



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

Mestrado em Biologia da Conservação

Dissertação

Estudo dos padrões de migração do salmão-do-atlântico  
no limite sul da sua distribuição global

**Luís Rafael Rodrigues de Oliveira Honrado**

Orientador(es) | Doutor Carlos M. Alexandre

Prof. Doutor Pedro R. Almeida

Évora 2024





**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

Mestrado em Biologia da Conservação

Dissertação

Estudo dos padrões de migração do salmão-do-atlântico  
no limite sul da sua distribuição global

**Luís Rafael Rodrigues de Oliveira Honrado**

Orientador(es) | Doutor Carlos M. Alexandre

Prof. Doutor Pedro R. Almeida

Évora 2024





A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo

Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Paulo Sá-Sousa (Universidade de Évora)

Vogais | Carlos M. Alexandre (Universidade de Évora) (Orientador)

Filomena Magalhães (Universidade de Lisboa) (Arguente)

Évora 2024



## Agradecimentos

Ao **Doutor Carlos Alexandre** pela constante disponibilidade e excelente orientação durante estes últimos dois anos. Em todas as ocasiões em que precisei, esteve prontamente disponível para ajudar com dúvidas e correções necessárias, seja por videoconferência, e-mail ou presencialmente, não só com esta dissertação, mas também com os relatórios redigidos no primeiro ano de mestrado na Unidade Curricular Projeto e Seminário II.

Agradeço também ao **Prof. Doutor Pedro Raposo** pela orientação da dissertação e pela disponibilidade demonstrada, que foram fundamentais para a conclusão bem-sucedida deste trabalho.

Ao **MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente**, pelo apoio logístico essencial para a concretização deste trabalho e pela integração nas respetivas equipas.

A **todos os investigadores** com quem compartilhei saídas de campo, especialmente à **Ana Rato, André Moreira, Sara Silva e Roberto Oliveira**, agradeço pelo companheirismo, pelos ensinamentos práticos sobre o quotidiano de um biólogo de ictiofauna e pela ajuda indispensável na elaboração desta dissertação.

Ao meu **avô Zé** e à minha **avó Nana**. A ti, avô, por despertares o meu interesse pela vida selvagem ao veres comigo o National Geographic nas manhãs de fim de semana em que ficava com vocês. E a ti, avó, todo o carinho dado durante todos os anos em que estiveram cá. Obrigado minhas estrelas.

Ao meu **avô Luís** e à minha **avó Rosário**, por me terem mimado desde pequenino até aos dias de hoje. Pelas tardes alongadas no Farol a jogarmos às cartas ou a conversar e partilhares as tuas histórias de vida comigo, avô. Pelas noites em que ficaste até tarde preocupada em me fazer grandes banquetes para levar comigo para Évora e por me mostrares um pouco da tua terra natal sempre que temos disponibilidade avó.

Aos meus pais **Luís** e **Clara**, por todo o apoio e orgulho demonstrado em todas as minhas conquistas, não só a nível académico como em tudo o resto desde sempre. Obrigado por terem tornado possível uma das minhas maiores conquistas.

Aos meus irmãos **Rafaela**, **Maria** e **Rodrigo**, por me mostrarem que mesmo quando os deveres e as responsabilidades são imensos há sempre tempo para ser criança outra vez e barafustar entre irmãos.

À minha namorada **Ângela**, por seres a melhor companhia que alguém pode ter, por todo o amor demonstrado ao longo destes anos juntos e por me apoiares sempre que preciso e até quando não preciso. Sem ti, hoje em dia, não teria passado do ensino secundário, e se estou a entregar esta tese, deve-se principalmente a ti, que me fizeste continuar na faculdade e me ajudaste a esquecer as saudades que tinha de casa.

## Resumo

O estudo investigou o padrão de migração para jusante do salmão-do-atlântico (*Salmo salar* L.) no rio Mouro durante 2022 e 2023, com foco nas variações no *timing* de migração e número de migrantes, características biométricas dos *smolts* e influência de parâmetros ambientais.

A análise revelou que, apesar das variações na abundância e no *timing* da migração entre os dois anos considerados, as diferenças nas características biométricas dos migrantes entre as semanas de captura não foram estatisticamente significativas. No entanto, o estudo confirmou que o caudal do rio, a temperatura da água e o fotoperíodo influenciam significativamente a migração dos *smolts*.

O estudo contribui para o conhecimento dos padrões migratórios do salmão-do-atlântico no sul da Europa. Recomenda-se a continuidade da monitorização para uma compreensão mais completa do ciclo de vida da espécie e para o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes, sendo necessário esclarecer, por exemplo, os padrões de migração dos salmões adultos para montante.

**Palavras-chave:** *Salmo salar*; *smolt*; migrações; gestão e conservação; rio Minho

## Abstract

### Study of migration patterns of Atlantic salmon at the southern limit of their global distribution

The study investigated the downstream migration pattern of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the Mouro River during 2022 and 2023, focusing on variations in migration timing and the number of migrants, biometric characteristics of the *smolts*, and the influence of environmental parameters.

The analysis revealed that, despite variations in abundance and migration timing between the two years considered, differences in the biometric characteristics of the migrants between the capture weeks were not statistically significant. However, the study confirmed that river flow, water temperature, and photoperiod significantly influence smolt migration.

The study contributes to the understanding of Atlantic salmon migration patterns in southern Europe. It is recommended that monitoring continues for a more comprehensive understanding of the species' life cycle and for the development of more effective conservation strategies, with the need to clarify, for example, the upstream migration patterns of adult salmon.

**Keywords:** *Salmo salar*; smolt; migrations; management and conservation; Minho river

## Lista de Figuras

- 1 Enquadramento territorial do rio Minho na Península Ibérica, incluindo a localização do rio Mouro e do local de funcionamento da armadilha “Rotary Screw Trap” utilizada como método de amostragem no âmbito de estudo.
- 2 Rotary Screw Trap (RST) em funcionamento no rio Mouro.
- 3 Mapa do rio Minho com detalhe sobre o seu afluente considerado no âmbito deste estudo, o rio Mouro, e infraestrutura de captura de *smolts* (RST).
- 4 Avaliação da presença/ausência de marca PIT nos indivíduos capturados. Resultado positivo (à esquerda) e negativo (à direita).
- 5 Registo biométrico dos *smolts*, nomeadamente o registo do seu Comprimento Total (em milímetros, à esquerda) e Peso Total (em gramas, à direita).
- 6 Registo prévio da marca PIT (à esquerda) e inserção da marca PIT no abdómen do salmão (à direita).
- 7 Remoção da barbatana (à esquerda) e armazenamento da mesma num tubo eppendorf com álcool pró-análise (à direita).
- 8 Detalhes do procedimento de recolha de escamas de salmão-do-atlântico para avaliação dos padrões de idade e crescimento.
- 9 Local de libertação dos salmões marcados e aproximação à armadilha Rotary Screw Trap.
- 10 Capturas diárias de *smolts* de salmão-do-atlântico ao longo do período de amostragem no rio Mouro em 2022 e 2023.



- 11 Caixas de bigodes (Box Plots), demonstrando a variação em termos de características biométricas dos *smolts* de salmão capturados - a) Comprimento Total; b) Peso Total; c) Condição Corporal, ao longo das semanas de monitorização em 2022 e 2023.
- 12 Gráficos de dependência parcial, demonstrando a relação entre a variável resposta (Número de Salmões Contados, por dia) e as variáveis ambientais identificadas pelo GLM como significativamente relacionadas para os anos de 2022 e 2023 em conjunto.

## Lista de Tabelas

1. Períodos Semanais de Migração dos *smolts* considerados em 2022 e 2023 para a análise em termos de variação biométrica dos indivíduos de salmão-do-atlântico capturados no rio Mouro ao longo dos períodos de amostragem considerados
2. Preditores abióticos utilizados no modelo GLM efetuado para identificar as variáveis ambientais associada ao comportamento dos *smolts* no rio Mouro
3. Tabela resumo do número total de *smolts* contados para cada mês de monitorização em 2022 e 2023 no rio Mouro
4. Resultados da análise de correlação de Spearman entre as variáveis contínuas inicialmente selecionadas para incluir no modelo GLM
5. Sumário dos resultados do modelo GLM ajustados com distribuição binomial negativa
6. Sumário dos resultados do modelo GLM que avalia a relação entre os preditores ambientais testados e o número de peixes registados (variável resposta), bem como a percentagem de variação explicada por cada uma das variáveis identificadas como significativa no modelo
7. Resultados da análise ANOVA do modelo GLM final

## Lista de Abreviaturas

AIC: Akaike Information Criterion

ATD: Amplitude Térmica Diária

CMD: Caudal Médio Diário

FL: Fase da Lua

FP: Fotoperíodo

GLM: Generalized Linear Model

LC: Lua Cheia

LN: Lua Nova

NSC: Número de Salmões Contados por dia

PIT: Passive Integrated Transponder

PMD: Precipitação Média Diária

QC: Quarto Crescente

QD: Quarto Decrescente

RST: Rotary Screw Trap

SNIRH: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

TMD: Temperatura Média Diária

# Índice

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Agradecimentos</b>  | <b>I</b>    |
| <b>Resumo</b>  | <b>III</b>  |
| <b>Abstract</b>  | <b>IV</b>   |
| <b>Lista de Figuras</b>  | <b>V</b>    |
| <b>Lista de Tabelas</b>  | <b>VII</b>  |
| <b>Lista de Abreviaturas</b>   | <b>VIII</b> |
| <b>1. Introdução</b>   | <b>1</b>    |
| 1.1. A espécie-alvo - o salmão-do-atlântico ( <i>Salmo salar</i> L.)                         | 1           |
| 1.1.1. Ciclo de vida   | 2           |
| 1.1.2. Alimentação   | 5           |
| 1.2. Ameaças   | 7           |
| 1.3 Valorização socioeconómica   | 15          |
| 1.4 Estado da arte sobre a migração dos smolts   | 17          |
| 1.5 Objetivos de estudo  | 20          |
| <b>2. Metodologia</b>  | <b>21</b>   |
| 2.1 Caracterização da área de estudo   | 21          |
| 2.2.1. Caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Minho                               | 21          |
| 2.2.2. O rio Mouro   | 23          |
| 2.2 Monitorização da migração dos smolts de salmão-do-atlântico                              | 25          |
| 2.3 Tratamento de dados  | 31          |
| <b>3. Resultados</b>   | <b>36</b>   |
| 3.1 Padrão de migração dos smolts de salmão-do-atlântico                                     | 36          |
| 3.2 Características Biométricas dos Indivíduos   | 39          |
| 3.3 Identificação dos parâmetros ambientais relacionados com a migração dos smolts           | 42          |
| <b>4. Discussão</b>  | <b>47</b>   |
| 4.1 Padrão de migração dos smolts de salmão-do-atlântico                                     | 47          |
| 4.2 Características Biométricas dos Indivíduos   | 49          |
| 4.3 Identificação dos parâmetros ambientais relacionados com a migração dos smolts de salmão | 52          |
| <b>5. Considerações finais</b>   | <b>56</b>   |
| <b>6. Referências bibliográficas</b>   | <b>59</b>   |

# 1. Introdução

## 1.1. A espécie-alvo - o salmão-do-atlântico (*Salmo salar* L.)

São inúmeros os exemplos de espécies que atualmente se encontram significativamente ameaçadas e que necessitam de planos e medidas de conservação para que permaneçam no nosso planeta. Quando se trata de uma espécie em particular, a implementação dessas ações de conservação só pode decorrer quando conhecemos a biologia e a ecologia da espécie, bem como os principais riscos que esta enfrenta.

O salmão-do-atlântico (*Salmo salar* L.) pertence à classe dos Actinopterygii, ordem dos Salmoniformes e família Salmonidae, é uma espécie de peixe diádroma, mais especificamente anádroma, que realiza a sua migração reprodutiva para água doce. Este salmonídeo tem uma elevada importância biológica, cultural e económica e uma vasta dispersão. ocorrendo no Atlântico Norte, desde a região do Círculo Polar Ártico na Islândia, no Mar Báltico, até ao norte da Península Ibérica, que representa o limite sul da sua distribuição global (Maitland, 1995).

Globalmente, a espécie é classificada como Pouco Preocupante (LC) (IUCN, 2023), mas em Portugal, é considerada Criticamente em Perigo (CR) (Magalhães et al., 2023), onde as populações desta espécie ocorrem de forma viável apenas nos rios Minho e Lima, sendo que também são avistados, esporadicamente, alguns exemplares nos rios Douro e Cávado (Magalhães et al., 2023).

Enquanto as fêmeas mantêm o seu aspecto prateado, os machos adquirem pontos de coloração alaranjada e curvam as maxilas em forma de gancho durante a época de reprodução. Apresenta um corpo alongado, sendo que os machos atingem até 150 centímetros de comprimento total e as fêmeas até 120 centímetros (Muus et al., 1999). A esperança de vida é de cerca de 10 anos, no entanto a maioria dos indivíduos vive apenas entre 4 e

6 anos. O peso máximo registado é de 46,8 quilos (Daymond, 1963), mas hoje em dia os exemplares capturados raramente ultrapassam os 14 quilos.

#### 1.1.1. Ciclo de vida

##### Pré-migratório

O salmão-do-atlântico desova no final de outono ou no princípio do inverno nas zonas altas dos rios, especificamente nos meses de outubro e novembro. A fêmea escava um ninho em fundos de cascalho ou areia. O período de incubação dos ovos pode durar de três a seis meses, dependendo da temperatura (Magalhães et al., 2023). Após a sua eclosão, os peixes são designados como alevins, medindo aproximadamente 2 centímetros de comprimento, durante os meses de abril a maio. Estes prosperam em áreas de baixa profundidade, onde a água tem menos de 20 centímetros de profundidade, e preferindo leitos de cascalho e velocidades de corrente na faixa de 50 a 70 centímetros por segundo. (Magalhães et al., 2023; Mills 1989).

Esses alevins dependem das suas próprias reservas alimentares durante quatro a seis semanas antes de começarem a alimentar-se de larvas de insetos. Após ocorrer esta alteração do modo de alimentação e da respectiva dieta, estes peixes passam a designar-se de *fry* e posteriormente a essa fase, os salmões evoluem de *fry* para *parr* (Melo, 2015).

O salmão-do-atlântico habita em água doce durante um ou mais anos, desde o momento em que nasce até à sua migração para jusante com destino ao mar (Solomon, 1978). Na primavera, quando completam um ano de idade, os *parr* imaturos podem passar pelo processo de *smoltificação*, uma metamorfose que envolve mudanças morfológicas, bioquímicas, fisiológicas e comportamentais, preparando-os para a migração em direção ao mar (McCormick et al., 1987).

A decisão de um *parr* sobre realizar esta metamorfose e iniciar a sua migração para o mar, depende das suas reservas energéticas e da respetiva taxa de crescimento, que são avaliados no final do verão e outono do ano anterior (Metcalf et al., 1989; Rikardsen et al., 2004; Thorpe et al., 1998).

Durante o processo de *smoltificação* do salmão-do-atlântico, ocorrem mudanças morfológicas, como a adoção de uma forma corporal mais fina e alterações na coloração do corpo, com barbatanas e dorso escuros, ventre branco e flancos prateados, que ajudam a camuflar o peixe no seu novo ambiente (Bigelow, 1948 & Rochard & Elie, 1994). No entanto, o maior desafio fisiológico é a necessidade de controlar os níveis de sal no seu corpo, quando se dá a passagem da água doce para água salgada. Por este motivo, as adaptações fisiológicas que ocorrem no processo de *smoltificação* destes indivíduos incluem modificações nas concentrações de iões plasmáticos Cl<sup>-</sup> e Na<sup>+</sup> e um aumento na atividade Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e ATPase da brânquia (Boeuf, 1994; Strand et al., 2011). Além disso, ocorre a regulação das hormonas da tiróide (Hutchison & Iwata, 1998), das hormonas do crescimento (GH) e do cortisol (Sakamoto et al., 1995), como parte do processo de *smoltificação*.

### Migratório

Os salmões que, na sua primeira migração para o Oceano Atlântico, se encontram em água doce, são conhecidos como *smolts*. Assim que estes entram no ambiente marinho, eles passam a ser denominados de *pós-smolts*. Após passarem o seu primeiro inverno em ambiente marinho são considerados adultos (Allan & Ritter, 1977).

A sobrevivência destes indivíduos é fortemente influenciada pelo momento da migração, pois uma escolha inadequada pode aumentar significativamente a taxa de mortalidade (Thorstad et al., 2012). A migração estende-se por um período de três a sete semanas, habitualmente de abril a julho, ocorrendo mais cedo nas populações do sul (Antonsson & Gudjonsson, 2002; McGinnity et al., 2007; Orell et al., 2007; Solomon, 1978; Stewart et al., 2006; Thorstad et al., 2011; Veselov et al., 1998), quando estes atingem cerca de 16 cm de comprimento. Neste período os *smolts de salmão-do-atlântico* podem ser confundidos com *smolts* de outras espécies, como por exemplo a truta-marisca (*Salmo trutta* L.), espécie com a qual podem inclusive hibridar (Urke & Kristensen, 2013).

Os *smolts* de salmão usam tanto pistas ambientais, em que prevêm as condições oceânicas favoráveis para iniciar a migração para jusante, como pistas sociais, em que a presença de outros migrantes no rio pode estimular a migração (Thorstad et al., 2012). Estes nadam em direção a zonas com salinidade crescente de forma a se orientarem dos rios para as áreas costeiras e marítimas. A exposição a águas com maior salinidade aumenta a velocidade de natação dos *smolts* e dos *pós-smolts* (Davidsen et al., 2009; Finstad et al., 2005; Kocik et al., 2009; Moore et al., 1995).

Os indivíduos de *S. salar* podem manter-se em ambientes marinhos por um período de entre um a cinco anos de vida, embora seja mais comum a migração reprodutora para montante ocorrer após um ou dois anos de permanência no mar (Klemetsen et al., 2003; Rochard & Elie, 1994).

Foi constatado que os *smolts* de *S. salar* adotam comportamentos anti-predação durante esta migração, e por isso a maioria das migrações ocorrem durante a noite e em temperaturas mais baixas para minimizar o risco de predação por predadores que os avistem. Estes indivíduos parecem estar adaptados para entrar no mar quando a temperatura da água atinge os 8°C (Ibbotson et al., 2006). A migração síncrona também pode ser uma estratégia anti-predatória para aumentar a sobrevivência através de efeitos de confusão (Finstad & Jonsson, 2001).

Esta espécie possui uma característica associada à capacidade de *homing*, sendo os adultos capazes de encontrar o seu caminho de volta para o rio de origem com uma precisão elevada, aquando da migração reprodutora (Jones, 1968). Este salmonídeo usa uma combinação de pistas geomagnéticas, olfativas e visuais para se orientar durante a migração (Lohmann et al., 2008; Putman et al., 2014). Além disso, o salmão-do-atlântico pode memorizar as características químicas e físicas do rio de origem, como temperatura e composição da água, e usá-las como pistas para ajudar na orientação durante o *homing* (Dittman & Quinn, 1996; Hasler & Scholz, 1983). Este conjunto de habilidades sensoriais e cognitivas permite que os salmões adultos localizem o seu rio de origem com precisão. Acredita-se que essa capacidade de memorização das pistas olfativas e



características do rio seja adquirida durante a migração para jusante, através de um processo de aprendizagem sequencial de pistas (Hansen et al., 1993).

A época de subida dos adultos nos rios é variável, podendo ocorrer de outubro a julho. Os primeiros indivíduos a chegar são geralmente os de maior porte (Doadrio, 2001). Entre março e maio, ascendem aos rios os indivíduos de dimensões médias, principalmente fêmeas com tamanho ampliado devido à preparação para a postura. Por fim, chegam aos rios os indivíduos de menor porte, na sua maioria machos (Jensen et al., 2012). O processo de desova ocorre no outono e no princípio do inverno nas zonas altas dos rios (Doadrio, 2001).

A migração reprodutora para montante e a posterior desova requerem um grande dispêndio de energia, levando à exaustão e morte da maioria dos adultos das espécies desta família. Embora seja menos comum, alguns indivíduos adultos de *S. salar* têm a capacidade de retornar ao mar após o período de reprodução, permitindo-lhes reproduzir-se novamente nos anos seguintes. Esses indivíduos são conhecidos como *kelts* (Fleming, 1996). Alguns salmões podem reproduzir-se até quatro vezes (Doadrio, 2001).

#### 1.1.2. Alimentação

A migração oportuna dos *smolts* para o ambiente marinho é vital para maximizar as probabilidades de sobrevivência. Durante essa transição, a temperatura costeira influencia a disponibilidade de presas cruciais, como larvas de peixes, impactando diretamente o crescimento e, conseqüentemente, a sobrevivência dos *smolts* (Handeland et al., 2008; Hvidsten et al., 1998; Rikardsen & Dempson, 2011; Thorstad et al., 2012).

Os *smolts* de *S. salar* adaptam a sua entrada no mar para migrar durante o período mais propício em termos alimentares, visando garantir uma condição física robusta e evitar predadores. Durante essa transição, ocorre uma mudança na dieta, passando de se alimentarem de insetos em água doce para larvas de peixes marinhos e crustáceos, promovendo um rápido

crescimento (Dutil & Coutu, 1988; Rikardsen et al., 2004; Thorstad et al., 2012). O salmão-do-atlântico é conhecido pela sua capacidade oportunista de predação, alimentando-se de diversas espécies ao longo da sua migração marinha (Rikardsen & Dempson, 2011; Thorstad et al., 2012).

A seleção do momento adequado para entrar no mar é crucial, devido ao impacto que tem na disponibilidade de presas e, conseqüentemente, no crescimento e na sobrevivência dos *pós-smolts*. A diversidade de presas capturadas aumenta assim que estes entram em ambiente marinho, apresentando desafios relacionados com a dimensão e a abundância das suas presas (Rikardsen & Dempson, 2011). Esses aspectos são fundamentais na compreensão da ecologia e dinâmica populacional das populações de *S. salar* (Hvidsten et al., 2009; Levings, 1994; Salminen et al., 1994; Thorstad et al., 2012).

## 1.2. Ameaças

Durante as fases *parr* e *smolt*, o salmão-do-atlântico é particularmente vulnerável, sobretudo devido à sua sensibilidade e à exposição a fenómenos de poluição aquática enquanto habitam em águas doces. É neste período do seu ciclo de vida que se regista a maior taxa de mortalidade (Mills, 1986; Mohammed, 2013). Com as populações de *S. salar* em declínio, esta mortalidade pode contribuir consideravelmente para limitar o seu recrutamento, a sua reprodução e a posterior sobrevivência.

### Predação

A predação por aves, mamíferos e peixes pode constituir o maior fator de mortalidade natural nos rios, e a migração para jusante durante a noite que se verifica no início da primavera pode ser uma adaptação para evitar a predação (Ibbotson et al., 2006). Foi demonstrado que espécies piscívoras/carnívoras de vários grupos, como a lontra-europeia (*Lutra lutra* L.), o lúcio (*Esox lucius* L.), o mergulhão-de-pescoço-vermelho (*Mergus merganser* L.), entre outros, predam *smolts* em água doce (Aarestrup et al., 1999; Feltham & MacLean, 1996; Jepsen et al., 1998; Koed et al., 2002; 2006; Larsson, 1985; Mather, 1998; Reitan et al., 1987; Ruggles, 1980;).

Para além de enfrentarem a predação, na sua migração para jusante, os *smolts* de salmão, podem ficar feridos ou até mesmo morrer por lesões causadas por impactos físicos nos rios, por exemplo ao atravessar cascatas, o que facilitaria a caça dos predadores (Saettem, 1990).

No entanto, é em áreas próximas à foz dos rios, que os *smolts* sofrem a maior mortalidade natural (Lacroix, 2008; Mather, 1998; Serrano et al., 2009; Thorstad et al., 2012).

### Doenças e parasitas

O salmão-do-atlântico enfrenta uma série de patógenos ao longo do seu ciclo de vida, que podem esgotar as suas reservas de energia em diferentes graus. (Bakke & Harris, 1998). Alguns desses patógenos têm o potencial de

causar doenças fatais, enquanto outros resultam em custos energéticos leves, mas prejudiciais para o hospedeiro (Bakke & Harris, 1998; Harris et al., 2011).

Parasitas, como o piolho-do-salmão (*Lepeophtheirus salmonis*), representam uma ameaça significativa em vários estágios da vida do salmão-do-atlântico, incluindo *parr*, *smolt* e *pós-smolt*. Infelizmente, a compreensão sobre o último estágio, especialmente a fase oceânica tardia, ainda é limitada (Harris et al., 2011).

De entre as doenças que impactam esta espécie, destacam-se a doença renal bacteriana, a doença renal corinebacteriana, a furunculose, a podridão das barbatanas, as infecções fúngicas, o vírus da necrose pancreática infecciosa e a doença entérica da boca vermelha (Scott & Scott, 1988).

#### Alterações climáticas

O aumento das temperaturas, influenciado pelas alterações climáticas, têm alterado o padrão de migração do salmão (Scarnecchia, 1984). Os *smolts*, por exemplo, ajustam o momento da sua migração para o mar para otimizar a sobrevivência em resposta às condições térmicas (Hvidsten et al., 1998; 2009; McCormick et al., 1998). Em média, os *smolts* de *S. salar* estão a iniciar a migração para o mar, cerca de dois dias e meio mais cedo por década devido ao aumento das temperaturas na água doce. Essa mudança pode resultar em desajustes com as condições ideais no mar, afetando o crescimento e a sobrevivência (Kennedy e Crozier 2010; Russell et al., 2012; Simmons et al., 2021). As alterações climáticas também podem influenciar o padrão de retorno dos adultos aos cursos de água, com impactos no sucesso reprodutivo (Jonsson & Jonsson 2009).

Acredita-se que as alterações climáticas estejam a retardar a maturidade sexual do salmão, devido à redução das oportunidades de alimentação marinha, o que limita o crescimento e o potencial de maturação dos peixes (Bacon et al., 2009; Bal et al., 2017; Jonsson et al., 2016; Otero et al., 2012). Estudos indicam que mudanças na composição da comunidade zooplanctónica, impulsionadas pelo clima, podem estar associadas a reduções

no crescimento marinho e na sobrevivência do salmão devido à diminuição na abundância de alimentos e do respetivo conteúdo nutricional (Beaugrand & Reid 2003; Jonsson et al., 2016 & Todd et al., 2008).

A acidificação dos oceanos devido aos elevados níveis de CO<sub>2</sub>, resultantes das alterações climáticas, pode afetar a capacidade dos salmonídeos de detectar pistas olfativas, essenciais para encontrar presas, evitar predadores e localizar os rios de origem durante as migrações reprodutoras (Williams et al., 2019). Portanto, as alterações climáticas têm contribuído significativamente para os recentes declínios da população de salmão (Beaugrand & Reid, 2012; Friedland et al., 2014; Nicola et al., 2018).

A sobrevivência marinha dos *pós-smolts* é fortemente impactada pela variação de temperatura em diferentes populações, como as da América do Norte, Mar da Noruega e sul da Europa (Olmos et al., 2020).

Prevê-se que a distribuição do salmão sofra um declínio até ao final do século XXI, em parte devido às alterações climáticas, através da redução na disponibilidade de habitat com condições térmicas adequadas (Lassalle & Rochard, 2009). Embora se espere que as condições térmicas mais adequadas se estendam para o norte, invadindo novas áreas de desova, berçário e alimentação, as populações do sul podem ser erradicadas (Hedger et al., 2013; Hastings et al., 2020; Todd et al., 2011). O salmão já está a responder às mudanças nas temperaturas, migrando para o norte, no Oceano Ártico, e desaparecendo de muitas zonas próximas do limite sul da sua área de distribuição (Bilous & Dunmall 2020; Jensen et al., 2014; Jonsson & Jonsson, 2009).

A influência da temperatura e do caudal da água nos processos de *smoltificação* e migração para jusante é significativa. Estas alterações ambientais podem ter impacto tanto na *smoltificação* quanto na migração dos *smolts*. Se a mudança climática resultar em momentos desfavoráveis para a migração e mudanças na idade de *smoltificação*, a sobrevivência dos salmões pode ser afetada (Kennedy & Crozier, 2010).

## Construção de barragens e outros obstáculos

### O efeito da fragmentação do habitat

A construção de barragens, seja para a formação de reservatórios artificiais ou para produção de energia hidroelétrica, tem efeitos significativos sobre os habitats e as rotas migratórias do salmão. Essa intervenção causa fragmentação dos habitats naturais, interrompendo as vias de migração dos peixes até às suas áreas de reprodução. Como resultado, a migração dos salmões é dificultada, o que impacta negativamente o seu sucesso reprodutivo. Estes eventos são amplamente reconhecidos como graves e constituem uma ameaça significativa para a sobrevivência das espécies migradoras (Thorstad et al., 2012).

A passagem por barragens e turbinas de centrais hidroelétricas representa um risco significativo de mortalidade (Hvidsten & Johnsen, 1997; Larinier & Travade, 2002; Ruggles, 1980). As causas de mortalidade para os *smolts* que atravessam as turbinas durante a sua migração descendente, para o mar, podem incluir danos físicos causados pelas colisões com as partes móveis dessas estruturas (Ruggles, 1980). O risco de mortalidade aumenta à medida que o tamanho dos peixes também aumenta (Ferguson et al., 2008; Larinier, 2008).

As barragens e reservatórios podem impactar negativamente a migração do salmão-do-atlântico, ao criar ambientes que favorecem a concentração de predadores e presas (Aarestrup et al., 1999; Blackwell e Juanés, 1998; Jepsen et al., 1998).

Estes habitats podem beneficiar aves, mamíferos e peixes predadores (Ward & Hvidsten, 2011). Além disso, as atividades humanas que alteram significativamente os habitats naturais, transformando sistema de água corrente (lótico) em sistema de água parada (lêntico), podem intensificar a presença de predadores e aumentar a vulnerabilidade do salmão à predação (Ward & Hvidsten, 2011).

É amplamente reconhecido que a predação afeta o comportamento, o recrutamento e a dinâmica populacional do salmão, embora existam poucos dados específicos sobre o impacto da predação nas populações de salmão (Ward & Hvidsten, 2011).

#### O efeito de alteração do habitat

As barragens podem também contribuir para alterações de caudal, temperatura e qualidade da água dos rios (Thorstad et al., 2012). A presença de barragens implica transformação de ambientes lóticos em lênticos, o que acarreta alterações nos parâmetros físico-químicos da água e nas comunidades animais e vegetais presentes. Estas afetam o fluxo de água a jusante, resultando em redução, homogeneização ou flutuações bruscas do caudal dos rios e têm efeitos negativos no ambiente de água doce disponível, pois a redução do fluxo de água facilita a entrada de água salgada nos estuários, resultando na perda de locais adequados para o crescimento, alimentação e desova das espécies (Wu, 2019).

#### Introdução de espécies não nativas

A introdução de espécies não nativas representa uma séria ameaça para as comunidades piscícolas nativas, incluindo o salmão-do-atlântico (*Salmo salar*). Essas espécies exóticas, quando introduzidas em ecossistemas fluviais, podem causar desequilíbrios ecológicos significativos, competindo por recursos, alterando a estrutura do habitat e, em muitos casos, agindo como predadores diretos das espécies nativas (Almeida et al., 2018).

A introdução de espécies não nativas predadoras, como o lúcio (*Esox lucius*), nos habitats fluviais onde o salmão-do-atlântico desova e se desenvolve, pode reduzir drasticamente o sucesso reprodutivo da espécie (Magalhães et al., 2023). Estes predadores podem preda o salmão, diminuindo as populações e perturbando os ciclos naturais de migração (Forseth, 2017).

Deste modo, a invasão ou introdução de espécies exóticas predadoras constitui uma ameaça significativa e multifacetada para as comunidades piscícolas nativas, incluindo o salmão-do-atlântico, particularmente nos rios (Magalhães et al., 2023).

### Pesca Acidental e Ilegal

A captura acidental e ilegal emerge como uma ameaça crescente para as populações de salmão, sobretudo devido à intensificação das pescas pelágicas ao longo das rotas de migração destas espécies (ICES, 2014).

A captura acessória de salmão, que ocorre em pescas marítimas destinadas a espécies pelágicas e em águas estuarinas e costeiras, pode resultar na mortalidade de peixes feridos, o que suscita preocupações quanto ao impacto desta prática nas populações de salmão-do-atlântico (Jonsson & Jonsson 2004 & Parrish et al., 1998).

Apesar da diminuição das taxas médias anuais de exploração desde a década de 1970, não foram observados ganhos esperados no retorno de adultos, sugerindo que fatores além da pesca podem contribuir para a mortalidade marinha (Klemetsen et al., 2003). A pesca ilegal no mar foi apontada como possível responsável pela escassez de adultos (Dadswell et al., 2022).

As pescas costeiras e marítimas impactaram as populações de salmão, mas a implementação de medidas restritivas, como o encerramento de pesqueiros e regulamentações rigorosas, reduziu significativamente as taxas de exploração e proibiu a pesca comercial em algumas regiões (ICES, 2019).

Apesar de melhorias, a exploração pesqueira ainda pode afetar indiretamente o salmão, alterando a abundância de outras espécies com as quais interagem como concorrentes, predadores ou presas (Haugland et al., 2006 & Rikardsen & Dempson, 2011).



A regulação da pesca, incluindo medidas como a captura e libertação em determinadas épocas, é crucial para mitigar esses potenciais problemas e garantir a sustentabilidade das populações de salmão (Consuegra et al., 2005; Harvey et al., 2017). No âmbito desta ameaça específica, salienta-se o facto de o rio Minho ser o único local da Península Ibérica onde é possível a pesca comercial do salmão (Antunes, 2015).

### Contaminantes e poluentes

São diversos os poluentes provenientes de atividades agrícolas e industriais intensivas que exercem um impacto significativo nos processos comportamentais e fisiológicos de espécies piscícolas mais sensíveis a alterações do meio, como o salmão-do-atlântico. Esta influência é particularmente notória nos salmonídeos, que revelam uma elevada sensibilidade a tais agentes contaminantes (Kroglund et al., 2007; Magee et al., 2001; Moore et al., 2003; Waring & Moore, 2004).

A exposição a pesticidas agrícolas na água doce pode interferir com a *smoltificação* e inibir o comportamento migratório, resultando em falhas na migração ou em atrasos significativos neste processo (Moore et al., 2007). Esse atraso pode levar à perda da janela de oportunidade ideal para a concretização destes processos, o que, por sua vez, reduz a sobrevivência e as taxas de retorno dos peixes quando adultos (Rikardsen & Dempson, 2011).

Essa exposição tem o potencial de modificar a percepção olfativa dos *smolts* durante o período crítico associado ao *imprinting* no rio de origem (Moore, 2007). Esta mudança na sensibilidade olfativa é relevante, uma vez que a exposição sub-letal a contaminantes durante o processo de *smoltificação* pode ter repercussões significativas no retorno de populações específicas de salmão-do-atlântico aos seus rios de origem. Além disso, quando os *smolts* acessam as águas costeiras, a exposição prévia a esses contaminantes no ambiente de água doce pode influenciar o seu movimento e orientação (Moore et al., 2008).

Contaminantes, como os contidos nas chuvas ácidas, e os metais associados, podem também causar danos graves às brânquias dos peixes, comprometendo sua capacidade de osmorregulação durante o seu desenvolvimento, prejudicando a adaptação entre meios com características de salinidade distintas (Kroglund et al., 2007).

### 1.3 Valorização socioeconómica

O salmão, do ponto de vista socioeconómico, cultural e ambiental, destaca-se como um recurso de inegável valor, especialmente no contexto da pesca recreativa e na promoção de ecossistemas em bom estado ecológico. No âmbito cultural e socioeconómico, as implicações do salmão vão além da mera atividade pesqueira. As comunidades ribeirinhas consideram-no um recurso vital, apoiando uma ampla gama de atividades relacionadas com o uso e exploração de bens e serviços provenientes dos ecossistemas aquáticos. A pesca recreativa, em particular, emerge como uma prática significativa enriquecendo as atividades culturais das populações locais (Almeida et al., 2018).

Diante deste cenário, é imperativo reconhecer a necessidade de preservação destes salmonídeos. Nos últimos anos, diversos programas de conservação e gestão têm sido implementados, focando-se principalmente no desenvolvimento de ações de reabilitação de habitats e na aplicação de regulamentos de pesca que visam garantir a sustentabilidade da exploração dessas pescas de forma equilibrada e duradoura (Almeida et al., 2018).

Assim, a valorização do salmão transcende os meros aspectos económicos, alcançando dimensões culturais e ambientais que requerem uma abordagem integrada e sustentável para assegurar a continuidade deste recurso vital e a preservação dos ecossistemas fluviais nos quais ele prospera.

No contexto nacional e ibérico, este peixe desempenha um papel crucial na região do vale do rio Minho, que se configura como um importante eixo de desenvolvimento na bacia, englobando municípios como Caminha, Vila Nova de Cerveira, Valença, Monção e Melgaço, conforme evidenciado pelo Cadastro Nacional de Áreas de Desenvolvimento Controlado (Almeida et al., 2018).

Nessas áreas, a interação entre as atividades humanas e o ambiente aquático torna-se particularmente evidente, criando um cenário onde as

comunidades locais dependem fortemente dos recursos oferecidos pelo rio Minho. Importa salientar que a pesca com morte, seja ela comercial (fins lucrativos) ou recreativa (lazer), do salmão-do-atlântico, é proibida no rio Lima, sendo o rio Minho a única bacia na Península Ibérica onde essa prática é permitida e devidamente regulamentada, durante os meses de março a junho (Almeida et al., 2018).

#### 1.4 Estado da arte sobre a migração dos *smolts*

Ao longo dos anos, foram realizados diversos estudos com o objetivo de aprofundar a compreensão das migrações dos *smolts* de salmão-do-atlântico, principalmente no continente europeu. No entanto, é importante destacar notáveis discrepâncias no nível de conhecimento e detalhe entre os trabalhos conduzidos com as populações de salmão nas regiões do norte e sul da sua distribuição global, especialmente na Península Ibérica. Nessas regiões, a abundância de salmão sofreu um declínio severo durante o século passado, principalmente devido à redução das áreas de desova associadas à construção de barragens, poluição e pesca excessiva (Almeida et al., 2023; Brana et al., 1995).

No norte da sua distribuição, foram conduzidas pesquisas extensivas e minuciosas sobre o salmão-do-atlântico, abordando a migração, o comportamento e o ciclo de vida das populações de salmão-do-atlântico nas águas do Atlântico Norte. Estes estudos são frequentemente caracterizados pela aplicação de metodologias inovadoras e tecnologias avançadas.

Na Noruega, por exemplo, foram fornecidas informações abrangentes sobre o comportamento e a sobrevivência dos *smolts* e o início da migração *pós-smolt* (Thorstad et al., 2012), estudada a influência da temperatura da água na sobrevivência dos *smolts* (Hvidsten et al., 1998), e avaliadas as principais ameaças ao salmão (Forseth et al., 2017) e a marcação biotelemétrica tem sido amplamente utilizada para recolher dados detalhados sobre o comportamento e as preferências ambientais dos *smolts* durante sua migração para o mar (Aarestrup et al., 1999; Thorstad et al., 2011; Thorstad et al., 2012). Na Dinamarca, foram investigados os movimentos de duas cepas de *smolts* de salmão Atlântico marcados com rádio através de um reservatório (Aarestrup et al., 1999). Na Suécia, foi analisado o comportamento alimentar dos *smolts* durante as fases de estuário e mar em água doce (Levings, 1994). Na Finlândia, foi avaliado o impacto das mudanças climáticas do século XXI na distribuição de peixes diádromos, incluindo o salmão (Lassalle & Rochard, 2009). Na Escócia, foi examinado empiricamente o comprimento, peso e condição do salmão Atlântico adulto ao retornar à costa escocesa (Bacon et al., 2009). Na Irlanda do Norte, foram observadas evidências de mudanças nos padrões migratórios de *smolts* de salmão Atlântico no Rio Bush, possivelmente associadas

às mudanças climáticas (Kennedy & Crozier, 2010). Na Islândia, foi investigada a variabilidade no tempo e nas características dos *smolts* de salmão-do-atlântico nos rios islandeses, focando em como o tamanho e o desenvolvimento destes variam ao longo do tempo e entre rios (Antonsson & Gudjonsson, 2002).

Na América do Norte, nos EUA, foram estudados os efeitos da acidez e do alumínio sobre a fisiologia e o comportamento migratório de *smolts* de salmão-do-atlântico no Maine (Magee et al., 2001). No Canadá, analisou-se a influência da origem na migração e sobrevivência dos salmões na Baía de Fundy, utilizando biotelemetria e rastreamento por satélite, o que tem permitido o monitoramento em tempo real das rotas migratórias ao longo de vastas distâncias (Lacroix, 2008) e foi estudada a dispersão e interação do salmão no Ártico canadense (Bilous & Dunmall, 2020).

Em contraste, no sul da sua distribuição, particularmente na Península Ibérica, a pesquisa tem-se focado mais na conservação e gestão das populações remanescentes (Consuegra et al., 2011; Kuparinen et al., 2010).

Em Portugal, foi realizada uma avaliação abrangente do estado de conservação e das ameaças enfrentadas pelos peixes diádromos, como o salmão-do-atlântico, com foco nas suas populações e nos fatores que comprometem a sua sobrevivência como a perda de habitat, a poluição e a construção de barragens (Almeida et al., 2018). Destacou-se como a redução das populações de peixes anádromos, como o salmão-do-atlântico, influencia negativamente os ecossistemas fluviais e costeiros, impactando a biodiversidade e a qualidade ambiental (Almeida et al., 2023). Foram detalhadas as implicações do declínio desses serviços do ecossistema, e propostas medidas para restaurar e melhorar a integridade dos ecossistemas aquáticos, enfatizando a necessidade de práticas de gestão sustentável e conservação eficaz (Almeida et al., 2023). Além disso, foram implementadas iniciativas para a transposição de obstáculos em rios portugueses a fim de facilitar a migração de peixes (ICNF, 2020).

Em Espanha, diversos estudos têm contribuído para a compreensão das populações de salmão-do-atlântico e suas ameaças. Foi analisada a história e geografia do rio Minho (Álvarez, 2009), compilado um atlas e livro vermelho sobre

os peixes continentais da Espanha, incluindo o salmão-do-atlântico (Doadrio, 2001), investigado o tamanho efetivo da metapopulação de salmão-do-atlântico no norte de Espanha (Consuegra et al., 2011; Kuparinen et al., 2010).

Essas investigações têm sido cruciais para identificar as tendências populacionais e as ameaças que afetam essas populações marginalizadas, bem como para desenvolver estratégias de conservação que possam mitigar os impactos negativos e promover a recuperação dessas populações em declínio. Além disso, foram fornecidas diretrizes específicas para a gestão e conservação dessas espécies, visando garantir a sua sobrevivência a longo prazo. Estes estudos têm contribuído para preencher uma lacuna no conhecimento sobre os movimentos migratórios detalhados dos salmões ibéricos, especialmente no que diz respeito às áreas específicas de alimentação no oceano e aos padrões de retorno aos rios de origem.

Assim, enquanto o norte da Europa possui um corpo robusto de pesquisas detalhadas sobre o salmão-do-atlântico, incluindo estudos sobre sua ecologia e migração, o sul da Europa ainda apresenta lacunas significativas que precisam ser preenchidas para uma compreensão mais completa da biologia e comportamento do salmão no limite sul da sua distribuição global.

## 1.5 Objetivos de estudo

O objetivo deste estudo, essencial para a compreensão detalhada da espécie no limite sul da sua distribuição, passa por caracterizar a migração dos *smolts* de salmão nesta região. Para atingir este propósito, foram definidos três objetivos específicos, nomeadamente: i) realizar uma análise detalhada do *timing* e da duração desta migração, com o intuito de compreender os padrões temporais associados; ii) investigar as características biométricas dos *smolts* de salmão ao longo do período de migração, procurando compreender como estas características variam durante este período; e iii) identificar quais os fatores ambientais que influenciam a migração dos *smolts* de salmão, visando identificar os principais elementos determinantes deste processo.

Prevê-se que a realização deste estudo, e os resultados que dele advêm, contribuam significativamente em termos de aplicabilidade prática para a gestão e conservação das populações de salmão-do-atlântico em Portugal. As conclusões que se prevêem obter irão providenciar perceções relevantes para a definição de medidas de gestão que assegurem a compatibilização das atividades e usos do ecossistema com a migração segura dos *smolts*. Por exemplo, estas medidas podem incluir a implementação de restrições temporais ou espaciais em determinadas atividades humanas que possam interferir na migração dos *smolts*. Em resumo, este estudo teve como objetivo não apenas compreender os padrões e processos relacionados com a migração dos *smolts*, mas também fornecer informações práticas que pudessem ser aplicadas na gestão e conservação destes importantes recursos naturais.



## 2. Metodologia

### 2.1 Caracterização da área de estudo

#### 2.2.1. Caracterização geral da bacia hidrográfica do rio Minho

O rio Minho, ou "Miño-Sil" na parte espanhola, devido à inclusão do rio Sil, serve de fronteira natural, separando o noroeste de Portugal do sudoeste da comunidade espanhola da Galiza (Delgado, 2011). Situado no noroeste da Península Ibérica com orientação nordeste-sudoeste, o rio Minho nasce em Espanha, na Serra de Meira a uma altitude de 750 metros. Tem um comprimento aproximado de 300 quilómetros, dos quais 230 quilómetros são percorridos em Espanha e um troço internacional com apenas uma extensão de 70 quilómetros, de Melgaço até ao Oceano Atlântico, na fronteira entre Portugal e Espanha, próximo a Caminha e La Guardia (APA, 2019; Instituto da Água, 2000).

Entre outras povoações em Espanha, o rio Minho banha Lugo, Ourense e Tui, assim como Valença do Minho e Caminha em Portugal. Os principais afluentes do rio Minho em território português, de montante para jusante, são os rios Trancoso, Mouro, Gadanha e Coura, de acordo com o respetivo Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica (APA, 2019).

Em Espanha, os principais afluentes na margem norte do rio Minho são os rios Támoga, Ladra, Ferreira, Avia e Tea, enquanto os rios Neira, Sil e Arnoya são os principais afluentes na margem sul (APA, 2019).

A bacia hidrográfica do rio Minho é a segunda menor bacia internacional em Portugal, depois da bacia do rio Lima. A área total da bacia hidrográfica do rio Minho é de 17 080 quilómetros quadrados, dos quais 798 quilómetros quadrados (cerca de 5%) estão situados no extremo noroeste de Portugal, entre as coordenadas 41°45' e 43°40' de latitude e 6°10' e 8°55' de longitude W. Os limites da bacia são definidos pela bacia do rio Lima e pelas ribeiras da

costa atlântica portuguesa, a sul, pela bacia do rio Douro a sudoeste e pelas bacias da costa espanhola a norte (APA, 2019 & Instituto da Água, 2000).

O rio Sil é o principal afluente do rio Minho, com cerca de 226 quilómetros de comprimento e uma bacia hidrográfica que carrega uma área de 7983 quilómetros quadrados, o que representa cerca de 47% do total da área da bacia hidrográfica do rio Minho (Instituto da Água, 2000).

Na bacia do Minho, existem 71 grandes infraestruturas hidráulicas. Ao longo do troço principal do Minho, encontram-se cinco grandes barragens e reservatórios. A primeira barragem, a partir da nascente, é a de Belesar, concluída em 1963 e com uma altura de 137 metros, possui um reservatório que se estende por cerca de 50 quilómetros de comprimento e cobre uma área de 1.828 hectares. Seguem-se a barragem de Os Peares, Velle, Castrelo de Miño e, finalmente, em Pontevedra, a barragem de Frieira (Álvarez, 2009; Delgado, 2011).

Localizando-se a bacia hidrográfica do Minho numa área transfronteiriça, de acordo com o estipulado na Convenção de Albufeira, foi estabelecido em 1998 e revisto em 2008, um regime de caudais mínimos anuais garantidos para o troço transfronteiriço, implementados e monitorizado na barragem de Frieira (Pêgo, 2017).

A barragem da Frieira foi construída em 1970, possui um volume de 44 hm<sup>3</sup>, uma potência de 130 MW e uma produção média anual de 530 GWh. Está localizada a montante da fronteira do troço internacional do rio Minho, na província espanhola de Pontevedra, município de Crecente (Pêgo, 2017). Esta é a primeira barreira intransponível para as espécies de peixes que tentam migrar para montante, podendo-se assumir que estes peixes se deslocam apenas desde a foz do rio Minho, em Caminha, até à barragem da Frieira (Pêgo, 2017).

A barragem da Frieira é o primeiro obstáculo intransponível à passagem destes animais no troço principal do rio Minho, mas existem outros obstáculos tanto no troço principal como nos afluentes (Álvarez, 2009; Pêgo, 2017). Para além desta barragem, estão inventariados 387 obstáculos de pequeno ou

médio porte (<10 m de altura) na bacia internacional do rio Minho, dos quais 90 estão localizados na parte espanhola e 297 na parte portuguesa. Destes, 55 são considerados difíceis ou intransponíveis para peixes migradores (Álvarez, 2009; Pêgo, 2017). O rio Sil também é significativamente afectado pela construção de barragens, com 13 grandes infraestruturas no seu canal principal, destacando-se a maior delas, a barragem de Bárcena (Álvarez, 2009).

Remetendo ainda às características do rio Minho, pode-se mencionar que a litologia é predominantemente granítica, com afloramentos xistosos muito metamorfizados em altitudes mais elevadas. A paisagem é marcada por vertentes abruptas, grandes blocos graníticos e arenas, produtos de meteorização das rochas graníticas, caracterizadas por textura arenosa, baixos valores de densidade importante desagregação e fragmentação dos constituintes essenciais quartzo e feldspato (Braga, 2001).

### 2.2.2. O rio Mouro

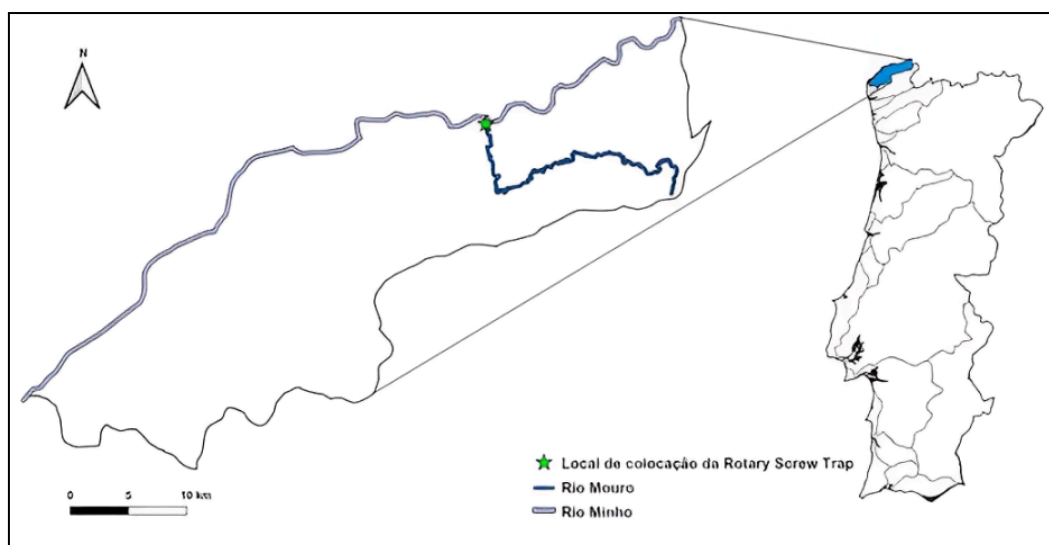
O rio Mouro, é um dos principais afluentes da bacia do Minho em território português e onde a espécie alvo deste estudo, o salmão-do-atlântico, possui maior abundância em Portugal (Almeida et al., 2023). O rio Mouro, classificado como um rio montanhoso do Norte, é um dos principais afluentes naturais do rio Minho. Este percorre uma distância de 34,2 quilómetros desde a sua nascente na serra da Peneda, a uma altitude de aproximadamente 925 m, em Lamas de Mouro, no concelho de Melgaço, até desaguar no Minho, na localidade de Ponte de Mouro. Durante esse percurso, o rio passa por diversas regiões, incluindo a Parada do Monte, Gave, Riba de Mouro, Tangil, Segude e Ceivães (Figura 1).

O rio Mouro possui diversas características geomorfológicas relevantes para sua descrição. A sua área total é de 141,11 quilómetros quadrados e o seu perímetro da sua bacia hidrográfica é de 85,97 quilómetros. O comprimento da linha de água principal é de exatamente 34,22 quilómetros. Quanto ao uso do solo em sua bacia hidrográfica, o rio Minho apresenta uma

área de territórios artificializados de 3,0%, enquanto a agricultura ocupa 15,8% e as florestas 42,9%. Os matos correspondem a 38,4% da ocupação e uso do solo na região (ICNF, 2020).

De acordo com a Carta de Ocupação e Uso do Solo de 2018, a bacia caracteriza-se por uma área rural de matriz predominantemente agrícola/florestal, ocupadas principalmente por povoamentos florestais de pinheiro-bravo e matos, que no total da bacia representam 77%, bem como parcelas com culturas temporárias (de sequeiro e regadio), culturas permanentes (principalmente de vinha mas também de pomares), e áreas agrícolas heterogêneas de mosaicos culturais e parcelares complexos, a par com mosaicos culturais e parcelares complexos, áreas agrícolas com espaços semi-naturais, e pastagens melhoradas, que no conjunto representam cerca de 16% da sua área total (ICNF, 2020).

O rio em questão possui uma rede de drenagem dendrítica pouco densa e está localizado em uma bacia hidrográfica predominantemente rural. A permeabilidade do solo varia de moderada a alta, permitindo uma boa capacidade de infiltração, especialmente nas áreas com substrato litológico composto por areia e cascalho próximo à foz e granitos e rochas semelhantes, como quartzo e dioritos, na restante bacia (ICNF, 2020).



*Figura 1- Enquadramento territorial do rio Minho na Península Ibérica, incluindo a localização do rio Mouro e do local de funcionamento da armadilha "Rotary Screw Trap" utilizada como método de amostragem no âmbito de estudo.*

## 2.2 Monitorização da migração dos *smolts* de salmão-do-atlântico

Para efetuar o acompanhamento da migração descendente dos *smolts* de salmão-do-atlântico no rio Mouro e proceder à captura desses indivíduos, implementou-se uma armadilha específica conhecida como *Rotary Screw Trap* (RST) (Ley Mill Construction Ltd. 135799294) (Figura 2). A estrutura da RST é constituída por aço inoxidável de calibre 16, incorporando uma caixa-armadilha com dimensões de 1,22 metros de comprimento e 1,07 metros de largura, sendo esta caixa coberta por uma tela de ventilação removível em alumínio.



Figura 2 - *Rotary Screw Trap* (RST) em funcionamento no rio Mouro.

A instalação e funcionamento da *Rotary Screw Trap* decorreram entre março e maio de 2022 e 2023, propósito específico de capturar os *smolts* em processo de migração para jusante. Durante este período, a armadilha foi submetida a monitorização diária, realizada por dois investigadores, com o intuito de verificar a presença ou ausência de peixes da espécie-alvo no interior da armadilha.

Em 2022, entre 1 e 8 de março, houve um período de inatividade da armadilha devido ao elevado caudal do rio, impossibilitando o acesso. A armadilha foi efetivamente operada de 9 de março a 31 de maio de 2022 e de 1 de março a 31 de maio de 2023, sendo este o período para o qual se considerou o conjunto de dados a utilizar neste estudo.

As observações ocorriam geralmente das 16h às 19h, com variações conforme as condições meteorológicas diárias. Os procedimentos realizam-se neste período do dia pois a temperatura da água e do ar é mais baixa, deste modo proporciona-se o menor stress possível para os indivíduos capturados. Este período do dia é também vantajoso pois no final dos procedimentos os salmões teriam menos probabilidade de serem predados, visto que estes seriam libertados ao final do dia quando há menos luz.

A armadilha foi instalada a cerca de 700 metros da confluência deste afluente com o rio Minho (Figura 3), uma localização estratégica para a captura e monitorização dos *smolts* durante o seu processo migratório.



Figura 3 - Mapa do rio Minho com detalhe sobre o seu afluente considerado no âmbito deste estudo, o rio Mouro, e infraestrutura de captura de smolts (RST).

Quando estavam presentes indivíduos da espécie-alvo na RST, estes eram transferidos para uma nassa de contenção, que era colocada na margem do rio, para manter os peixes em água corrente enquanto se dava o processamento individual de cada salmão.

Antes do processamento dos salmões capturados verificou-se se anteriormente a essa captura, algum indivíduo tinha sido marcado com marcas PIT (*Passive Integrated Transponder*) (Biomark APT12 FDX-B). Esse processo envolve o uso de um leitor portátil PIT tag (BioMark HPR Lite Handheld PIT Tag Reader) que é aproximado ao abdômen de cada salmão-do-atlântico capturado (Figura 4).



Figura 4 - Avaliação da presença/ausência de marca PIT nos indivíduos capturados. Resultado positivo (à esquerda) e negativo (à direita).

Os *smolts* que apresentavam PIT tags eram classificados como recapturas, originadas tanto de capturas realizadas durante o funcionamento da RST quanto de amostragens anteriores, feitas por pesca elétrica no verão anterior à instalação da armadilha no rio Mouro.

No terreno, a origem da recaptura era verificada com base nos dados dos dias anteriores. Quando a captura recente era confirmada por meio da RST, os indivíduos eram libertados a jusante para prosseguirem a migração em direção ao ambiente salino. Caso contrário, os *smolts* eram considerados provenientes das amostragens do verão anterior e submetidos à recolha de dados biométricos, que seriam posteriormente analisados para avaliar a evolução dos indivíduos desde a primeira captura.

Após a leitura das PIT tags, realizou-se a medição do comprimento total num ictiómetro, com precisão de 0,1 centímetros e o registo do peso total numa balança portátil (OHAUS NVT6201, precisão 0,1 gramas) (Figura 5).



*Figura 5 - Registo biométrico dos smolts, nomeadamente o registo do seu Comprimento Total (em milímetros, à esquerda) e Peso Total (em gramas, à direita).*

Após a recolha dos dados biométricos, os indivíduos que já tinham sido medidos e pesados para o cruzamento de dados foram libertados, também a jusante, e o processo continuou apenas com os *smolts* capturados pela primeira vez.

Seguidamente foram implantadas marcas PIT em cada um dos indivíduos capturados pela primeira vez (Biomark APT12 FDX-B). Anteriormente a esse processo foi registado o código da PIT tag com o detetor de marcas PIT. Para a marcação utilizou-se o implantador de PIT (BioMark MK25), marcando os salmões na lateral junto à parte abdominal para facilitar a inserção e evitar a perfuração de algum órgão (Figura 6).





*Figura 6- Registo prévio da marca PIT (à esquerda) e inserção da marca PIT no abdómen do salmão (à direita).*

Foi realizada a recolha de material biológico (i.e, amostra de barbatana adiposa ou anal) para análise genética em laboratório, no âmbito de outros estudos. Foram retiradas amostras da barbatana adiposa ou anal, por causarem menor impacto na natação e no comportamento dos indivíduos. As amostras foram armazenadas em tubos de ensaio identificados, contendo solução de álcool.(Figura 7).



*Figura 7 - Remoção da barbatana (à esquerda) e armazenamento da mesma num tubo eppendorf com álcool pró-análise (à direita).*

De cada indivíduo capturado, foi recolhida uma amostra de escamas da região dorsal próxima à linha lateral, para posterior análise de idade e crescimento no âmbito de outros estudos (Figura 8).



*Figura 8 - Detalhes do procedimento de recolha de escamas de salmão-do-atlântico para avaliação dos padrões de idade e crescimento.*

Após realizar a totalidade do processamento, os animais que tenham sido capturados e marcados nesta data são libertados no mesmo troço onde foram capturados.



*Figura 9 - Local de libertação dos salmões marcados e aproximação à armadilha Rotary Screw Trap.*

### 2.3 Tratamento de dados

O período abrangido pelas contagens de indivíduos de salmão-do-atlântico capturados pela armadilha instalada no rio Mouro, e os dados utilizados nas análises subsequentes para concretização dos objetivos subjacentes a este estudo, compreendeu o intervalo entre 9 de março a 31 de maio de 2022 e 1 de março e 31 de maio de 2023, tal como descrito anteriormente. Os dados de contagens de ambos os anos foram organizados em histogramas, ao longo dos dias de atividade da RST.

Além disso foram analisadas três métricas e a sua variação ao longo do tempo de monitorização e migração para jusante destes indivíduos, nomeadamente: o comprimento total, em milímetros, o peso total, em gramas, e a condição corporal dos indivíduos, calculada com base no comprimento e no peso, utilizando o fator de condição de Fulton, conforme a seguinte equação:

$$F = \frac{\textit{Peso (gramas)}}{\textit{Comprimento (centímetros)}^3} \times 1000$$

Estas três métricas foram organizadas em semanas de migração, separadamente para os dois anos (Tabela 1), e analisadas com recurso a Box Plots, os quais permitem visualizar a distribuição das variáveis, destacando a mediana, os quartis (Q1 e Q3), e os valores máximos e mínimos observados. Os outliers foram definidos como valores que se encontram fora do intervalo estabelecido por 1,5 vezes o intervalo interquartil (Q3 - Q1) acima do terceiro quartil ou abaixo do primeiro quartil.

As diferenças para cada uma destas variáveis biométricas ao longo das diferentes semanas de monitorização (Factor Fixo) foram testadas estatisticamente com recurso ao teste de PERMANOVA.

Tabela 1 - Períodos Semanais de Migração dos smolts considerados em 2022 e 2023 para a análise em termos de variação biométrica dos indivíduos de salmão-do-atlântico capturados no rio Mouro ao longo dos períodos de amostragem considerados

| Ano    | 2022                             | 2023            |
|--------|----------------------------------|-----------------|
| Semana | _____                            | _____           |
| 1      | <b>Rotary Screw Trap Inativa</b> | 1 Mar - 5 Mar   |
| 2      | 9 Mar - 13 Mar                   | 6 Mar - 12 Mar  |
| 3      | 14 Mar - 20 Mar                  | 13 Mar - 19 Mar |
| 4      | 21 Mar - 27 Mar                  | 20 Mar - 26 Mar |
| 5      | 28 Mar - 3 Abr                   | 27 Mar - 2 Abr  |
| 6      | 4 Abr - 10 Abr                   | 3 Abr - 9 Abr   |
| 7      | 11 Abr - 17 Abr                  | 10 Abr - 16 Abr |
| 8      | 18 Abr - 24 Abr                  | 17 Abr - 23 Abr |
| 9      | 25 Abr - 1 Mai                   | 24 Abr - 30 Mai |
| 10     | 2 Mai - 8 Mai                    | 1 Mai - 7 Mai   |
| 11     | 9 Mai - 15 Mai                   | 8 Mai - 14 Mai  |
| 12     | 16 Mai - 22 Mai                  | 15 Mai - 21 Mai |
| 13     | 23 Mai - 29 Mai                  | 22 Mai - 28 Mai |
| 14     | 30 Mai - 31 Mai                  | 29 Mai - 31 Mai |

O método estatístico utilizado para avaliar a relação entre o número de *smolts* capturados e as variáveis ambientais registadas na área de estudo foi o Modelo Linear Generalizado (GLM). Este método é uma extensão do modelo linear, que pressupõe que o valor esperado da variável resposta resulta de uma combinação linear das variáveis explicativas. Além disso, permite que a variável resposta apresente uma distribuição pertencente à família exponencial, sendo a relação entre o valor esperado e o vetor de variáveis explicativas definida por uma função diferenciável (Alvarenga, 2015). A variável resposta para o modelo GLM foi o Número de Salmões Contados por dia (NSC).

Antes da aplicação do modelo GLM, foi realizada uma análise preliminar das variáveis preditoras, utilizando o teste de correlação de Spearman para identificar relações fortes e significativas entre as variáveis ambientais contínuas. As variáveis categóricas não foram incluídas nesta análise preliminar. Nesta fase todas as correlações relações fortes e significativas entre as variáveis ambientais (superiores a 0,8) seriam eliminadas, para evitar a utilização de variáveis redundantes. Esta etapa revelou-se essencial para identificar possíveis relações entre as variáveis preditoras e remover aquelas que estão altamente correlacionadas, garantindo assim a qualidade da análise subsequente. A análise GLM considerou a utilização de uma distribuição Binomial Negativa, justificada pela elevada variabilidade da variável resposta, caracterizada por um número significativo de dias com registos reduzidos ou ausentes de capturas de salmões, face ao número de dias onde se registam números elevados de peixes capturados.

Foram ajustados modelos GLM para os anos de 2022 e 2023 em conjunto, utilizando uma metodologia que testa diferentes modelos compostos por diferentes conjuntos de variáveis preditoras, e seleciona o modelo que explica a maior variabilidade na variável resposta. Para ajustar o modelo GLM com distribuição Binomial Negativa, foi utilizado um procedimento *stepwise*, utilizando o pacote MASS no R (versão 4.3.2), que envolve a adição ou remoção iterativa de variáveis, com o objetivo de identificar o modelo que oferece o melhor ajuste aos dados.

O critério utilizado para a seleção do melhor modelo foi o AIC (*Akaike Information Criterion*), que mede o equilíbrio entre a complexidade do modelo e a qualidade do seu ajuste. O AIC favorece modelos mais simples e parcimoniosos, ou seja, aqueles que utilizam o menor número de variáveis preditoras possíveis, sem comprometer a capacidade de explicar adequadamente a variabilidade dos dados. O modelo com o valor de AIC mais baixo foi considerado o melhor, indicando que, embora possa incluir menos variáveis ambientais, explica uma maior variabilidade da variável resposta. Este procedimento visa garantir a seleção de um modelo robusto, eliminando variáveis redundantes ou irrelevantes.

Para o desenvolvimento do modelo GLM, foram analisados seis preditores ambientais, nomeadamente, o caudal médio diário, a temperatura média diária, a amplitude térmica diária, a precipitação média diária, o fotoperíodo e as fases da lua (Tabela 2). Os dados relativos a estes preditores foram organizados em períodos diários, tendo sido igualmente tida em conta a mudança de horário nos dias 26 de março de 2022 e 27 de março de 2023, em conformidade com a legislação aplicável (<http://oal.ul.pt/hora-legal/mudanca-da-hora/>).

As variáveis ambientais, caudal médio diário e a precipitação média diária foram obtidas no portal do SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos), utilizando a localização Foz do Mouro, no concelho de Monção, e Extremo, concelho de Arcos de Valdevez, respetivamente. Esta última seleção foi feita com base na proximidade à área de estudo, sendo aquela, mais próxima para a qual existem dados da variável pretendida (pluviosidade) para as datas correspondentes ao trabalho efetuado.

A temperatura foi obtida através da sonda (modelo HOBO U22-001) instalada no rio Mouro, próximo à armadilha. Esta sonda foi programada para obter registos do parâmetro referido em intervalos de 15 minutos. Posto isto, a temperatura média diária foi determinada através da soma da temperatura de todos os dados para cada dia dividindo pelo número de registos diários existente. Relativamente à amplitude térmica, esta foi determinada através da diferença entre a temperatura máxima e temperatura mínima para cada dia de amostragem.

Os dados do fotoperíodo e das fases da lua foram obtidos através do `suncalc` package no R (versão 4.3.2).

Tabela 2 - Preditores abióticos utilizados no modelo GLM efetuado para identificar as variáveis ambientais associada ao comportamento dos smolts no rio Mouro

| Variáveis  | Código     | Unidades           | Método de registo                     |
|--|------------|--------------------|---------------------------------------|
| <b>Caudal Médio Diário</b>   | <b>CMD</b> | m <sup>3</sup> /s  | Dados obtidos através do portal SNIRH |
| <b>Temperatura Média Diária</b>  | <b>TMD</b> | °C                 | <i>Data logger</i>                    |
| <b>Amplitude Térmica Diária</b>  | <b>ATD</b> | °C                 | <i>Data logger</i>                    |
| <b>Precipitação Média Diária</b>   | <b>PMD</b> | mm<br>(milímetros) | Dados obtidos através do portal SNIRH |
| <b>Fotoperíodo</b>   | <b>FP</b>  | h (horas)          | Suncalc package no R                  |
| <b>Fase da Lua</b>   | <b>FL</b>  | LN/QC/LC/QD        | Suncalc package no R                  |
| Nota: LN=Lua Nova; QC=Quarto Crescente; LC=Lua Cheia; QD=Quarto Decrescente; |            |                    |                                       |

A percentagem de explicação do modelo, considerando o “Número de Salmões Contados por dia (NSC)” como variável resposta, foi avaliada com os dois anos em conjunto, bem como a contribuição individual de cada variável incluída no modelo final, para entender a importância relativa de cada variável preditora na explicação da variabilidade da variável resposta.

Foram também criados gráficos de dependência parcial (partial dependence plots) para as variáveis significativas que entraram no modelo final. Esses gráficos são importantes para visualizar a relação entre as variáveis preditoras significativas e a variável resposta.

### 3. Resultados

#### 3.1 Padrão de migração dos *smolts* de salmão-do-atlântico

No ano de 2022, foi capturado um total 273 *smolts* em migração para jusante, distribuídos ao longo dos meses de março, abril e maio. Em março, foram capturados oito *smolts* de salmão; já em abril, esse número atingiu 235, e em maio, a captura registou 30 salmões (Figura 10).

No ano subsequente, 2023, observou-se uma diminuição nos registos de captura, tendo sido capturados apenas 44 *smolts*, sendo que não foram registadas capturas em março. Em abril, foram totalizadas 36 capturas, e em maio, esse número reduziu para oito (Figura 10).

É importante destacar que o número total de *smolts* capturados não deve ser comparado sem considerar a diferença no número de dias de monitorização entre os dois anos. Embora essa variação não pareça ter influenciado diretamente os resultados, é relevante assinalar que o esforço de armadilhagem foi distinto em cada período.

Em ambos os anos foram registadas recapturas de peixes marcados durante o período em que a armadilha estava em funcionamento. No ano de 2022, ocorreram 14 recapturas de peixes previamente capturados no decorrer do trabalho. Já em 2023, foram também contabilizadas quatro recapturas (ver Tabela 3). Nenhum destes indivíduos havia sido capturado pela primeira vez e marcado nas amostragens de pesca elétrica efetuadas nesta bacia durante o Verão.

Uma análise temporal revela que o mês de abril destacou-se como o período de maior atividade de migração em ambos os anos analisados (Figura 10). Em 2022, registou-se um pico significativo entre os dias 12 e 25 de abril, com as capturas diárias a variarem entre seis salmões (16 de abril) e 23 salmões (24 de abril), correspondendo a 61,9% das capturas totais desse ano.



No ano de 2023, apesar de uma redução significativa no número de capturas, observou-se uma tendência semelhante. O pico de migração ocorreu entre os dias 15 e 22 de abril, destacando-se o dia 15, com oito salmões capturados, e o dia 22, com seis capturas registradas. Neste intervalo, as capturas representaram 61,36% das capturas totais de 2023.

Ao comparar os dois anos, verifica-se uma redução substancial no número de *smolts* de salmão capturados em 2023 em relação a 2022. Essa diferença é perceptível, e a análise percentual revela uma diminuição de aproximadamente 83,88% na captura de peixes entre os dois anos, indicando uma variação inter-anual significativa na abundância destas populações e na produção de *smolts* da espécie-alvo neste curso de água, ao longo do período analisado.

Apesar da variação na quantidade total de *smolts* contados diariamente, a porcentagem de peixes capturados durante a semana associada ao pico de migração em relação ao período total de atividade foi bastante semelhante entre os dois anos, mantendo-se próxima dos 61% do total de capturas em cada ano.

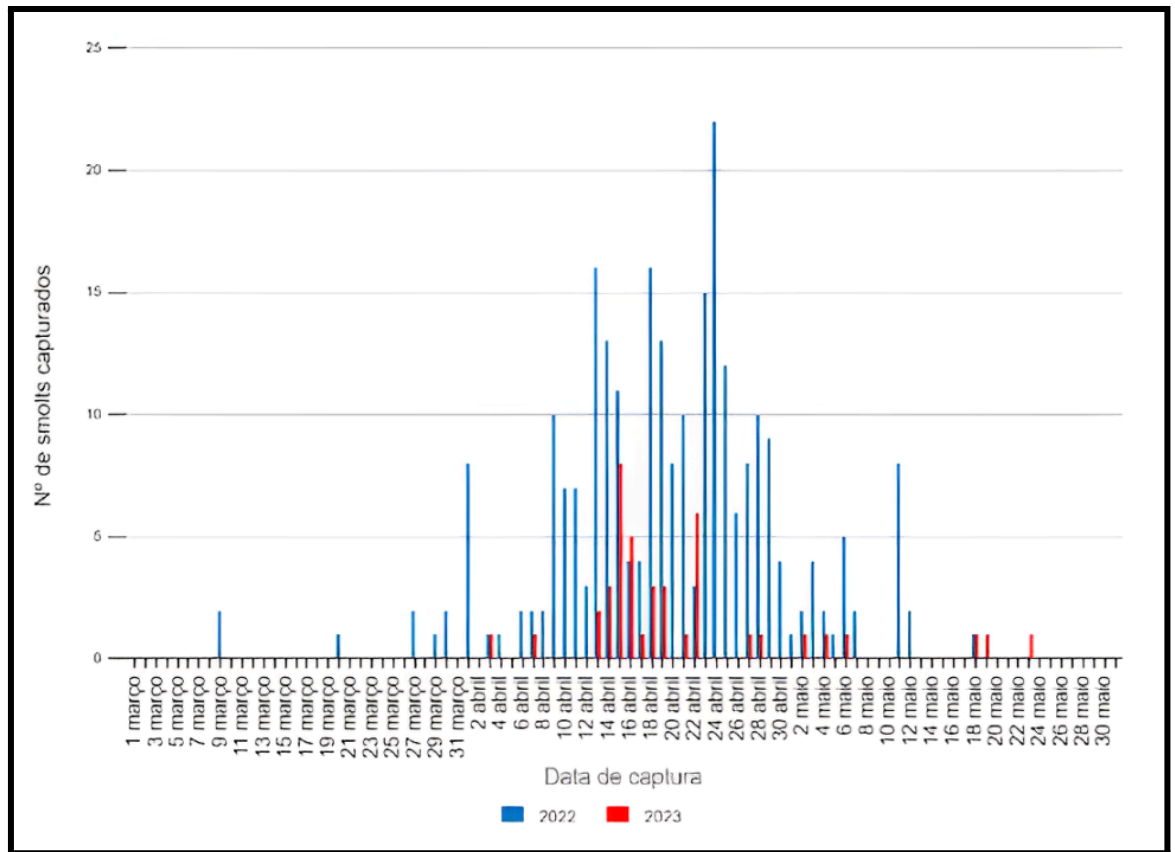


Figura 10 - Capturas diárias de smolts de salmão-do-atlântico ao longo do período de amostragem no rio Mouro em 2022 e 2023.

Tabela 3 – Tabela resumo do número total de smolts contados para cada mês de monitorização em 2022 e 2023, no rio Mouro

| Ano<br>Mês | Capturas |      | Recapturas |      |
|------------|----------|------|------------|------|
|            | 2022     | 2023 | 2022       | 2023 |
| Março      | 8        | 0    | 0          | 0    |
| Abril      | 235      | 36   | 11         | 4    |
| Maio       | 30       | 8    | 3          | 0    |
| Total      | 273      | 44   | 14         | 4    |

### 3.2 Características Biométricas dos Indivíduos

A análise descritiva dos dados revelou que as capturas começaram em quantidades reduzidas na semana 2 de 2022, aumentando significativamente apenas na semana 6. Em 2023, as capturas apenas começaram na semana 6. Em ambos os anos, as capturas mantiveram-se consistentes até à semana 11.

#### **Comprimento Total**

Os salmões capturados em 2023 apresentaram comprimentos totais superiores relativamente aos salmões capturados em 2022, com comprimentos variando entre 165 e 180 milímetros em 2023 e entre 160 e 170 milímetros em 2022. Em 2022, observaram-se outliers nas semanas 7, 10 e 11, ao passo que em 2023 não se registaram *smolts* com dimensões mais elevadas (Figura 11a). A análise PERMANOVA revelou que as diferenças no comprimento total ao longo das semanas de captura, dentro de cada ano, não foram estatisticamente significativas: em 2022, o valor de Pseudo-F foi de 1,0722 (8,254) com um valor de p de 0,337, indicando que não houve variações significativas ao longo das semanas dentro desse ano. Em 2023, o valor de Pseudo-F foi de 0,10596 (6,34) com um valor de p de 0,999.

#### **Peso**

Quanto ao peso total dos indivíduos capturados, observou-se uma variação entre 29 e 43 gramas em 2022 e entre 25 e 39 gramas em 2023. Em 2022, foram observados outliers nas semanas 5, 7 e 10, ao passo que em 2023 não se registaram estes valores mais diferenciados (Figura 11b). A análise PERMANOVA revelou que as variações no peso ao longo das semanas dentro de cada ano não foram estatisticamente significativas. Para 2022, o valor de Pseudo-F foi de 0,95186 com um valor de p de 0,484. Em 2023, o valor de Pseudo-F foi de 0,23029 com um valor de p de 0,978.

## **Condição Corporal**

A condição corporal dos salmões variou ao longo das semanas de captura em ambos os anos (Figura 11c). No entanto, tal como as outras características biométricas, a análise PERMANOVA revelou que não houve diferenças significativas na condição corporal ao longo das semanas de captura em 2022 e 2023. Em 2022, o valor de Pseudo-F foi de 0,74928 (8,254) com um valor de p de 0,581, e em 2023, o valor de Pseudo-F foi de 0,6498 (6,34) com um valor de p de 0,679.

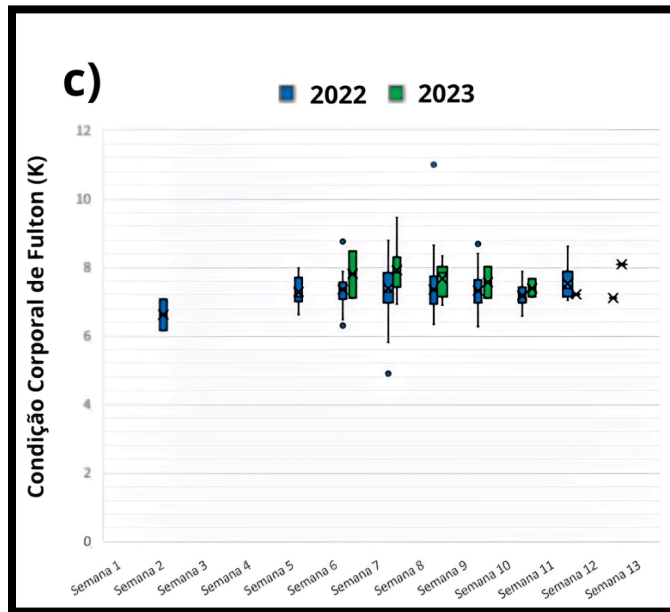
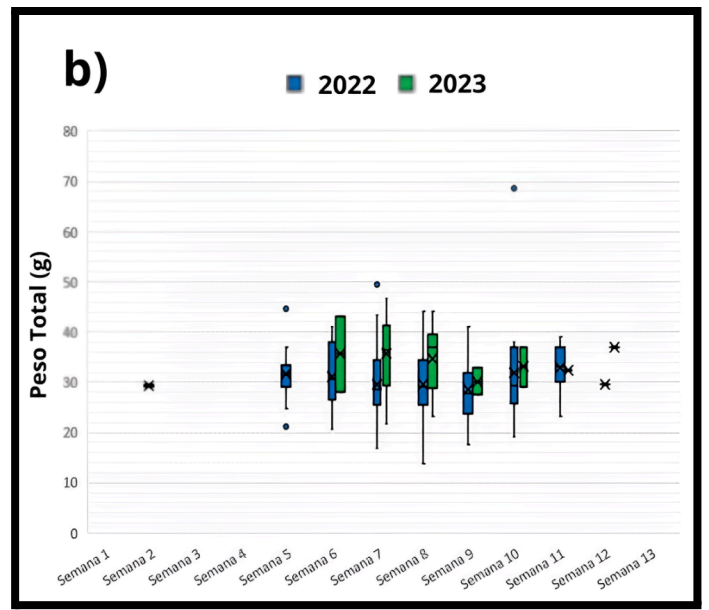
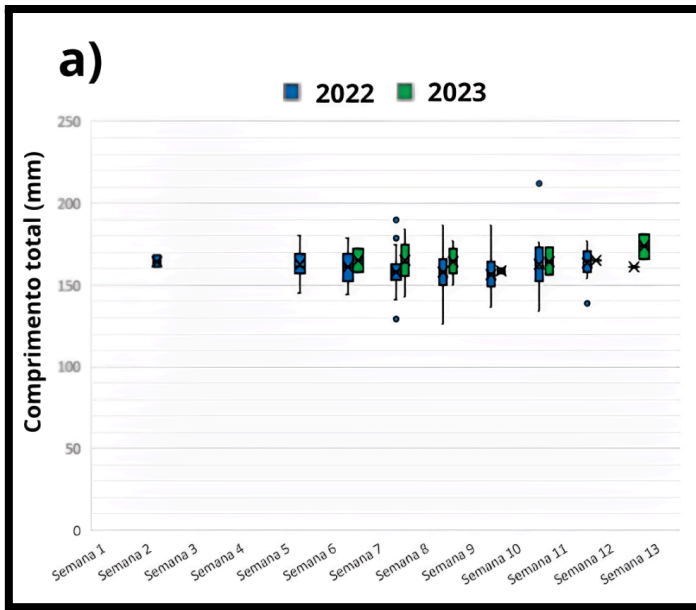


Figura 11 – Caixas de bigodes (Box Plots), demonstrando a variação em termos de características biométricas dos smolts de salmão capturados - a) Comprimento total; b) Peso total; c) Condição corporal, ao longo das semanas de monitorização em 2022 e 2023.

### 3.3 Identificação dos parâmetros ambientais relacionados com a migração dos smolts

Foi utilizado o Número de Salmões Contados por dia (NSC) como variável resposta da análise da influência dos fatores ambientais nos padrões de migração dos *smolts* no rio Mouro, representativo do número total de *smolts* capturados para um período diário.

Os resultados da análise de correlação de Spearman indicaram que não foram identificadas correlações fortes ( $>0,80$ ) entre nenhuma das variáveis selecionadas, não havendo evidências que justifiquem a exclusão de quaisquer preditores da análise. No entanto, observou-se uma correlação moderada entre a temperatura média diária (TMD) e o fotoperíodo (FP). Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 4.

*Tabela 4 - Resultados da análise de correlação de Spearman entre as variáveis contínuas inicialmente selecionadas para incluir no modelo GLM*

|     | CMD    | TMD    | ATD    | PMD    | FP    |
|-----|--------|--------|--------|--------|-------|
| CMD | 1,000  |        |        |        |       |
| TMD | -0,358 | 1,000  |        |        |       |
| ATD | 0,316  | 0,141  | 1,000  |        |       |
| PMD | 0,114  | -0,105 | -0,141 | 1,000  |       |
| FP  | -0,553 | 0,784  | -0,281 | -0,165 | 1,000 |

Nota: CMD = Caudal Médio Diário; TMD = Temperatura Média Diária; ATD = Amplitude Térmica Diária; PMD = Precipitação Média Diária; FP = Fotoperíodo

O modelo definido pelo procedimento de *stepwise* GLM utilizado, com a distribuição binomial negativa, revelou-se o mais eficaz na explicação da variabilidade dos dados. Este modelo incorporou as seguintes variáveis: caudal médio diário (CMD), temperatura média diária (TMD), amplitude térmica diária (ATD), precipitação média diária (PMD) e fotoperíodo (FP). Com um valor de AIC de 469,31, este modelo destacou-se como o mais robusto, conforme apresentado na Tabela 5.

O modelo definido pelo procedimento *stepwise* GLM, com distribuição binomial negativa, revelou-se o mais eficaz para explicar a variabilidade dos dados. Este modelo incorporou as variáveis: caudal médio diário (CMD), temperatura média diária (TMD), amplitude térmica diária (ATD), precipitação média diária (PMD) e fotoperíodo (FP), e apresentou um AIC de 469,31, o menor valor entre os modelos testados, conforme mostrado na Tabela 5.

*Tabela 5 - Sumário dos resultados do modelo GLM ajustado com distribuição binomial negativa.*

| Modelo                            | AIC           |
|-----------------------------------|---------------|
| <b>CMD + TMD + ATD + PMD + FP</b> | <b>469,31</b> |
| CMD + TMD + ATD + PMD + FP + FL   | 474,18        |
| CMD + TMD                         | 476,32        |
| CMD + TMD + ATD + PMD             | 476,39        |
| CMD + TMD + ATD                   | 478,32        |
| CMD                               | 497,97        |

Após o ajuste do modelo GLM com os dados de 2022 e 2023, verificou-se que o modelo selecionado explicou 38,64% da variação total observada. As análises das contribuições individuais dos preditores mais relevantes revelaram que o caudal médio diário (CMD) explicou 17,10%, a temperatura média diária (TMD) 15,57%, a precipitação média diária (PMD) 2,02% e o fotoperíodo (FP) 3,84% da variação na migração dos *smolts*.

Tabela 6 - Sumário dos resultados do modelo GLM que avalia a relação entre os preditores ambientais testados e o número de peixes registados (variável resposta), bem como a percentagem de variação explicada por cada uma das variáveis identificadas como significativa no modelo

| Variável  | Coeficiente estimado | Desvio Padrão | Valor z | Valor p      | % Variação explicada |
|-----------|----------------------|---------------|---------|--------------|----------------------|
| Intercept | 0,510                | 2,865         | 0,178   | 0,859        | —                    |
| CMD       | -0,012               | 0,002         | -5,061  | 4,18 e-07 ** | 17,10                |
| TMD       | -0,813               | 0,130         | -6,248  | 4,17 e-10**  | 15,57                |
| ATD       | 0,201                | 0,143         | 1,403   | 0,161        | —                    |
| PMD       | 0,031                | 0,020         | 1,580   | 0,114        | 2,02                 |
| FP        | 0,928                | 0,280         | 3,317   | 9,09 e-4**   | 3,84                 |

Nota: P <0,05 (\*); P <0,01 (\*\*)

Após a definição do modelo GLM com a distribuição binomial negativa, foi realizada uma análise ANOVA para avaliar a significância estatística de cada variável no modelo final. Os resultados dessa análise estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados da análise ANOVA do modelo GLM final

| Variável ambiental | Df | Desvio | Graus de Liberdade Residual | Desvio Residual | Pr (>Chi)    |
|--------------------|----|--------|-----------------------------|-----------------|--------------|
| CMD                | 1  | 35.161 | 162                         | 170.45          | 3.035e-09 ** |
| TMD                | 1  | 32.004 | 161                         | 138.44          | 1.538e-08 ** |
| ATD                | 1  | 0.013  | 160                         | 138.43          | 0.9090       |
| PMD                | 1  | 4.365  | 159                         | 134.06          | 0.0367*      |
| FP                 | 1  | 7.903  | 158                         | 126.16          | 0.0049 *     |

Nota: P <0,05 (\*); P <0,01 (\*\*)



A análise dos resultados mostrou que a amplitude térmica diária (ATD) não teve um impacto significativo no modelo (Tabela 6 e Tabela 7). A partir deste ponto, foram analisadas apenas as variáveis significativas: caudal médio diário (CMD), temperatura média diária (TMD), precipitação média diária (PMD) e fotoperíodo (FP).

Os resultados obtidos indicam que o caudal médio diário foi a variável mais associada ao aumento do número de *smolts* em migração no rio Mouro. É possível verificar que o número de peixes registados é mais elevado para períodos em que o caudal é menor. Nesse sentido, a Figura 12 mostra que a captura de salmões aumenta para valores de caudal até aos 150 m<sup>3</sup>/s. Este preditor é o que mais contribui para os resultados observados com 17,10% variação de explicação do modelo (Tabela 6).

Sabe-se também que a temperatura média diária da água do rio Mouro contribuiu 15,57% para a explicação dos resultados obtidos (Tabela 6). A Figura 12 demonstra que quanto maior a temperatura média diária menor será a captura de salmões, o gráfico de relação NSC/TMD demonstra que o número de salmões em migração é maior em temperaturas inferiores aos 12°C, há registos de capturas essencialmente até 16°C.

A precipitação média diária (PMD) também demonstrou impacto no modelo, explicando 2,02% da variação observada (Tabela 6). Como ilustrado na Figura 12, o número de *smolts* aumenta gradualmente com o aumento da precipitação, especialmente até cerca de 30 mm/dia. Para valores acima desse nível, o número de salmões em migração estabiliza, sugerindo que, embora a precipitação influencie o movimento dos peixes, o efeito tende a diminuir a partir de determinado ponto.

Por último, os gráficos de dependência parcial mostram que o número de *smolts* aumenta com o fotoperíodo, embora este preditor explique apenas 3,84% da variação observada (Tabela 6). O fotoperíodo foi das variáveis que menos contribuiu para os resultados, no entanto, a partir das 13 horas de luz solar por dia o número de salmões capturados aumenta consideravelmente.

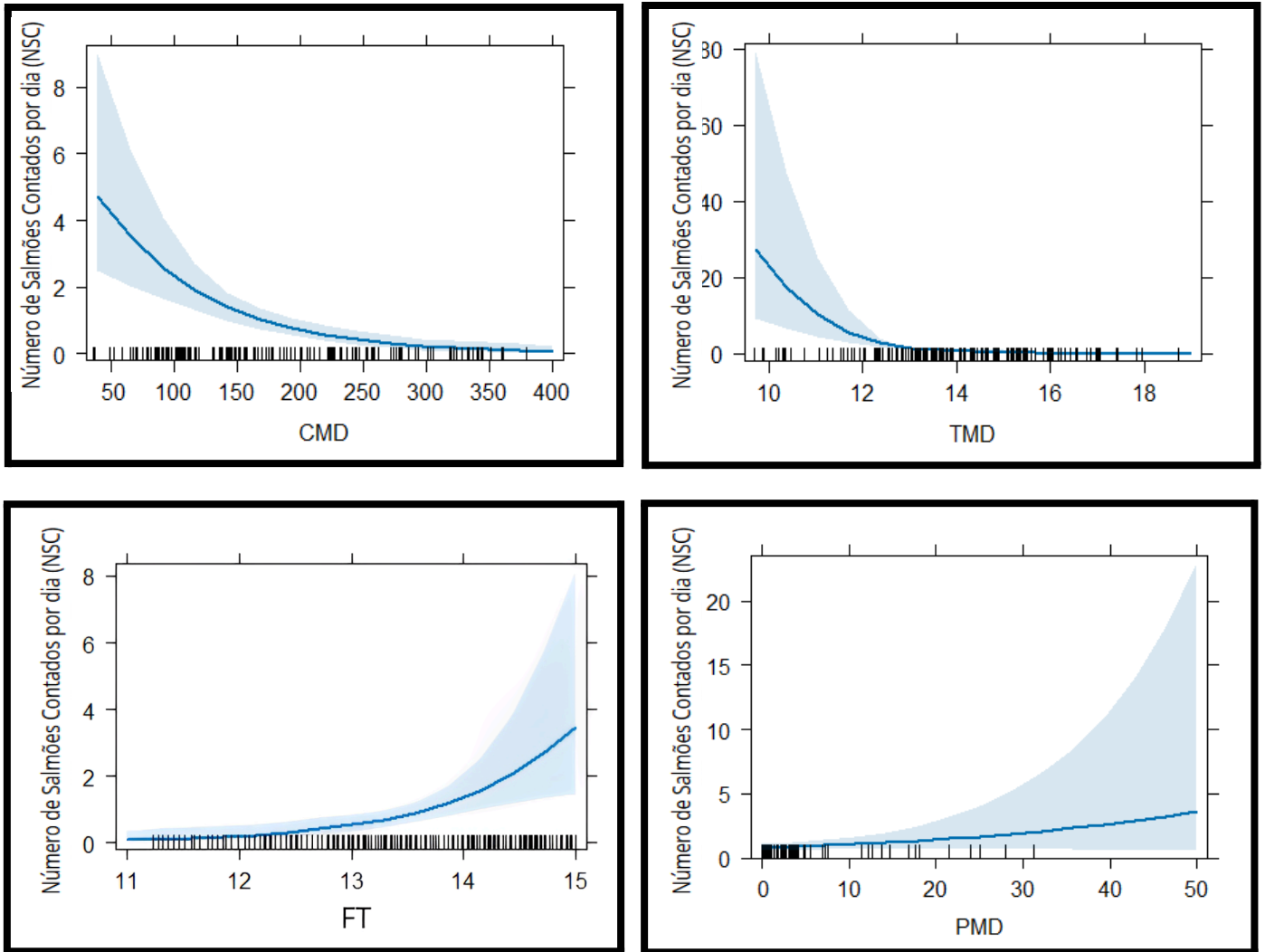


Figura 12 – Gráficos de dependência parcial, demonstrando a relação entre a variável resposta (Número de Salmões Contados, por dia) e as variáveis ambientais identificadas pelo GLM como significativamente relacionadas para os anos de 2022 e 2023 em conjunto.

## 4. Discussão

### 4.1 Padrão de migração dos *smolts* de salmão-do-atlântico

As populações de salmão situadas no limite sul da sua distribuição global podem apresentar diferenças comportamentais e ecológicas significativas em comparação com as suas conspecíficas do norte. A combinação de temperaturas mais elevadas, regimes fluviais distintos e maior pressão antropogénica torna estas populações mais vulneráveis e possivelmente sujeitas a padrões migratórios distintos (Antonsson & Gudjonsson, 2002; Consuegra et al., 2011; Kuparinen et al., 2010; Lassalle & Rochard, 2009). A variabilidade nas características dos *smolts*, aliada aos efeitos das mudanças climáticas, pode influenciar tanto o comportamento migratório quanto os padrões desses comportamentos de maneiras ainda não completamente compreendidas no sul da Europa.

A migração dos *smolts* ocorre, tipicamente, entre abril e julho, com duração de três a sete semanas (Antonsson & Gudjonsson, 2002; McGinnity et al., 2007; Orell et al., 2007; Solomon, 1978; Stewart et al., 2006; Thorstad et al., 2011; Veselov et al., 1998), e o pico de migração pode variar geograficamente em função da latitude, temperatura e fotoperíodo. Em latitudes mais a norte, onde as temperaturas são mais baixas e o fotoperíodo ideal ocorre mais tarde, o pico migratório geralmente ocorre em julho. Já em latitudes mais a sul, com temperaturas mais altas e fotoperíodo ideal ocorrendo mais cedo, o pico tende a ocorrer em abril (Høgåsen, 1998; Marshall e Grosell, 2006; Thorpe et al., 1998).

Em 2022, foram capturados 273 *smolts*, enquanto em 2023 esse número caiu significativamente para apenas 44. Em ambos os anos, observou-se um pico de migração claramente identificado em abril. Em 2022, o período de maior atividade migratória ocorreu entre 12 e 25 de abril, enquanto em 2023 esse pico foi registrado entre 15 e 22 de abril. Esses resultados sugerem que os picos de migração observados estão em consonância com a literatura sobre

o comportamento do salmão-do-atlântico nas populações localizadas no limite sul da sua distribuição global (Antonsson & Gudjonsson, 2002; Klemetsen et al., 2003; McGinnity et al., 2007; Solomon, 1978; Stewart et al., 2006; Orell et al., 2007; Veselov et al., 1998).

Embora as capturas de *smolts* no rio Mouro entre 2022 e 2023 revelem padrões migratórios semelhantes, observam-se diferenças significativas tanto na duração quanto na magnitude do fenômeno. Em 2023, o período migratório foi ligeiramente mais curto e ocorreu de forma mais tardia, refletindo variações importantes na abundância dos *smolts*. Essa variação substancial nas capturas anuais pode ser explicada por flutuações nas condições ambientais e ecológicas, além de fatores como sobrevivência, predação e mudanças na qualidade do habitat, que impactam diretamente a migração e a sobrevivência dos *smolts* (Stewart et al., 2006).

O maior número de capturas em 2022, em comparação com 2023, pode sugerir condições de habitat mais favoráveis e maior sucesso migratório. No entanto, a falta de estudos prévios nesta latitude e a limitação dos dados a apenas dois anos de monitorização impedem uma avaliação precisa da recorrência desse padrão. Assim, embora os padrões de migração e os picos consistentes em abril sejam semelhantes, não é possível determinar o que caracteriza um padrão migratório ou de abundância habitual para estas populações, sendo fundamental a continuidade do estudo para confirmar essas tendências.

## 4.2 Características Biométricas dos Indivíduos

A análise das características biométricas dos *smolts* capturados, incluindo comprimento, peso e condição corporal, revelou algumas variações ao longo das semanas de migração. No entanto, é importante destacar que, apesar dessas variações descritas ao longo das semanas, os testes estatísticos (PERMANOVA) não identificaram diferenças significativas nas características biométricas ao longo das semanas de captura dentro de cada ano.

### **Comprimento Total**

Os dados mostraram que os *smolts* capturados em 2023 apresentaram, em média, comprimentos ligeiramente maiores (entre 165 e 180 mm) em comparação com os de 2022 (entre 160 e 170 mm). No entanto, a análise PERMANOVA revelou que as variações no comprimento total ao longo das semanas não foram estatisticamente significativas em nenhum dos anos. Embora haja variação observada, esses resultados sugerem que as mudanças no comprimento total dos salmões ao longo das semanas não são substanciais o suficiente para serem consideradas significativas estatisticamente, essas diferenças possam ser atribuídas à variabilidade natural dentro da população de *smolts* e não a mudanças substanciais entre os anos.

A presença de outliers em 2022 nas semanas 7, 10 e 11, que não foram observados em 2023, pode indicar a influência de eventos específicos ou condições ambientais temporárias que afetaram o crescimento de alguns indivíduos em semanas específicas. No entanto, como as diferenças não são estatisticamente significativas, esses outliers não devem ser sobrevalorizados.

Esses outliers podem estar relacionados, por exemplo, a uma disponibilidade irregular de recursos alimentares ou a variações nas condições ambientais que afetaram o crescimento de alguns *smolts* de forma desigual em semanas específicas. Estudos comparativos em outras bacias hidrográficas sugerem que o comprimento dos *smolts* pode ser influenciado por fatores como a temperatura da água e a disponibilidade de alimentos durante a fase de crescimento (Jonsson & Jonsson, 2009; McCormick et al., 1998; Metcalfe &

Thorpe, 1992). Essas condições podem ter flutuado ao longo das semanas observadas, resultando em outliers.

### **Peso**

Quanto ao peso, os resultados mostraram uma variação entre 29 e 43 gramas em 2022, e entre 25 e 39 gramas em 2023. A análise PERMANOVA indicou que as variações no peso ao longo das semanas dentro de cada ano não são estatisticamente significativas. Assim, apesar das flutuações no peso observadas, estas não foram suficientemente grandes para serem consideradas significativas, sugerindo que a variabilidade no peso dos salmões pode ser atribuída a fatores aleatórios ou naturais.

A presença de outliers nas semanas 5, 7 e 10 em 2022 pode sugerir que, assim como no com o comprimento dos *smolts*, houve episódios de variabilidade ambiental durante essas semanas que impactaram o peso de alguns *smolts* de forma mais acentuada. No entanto, dado que as diferenças no peso não são estatisticamente significativas, os outliers não devem ser considerados como indicativos de padrões importantes.

### **Condição Corporal**

Em termos de condição corporal, os testes PERMANOVA indicam que, apesar das variações observadas nas análises descritivas, as diferenças na condição corporal dos *smolts* ao longo das semanas de migração não são estatisticamente significativas. Estes resultados sugerem que a condição geral dos *smolts*, que reflete a sua saúde e preparação para a migração, foi relativamente estável ao longo das semanas de captura em ambos os anos.

A literatura aponta que a condição corporal dos *smolts* pode ser influenciada por uma combinação de fatores, incluindo dieta, densidade populacional e qualidade do habitat (Jonsson & Jonsson, 2009). No entanto, a estabilidade observada na condição corporal dos *smolts* ao longo das semanas sugere que esses fatores não variaram de forma significativa entre as semanas analisadas. Isso pode indicar que as condições ambientais e ecológicas que

afetam a condição corporal dos *smolts* foram relativamente constantes durante o período de estudo.

Os testes PERMANOVA indicam que, apesar das variações observadas nas análises descritivas, as diferenças biométricas entre os anos não são estatisticamente significativas. Isto sugere que os *smolts* são bastante homogêneos em termos de comprimento, peso e condição corporal, e que as variações observadas podem ser atribuídas a fatores aleatórios ou à variabilidade natural da população, sem uma mudança substancial entre os anos estudados.

Essa homogeneidade pode indicar uma estabilidade nas condições ambientais e ecológicas que influenciam o crescimento e a saúde dos *smolts* (Antonsson & Gudjonsson, 2002). Por outro lado, a ausência de diferenças significativas entre os anos pode também sugerir que as pressões seletivas, como predação e disponibilidade de recursos, têm sido consistentes ao longo do tempo, resultando em uma população de *smolts* com características biométricas semelhantes entre os anos (Aubin-Horth & Dodson, 2004).

Por fim, para uma compreensão mais completa das dinâmicas populacionais, seria útil considerar outros fatores ambientais e ecológicos que possam não ter sido capturados pelos dados biométricos, como variações nos padrões de migração, alterações na qualidade do habitat, ou mudanças nas interações ecológicas ao longo do tempo. Estudos de longo prazo são fundamentais para identificar tendências que podem não ser evidentes em análises anuais ou de curto prazo.

#### 4.3 Identificação dos parâmetros ambientais relacionados com a migração dos *smolts* de salmão

A variação intra e inter-anual nos padrões de migração dos *smolts* observada em populações localizadas nas mesmas bacias hidrográficas ou regiões geográficas, indica fortemente a influência de fatores ambientais no desenvolvimento e na expressão do comportamento migratório (Klemetsen et al., 2003; Jepsen et al., 2014).

Os salmões enfrentam desafios significativos em caudais elevados, o que pode impactar diretamente a sua sobrevivência e migração (Jepsen et al., 1998). As centrais hidroelétricas, por exemplo, podem alterar o caudal dos rios, afetando a forma como os *smolts* se movem. Essas alterações no fluxo podem incluir mudanças na velocidade da água, obstruções e alterações na qualidade da água, tornando a passagem dos *smolts* mais difícil (Hvidsten & Johnsen, 1997) e potencialmente prejudicando a sua sobrevivência (Finstad et al., 2007). Além disso, mudanças nas condições de caudal, que podem ser exacerbadas por fatores climáticos, também podem afetar negativamente a migração e a sobrevivência dos salmões (Jonsson & Jonsson, 2009). Variações no caudal representam, portanto, uma das ameaças constantes que os salmões enfrentam em diferentes fases do seu ciclo de vida (Mills, 1986).

A análise realizada neste estudo identificou o caudal médio diário como a variável com maior impacto na migração dos *smolts*, explicando 17,10% da variabilidade observada. Os dados mostraram que a abundância de salmões era maior durante períodos de caudal reduzido, entre 75 e 125 m<sup>3</sup>/s. No entanto, é importante destacar que caudais mais baixos podem não apenas favorecer a eficiência de captura das armadilhas usadas no monitoramento, mas também reduzir a velocidade da água, tornando os *smolts* mais suscetíveis à captura. Esta relação deve ser considerada, uma vez que o efeito observado pode ser, em parte, um reflexo dessa maior eficiência de amostragem, e não exclusivamente uma evidência de um impacto ecológico real. Estes resultados são consistentes com a literatura, que sugere que caudais moderados facilitam a migração ao diminuir o esforço necessário para



locomoção e melhorar a eficiência migratória (Finstad et al., 2007; Hvidsten & Johnsen, 1997; Jepsen et al., 1998; Thorstad et al., 2012).

A temperatura da água e as suas variações têm impactos significativos tanto no sucesso da migração dos *smolts* (Davidsen et al., 2009) quanto na sua sobrevivência em diferentes estágios da vida (Mills, 1986). À medida que a temperatura aumenta, os *smolts* perdem rapidamente a capacidade de tolerar a salinidade (McCormick et al., 2009). Por conseguinte, é essencial que estes deixem a água doce antes que as temperaturas atinjam níveis que possam comprometer a sua migração. A sincronização adequada desse processo é fundamental para evitar o stress térmico e a diminuição da disponibilidade de oxigénio (Stewart et al., 2006).

Neste estudo a temperatura média diária da água também teve um impacto significativo nos padrões de migração dos *smolts*, explicando 15,57% da variabilidade do modelo. Observou-se que a captura de salmões era mais elevada em intervalos de temperatura entre 9°C e 12°C. Esses resultados sugerem que temperaturas mais altas podem reduzir a atividade migratória, possivelmente devido ao aumento do stress térmico e à diminuição da disponibilidade de oxigénio (Jonsson & Jonsson, 2009).

A precipitação mostrou-se um fator relevante na migração dos *smolts* de salmão, embora com um impacto mais limitado. Este estudo revelou que a precipitação média diária explicou 2,02% da variação observada, sendo o menor contributo entre os fatores significativos. Apesar da fraca associação entre precipitação e caudal (coeficiente de Spearman de 0,114), os dados indicam que valores de precipitação de até 30 mm/dia estiveram associados a um aumento no número de salmões em migração.

Uma explicação possível é que a precipitação moderada aumenta o volume de água nos rios, o que pode elevar o caudal, a variável mais influente na migração dos *smolts*, conforme demonstrado na Figura 12 e na Tabela 6. Embora o caudal tenha sido considerado uma variável independente na construção do modelo, o aumento da precipitação pode facilitar o deslocamento dos *smolts* ao ampliar as áreas navegáveis e reduzir barreiras

físicas, o que pode explicar o aumento da migração observado. No entanto, quando a precipitação ultrapassa determinado limiar, o efeito estabiliza, sugerindo que volumes adicionais de água não influenciam significativamente o comportamento migratório dos *smolts*. A precipitação, portanto, atua como um estímulo inicial para a migração, mas, quando excessiva, o aumento do caudal não resulta numa migração de maior magnitude. Chuvas intensas podem aumentar a turbidez e os níveis de sedimentos, o que prejudica a capacidade de orientação dos *smolts* (Abrahams & Kattenfield, 1997). Além disso, fluxos elevados podem comprometer a eficácia da metodologia de amostragem com a *Rotary Screw Trap*, e até mesmo interromper a realização dos trabalhos, tal como aconteceu no primeiro ano, influenciando os resultados obtidos.

O fotoperíodo é reconhecido como um regulador da migração dos *smolts*, influenciando a sincronização dos processos fisiológicos necessários para a transição para a vida marinha e contribuindo para a estabilização das datas de início da migração (McCormick et al., 1998), no entanto, a sua influência nas variações anuais no número de indivíduos migrantes foi menor do que a do caudal médio diário e da temperatura. A menor contribuição do fotoperíodo em comparação com essas variáveis pode ser específica do contexto do rio Mouro, sugerindo que, nesta região, as variáveis hidrológicas, como o caudal médio diário, ou a temperatura, têm uma influência mais pronunciada. Apesar de ter contribuído com apenas 5,97% para a variabilidade explicada, o fotoperíodo revelou que a captura de salmões aumentou significativamente a partir de 13 horas de luz solar por dia.

A variação no período exato da migração pode ser influenciada por uma combinação de fatores ambientais, como a temperatura da água (Thorstad et al., 2011), o caudal do rio (Thorstad et al., 2012), o fotoperíodo (Stewart et al., 2006) e as condições climáticas, todos influenciam diretamente o comportamento dos *smolts*. Este estudo confirma que o caudal médio diário, a temperatura média da água e o fotoperíodo são fatores cruciais na regulação do início e do fim da migração dos *smolts*, corroborando com pesquisas anteriores (Jonsson & Jonsson, 2009; McCormick et al., 1998; Stewart et al., 2006; Otero et al., 2014; Teichert et al., 2020; Thorstad et al., 2011; Thorstad et al., 2012; Whalen et al., 1999). Destacando a importância da temperatura e do

caudal da água, estes elementos impactam de maneira substancial o comportamento migratório e a sobrevivência dos *smolts*, como relatado na literatura (Davidsen et al., 2009; Mills, 1986; Stewart et al., 2006).

## 5. Considerações finais

O presente estudo fornece informações valiosas sobre os padrões de migração do salmão-do-atlântico no limite sul da sua distribuição global, fornecendo dados sobre a movimentação dos *smolts* a esta latitude, uma área até então pouco estudada.

Um dos principais achados é a variabilidade interanual nos padrões migratórios do salmão-do-atlântico, que sugere que as populações nesta latitude podem estar sujeitas a pressões ecológicas significativas, como mudanças na qualidade do habitat, predação e disponibilidade de recursos. A disparidade no número de animais registados entre os dois anos, também observada em estudos semelhantes (Chaput, 2012; Jonsson & Jonsson, 2009), destaca a variabilidade natural nas populações, possivelmente devido a flutuações anuais nas condições ambientais ou na sobrevivência dos *smolts*. Esses resultados são inovadores e contribuem para o entendimento da espécie em regiões com padrões migratórios pouco compreendidos. No entanto, sem um período de estudo mais longo, é difícil determinar se essas flutuações são uma tendência ou apenas variações anuais. Recomenda-se, portanto, a continuidade da pesquisa ao longo de vários anos para uma compreensão mais abrangente dos padrões migratórios e da resiliência das populações.

Além disso, seria benéfico realizar estudos futuros que utilizem tecnologias de monitorização mais avançadas, como a marcação de *smolts* com transmissores que permitam o acompanhamento contínuo da migração para jusante. Esses estudos poderiam aproveitar a infraestrutura de recetores acústicos já instalada na área de estudo. No entanto, é importante reconhecer as limitações associadas a essa abordagem, incluindo o tamanho reduzido dos *smolts* de salmão, que restringe o tipo de marcação que pode ser realizada, e a duração limitada da vida útil das baterias dos transmissores. Portanto, esforços adicionais de pesquisa devem ser direcionados para abordar essas limitações e desenvolver tanto técnicas como tecnologias de marcação mais adequadas para estudos futuros sobre a migração dos *smolts*.

É igualmente importante abordar a aplicabilidade dos resultados deste estudo em termos de gestão e conservação do salmão-do-atlântico. Os resultados deste trabalho fornecem informações cruciais que podem ser utilizadas para a conservação e gestão da espécie. A compreensão dos *timings* da migração, dos fatores que os influenciam, dos períodos e das quantidades de indivíduos da espécie-alvo em migração nesta região, são fundamentais para quantificar a dimensão das populações de salmão, uma vez que os salmões observados já superaram grande parte da fase de alta mortalidade que ocorre geralmente na fase de fry e parr, antes do processo de *smoltificação* (Lacroix, 2008; Mather, 1998; Mills, 1986, Mohammed, 2013; Serrano et al., 2009 & Thorstad et al., 2012). Por conseguinte, os dados recolhidos fornecem uma representação mais precisa do tamanho da população.

Conhecer os períodos específicos de migração e os fatores ambientais que os influenciam é essencial para prever quando a migração ocorrerá, o que facilita a implementação de regulamentações que protejam a espécie durante esses períodos críticos. O padrão migratório registrado apresenta um pico consistente em abril, o que pode ser um indicativo importante para futuras investigações. Com base nestes conhecimentos, podem ser estabelecidas restrições temporais para atividades humanas, como a pesca, nos períodos de pico migratório, reduzindo assim o risco de captura e mortalidade excessiva dos salmões. Adicionalmente, podem ser adoptadas medidas que limitem temporária ou espacialmente outras atividades, como trabalhos realizados ao longo dos troços dos rios, que possam interferir na migração dos smolts, minimizando o impacto direto sobre os indivíduos e ajudando a preservar as rotas migratórias essenciais para o ciclo de vida do salmão-do-atlântico. A regulamentação do uso do rio durante esses períodos também é crucial para proteger as populações de salmão dos efeitos de atividades antropogénicas intensivas.

Em suma, este estudo não só contribui para a compreensão em termos científicos dos padrões migratórios do salmão-do-atlântico no limite sul de sua distribuição, mas também oferece dados práticos que são fundamentais para a

conservação e gestão da espécie, assegurando a proteção das populações remanescentes e a manutenção dos seus habitats críticos.

Um exemplo claro é que estes dados sobre a migração a esta latitude contribuíram significativamente para a definição do estatuto de conservação do salmão-do-atlântico em Portugal (classificado como Criticamente em Perigo - CR) no âmbito da revisão do Livro Vermelho dos Peixes Migradores (Diádromos) e de Água Doce de Portugal, publicada em 2023 (Magalhães et al., 2023). Estes dados têm também sido utilizados no âmbito de avaliações internacionais sobre a espécie, no âmbito do ICES - International Council for the Exploration of the Seas, e da OSPAR, nos quais Portugal tem obrigações legais em termos de reporte sobre esta espécie.

## 6. Referências bibliográficas

Aarestrup, K., Jepsen, N., Rasmussen, G., & Okland, F. (1999). Movements of two strains of radio tagged Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, smolts through a reservoir. *Fisheries Management and Ecology*, 6(2), 97-107.

Abrahams, M. V., & Kattenfeld, M. G. (1997). The role of turbidity as a constraint on predator-prey interactions in aquatic environments. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 40, 169-174.

Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). Plano de gestão da região hidrográfica minho e lima (PGRH1).

Ahlbeck-Bergendahl, I., April, J., Bardarson, H., Bolstad, G. H., Bradbury, I., Buoro, M., & Wennevik, V. (2019). Working group on North Atlantic salmon (WGNAS) (Doctoral dissertation, Inconnu).

Allan, I. R. H., & Ritter, J. A. (1977). Salmonid terminology. *ICES Journal of Marine Science*, 37(3), 293-299.

Almeida, P. R., Mateus, C. S., Alexandre, C. M., Pedro, S., Boavida-Portugal, J., Belo, A. F., ... & Quintella, B. R. (2023). The decline of the ecosystem services generated by anadromous fish in the Iberian Peninsula. *Hydrobiologia*, 850(12), 2927-2961.

Almeida, P. R., Mateus, C. S., Quintella, B. R., Alexandre, C. M., & Pedro, S. (2018). Diadromous fish in Portugal: status, threats and management guidelines.

Alvarenga, A. M. T. (2015). Modelos lineares generalizados: aplicação a dados de acidentes rodoviários (Doctoral dissertation).

Álvarez, J. J. M. (2009). Minius/Minho/Miño. *Minius: Revista do Departamento de Historia, Arte e Xeografía*, (17), 17-23.

Alves, E., & Santos, M. A. (2000). Recursos hídricos superficiais na bacia hidrográfica do rio Minho. In *A água e o desenvolvimento sustentável: desafios*

para o novo século, Congresso da Água (5, 2000, Lisboa), anais. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.

Antonsson, T., & Gudjonsson, S. (2002). Variability in timing and characteristics of Atlantic salmon *smolt* in Icelandic rivers. Transactions of the American Fisheries Society, 131(4), 643-655.

Antunes, C., Cobo, F., & Araújo, M. J. (2015). Iberian inland fisheries. Freshwater fisheries ecology, 268-282.

Aubin Horth, N., & Dodson, J. J. (2004). Influence of individual body size and variable thresholds on the incidence of a sneaker male reproductive tactic in Atlantic salmon. *Evolution*, 58(1), 136-144.

Bacon, P. J., Palmer, S. C. F., MacLean, J. C., Smith, G. W., Whyte, B. D. M., Gurney, W. S. C., & Youngson, A. F. (2009). Empirical analyses of the length, weight, and condition of adult Atlantic salmon on return to the Scottish coast between 1963 and 2006. ICES Journal of Marine Science, 66(5), 844-859.

Bakke, T. A., & Harris, P. D. (1998). Diseases and parasites in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55(S1), 247-266.

Bal, G., Montorio, L., Rivot, E., Prévost, E., Baglinière, J. L., & Nevoux, M. (2017). Evidence for long-term change in length, mass and migration phenology of anadromous spawners in French Atlantic salmon *Salmo salar*. Journal of Fish Biology, 90(6), 2375-2393.

Beaugrand, G., & Reid, P. C. (2003). Long-term changes in phytoplankton, zooplankton and salmon related to climate. Global Change Biology, 9(6), 801-817.

Beaugrand, G., & Reid, P. C. (2012). Relationships between North Atlantic salmon, plankton, and hydroclimatic change in the Northeast Atlantic. ICES Journal of Marine Science, 69(9), 1549-1562.

Bigelow, H. B. (1948). Fishes of the western North Atlantic. Sears Foundation for Marine Research.



- Bilous, M., & Dunmall, K. (2020). Atlantic salmon in the Canadian Arctic: potential dispersal, establishment, and interaction with Arctic char. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 30(3), 463-483.
- Blackwell, B. F., & Juanes, F. (1998). Predation on Atlantic salmon *smolts* by striped bass after dam passage. *North American Journal of Fisheries Management*, 18(4), 936-939.
- Boeuf, G., Marc, A. M., Prunet, P., Le Bail, P. Y., & Smal, J. (1994). Stimulation of *parr-smolt* transformation by hormonal treatment in Atlantic salmon (*Salmo salar L.*). *Aquaculture*, 121(1-3), 195-208.
- Braga, M. S., Paquet, H., & Begonha, A. (2002). Weathering of granites in a temperate climate (NW Portugal): granitic saprolites and arenization. *Catena*, 49(1-2), 41-56.
- Brana, F., Garrido, R., & Nicieza, A. G. (1995). Historical changes in age structure of Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, in the River Eo, northern Spain. *Fisheries Management and Ecology*, 2(4), 279-287.
- Chaput, G. (2012). Overview of the status of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the North Atlantic and trends in marine mortality. *ICES Journal of Marine Science*, 69(9), 1538-1548.
- Consuegra, S., Garcia de Leaniz, C., Kuparinen, A., Tuffo, J., Hindar, K., & Merila, J. (2011). Effective size of an Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) metapopulation in Northern Spain.
- Consuegra, S., Verspoor, E., Knox, D., & García de Leániz, C. (2005). Asymmetric gene flow and the evolutionary maintenance of genetic diversity in small, peripheral Atlantic salmon populations. *Conservation Genetics*, 6, 823-842.
- Dadswell, M., Spares, A., Reader, J., McLean, M., McDermott, T., Samways, K., & Lilly, J. (2022). The decline and impending collapse of the Atlantic Salmon (*Salmo salar*) population in the North Atlantic Ocean: a review of possible causes. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2), 215-258.

- Davidson, J. G., Rikardsen, A. H., Halttunen, E., Thorstad, E. B., Økland, F., Letcher, B. H., & Næsje, T. F. (2009). Migratory behaviour and survival rates of wild northern Atlantic salmon *Salmo salar post-smolts*: effects of environmental factors. *Journal of Fish Biology*, 75(7), 1700-1718.
- Daymond, J.R. (1963). Family Salmonidae. *Sears Found. Mar. Res. Mem.* 1(3):457-546.
- Delgado, A. M. D. C. (2010). Caracterização hidrodinâmica e sedimentar do estuário do rio Minho.
- ICNF. (2020). Projeto de conceção de uma solução que permita a transposição pelos peixes de um obstáculo existente no curso de água, rio.
- Dittman, A. H., & Quinn, T. P. (1996). Homing in Pacific salmon: mechanisms and ecological basis. *Journal of Experimental Biology*, 199(1), 83-91.
- Doadrio, I. (2001). Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- Dutil, J. D., & Coutu, J. M. (1988). Early marine life of Atlantic salmon, *Salmo salar*, *postsmolts* in the northern Gulf of St. Lawrence. *Fishery Bulletin*, 86(2), 197-212.
- Feltham, M. J., & MacLean, J. C. (1996). Carlin tag recoveries as an indicator of predation on salmon *smolts* by goosanders and red-breasted mergansers. *Journal of Fish Biology*, 48(2), 270-282.
- Ferguson, J. W., Ploskey, G. R., Leonardsson, K., Zabel, R. W., & Lundqvist, H. (2008). Combining turbine blade-strike and life cycle models to assess mitigation strategies for fish passing dams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(8), 1568-1585.
- Finstad, B., & Jonsson, N. (2001). Factors influencing the yield of *smolt* releases in Norway. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 37-55.
- Finstad, B., Kroglund, F., Strand, R., Stefansson, S. O., Bjørn, P. A., Rosseland, B. O., & Salbu, B. (2007). Salmon lice or suboptimal water quality—Reasons for reduced *post-smolt* survival?. *Aquaculture*, 273(2-3), 374-383.

- Fleming, I. A. (1996). Reproductive strategies of Atlantic salmon: ecology and evolution. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 6, 379-416.
- Forseth, T., Barlaup, B. T., Finstad, B., Fiske, P., Gjøsæter, H., Falkegård, M., ... & Wennevik, V. (2017). The major threats to Atlantic salmon in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 74(6), 1496-1513.
- Friedland, K. D., Shank, B. V., Todd, C. D., McGinnity, P., & Nye, J. A. (2014). Differential response of continental stock complexes of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Journal of Marine Systems*, 133, 77-87.
- Handeland, S. O., Imsland, A. K., & Stefansson, S. O. (2008). The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon *post-smolts*. *Aquaculture*, 283(1-4), 36-42.
- Hansen, L. P., Jonsson, N., & Jonsson, B. (1993). Oceanic migration in homing Atlantic salmon. *Animal Behaviour*, 45(5), 927-941.
- Haugland, M., Holst, J. C., Holm, M., & Hansen, L. P. (2006). Feeding of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *post-smolts* in the Northeast Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 63(8), 1488-1500.
- Jones, F. H. (1968). *Fish migration*. Hodder Education.
- Harris, P. D., Bachmann, L., & Bakke, T. A. (2011). The parasites and pathogens of the Atlantic salmon: lessons from *Gyrodactylus salaris*. *Atlantic salmon ecology*. Chichester (United Kingdom): Wiley-Blackwell, 221-252.
- Harvey, A. C., Tang, Y., Wennevik, V., Skaala, Ø., & Glover, K. A. (2017). Timing is everything: Fishing-season placement may represent the most important angling-induced evolutionary pressure on Atlantic salmon populations. *Ecology and Evolution*, 7(18), 7490-7502.
- Hastings, R. A., Rutterford, L. A., Freer, J. J., Collins, R. A., Simpson, S. D., & Genner, M. J. (2020). Climate change drives poleward increases and equatorward declines in marine species. *Current Biology*, 30(8), 1572-1577.

Hedger, R. D., Sundt-Hansen, L. E., Forseth, T., Ugedal, O., Diserud, O. H., Kvambekk, Å. S., & Finstad, A. G. (2013). Predicting climate change effects on subarctic–Arctic populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(2), 315-323.

Hosier, A. D., & Scholz, A. T. (1983). *Olfactory imprinting and homing in salmon: investigations into the mechanism of the imprinting process*. NY: Springer Verlag.

Hutchison, M. J., & Iwata, M. (1998). Effect of thyroxine on the decrease of aggressive behaviour of four salmonids during the *parr-smolt* transformation. *Aquaculture*, 168(1-4), 169-175.

Hvidsten, N. A., Heggberget, T. G., & Jensen, A. J. (1998). Sea water temperatures at Atlantic salmon *smolt* entrance. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 79-86.

Hvidsten, N. A., Jensen, A. J., Rikardsen, A. H., Finstad, B., Aure, J., Stefansson, S., & Johnsen, B. O. (2009). Influence of sea temperature and initial marine feeding on survival of Atlantic salmon *Salmo salar post-smolts* from the Rivers Orkla and Hals, Norway. *Journal of Fish Biology*, 74(7), 1532-1548.

Hvidsten, N. A., & Johnsen, B. O. (1997). Screening of Descending Atlantic Salmon (*Salmo salar L*) *Smolts* from a Hydro Power Intake in The River Orkla, Norway. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 73, 44-49.

Ibbotson, A. T., Beaumont, W. R. C., Pinder, A., Welton, S., & Ladle, M. (2006). Diel migration patterns of Atlantic salmon *smolts* with particular reference to the absence of crepuscular migration. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(4), 544-551.

ICES (2014). Report of the Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS), 19–28. March 2014, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2014/ACOM:09, 1–433. Consultado em [http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2014/WGNAS/wgnas\\_2014.pdf/](http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2014/WGNAS/wgnas_2014.pdf/)

International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2024). *Salmo salar*. Consultado em <https://www.iucnredlist.org/species/19855/67373433>.

Jensen, A. J., Finstad, B., Fiske, P., Hvidsten, N. A., Rikardsen, A. H., & Saksgård, L. (2012). Timing of *smolt* migration in sympatric populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), and Arctic char (*Salvelinus alpinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69(4), 711-723.

Jensen, A. J., Karlsson, S., Fiske, P., Hansen, L. P., Østborg, G. M., & Hindar, K. (2014). Origin and life history of Atlantic salmon (*Salmo salar*) near their northernmost oceanic limit. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(11), 1740-1746.

Jepsen, N., Aarestrup, K., Økland, F., & Rasmussen, G. (1998). Survival of radiotagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)—and trout (*Salmo trutta* L.) *smolts* passing a reservoir during seaward migration. *Hydrobiologia*, 371(0), 347-353.

Jonsson, B., Jonsson, N., & Albretsen, J. (2016). Environmental change influences the life history of salmon *Salmo salar* in the North Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology*, 88(2), 618-637.

Jonsson, B., & Jonsson, N. (2004). Factors affecting marine production of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61(12), 2369-2383.

Jonsson, B., & Jonsson, N. (2009). A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology*, 75(10), 2381-2447.

Jonsson, B., & Jonsson, N. (2011). *Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout: Habitat as a Template for Life Histories*. Springer.

Kennedy, R. J., & Crozier, W. W. (2010). Evidence of changing migratory patterns of wild Atlantic salmon *Salmo salar smolts* in the River Bush, Northern

Ireland, and possible associations with climate change. *Journal of Fish Biology*, 76(7), 1786-1805.

Klemetsen, A., Amundsen, P. A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'connell, M. F., & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of freshwater fish*, 12(1), 1-59.

Koed, A., Baktoft, H., & Bak, B. D. (2006). Causes of mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts in a restored river and its estuary. *River research and applications*, 22(1), 69-78.

Koed, A., Jepsen, N., Aarestrup, K., & Nielsen, C. (2002). Initial mortality of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts following release downstream of a hydropower station. In *Aquatic Telemetry: Proceedings of the Fourth Conference on Fish Telemetry in Europe* (pp. 31-37). Springer Netherlands.

Kroglund, F., Finstad, B., Stefansson, S. O., Nilsen, T. O., Kristensen, T., Rosseland, B. O., ... & Salbu, B. (2007). Exposure to moderate acid water and aluminum reduces Atlantic salmon *post-smolt* survival. *Aquaculture*, 273(2-3), 360-373.

Kuparinen, A., Tufto, J., Consuegra, S., Hindar, K., Merilä, J., & Garcia de Leaniz, C. (2010). Effective size of an Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) metapopulation in Northern Spain. *Conservation Genetics*, 11(4), 1559-1565.

Lacroix, G. L. (2008). Influence of origin on migration and survival of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the Bay of Fundy, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65(9), 2063-2079.

Larinier, M. (2008). Fish passage experience at small-scale hydro-electric power plants in France. *Hydrobiologia*, 609, 97-108.

Larinier, M., & Travade, F. (2002). Downstream migration: problems and facilities. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (364), 181-207.

- Larsson, P. O. (1985). Predation on migrating *smolt* as a regulating factor in Baltic salmon, *Salmo salar* L., populations. *Journal of fish biology*, 26(4), 391-397.
- Lassalle, G., & Rochard, E. (2009). Impact of twenty-first century climate change on diadromous fish spread over Europe, North Africa and the Middle East. *Global Change Biology*, 15(5), 1072-1089.
- Levings, C. D. (1994). Feeding behaviour of juvenile salmon and significance of habitat during estuary and early sea phase. *Nordic Journal of Freshwater Research (Sweden)*, (69).
- Lohmann, K. J., Putman, N. F., & Lohmann, C. M. (2008). Geomagnetic imprinting: A unifying hypothesis of long-distance natal homing in salmon and sea turtles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(49), 19096-19101.
- Magee, J. A., Haines, T. A., Kocik, J. F., Beland, K. F., & McCormick, S. D. (2001). Effects of acidity and aluminum on the physiology and migratory behavior of Atlantic salmon *smolts* in Maine, USA. *Water, Air, and Soil Pollution*, 130, 881-886.
- Magalhães, M. F., Amaral, S. D., Sousa, M., Alexandre, C. M., Almeida, P. R., Alves, M. J., Cortes, R., Farrobo, A., Filipe, A. F., Franco, A., Jesus, J., Oliveira, J. M., Pereira, J., Pires, D., Reis, M., Ribeiro, F., Robalo, J. I., Sá, F., Santos, C. S., Teixeira, A., & Domingos, I. (2023). *Livro Vermelho dos Peixes Dulciaquícolas e Diádromos de Portugal Continental*. FCIências.ID & ICNF, I.P. Lisboa.
- Maitland, P. S. (1995). The conservation of freshwater fish: past and present experience. *Biological Conservation*, 72(2), 259-270.
- Mather, M. E. (1998). The role of context-specific predation in understanding patterns exhibited by anadromous salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(S1), 232-246.

- McCormick, S. D., Hansen, L. P., Quinn, T. P., & Saunders, R. L. (1998). Movement, migration, and *smolting* of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55(S1), 77-92.
- McGinnity, P., de Eyto, E., Cross, T. F., Coughlan, J., Whelan, K., & Ferguson, A. (2007). Population specific *smolt* development, migration and maturity schedules in Atlantic salmon in a natural river environment. Aquaculture, 273(2-3), 257-268.
- Metcalfe, N. B., & Thorpe, J. E. (1992). Early predictors of life-history events: the link between first feeding date, dominance and seaward migration in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. Journal of Fish Biology, 41, 93-99.
- Metcalfe, N. B., Huntingford, F. A., Graham, W. D., & Thorpe, J. E. (1989). Early social status and the development of life-history strategies in Atlantic salmon. Proceedings of the Royal Society of London. B. Biological Sciences, 236(1282), 7-19.
- Melo, M. C. (2015). Aspectos morfofisiológicos da maturação sexual do salmão do Atlântico (*Salmo salar*).
- Mills, D. H. (1986). Threats to the Atlantic salmon (*Salmo salar*) at various stages of its life-history. Environmental Conservation, 13(3), 257-260.
- Mills, D., & Vevers, G. (1989). The Tetra encyclopedia of freshwater tropical aquarium fishes. Ed. 2, Tetra Press, New Jersey, 208-209.
- Mohammed, A. (2013). Why are early life stages of aquatic organisms more sensitive to toxicants than adults. New insights into toxicity and drug testing, 49-62.
- Moore, A., Cotter, D., Quayle, V., Rogan, G., Poole, R., Lower, N., & Privitera, L. (2008). The impact of a pesticide on the physiology and behavior of hatchery-reared Atlantic salmon, *Salmo salar*, *smolts* during the transition from fresh water to the marine environment. Fisheries Management and Ecology, 15(5-6), 385-392.



Moore, A., Lower, N., Mayer, I., & Greenwood, L. (2007). The impact of a pesticide on migratory activity and olfactory function in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *smolts*. *Aquaculture*, 273(2-3), 350-359.

Moore, A., Potter, E. C. E., Milner, N. J., & Bamber, S. (1995). The migratory behaviour of wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) *smolts* in the estuary of the River Conwy, North Wales. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52(9), 1923-1935.

Moore, A., Scott, A. P., Lower, N., Katsiadaki, I., & Greenwood, L. (2003). The effects of 4-nonylphenol and atrazine on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) *smolts*. *Aquaculture*, 222(1-4), 253-263.

Music, P. A., & Beland, K. F. (2009). Assessing estuarine and coastal migration and survival of wild Atlantic salmon *smolts* from the Narraguagus River, Maine using ultrasonic telemetry. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 69, pp. 293-310).

Muus, B.J., Nielsen, J.G., Dahlstrom, P. (1999). *Sea Fish. Scandinavian Fishing Year Book*.

Nicola, G. G., Elvira, B., Jonsson, B., Ayllón, D., & Almodóvar, A. (2018). Local and global climatic drivers of Atlantic salmon decline in southern Europe. *Fisheries Research*, 198, 78-85.

Olmos, M., Payne, M. R., Nevoux, M., Prévost, E., Chaput, G., Du Pontavice, H., & Rivot, E. (2020). Spatial synchrony in the response of a long range migratory species (*Salmo salar*) to climate change in the North Atlantic Ocean. *Global Change Biology*, 26(3), 1319-1337.

Orell, P., Erkinaro, J., Svenning, M. A., Davidsen, J. G., & Niemelä, E. (2007). Synchrony in the downstream migration of *smolts* and upstream migration of adult Atlantic salmon in the subarctic River Utsjoki. *Journal of Fish Biology*, 71(6), 1735-1750.

Otero, J., Jensen, A. J., L'Abée-Lund, J. H., Stenseth, N. C., Storvik, G. O., & Vøllestad, L. A. (2012). Contemporary ocean warming and freshwater conditions are related to later sea age at maturity in Atlantic salmon spawning in Norwegian rivers. *Ecology and Evolution*, 2(9), 2192-2203.

Otero, J., L'Abée-Lund, J. H., Castro-Santos, T., Leonardsson, K., Storvik, G. O., Jonsson, B., ... & Vøllestad, L. A. (2014). Basin-scale phenology and effects of climate variability on global timing of initial seaward migration of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Global change biology*, 20(1), 61-75.

Parrish, D. L., Behnke, R. J., Gephard, S. R., McCormick, S. D., & Reeves, G. H. (1998). Why aren't there more Atlantic salmon (*Salmo salar*)?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 55(S1), 281-287.

Pêgo, A. I. M. (2017). Contributo para o Estudo das Cheias no Rio Minho.

Putman, N. F., Jenkins, E. S., Michielsens, C. G., & Noakes, D. L. (2014). Geomagnetic imprinting predicts spatio-temporal variation in homing migration of pink and sockeye salmon. *Journal of the Royal Society Interface*, 11(99), 20140542.

Reis, F., & Santos, S. (1999). Passagens para peixes em aproveitamentos mini-hídricos: Caracterização e diagnóstico eco-hidráulico. Trabalho de Fim de Curso em Engenharia do Ambiente.

Reitan, O., Hvidsten, N. A., & Hansen, L. P. (1987). Bird predation on hatchery reared Atlantic salmon *smolts*, *Salmo salar* L., released in the River Eira, Norway. *Funa Norvegica Ser. A (Norway)*, 8(5).

Rikardsen, A. H., & Dempson, J. B. (2011). Dietary life-support: the food and feeding of Atlantic salmon at sea. *Atlantic salmon ecology*, 115-143.

Rikardsen, A. H., Haugland, M., Bjørn, P. A., Finstad, B., Knudsen, R., Dempson, J. B., & Holm, M. (2004). Geographical differences in marine feeding of Atlantic salmon *post-smolts* in Norwegian fjords. *Journal of Fish Biology*, 64(6), 1655-1679.

Rochard, E., & Elie, P. (1994). La macrofaune aquatique de l'estuaire de la Gironde: contribution au livre blanc de l'Agence de l'eau Adour Garonne. Etat des connaissances sur l'estuaire de la Gironde, Agence de l'Eau Adour Garonne, 56.

Ruggles, C. P. (1980). A review of the downstream migration of Atlantic salmon.

Ruggles, C. P. (1980). 10. Sampling migrating salmon. Guidelines for sampling fish in inland waters, EIFAC, Technical Paper, 33, 143-58.

Russell, I. C., Aprahamian, M. W., Barry, J., Davidson, I. C., Fiske, P., Ibbotson, A. T., & Todd, C. D. (2012). The influence of the freshwater environment and the biological characteristics of Atlantic salmon *smolts* on their subsequent marine survival. ICES Journal of Marine Science, 69(9), 1563-1573.

Salminen, M., Kuikka, S., & Erkamo, E. (1994). Divergence in the feeding migration of Baltic salmon (*Salmo salar* L.); the significance of *smolt* size.

Sakamoto, T., Hirano, T., Madsen, S. S., Nishioka, R. S., & Bern, H. A. (1995). Insulin-like growth factor I gene expression during *parr-smolt* transformation of coho salmon. Zoological science, 12(2), 249-252.

Sættem, L. M. (1990). Skadefrekvens hos laksefisk etter nedvandring i foss. Fylkesmannen i Sogn og Fjordane Miljøvernavdelinga Rapport nr, 3, 1990.

Scarnecchia, D. L. (1984). Climatic and oceanic variations affecting yield of Icelandic stocks of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41(6), 917-935.

Scott, W. B., & Scott, M. G. (1988). Atlantic fishes of Canada.

Serrano, I., Rivinoja, P., Karlsson, L., & Larsson, S. (2009). Riverine and early marine survival of stocked salmon *smolts*, *Salmo salar* L., descending the Testebo River, Sweden. Fisheries Management and Ecology, 16(5), 386-394.

Simmons, O. M., Gregory, S. D., Gillingham, P. K., Riley, W. D., Scott, L. J., & Britton, J. R. (2021). Biological and environmental influences on the migration phenology of Atlantic salmon *Salmo salar smolts* in a chalk stream in southern England. Freshwater Biology, 66(8), 1581-1594.

- Solomon, D. J. (1978). Migration of *smolts* of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta* L.) in a chalkstream. *Environmental Biology of Fishes*, 3, 223-229.
- Stewart, D. C., Middlemas, S. J., & Youngson, A. F. (2006). Population structuring in Atlantic salmon (*Salmo salar*): evidence of genetic influence on the timing of *smolt* migration in sub-catchment stocks. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(4), 552-558.
- Strand, J. E., Davidsen, J. G., Jørgensen, E. H., & Rikardsen, A. H. (2011). Seaward migrating Atlantic salmon *smolts* with low levels of gill Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATPase activity; is sea entry delayed?. *Environmental Biology of Fishes*, 90, 317-321.
- Sumner, J., Antananawat, S., Kiermeier, A., McLeod, C., & Shamsi, S. (2015). Raw fish consumption in Australia: How safe is it?. *Food Australia*, 67(3), 24-26.
- Teichert, N., Benitez, J. P., Dierckx, A., Tétard, S., De Oliveira, E., Trancart, T., & Ovidio, M. (2020). Development of an accurate model to predict the phenology of Atlantic salmon *smolt* spring migration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30(8), 1552-1565.
- Thorpe, J. E., & Morgan, R. I. G. (1978). Periodicity in Atlantic salmon *Salmo salar* L. *smolt* migration. *Journal of Fish Biology*, 12(6), 541-548.
- Thorstad, E. B., Fleming, I. A., McGinnity, P., Soto, D., Wennevik, V., & Whoriskey, F. (2008). Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon *Salmo salar* in nature.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Rikardsen, A. H., & Aarestrup, K. (2011). Aquatic nomads: the life and migrations of the Atlantic salmon. *Atlantic salmon ecology*, 1(6), 1-32.
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A. H., & Finstad, B. (2012). A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: Behaviour and survival during the *smolt* and initial *post-smolt* migration. *Journal of fish biology*, 81(2), 500-542.

- Todd, C. D., Friedland, K. D., MacLean, J. C., Hazon, N., & Jensen, A. J. (2011). Getting into hot water? Atlantic salmon responses to climate change in freshwater and marine environments. *Atlantic salmon ecology*, 409-443.
- Todd, C. D., Hughes, S. L., Marshall, C. T., MacLEAN, J. C., Lonergan, M. E., & Biuw, E. M. (2008). Detrimental effects of recent ocean surface warming on growth condition of Atlantic salmon. *Global change biology*, 14(5), 958-970.
- Urke, H. A., Kristensen, T., Arnekleiv, J. V., Haugen, T. O., Kjærstad, G., Stefansson, S. O., & Nilsen, T. O. (2013). Seawater tolerance and *post-smolt* migration of wild Atlantic salmon *Salmo salar* × brown trout *S. trutta* hybrid *smolts*. *Journal of fish biology*, 82(1), 206-227.
- Veselov, A. E., Kazakov, R. V., Sysoyeva, M. I., & Bahmet, I. N. (1998). Ontogenesis of rheotactic and optomotor responses of juvenile Atlantic salmon. *Aquaculture*, 168(1-4), 17-26.
- Ward, D. M., & Hvidsten, N. A. (2011). Predation: compensation and context dependence. *Atlantic salmon ecology*, 199-220.
- Waring, C. P., & Moore, A. (2004). The effect of atrazine on Atlantic salmon (*Salmo salar*) *smolts* in fresh water and after sea water transfer. *Aquatic toxicology*, 66(1), 93-104.
- Whalen, K. G., Parrish, D. L., & McCormick, S. D. (1999). Migration timing of Atlantic salmon *smolts* relative to environmental and physiological factors. *Transactions of the American Fisheries Society*, 128(2), 289-301.
- Williams, C. R., Dittman, A. H., McElhany, P., Busch, D. S., Maher, M. T., Bammler, T. K., & Gallagher, E. P. (2019). Elevated CO<sub>2</sub> impairs olfactory-mediated neural and behavioral responses and gene expression in ocean-phase coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Global change biology*, 25(3), 963-977.
- Wu, H., Chen, J., Xu, J., Zeng, G., Sang, L., Liu, Q., & Ye, S. (2019). Effects of dam construction on biodiversity: A review. *Journal of cleaner production*, 221, 480-489.