estado de São Paulo. São Paulo: Neotrópica*, 2006. 291p.
15. PRENTICE, E.F., FLAGG, T.A., MCCUTCHEON, C.S., BRASTOW, D.F. *PIT-Tag monitoring systems for hydroelectric dams and fish hatcheries. American Fisheries Society Symposium*, v.7, p.323-334, 1990.
16. R DEVELOPMENT CORE TEAM, Vienna, Austria. 'R: A language and environment for statistical computing', 2020. Disponível em <https://www.r-project.org/foundation/>. Acesso em: 20/01/2023.
17. RADINGER, J., WOLTER, C. *Patterns and predictors of fish dispersal in rivers. Fish and Fisheries*, v.15, n.3, p.456-473, 2013.
18. REEMEYER, J.E., HARRIS, J.C., HERNANDEZ, A.M., REES, B.B. *Effects of passive integrated transponder tagging on cortisol release, aerobic metabolism, and growth of the Gulf killifish Fundulus grandis. Journal of Fish Biology*, v.94, n.3, p.422-433, 2019.
19. RILEY, W.D., EAGLE, M.O., IVES, M.J., RYCROFT, P., WILKINSON, A. *A portable passive integrated transponder multi-point decoder system for monitoring habitat use and behaviour of freshwater fish in small streams. Fisheries Management and Ecology*, v.10, n.4, p.265-268, 2003.
20. RODRÍGUEZ, M.A. *Restricted movement in stream fish: the paradigm is incomplete, not lost. Ecology*, v.83, n.1, p.1-13, 2002.
21. SCRUTON, D.A., MCKINLEY, R.S., KOUWEN, N., EDDY, W., BOOTH, R.K. *Use of telemetry and hydraulic modelling to evaluate and improve fish guidance efficiency at a louve rand bypass system for downstream-migration Atlantic salmon (Salmo salar) smolts and kelts. Hydrobiologia*, v.483, n.1, p.83-94, 2002.
22. SKALSKI, G.T., GILLIAM, J.F. *Modeling diffusive spread in a heterogeneous population: a movement study with stream fish. Ecology*, v.81, n.6, p.1685-1700, 2000.
23. SKALSKI, G.T., GILLIAM, J.F. *A diffusion-based theory of organism dispersal in heterogeneous populations. The American Naturalist*, v.161, n.3, p. 441-458, 2003.

24. SERRA, J. P., CARVALHO, F. R., LANGEANI, F. *Ichthyofauna of the rio Itatinga in the Parque das Neblinas, Bertioga, São Paulo State: composition and biogeography. Biota Neotropica*, v.7, p.81-86, 2007.