



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA  
NÚCLEO DE ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA DA AMAZÔNIA**

**MAURA DA SILVA COSTA FURTADO**

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS PESCARIAS DE  
PEQUENA ESCALA DO BAIXO AMAZONAS**

**Belém - PA  
2023**

**MAURA DA SILVA COSTA FURTADO**

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS PESCARIAS DE  
PEQUENA ESCALA DO BAIXO AMAZONAS**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia Aquática e Pesca, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ecologia Aquática e Pesca.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Victoria Judith Isaac Nahum

**Coorientador:** Prof. Dr. Joaquim Carlos Barboza Queiroz

**Belém - PA  
2023**

**BIBLIOTECA CENTRAL**

**MAURA DA SILVA COSTA FURTADO**

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS PESCARIAS DE  
PEQUENA ESCALA DO BAIXO AMAZONAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Ecologia Aquática e Pesca cuja banca examinadora está constituída pelos professores listados abaixo.

**Orientadora:** Profa. Dra. Victoria Judith Isaac Nahum  
Universidade Federal do Pará/Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia

**Coorientador:** Prof. Dr. Joaquim C. Barboza Queiroz  
Universidade Federal do Pará - Instituto de Geociências

**Banca Examinadora**

Dr. Rivleta Edipo Araújo Cruz – Membro titular  
Ministério de Aquicultura e Pesca - Membro titular

Dr. Marcelo Costa Andrade – Membro titular  
Universidade Federal do Pará

Dr. João Marcelo Brazão Protázio – Membro titular  
Universidade Federal do Pará

Dr. Everaldo Barreiros de Souza – Membro titular  
Universidade Federal do Pará

**Suplentes:**

Dra. Bianca Bentes da Silva – Membro suplente  
Universidade Federal do Pará

Dr. Nelson de Almeida Gouveia – Membro suplente  
Universidade Federal Rural da Amazônia

*Dedico este trabalho aos meus amados pais, Sebastião e Vanda, que sempre me ensinaram a ter humildade e delicadeza com o próximo. Gratidão eterna pelo amor, educação e carinho a mim dedicados.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, infinitamente bom, pelo milagre da vida e por me fazer corajosa e persistente, na fé e na esperança. Meu Deus, obrigada pela força de ir em busca da minha realização profissional.

Agradeço aos meus pais, *Sebastião e Vanda*, minha irmã *Grayce Costa*, minha sobrinha *Rayna Reis* e ao meu amado *Rowilson*, pelo amor, paciência e compreensão nos momentos em que estive ausente. Gratidão pela força e incentivo que me fortaleceram nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora Dra. Victoria Isaac, pela confiança e apoio neste projeto.

Ao meu coorientador Dr. Joaquim Queiroz, pela confiança e parceria, desde a minha graduação até aqui. Obrigada pelos ensinamentos e apoio durante toda a minha vida acadêmica!

Ao Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia (NEAP)

À UFPA e ao PPGEAP, pelo suporte necessário ao desenvolvimento da minha tese.

Aos professores, que me acolheram e contribuíram com o meu aprendizado: Dr. Miguel Petrere Júnior e Dr. Ronaldo Barthem.

À Universidade Federal Rural da Amazonia (UFRA), por ter concedido o meu afastamento, para esta qualificação.

Aos meus colegas de trabalho da UFRA/CCP e parceiros nesta jornada, Dr. Koiti Kudo, Dr. Fábio Júnior, Dr. Marcus Lima e principalmente ao meu amigo Dr. Wanderson Pereira, pela amizade, parceria e colaboração, incondicional.

Aos colegas do Laboratório de Biologia Pesqueira e Manejo dos Recursos Aquáticos, que me acolheram e contribuíram de alguma forma para o aprimoramento da minha tese: Débora Thomás, Dra. Morgana, Dra. Janayna, Emílio, Larissa e Maria Clara. Gratidão.

Aos professores que dedicaram seu tempo para contribuir de forma gentil e substancial em minha qualificação: Dra. Bianca Bentes, Dr. Ronaldo Barthem, Dr. Marcelo Andrade e Dr. Marcos Antônio S. dos Santos.

Agradeço a todas as pessoas e amigos que de alguma forma fizeram parte desta jornada.

*Assim diz o Senhor: A obra que eu comecei na tua vida será concluída. E não há oposição ou inimigo que possa impedir. O que você tem passado, não se compara com a vitória que Deus preparou para você lá na frente. Não desista, Deus vai te honrar creia e espere no Senhor Jesus. A fé é a certeza daquilo que esperamos, e a prova das coisas que não vemos. Mas vai acontecer na sua vida tudo que Deus te prometeu.*

*Ora, a fé é a certeza daquilo que esperamos e a prova das coisas que não vemos. Hebreus 11:1*

***Lihat Sedikit***



## RESUMO

A pesca artesanal é uma atividade difundida ao redor do mundo. No Brasil, a pesca de pequena escala em águas continentais é uma atividade complexa e de importância socioeconômica. As crises econômicas do país tornam a atividade pesqueira, que é de baixo investimento, a primeira opção de renda, principalmente em locais mais afastados dos centros urbanos e com pouco desenvolvimento. No entanto, a elevação nas temperaturas globais e as alterações antropogênicas, como o desmatamento e a construção de hidrelétricas, ameaçam os regimes hidrológicos dos rios, comprometendo a conservação e a diversidade de peixes. Nesse estudo analisamos a variabilidade espaço-temporal da pesca artesanal da Amazônia a partir de um extenso banco de dados, sobre as capturas de 42 etnoespécies de peixes. O trabalho foi estruturado em três capítulos. No primeiro associou-se a captura total de peixes ao ciclo hidrológico, à tendência temporal do esforço e às principais artes de pesca (redes e linhas), em ambientes alagáveis e em canais de rios do Baixo Amazonas (1993 a 2011). Os maiores volumes de capturas foram com as redes de emalhe (98.65%) e nos ambientes de lagos (64.98%). A produção e o esforço apresentam tendência significativa decrescente na pesca com redes, tanto em ambientes alagáveis como nos rios. A influência do ciclo de inundações explica a variabilidade das capturas ao longo do ano. O pulso de inundação controla a lógica da produtividade pesqueira da região, que é aproveitada pelos pescadores. As alterações nesta dinâmica podem afetar a tradicionalidade pesqueira e a economia dos pescadores. No segundo capítulo, analisou-se os efeitos da variabilidade climática nas pescarias, utilizando um grupo de espécies de peixes capturados na região do Baixo Amazonas (1993 a 2005). A umidade, o calor latente e a temperatura da superfície do mar influenciaram a produtividade com redes e linhas. A CPUE das redes sofreu efeito negativo e imediato do El Niño, enquanto nas linhas o efeito foi positivo com defasagem de oito meses. Os resultados sugerem que os eventos climáticos modulam os resultados das pescarias, influenciando o ecossistema, o habitat e os nichos ecológicos e afetando assim o sucesso do recrutamento dos peixes à pesca. O terceiro capítulo analisou a dinâmica espaço-temporal dos maparás (*Hypophthalmus* spp.) e mandubés (*Ageneiosus* spp.) em lagos de várzea e rios amazônicos e as relações das capturas com variáveis pesqueiras e ambientais (1993 a 2004). A pesca dos maparás e mandubés é uma pescaria sazonal do período de águas altas, com pico de produção em março. Os volumes de produção se mantêm estáveis ao longo dos anos. Os locais de captura de maparás e mandubés sofreram alteração ao longo do tempo, isto é, locais que eram bem produtivos no início do período estudado tornaram-se menos produtivos ao final do período. O número de viagens aos locais de pesca e a distância

dos pesqueiros aos portos de desembarques foram as variáveis que melhor definiram a variabilidade das capturas. Locais mais próximos dos municípios dos portos de desembarque resultaram menos produtivos em todo o período. Esses resultados são relevantes para entender a dinâmica da pesca e subsidiar medidas eficazes de manejo e conservação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Captura. Esforço. CPUE. Variabilidade climática. Espaço-tempo

## ABSTRACT

Artisanal fishing is a widespread activity around the world. In Brazil, small-scale fishing in continental waters is a complex activity of socioeconomic importance. The economic crises make low investment small scale fishing, the first income option, mainly in places farther from urban centers with low development. However, the rise of global temperatures and anthropogenic changes, such as deforestation and hydroelectric dams, threaten the hydrological regimes of rivers, compromising the conservation and diversity of fish. In this research, we analyzed the space-time variability of artisanal fishing in the Amazon from an extensive database of catches of 42 ethno-species of fish. The manuscript is structured in three chapters. In the first one, the total fish catch was associated with the hydrological cycle, the temporal trend of effort and the main fishing gear (nets or lines), in flooded environments and in river channels of the Lower Amazon (1993 to 2011). The largest catch was obtained with gill nets (98.65%) and in lakes (64.98%). Yield and effort with nets show a significant downward trend, both in flooded environments and in rivers. The influence of the flood cycle explains the variability of catches throughout the year, and controls the logic of fishing productivity, which is used by fishermen. The alterations in this dynamic can affect the fishing tradition and the fishermen's economy. In the second chapter, the effects of climate variability on fisheries were analyzed, using a group of fish species caught in the Lower Amazon region (1993 to 2005). Moisture, latent heat and sea surface temperature influenced productivity with nets and lines. The CPUE of gill nets suffered a negative and immediate effect from El Niño, while the effect on the lines was positive with a lag of eight months. The results suggest that weather events modulate fisheries outcomes, influencing the ecosystem, habitat and ecological niches, thus affecting the success of fish recruitment to fisheries. The third chapter analyzed the space-time dynamics of *Hypophthalmus* spp. and *Ageneiosus* spp. in floodplain lakes and Amazonian rivers and the relationships between catches and fisheries and environmental variables (1993 to 2004). Fishing for maparás and mandubés is a seasonal fishery during the high water period, with peak production in March. Production volumes remain stable over the years. The capture locations of maparás and mandubés have changed over time, meaning, locations that were very productive at the beginning of the studied period became less productive at the end of the period. The number of visits to fishing sites and the distance from fishing grounds to landing ports were the variables that best defined the variability of catches. Locations closer to the disembarking port municipalities were less productive throughout the period. These results are relevant to

understand the dynamics of fishing and support effective management and conservation measures.

**KEYWORDS:** Capture. Effort. CPUE. Climate variability. Space time.

## LISTA DE FIGURAS

### INTRODUÇÃO GERAL

**Figura 1.** Mapa da região do Baixo Amazonas que se estende do município de Parintins - AM até o município de Almeirim – PA.....25

### CAPÍTULO 1

**Figure 1.** Location of the eight fishing ports on the lower Amazon River, at which the fishery data analyzed in the present study were collected.....44

**Figure 2.** Annual total catch (t) and fishing effort (days x fishers) monitored on the lower Amazon ports between 1993 and 2011.....47

**Figure 3.** Monthly mean fishery variables recorded for the artisanal fishing fleet that operates on the lower Amazon, between January 1993 and June 2011: (A) total catch (t), (B) fishing effort (days per fisher), (C) number of fishers, (D) number of effective fishing days, (E) total catch (t) from lake environments, (F) total catch (t) from river environments, (G) total catch (t) using lines, (H) total catch (t) using nets, (I) total catch (t) with lines in lake environments, (J) total catch (t) with gillnets in lake environments, (K) total catch (t) with lines in river environments com line, and (L) total catch (t) with gillnets in river environments. The plot also shows the mean monthly level of the Amazon River during the study period.....49

**Figure 4.** Differences of the monthly means of gillnet catches (t) landed at the artisanal fishing ports on the Lower Amazon, based on the probability of differences between the means ( $\alpha = 0.05$ ) between January 1993 and June 2011.....51

**Figure 5.** Groups of the monthly means of line catches (t) landed at the artisanal fishing ports on the lower Amazon, based on the probability of differences between the means ( $\alpha = 0.05$ ) between January 1993 and June 2011.....51

### CAPÍTULO 2

**Figure 1.** Location of the eight fishing ports on the Lower Amazon in which the catch data on the local artisanal fisheries were collected in the present study, between 1993 and 2005.....68

**Figure 2.** (A) CPUE of the nets, (B) CPUE of the lines, (C) Fishing regime for the nets, (D) Fishing regime for the lines, (E) Monthly fishing regime for the species caught most with nets and (F) Monthly fishing regime for the species caught most with lines – Lower Amazon, 1993–2005.....74

**Figure 3.** Wavelets (WCT) for the CPUEs of the (A) net and (B) line fisheries on the Lower Amazon (1993–2005). The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence).....75

**Figure 4.** Average Wavelet Coherence (AWC), which represents the relationship between the CPUEs of the (A) net and (B) line fisheries and each of the environmental variables [River Level (RL), Rainfall (R), Runoff (RN), Air Temperature (AT), Ground Surface Temperature (ST), Specific Humidity (SH), Latent Heat (LH), Sea Surface Temperature (SST), NAO, GITA, El Niño 3+4, and MEI] of the fisheries on the Lower Amazon, 1993–2005. The results are the mean WCs with a 5% significance level.....75

**Figure 5.** Wavelet coherence (WC) and Average Wavelet Coherence (AWC) of the principal predictor variables of the CPUE of the net fisheries (SH = Specific Humidity, LH = Latent Heat, RL = River Level) – Lower Amazon, 1993–2005. The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence). The relative phase is shown in the form of vectors.....77

**Figure 6.** Wavelet coherence (WC) and Average Wavelet Coherence (AWC) of the principal predictor variables of the CPUE of the line fisheries (SST = Sea Surface Temperature, SH = Specific Humidity, LH = Latent Heat) – Lower Amazon/1993 a 2005. The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence). The relative phase is shown in the form of vectors.....78

**Figure 7.** Wavelet coherence (WC) of the CPUEs of the (A) net and (B) line fisheries (without the annual signal) with the Niño 3+4 index on the Lower Amazon (1993–2005). The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence). The relative phase is shown in the form of vectors.....79

**Figure S1.** Wavelets (CWT) for: (A) mean River Level, (B) Rainfall, (C) Runoff, (D) Air Temperature, (E) Ground Surface Temperature, (F) Specific Humidity, (G) Latent Heat, (H) Sea Surface Temperature, (I) NAO, (J) GITA, (K) El Niño 3+4, and (L) MEI – Lower Amazon (1993–2005). The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence) .....96

### CAPÍTULO 3

**Figura 1.** Localização geográfica dos municípios da Amazônia brasileira com seus respectivos portos de desembarque, onde foram obtidos os dados das pescarias do Baixo Amazonas entre os anos de 1993 e 2004.....102

<b>Figura 2.</b> (A) Série das capturas (t) de maparás e mandubés e (B) Regime mensal de pesca para os maparás e mandubés - Baixo Amazonas 1993 a 2004. A linha em vermelho na figura representa a tendência.....	107
<b>Figura 3.</b> <i>Bubble maps</i> por municípios para as (A) capturas (t) em todo o período, (B) número de viagens aos locais de pesca e (C) médias das distancias (km) - Baixo Amazonas 1993 a 2004.....	108
<b>Figura 4.</b> Modelos de semivariogramas ajustados aos dados das capturas (t) dos maparás e mandubés – Baixo Amazonas/1993 a 2004.....	109
<b>Figura 5.</b> Modelos de semivariogramas ajustados aos dados do esforço de pesca (número de viagens aos locais de pesca) dos maparás e mandubés – Baixo Amazonas/1993 a 2004.....	110
<b>Figura 6.</b> Capturas de maparás e mandubés preditas por krigagem – Baixo Amazonas/1993 a 2004.....	111
<b>Figura 7.</b> Número de viagens aos locais de pesca para as capturas de maparás e mandubés, preditas por krigagem – Baixo Amazonas/1993 a 2004.....	112
<b>Figura 8.</b> Mapas para o R <sup>2</sup> local, coeficientes das variáveis explicativas (número de viagens, distâncias (km), Nível do rio (cm) e Niño 3+4) e respectivos mapas de significâncias dos coeficientes das variáveis para o período de águas altas - Baixo Amazonas/1993 a 2004.....	114

## LISTA DE TABELAS

### INTRODUÇÃO GERAL

<b>Tabela A1.</b> Espécies de peixes ou etnoespécies desembarcadas nos portos do Rio Amazonas, no período de 1993 a 2011.....	39
---	----

### CAPÍTULO 1

<b>Table 1.</b> Characteristics of the different types of fishing gear used by the artisanal fisheries of the Lower Amazon basin (adapted from Isaac et al., 2004).....	45
---	----

<b>Table 2.</b> Results of the Mann-Kendall test ( $S$ values and probabilities) for the evaluation of trends in fishery variables on the lower Amazon between January 1993 and June 2011 ( $*p < 0.05$ ).....	48
--	----

<b>Table 3.</b> Results of the ANCOVA for the monthly catches obtained using gillnets and lines in the study area on the lower Amazon River ( $*p < 0.05$ ).....	50
--	----

<b>Table S1.</b> Contribution (%) of the principal fish species or ethno-species landed at the fishing ports monitored on the lower Amazon between 1993 and 2011.....	61
---	----

### CAPÍTULO 2

<b>Table 1.</b> Summary of the variables analyzed in the present study.....	69
---	----

<b>Table S1.</b> Fish species or ethnospecies landed at ports on the Lower Amazon River between 1993 and 2005.....	93
--	----

<b>Table S2.</b> Description of the different types of fishing gear used by the fisheries of the Lower Amazon (adapted from Isaac <i>et al.</i> , 2004).....	95
--	----

### CAPÍTULO 3

<b>Tabela 1.</b> Parâmetros ajustados para os semivariogramas das capturas e esforço de pesca – Baixo Amazonas 1993 a 2004. Efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $b_1$ e $b_2$ ) e Alcance ( $a_1$ e $a_2$ ).....	108
---	-----

<b>Tabela 2.</b> Capturas ( $t$ ) segundo os alcances – Baixo Amazonas/1993 a 2004.....	109
---	-----

<b>Tabela 3.</b> Coeficiente das estimativas para o modelo linear global das capturas, no período de águas altas ( $p < 0,10$ ) – Baixo Amazonas/1993 a 2004.....	113
---	-----

<b>Tabela 4.</b> Coeficiente das estimativas para o modelo GWR das capturas e posição dos dados no período de águas altas ( $p < 0,10$ ) – Baixo Amazonas/1993 a 2004.....	113
--	-----



## SUMÁRIO

<b>1. ESTRUTURA DA TESE.....</b>	<b>19</b>
<b>2. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>20</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
3.1. Geral.....	23
3.2. Específicos.....	23
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
4.1. Área de estudo.....	24
4.2. Coleta de dados.....	25
4.3. Análise de dados para o artigo 1.....	27
4.4. Análise de dados para o artigo 2.....	27
4.5. Análise de dados para o artigo 3.....	27
<b>5. FINANCIAMENTO.....</b>	<b>28</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>
<b>APÊNDICE A – TABELA.....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>41</b>
<b>Article 1 - The hydrological cycle in the Brazilian lower Amazon determines fishing capture and gear patterns .....</b>	<b>42</b>
Abstract.....	42
1. Introduction .....	42
2. Material and Methods.....	43
2.1.Study area.....	43
2.2.Data collection.....	44
2.3.Statistical analysis.....	46
3. Results.....	47
4. Discussion.....	52
5. Conclusions .....	55
Author contributions.....	55
Funding.....	55
Acknowledgments.....	55
References.....	55
Supplementary Materials.....	61
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>64</b>

<b>Article 2 - How does climate change affect small scale fisheries? A case study of the Lower Amazon in Brazil.....</b>	<b>65</b>
Abstract.....	65
1. Introduction.....	65
2. Material and Methods.....	67
2.1. Study area.....	67
2.2.Data collection.....	68
2.3.Data analysis.....	70
3. Results.....	73
4. Discussion and Conclusions.....	79
Acknowledgments and funding information.....	83
References.....	84
Supplementary Materials.....	99
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>97</b>
<b>Artigo 3 - Mudanças espaço-temporais da pesca artesanal na Amazônia brasileira.....</b>	<b>98</b>
Resumo.....	98
1. Introdução .....	98
2. Material e Métodos.....	101
2.1.Área de estudo.....	101
2.2.Coleta de dados.....	102
2.3.Análise de dados.....	103
3. Resultados.....	106
4. Discussão.....	114
5. Conclusão.....	118
Agradecimentos e informações sobre financiamento.....	118
Referências.....	119
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>129</b>

## **1. ESTRUTURA DA TESE**

A tese está no formato de um capítulo geral integrador e artigos científicos, os quais correspondem aos capítulos deste manuscrito. Esta organização obedece ao Regimento Geral do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Resolução nº 4.782 de 24 de fevereiro de 2016 (Art. 67), formatado de acordo com as regras atuais vigentes da Biblioteca Central da UFPA. Os artigos seguem as normas dos periódicos aos quais estão ou serão submetidos.

Desta forma, a presente tese contém uma introdução geral, três capítulos, que estão no formato de artigos científicos e uma seção com considerações finais, a saber:

- ✓ Introdução geral: apresenta tópicos sobre o estado do conhecimento da problemática da pesca no Baixo Amazonas.
- ✓ CAPÍTULO 1: The hydrological cycle in the Brazilian lower Amazon determines fishing capture and gear patterns
- ✓ CAPÍTULO 2: How does climate change affect small scale fisheries? A case study of the Lower Amazon in Brazil
- ✓ CAPÍTULO 3: Mudanças espaço-temporais da pesca artesanal na Amazônia brasileira
- ✓ Considerações finais: foi elaborada uma síntese, para a conclusão do trabalho, bem como, recomendações com embasamento nos resultados obtidos.

## 2. INTRODUÇÃO GERAL

De grande importância para as nações em desenvolvimento, a pesca artesanal ou de pequena escala é uma atividade difundida ao redor do mundo e representa uma atividade importante na geração de emprego e renda (Welcomme, *et al.*, 2010). No Brasil é exercida por produtores autônomos, que utilizam técnicas tradicionais de pesca e pequenas embarcações. Esta prática pode apresentar baixo lucro e rendimento, porém contribui para a segurança alimentar de milhares de famílias e para a erradicação da pobreza. Caracteriza-se como uma alternativa integral ou sazonal de trabalho, onde o trabalhador pode atuar, ora como agricultor, ora como pescador (Almeida *et al.*, 2009; Batista *et al.*, 2012). As crises econômicas elevam a importância da atividade, que por ser de baixo investimento, se torna a primeira opção de emprego para a população das comunidades ribeirinhas (Conceição *et al.*, 2020).

Na Amazônia, a pesca artesanal de águas continentais é considerada uma das principais atividades da região (Bayley & Petrere Jr., 1989; Almeida *et al.*, 2001; Almeida *et al.*, 2004) e nas últimas décadas do século XX, a ampliação dos mercados urbanos e a criação de polos processadores de pescado, com financiamento de incentivos fiscais, levaram a expansão da frota pesqueira comercial, obtendo como resultado o desenvolvimento da pesca comercial na região, que passou a ser orientada para os consumidores urbanos dessa e de outras regiões do país, sendo um importante setor da economia (Ruffino, 1996; Smith, 1985; Goulding, 1983), gerando quase 200 mil empregos diretos e uma receita anual de 465 milhões de dólares (Almeida *et al.*, 2010). A pesca artesanal é de vital importância social por fornecer uma excelente fonte de proteína para a população, além de renda. É também responsável pela disponibilidade de grande parte do pescado comercializado em áreas urbanas, rurais e regionais, como da exportação para o sul do país ou mesmo para o exterior (Isaac *et al.*, 1996) e sustentar a população ribeirinha com taxas de consumo de proteínas, que se encontram entre as maiores do mundo (Isaac & Almeida, 2011).

Dentre as centenas de espécies exploradas um número pequeno delas constitui a maior parte das capturas (Barthem & Fabré, 2004; Santos & Santos, 2005; Batista *et al.*, 2012). Além da importância econômica, a pressão pesqueira seletiva sobre determinadas espécies e fatores antropogênicos, podem provocar alterações na abundância das espécies, levando a consequências para o ecossistema (Angelini *et al.*, 2006; Lima, 2017), que podem afetar a estrutura da teia trófica (Primack e Rodrigues, 2001; Primack & Ros, 2002).

A dinâmica espaço-temporal da fauna íctica na Amazônia varia em função do ciclo hidrológico (Petrere Jr., 1985; Junk *et al.*, 1989; Pinaya *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2017), que influencia sazonalmente as características das pescarias (Barthem & Fabré, 2004; Isaac *et al.*, 2016). Este ciclo

consiste em quatro fases: enchente, cheia, vazante e seca (Barthem & Fabré, 2004), sendo estas flutuações fundamentais para o ciclo de vida, a reprodução e os deslocamentos das espécies (Barthem & Goulding, 1997; Barthem & Fabre, 2004), afetando diretamente a atividade pesqueira (Fearnside, 2013; Castello *et al.*, 2015; Pinaya *et al.*, 2016; Cruz *et al.*, 2017; Pinaya *et al.*, 2018).

As alterações climáticas globais (Salazar *et al.*, 2007; Christensen *et al.*, 2013; Gloor *et al.*, 2013; Gouveia *et al.*, 2019; Wunderling *et al.*, 2022), o desmatamento e a construção de hidrelétricas, representam ameaças à regularidade do regime hidrológico e afetam a conservação e a biodiversidade hídrica (Castello & Macedo, 2015; Winemiller *et al.*, 2016). Desta forma, intui-se que a produtividade pesqueira dependa, além da intensidade de exploração sobre os estoques, também dos impactos provocados pelo homem e que devem afetar todo o meio ambiente.

Existem poucos pesquisadores que se dedicam a estudos sobre a pesca de pequena escala no Brasil, principalmente a que ocorre em águas continentais (Béné *et al.*, 2009; Castello *et al.*, 2009; Navy & Bhattarai, 2009). Todavia, ainda há falta de informações contínuas sobre a evolução e dinâmica da produção pesqueira na região, ao longo do tempo, e os fatores que podem estar influenciando essa atividade.

Algumas das pesquisas científicas existentes sobre a pesca amazônica, utilizam séries de dados muito curtas (Batista & Petre, 2007; Isaac & Ruffino, 2000; Isaac *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2009). Dentre os motivos desta situação alega-se as características peculiares deste tipo de pescaria, pois é exercida por muitos trabalhadores, com modalidades de captura muito variadas que apresentam uma dinâmica temporal complexa, exploram amplas áreas e desembarcam suas capturas em locais dispersos e difíceis de monitorar (McClanahan *et al.*, 2009; Hallwass *et al.*, 2011). Nos países em desenvolvimento, estas características aliadas à falta de recursos para o monitoramento da atividade da pesca em longo prazo, explicam a pouca disponibilidade de séries temporais longas, que permitam fazer análises mais complexas, considerando tendências e realizando previsões para o futuro.

A modelagem estatística é uma ferramenta que pode auxiliar no entendimento da dinâmica pesqueira, dado que ela pode ser utilizada para compreender a evolução no passado e obter previsões, além de permitir o entendimento dos sistemas e a geração de hipóteses para o futuro, que poderão ser testadas (Fragoso Junior *et al.*, 2009). Contudo, para utilizar ferramentas estatísticas de modelagem são recomendadas séries longas de dados, à exemplo dos trabalhos de Cajueiro e Tabak (2005a, b, c); Box, *et al.* (2008) e Kirichenko *et al.* (2011), para garantir consistência nos resultados.

Em estudos sobre a pesca na Amazônia brasileira, o modelo de regressão funcional linear

foi utilizado pela primeira vez por Petrere Jr. (1978), na estimativa da captura total para o pescado desembarcado no mercado municipal de Manaus em 1976, com uma análise dos pesqueiros utilizados nos diversos rios. As técnicas de regressão para analisar dados de pesca foram utilizadas posteriormente por alguns autores, como por exemplo: Isaac & Ruffino (1996), Batista *et al.* (1998), Ruffino *et al.* (1998), Freitas *et al.* (2002), Batista & Petrere (2003), Gonçalves & Batista (2008), Isaac *et al.* (2008), Castello *et al.* (2015) e Pinaya *et al.* (2016).

Contudo, poucos trabalhos analisam a combinação de variáveis espaciais e temporais com séries de dados da pesca. Os trabalhos de Petrere Jr. (1986), Isaac *et al.* (2004), Batista & Petrere (2007) e de Isaac & Ruffino (2007) demonstram que locais mais distantes dos principais locais de desembarque tem maiores rendimentos pesqueiros, denotando um gradiente de degradação ambiental e dos recursos, bem como a maior pressão pesqueira em locais próximos dos centros urbanos. O trabalho de Ruffino & Isaac (2000) mostra que a duração e o rendimento das viagens de pesca estão relacionados com a distância dos locais de pesca até Santarém, no estado do Pará. O trabalho de Souza *et al.* (2009), que testou a influência do tipo de lago na produção pesqueira, considerando a variável distância do lago em relação ao rio, permitiu concluir que, quanto maior a distância entre o lago e o rio, maior será produção. Contudo, todos esses trabalhos utilizam no máximo um conjunto pequeno de anos contínuos de informações.

Também poucos trabalhos utilizam modelos espaciais na análise de dados de captura e esforço de pesca, a exemplo do trabalho de Pereira *et al.* (2009). A variabilidade espaço-temporal de captura do rio Amazonas e lagos de várzea do Baixo Amazonas, foi estudada por Pinaya *et al.* (2016) com uma série de 11 anos de dados, através da análise de variância, análise de correspondência retificada, análise de redundância e técnicas de regressão múltipla para o estudo da produção pesqueira, indicando que a produtividade da pesca apresenta uma grande diferença nos padrões de quantidade e distribuição entre os ambientes do rio e dos lagos de várzea, bem como foram constatadas grandes diferenças entre áreas de captura. Contudo, ele utilizou uma classificação espacial muito abrangente, dividindo toda a calha do rio Amazonas, desde Parintins até Almeirim (aproximadamente 480 km de rio, em linha reta), em apenas três grandes áreas, o que não permite um refinamento das diferenças de rendimentos entre os diferentes pesqueiros ao longo do tempo. Lima *et al.* (2017), utilizaram a análise de séries temporais, para avaliar prováveis impactos da pesca na Amazônia, após a construção de uma barragem para fins hidrelétricos. Neste trabalho se utilizaram quatro variáveis explicativas: nível máximo de água, tempo de inundação, vazão do ano anterior e taxa de variação da vazão, para 11 espécies estudadas.

A maioria dos trabalhos já realizados na pesca, envolveram estudos com o auxílio de ferramentas da estatística clássica e modelos de séries temporais. O uso de modelos de análise espacial, incluindo a econometria espacial e geostatística têm sido pouco utilizados nessa área. Logo, para análises de dados de pesca a maioria dos autores utilizaram ferramentas como a análise de covariância (Petrere Jr., 1986; Ruffino *et al.*, 1998), análise de regressão e evolução temporal (Batista & Petrere, 2003; Castello *et al.*, 2015; Castello *et al.*, 2017), análise descritiva (Batista *et al.*, 1998; Isaac *et al.*, 2004; Bené *et al.*, 2009; Castello *et al.*, 2009), correlação linear e análise de variância (Novaes *et al.*, 2015; Cruz *et al.*, 2017), análise de correspondência (Freitas *et al.*, 2002), Modelo Geral Linear (GLM) (Isaac & Ruffino, 1996; Ruffino & Isaac, 2000; Gonçalves & Batista, 2008; Isaac *et al.*, 2008), análise de componentes principais (PCA) e modelo linear geral (GLM) (Isaac *et al.*, 1996; Isaac *et al.*, 2016), distribuição espacial e temporal (Batista & Petrere Jr, 2007; Barthem, 2003; Batista, 2003; Batista *et al.*, 2012) e análise de séries temporais e/ou espaço-temporal (Zuur *et al.*, 2003; Hap & Bhattarai, 2009; Saila *et al.*, 2014).

Todavia, estes trabalhos não consideraram a análise das capturas com diferentes artes de pesca, além de não associarem o tempo-frequência às capturas com as artes mais utilizadas e ainda, não consideraram o espaço-tempo utilizando ferramentas de geostatística e estatística espacial no estudo da variabilidade da produção pesqueira para espécies de peixes muito importantes para a economia e a fauna aquática da Amazônia, à exemplo dos *Hypophthalmus* e *Ageneiosus*.

Diante destas lacunas, este trabalho analisou a variabilidade espaço-temporal de uma série de dados da pesca no Baixo Amazonas, com variáveis pesqueiras e ambientais, em especial as climáticas globais. Desse modo, espera-se contribuir com o melhor conhecimento da pesca artesanal local, bem como apoiar cientificamente medidas de manejo mais adequadas à realidade regional, que permitam a conservação e uso sustentável dos recursos dessa região.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Geral**

- Analisar a variabilidade espaço-temporal da pesca no Baixo Amazonas, com auxílio de modelos estatísticos, entre os quais aqueles para séries temporais uni e multivariadas, geostatística e análise estatística espacial.

#### **3.2. Específicos**

- ✓ CAPÍTULO 1:

Estudar a captura total de peixes associada ao ciclo hidrológico, à tendência temporal do esforço e das formas de pesca com redes e linhas, nos ambientes de lagos e rios da região do Baixo Amazonas.

Perguntas:

- Qual é a tendência temporal da série histórica de capturas e esforço?
- Como se distribui a pesca entre lagos e rios, em função do ciclo hidrológico?
- Que fatores determinam a escolha das artes de pesca?
- Quando e como são obtidos os maiores rendimentos da pesca?

✓ CAPÍTULO 2

Analisar o efeito de variáveis ambientais, em especial as climáticas, nas pescarias de um conjunto de diferentes espécies de peixes capturadas com redes de emalhe e com linhas, por meio de uma série histórica contínua de dados da pesca artesanal no Baixo Amazonas no período de janeiro/1993 a junho/2005.

Hipótese: mudanças climáticas e ambientais intensificam o ciclo hidrológico e influenciam na variabilidade da produção pesqueira com redes de emalhe e com linhas.

✓ CAPÍTULO 3

Analisar a dinâmica espaço-temporal dos maparás (*Hypophthalmus* spp.) e mandubés (*Ageneiosus* spp.) em lagos de várzea e rios amazônicos e as relações das capturas associadas a variáveis pesqueiras e ambientais, por meio de uma série histórica de dados contínuos do Baixo Amazonas do período de 1993 a 2004.

Perguntas:

- Os locais das capturas sofreram alteração ao longo do tempo?
- Os locais mais próximos das cidades estão se tornando menos produtivos?
- Quais variáveis influenciaram espacialmente as pescarias?

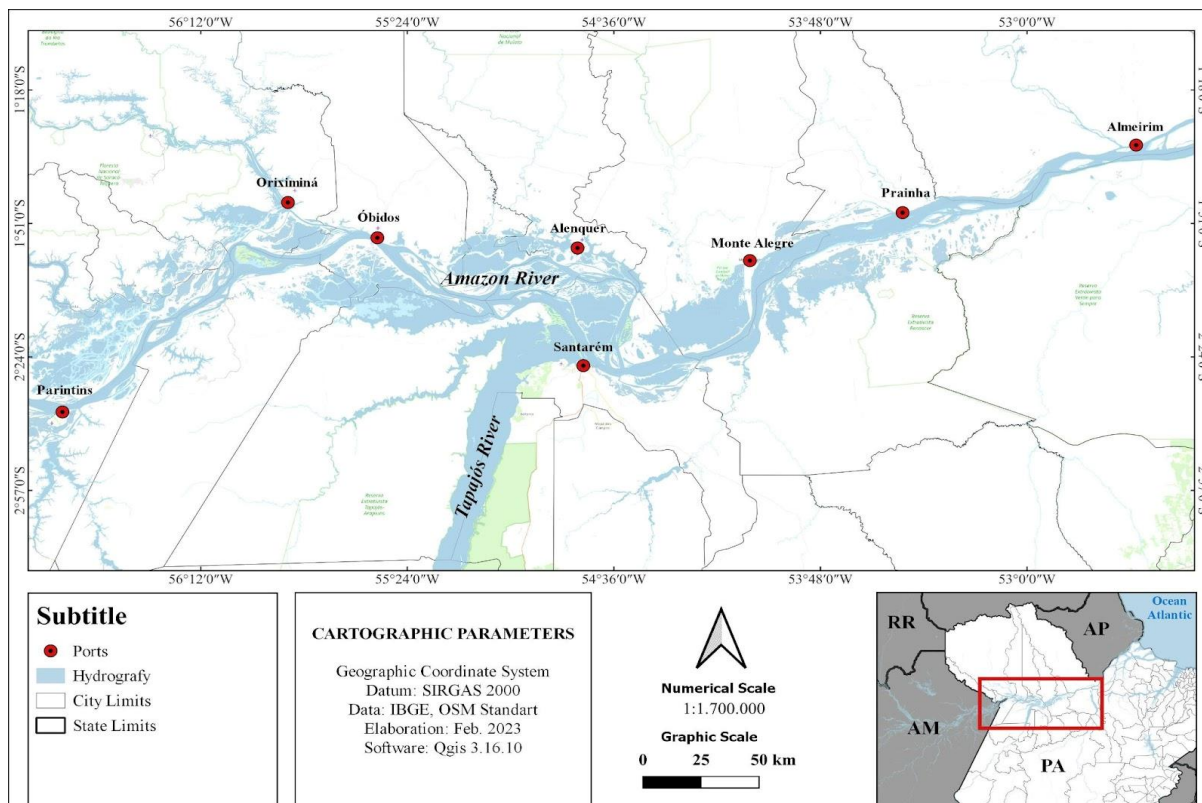
## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Área de estudo**

A área de estudo é comum aos três capítulos e provem de pescarias realizadas numa extensão de aproximadamente 480 km em linha reta ao longo do rio Amazonas, na calha principal do rio, canais, igarapés, lagoas marginais e planície de inundação, entre os municípios de Parintins (AM) e Almeirim (PA), no período de janeiro de 1993 até junho de 2005 e de março de 2008 até junho de 2011. Nessa região (Figura 1), o rio é largo e apresenta, lateralmente, lagos de várzea extensos e rasos, bem como outras áreas, florestadas ou não, sazonalmente alagáveis. O nível do rio apresenta variação sazonal de aproximadamente sete metros, promovendo ampla



área de inundação nas suas margens nos períodos de maior pluviosidade (Barthem & Goulding, 2007). Os ambientes fluviais e as áreas de inundação (lagoas e alagados) são bastante explorados por embarcações pesqueiras artesanais que desembarcaram nos portos dos municípios de Parintins, Oriximiná, Óbidos, Alenquer, Santarém, Monte Alegre, Prainha e Almeirim (Batista, *et al.*, 2012).



**Figura 1.** Mapa da região do Baixo Amazonas que se estende do município de Parintins - AM até o município de Almeirim – PA. Elaborado por Mateus Barbosa.

## 4.2. Coleta de dados

### Dados pesqueiros

As variáveis pesqueiras foram extraídas do banco de dados dos projetos IARA/IBAMA e ProVárzea/IBAMA, no período de janeiro de 1993 a junho de 2011, com interrupções decorrentes da falta de recursos financeiros (julho de 2005 a fevereiro 2008). O monitoramento da produção pesqueira foi realizado nos portos de desembarques das sedes dos municípios. As entrevistas ocorreram diariamente com todos os pescadores ou encarregados por aquelas embarcações, sendo as informações sobre a captura (kg), espécie de peixe, ambiente de pesca, arte de pesca, tipo de embarcação, número de pescadores, data de saída, data de chegada, dias efetivos de pesca, local de pesca e coordenada do local de pesca, anotadas em formulários individuais que equivalem a uma viagem de pesca. Desta forma o banco de dados contém os pesos (kg) de 42 etnoespécies capturadas (Tabela A1). Logo, os pesos (kg) diários do pescado

foram somados de forma a obter totais por mês/ano. Os meses sem observações, decorrentes da interrupção da coleta de dados (julho de 2005 a fevereiro 2008), foram substituídos pelas médias mensais, dos respectivos meses do período com dados disponíveis, o que resultou em 222 registros mês/ano e 19 registros considerando apenas os anos.

As informações foram filtradas de modo a incluir na análise somente dados referentes às pescarias que foram realizadas com barcos motorizados que realizaram operações de pesca (barco pescador), em ambientes de lagos, incluindo todos os lagos, áreas alagáveis, como igapós e campos alagados; ou rios, incluindo todos os canais de águas correntes, ou seja, paranás, canais principais, outros canais e grandes igarapés. Desembarques de barcos que atuaram como atravessadores ou compradores de pescado não foram incluídas na análise, por não terem informação precisa sobre o esforço de pesca.

### **Dados hidrológicos**

Os dados hidrológicos utilizados foram obtidos da rede de estações fluviais automáticas da Agência Nacional de Águas (ANA - [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)). Foram utilizadas as médias mensais das variáveis: chuva (mm), nível médio do rio (cm) e escoamento superficial ( $\text{kg} \times \text{m}^{-2}$ ). Os dados pluviométricos foram obtidos a partir de registros de estações meteorológicas nas cidades de Parintins, Nhamundá, Juruti, Oriximiná, Óbidos, Santarém, Alenquer, Monte Alegre, Prainha e Almeirim. As séries temporais do nível do rio Amazonas correspondem aos registros das estações de Parintins e Santarém. Em Óbidos, a 750 km de distância da foz do rio, está localizada a única estação que coleta dados de vazão do leito do rio Amazonas.

### **Dados meteorológicos**

Consideraram-se as médias mensais, de acordo com a área de estudo, das seguintes variáveis meteorológicas: temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatura da superfície do solo (K), umidade específica do ar ( $\text{kg}/\text{kg}$ ), calor latente ( $\text{wm}^{-2}$ ), que foram extraídos da base de dados do Projeto de Reanálise NCEP/NCAR (Centros Nacionais de Previsão Ambiental/Centro Nacional de Pesquisas Atmosféricas). As médias mensais da temperatura da superfície do mar, foram obtidas do banco de dados global do projeto Pathfinder, Versão 5.0 (PV5), desenvolvido pelo NODC (National Oceanographic Data Center) e RSMAS (Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science-University of Miami) e oferecido pelo PODAAC (Physical Oceanography Distributed ActiveArchive Center).

### **Índices climáticos**

Os índices climatológicos mensais utilizados neste estudo foram as séries temporais do MEI (Índice Multivariado ENSO [El Niño-Oscilação Sul]) obtidos em

www.esrl.noaa.gov/psd/data/climate/indexes/list/, Índice de Oscilação do Atlântico Norte (NAO), Índice Gradiente Inter-hemisférico da SST do Atlântico (GITA) (Souza *et al.*, 2000) e (Niño 3+4) anomalia da SST na região entre 5°S-5°N (latitude) e 170°W-120°W (longitude) (Silveira & Cavalcanti, 2013).

#### **4.3. Análise de dados empregada ao capítulo 1**

Análises exploratórias e descritivas foram realizadas para os dados mensais e anuais da captura total (t) e esforço combinado de pesca, no período de janeiro/1993 a junho/2011. O teste de Mann-Kendall (Hammer *et al.*, 2001), verificou se as variáveis mensais da captura total, esforço combinado de pesca, captura com redes em ambientes de lago, captura com redes em ambientes de rio, captura com linhas em ambientes de lago e captura com linhas em ambientes de rio, apresentaram alguma tendência temporal. Gráficos comparativos das médias mensais foram utilizados para compreender a dinâmica da pesca nos ambientes e artes de pesca utilizadas. A ANCOVA (Field *et al.*, 2012), foi utilizada para avaliar se o efeito da captura com redes e linhas eram independentes e o teste de Duncan (1955), identificou os grupos (meses) de médias que diferiram estatisticamente.

#### **4.4. Análise de dados empregada ao capítulo 2**

A ferramenta de ondeletas (*wavelets*) (Torrence & Compo, 1998; Torrence & Webster, 1999; Grinsted *et al.*, 2004) foi utilizada na análise da relação entre a produtividade pesqueira e variáveis ambientais, no período de janeiro/1993 a junho/2005. Considerou-se a captura por unidade de esforço (CPUE) (Petrere *et al.*, 2010) para as artes de redes de emalhe e linhas, separadamente. A transformada *wavelet* contínua (CWT) (Torrence & Compo, 1998), analisou o padrão das variáveis, considerando o fator tempo-frequência das séries univariadas das CPUE de redes, CPUE de linhas e variáveis ambientais. A *wavelet coherence* (WC) (Torrence & Webster, 1999; Lan *et al.*, 2019) foi usada na análise da dependência tempo-frequência das CPUEs de redes e linhas com cada variável ambiental. Além de ser usada, também, para analisar a influência do El Niño sobre as CPUEs de redes e linhas, quando o sinal sazonal já conhecido nas CPUEs foi eliminado. Para a avaliação do nível de importância das variáveis ambientais associadas a produtividade pesqueira com redes e linhas, utilizou-se a *average wavelet coherence* (AWC) (Hu *et al.*, 2017).

#### **4.5. Análise de dados empregada ao capítulo 3**

Análises utilizando ferramentas de geoestatística (Matheron, 1971; Goovaerts, 1997; Isaaks & Srivastava, 1989; Brunson *et al.*, 1996) e estatística espacial (Brunson *et al.*, 1998; Brunson *et al.*, 1999; Leung *et al.*, 2000) foram realizadas para os dados da captura (t) e esforço de pesca

(número de viagens aos locais de pesca) dos maparás (*Hypophthalmus* spp.) e *Ageneiosus* spp. (mandubés), no período de 1993 a 2004. O gráfico da série temporal da captura para todo o período e o regime mensal das pescarias, foram utilizados para verificar o padrão de comportamento das espécies. O teste de Mann-Kendall ( $p < 0.05$ ) (Hammer *et al.*, 2001) verificou as tendências das séries temporais. Mapas descritivos permitiram mostrar as localizações e intensidades das pescarias considerando as somas das capturas (t) e do esforço (frequência de viagens aos locais de pesca) para todo o período. Os semivariogramas e a Krigagem (Matheron, 1971; Goovaerts, 1997; Isaaks & Srivastava, 1989; Brunson *et al.*, 1996) foram utilizados para avaliar a existência de dependência espacial nos dados e estimar os valores da captura (t) e esforço de pesca (frequência de viagens aos locais de pesca) em locais não amostrados, para cada ano no período de 1993 a 2004. Desta forma permitiu-se, também, verificar a dinâmica das capturas (t) e do esforço de pesca no período estudado. A regressão global (GR) (Druck *et al.*, 2004; Anselin *et al.*, 2007) verificou a existência de regressão entre as capturas (t) (variável resposta) e a frequência de viagens aos locais de pesca (X1), a distância aos locais de pesca (km) (X2), o nível do rio (cm) (X3) e o Niño 3+4 (X4). A regressão geograficamente ponderada (GWR) ou regressão local (Brunson *et al.*, 1996) mostrou por meio de mapas os parâmetros e os locais significativos para os modelos, considerando o período de águas altas. O modelo para águas baixas não foi considerado neste estudo, pois estas pescarias são especificamente de águas altas (Carvalho *et al.*, 1980; Oliveira *et al.*, 2023). Desta forma pudemos identificar as variáveis que explicaram a variabilidade das capturas (t). Estas análises foram realizadas no programa R versão 3.6.2 for Windows.

## **5. FINANCIAMENTO**

Não houve financiamento específico, porém, agradecemos ao projeto “Recursos Naturais da Várzea”, ao projeto “Gestão dos Recursos Pesqueiros do Médio Amazonas: Pará e Amazonas” e ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, por disponibilizarem os dados.

## **6. REFERÊNCIAS**

Almeida, O.T., McGrath, D.G. & Ruffino, M.L. (2001) The commercial fisheries of the lower Amazon: an economic analysis. *Fishery Management and Ecology*, 8, 253-269.

Almeida, O.T., Lorenzen, K. & McGrath, D.G. (2004) Commercial fishing sector in the regional economy of the Brazilian Amazon. In: Welcomme, R.; Petr, T. (Org.). *Proceedings of*

the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries. Bangkok: FAO-Regional Office for Asia and the Pacific/RAP Publication, 2, 15-24.

Almeida, O.T., Lorenzen, K., McGrath, D.G., Amara, L. & Rivero, S. (2010) Importância econômica do setor pesqueiro na calha do Amazonas-Solimões. *Novos Cadernos, NAEA*, 275, 1-14.

Angelini, R., Fabré, N.N. & da Silva-Jr., U.L. (2006) Trophic analysis and fishing simulation of the biggest Amazonian catfish. *African Journal of Agricultural Research*, 1, 151-158.

Anselin, L., Sridharan, S. & Gholston, S. (2007) Using exploratory spatial data analysis to leverage social indicator databases: the discovery of interesting patterns. *Social Indicators Research*, [s. l.], 82(2), 287-309.

Barthem, R. & Goulding, M. (1997) *The catfish connection. Ecology, migration and conservation of Amazon predators*, New York: Columbia University Press.

Barthem, R. (2003) O desembarque na região de Belém e a pesca na Foz Amazonica. In: Ruffino ML, editor. *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira*. Manaus: ProVarzea/Ibama, 137-167.

Barthem, R.B. & Fabré, N.N. (2004) Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia, 17-51. In: Ruffino, M.L. *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira*. Manaus: Ibama/ProVárzea. 268p.

Barthem, R.B. & Golding, M. (2007) *Na unexpected ecosystem: the Amazon revealed by the sheries*. Gráca Biblos, Lima. Botanical Garden Press. Missouri. 241p.

Batista, V.S., Inhamuns, A.J., Freitas, C.E.C. & Freire-Brasil, D. (1998) Characterization of the fishery in river communities in the Low-Solimões/High-Amazon region. *Fisheries management and Ecology*, 5(5), 419-435.

Batista, V.S. (2003) A pesca na Amazônia Central. In: Ruffino ML, editor. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira. Manaus: ProVarzea/Ibama. 137-167.

Batista, V.S. & Petrere Júnior, M. (2003) Characterization of the commercial fish production landed at Manaus, Amazonas State, Brazil. *Acta Amazonica*, 33(1), 53-66.

Batista, V.S. & Petrere Júnior, M. (2007) Spatial and temporal distribution of fishing resources exploited by the Manaus fishing fleet, Amazonas, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 67, 651-656.

Batista, V.S., Isaac, V.J., Fabr e, N.N. & Alonso, J.C. (2012) Principais recursos pesqueiros: varia es espaço-temporais e rela es com o ambiente. In: Batista, V.S. Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avalia o integrada. Brasília: Ibama/ProVárzea. 276p.

Bayley, P.B. & Petrere Jr. (1989) Amazon fisheries: assessment methods, current status and management options, 385-398. In D.P. Dodge (Ed.) *Proceedings of the International Large River Symposium*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 106.

B n e, C., Steel, E., Luadia, B.K. & Gordon, A. (2009) Fish as the ‘‘bank in the water’’– Evidence from chronic-poor communities in Congo. *Food Policy*, 34, 108-118.

Box, G. E. P., Jenkins, G. M. & Reinsel, G. C. (2008) *Time Series Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 4 edi o. URL <http://dx.doi.org/10.1002/9781118619193.fmatter>.

Brunsdon, C., Fotheringham, A.S. & Charlton, M. (1996) Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. *Geographical Analysis*, 28(4), 281-298.

Brunsdon, C., Fotheringham, S. & Charlton, M. (1998) Geographically Weighted Regression-Modelling Spatial Non-Stationarity. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)*, 47(3), 431-443.

Brunsdon, C., Fotheringham, A.S., Charlton, M. (1999) Some Notes on Parametric Significance Tests for Geographically Weighted Regression. *Journal of Regional Science*, 39(3), 497-524.

Cajueiro, D. & Tabak, B. (2004a) Evidence of long-range dependence in Asian equity markets: the role of liquidity and market restrictions. *Physica A*, 342(3-4), 656–664.

Cajueiro, D. & Tabak, B. (2004b) Ranking Efficiency for Emerging Markets. *Chaos, Solitons and Fractals*, 22(2), 349–352.

Cajueiro, D. & Tabak, B. (2004c) The Hurst exponent over time: testing the assertion that emerging markets are becoming more efficient. *Physica A*, 336(3-4), 521–537.

Carvalho, F. M. Alimentação de Mapará (*Hypophthalmus edentatus* Spix 1829) do Lago Castanho, Amazonas (Siluriformes, Hypophthalmidae) (1980) *Acta Amazonica*, 10(3),545-555.

Castello, L., Viana J.P., Watkins G., Pinedo-Vasquez M. & Luzadis V.A. (2009) Lessons from Integrating Fishers of Arapaima in Small-Scale Fisheries Management at the Mamirauá Reserve, Amazon. *Environmental Management* 43(2), 197–209.

Castello, L. & Macedo, M.N. (2015) Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biology*, 22, 990-1007.

Castello, L., Isaac, V.J. & Thapa R. (2015) Flood pulse effects on multispecies fishery yields in the Lower Amazon. *R. Soc.open sci.* 2: 150299, <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.150299>.

Castello, L., Hess, L.L., Thapa, R., McGrath, D.G., Arantes, C.C., Renó, V.F. & Isaac, V.J. (2017) Fishery yields vary with land cover on the Amazon River floodplain. *Fish Fish.*, 00:1–10.

Conceição, L.C.A., Martins, C.M., Santos, M.A.S., Araújo, J.G.A. & Monteiro, E.P. (2020) A pesca artesanal e a sucessão geracional no município de Maracanã, estado do Pará, Brasil. *Guaju, Matinhos*, 6(1), 70-85.

Cruz, R.E.A, Isaac V.J. & Paes, E.T. (2017) A pesca da dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau, 1855) na região do Baixo Amazonas, Brasil. *B. Inst. Pesca, São Paulo.*, 43(4), 474–486. Doi: 10.20950/1678-2305,

Druck, S., Carvalho, M.S., Câmara, G. & Monteiro, A.V.M. (Ed). (2004) *Análise espacial de dados geográficos*. Brasília: EMBRAPA, 209 p.

Duncan, D.B. (1955) Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*. 11, 1-42.

Fearnside, P.M. (2013) Viewpoint-decision making on amazon dams: Politics trumps uncertainty in the Madeira River sediments controversy. *Water Alternatives*, 6, 313–325.

Field, A. P., Miles, J., Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. Sage Publications (CA). Illustrated edition, 957p.

Christensen, J.H., Krishna Kumar, K., Aldrian, E., Cavalcanti, I.F.A., De Castro, M., Dong, W., Goswami, P., Hall, A., Kanyanga, J.K., Kitoh, A., Kossin, J., Lau, N.-C., Renwick, J., Stephenson, D.B., Xie, S.-P. & Zhou, T. (2013) Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., TignoR, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M. (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1217-1308.

Fragoso Júnior, C.R., Ferreira, T.F & Marques, D.M. (2009) *Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos – São Paulo: Oficina de Textos, 2020p*. Doi: 10.13140/RG.2.1.4337.6725

Freitas, C.E.C., Batista, V.S. & Inhamuns, A.J. (2002) Strategies of the small-scale fisheries on the Central Amazon floodplain. *Acta Amazônica*, 32(1), 101-108.



Gloor, M. et al. (2013) Intensification of the amazon hydrological cycle over the last two decades. *Geophysical Research Letters*. Wiley Online Library. 40(9), 1729-1733.

Gonçalves, C & Batista, V.S. (2008) Avaliação do desembarque pesqueiro efetuado em Manacapuru, Amazonas, Brasil. *Acta amazônica*, 38(1), 135 – 144.

Goovaerts, P. (1997) *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York, 483p.

Goulding, M. (1983) Amazonian Fisheries. In: Moran, E. (Ed.). *The Dilemma of Amazonian Development*. Colorado: Westview Press, 189-210.

Gouveia, N.A., Gherardi, F.M., Wagner, F.H. & Aragão, L.E. (2019) Qual o impacto da intensificação do ciclo hidrológico da bacia amazônica no Atlântico Tropical Oeste? *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, Santos, São Paulo, Brazil. ISBN 978-85-17-00097-3.

Grinsted, A., Moore, J.C. & Jevrejeva, S. (2004) Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, 561-566. <https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004>

Hallwass G., Lopes P.F., Juras, A. A. & Silvano R. A. M. (2011) Fishing effort and catch composition of urban market and rural villages in Brazilian Amazon. *Environmental Management*, 47(2), 188-200.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001) Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9.

Hap N. & Bhattarai, M. (2009) Economics and livelihoods of small-scale inland fisheries in the Lower Mekong Basin: a survey of three communities in Cambodia. *Water Policy Supplement*, 1, 31-51.

Hu, W., Si, B.C., Biswas, A. & Chau, H.W. (2017) Temporally stable patterns but seasonal dependent controls of soil water content: Evidence from wavelet analyses. *Hydrological Processes*, 31(21), 3697–3707.

Isaac, V.J. & Ruffino, M.L. (1996) Population dynamics of tambaqui (*Colossoma macropomum*) Cuvier, in the lower Amazon-Brazil. *Fisheries Management and Ecology*, Londres, 3, 315-333.

Isaac, V.J., Milstein, A. & Ruffino, M.L. (1996) A pesca artesanal no Baixo Amazonas: análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazonica*, 26(3), 185-208.

Isaac, V.J. & Ruffino, M.L. (2000) A estatística pesqueira no Baixo Amazonas: experiência do Projeto Iara. IBAMA, Coleção Meio Ambiente Série Estudos de Pesca, 22, 201-224.

Isaac, V.J., Silva, C.O. & Ruffino, M.L. (2004) A pesca no Baixo Amazonas. In: Ruffino M.L., ed. *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira*. Manaus: ProVarzea/Ibama, 185–211. ISBN 85-7401-124-X.

Isaac, V.J. & Ruffino, M.L. (2007) Evaluation of Fisheries in Middle Amazon. *American Fisheries Society Symposium*, 49.

Isaac, V.J., Da silva, C.O. & Ruffino, M.L. (2008) The artisanal fishery fleet of the lower Amazon. *Fish. Manag. Ecol.* 15, 179–187.

Isaac, V. J. & Almeida, M. C. (2011) El Consumo De Pescado En La Amazonía Brasileña. *FAO COPESCAL Documento Ocasional*, 13, 1-43.

Isaac, V.J., Castello, L., Santos, P.R.B. & Ruffino, M.L. (2016) Seasonal and interannual dynamics of river-floodplain multispecies fisheries in relation to flood pulses in the Lower Amazon. *Fisheries Research*, 183, 352–359.

Isaaks, E.H. & Srivastava, R.M. (1989) *An introduction to applied geostatistics*. Nova Iorque: Oxford University, Press, 561p

Junk, W.J., Bayley, P.B. & Sparks, R.E. (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems, 110-127. In D. P. Dodge (Ed.), Proceedings of the international large river symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 106.

Kirichenko, L., Radiloca, T. & Deineko, Z. (2011) Comparative analysis for estimating of the hurst exponent for stationary and nonstationary time-series. International Journal Information Technologies and Knowledge, 5, 371–388.

Lan, K.W., Evans, K. & Lee, M.A. (2013) Effects of climate variability on the distribution and fishing conditions of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean. Climatic Change 119, 63-77. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0637-8>

Leung, Y., Mei, C.L. & Zhang, W.X. (2000) Statistical tests for spatial nonstationarity based on the geographically weighted regression model. Environment and Planning A. 32 (1), 9-32.

Lima, M.A.L. (2017) História do ecossistema e dos recursos pesqueiros frente a implementação de hidrelétricas na bacia do rio Madeira. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação Em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velo, Rondônia, 138p.

Lima, M.A.L., Kaplan, D.A. & Doria, C.R.C. (2017) Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary. Ecohydrology, 10(8): e1899. <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1899>.

Lowe-McConnell, R.H. (1975) Fish communities in tropical freshwaters. New York: Longman Inc. 337p.

Matheron, G. (1971) The theory of regionalized variables and its applications. Paris: Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu, 2011p.

McClanahan T.R., Castilla J.C., White A.T. & Defeo, O. (2009) Healing smallscale fisheries by facilitating complex socio-ecological systems. *Review of Fish Biology and Fisheries* 19, 33-47.

Navy, H. & Bhattarai, M. (2009) Economics and livelihoods of small-scale inland fisheries in the Lower Mekong Basin: a survey of three communities in Cambodia. *Water Policy* 11 Supplement 1, 31–51.

Novaes, J.L.C, Freire, A.E., Amorim, R.R.A. & Costa, R.S. (2015) Diagnóstico da pesca artesanal em um reservatório do Semiárido Brasileiro. *Bol. Inst. Pesca, São Paulo*, 41(1), 31 – 42.

Oliveira, L.S., Oliveira-Junior, J.M.B., Cajado, R.A., Silva, F.K.S. & Zacardi, D.M. (2023) Ichthyoplankton and plastic waste drift in a river in the Amazon Basin, Brazil. *Front. Environ. Sci.*, 11, 1068550. doi: 10.3389/fenvs.2023.1068550

Pereira, J.C., Schmidt, A.M., Leandro, R.S. & Petreire Jr, Miguel. (2009) *Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias*. Botucatu-SP. ISBN: 978-85-98187-19-8

Petreire Jr., M. (1985) A pesca comercial no rio Solimões-Amazonas e seus afluentes: análise dos informes do pescado desembarcado no Mercado Municipal de Manaus (1976-1978). *Ciência e Cultura*, 37(12), 1987-1999.

Petreire Jr., M. (1978) Pesca e esforço de pesca no estado do Amazonas. II. Locais, aparelhos de captura e estatísticas de desembarque. *Acta Amazônica, Manaus*, 54 p. ilustr. Supl. 2.

Petreire Junior, M. (1986) Variations in the relative abundance of tucunaré? (*Cichla ocellaris*, *C. temensis*) based on catch and effort data of trident fisheries. *Amazon fisheries. II - Amazoniana*, 10, 1-13.

Petreire Jr, M.; Giacomini, H.C. & De Marco Junior, P. (2010) Catch-per-unit-effort: which estimator is best? *Brazilian Journal of Biology*, 70(3), 483-491.

Pinaya, W.H.D., Lobon-Cervia, F.J., Pita, P., Buss De Souza, R., Freire, J. & Isaac, V.J. (2016) Multispecies Fisheries in the Lower Amazon River and its Relationship with the Regional and Global Climate Variability. PLoS One 11(6): e0157050.

Pinaya, W. H. D., Pita, P., Buss De Souza, R., Lobon-Cervia, F. J., Freire, J. & Isaac, V.J., (2018) The Catfish fishing in the Amazon floodplain lakes. The Catfish Fishing in the Amazon Floodplain Lakes. Oceanogr Fish Open Access Journal, 7(4): 555720. doi:10.19080/foaj.2018.07.555720

Primack, R.B. & Rodrigues, D. (2001) *Biologia da Conservação*. Londrina, E. Rodrigues, 328p.

Primack, R.B. & Ros, J. (2002) *Introducción a la biología de la conservación*. Ed. Ariel Ciência. N° 1. 384 p.

Ruffino, M. L. (1996) Potencialidades das várzeas para recursos pesqueiros: uma visão sócio-econômica e ecológica. In: *Anais do I Workshop sobre as Potencialidades de uso do Ecossistema de Várzeas da Amazônia*. Embrapa-Região Norte/Boa Vista, RR, p. 32-53. (Série Documentos, 7).

Ruffino, M.L., Isaac, V.J. & Milstein, A. (1998) The German Society for Tropical Ecology – Fisheries Ecology in the Lower Amazon: A Typical Artisanal Practice in the tropics. *Ecotropica*, 4, 99-114.

Ruffino, M.L. & Isaac, V.J. (2000) A Pesca Artesanal no Médio Amazonas. Em *Recursos Pesqueiros do Médio Amazonas*. *Biologia e Estatística Pesqueira*. IBAMA, 317-348.

Saila, S.B., Wigbout, M. & Lermitt, R.J. (2014) Comparison of some time series models for the analysis of fisheries data. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 39(1), 44-52.

Santos, G.M. & Santos, A.C.M. (2005) A sustentabilidade da pesca na Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(54), 165-182p.

Silveira, V.P. & Cavalcanti, F.A. (2013) Influência das TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico nos eventos de seca. In: Borma LS, Nobre CA (Eds.), Secas na Amazonia: causas e consequências. Oficina de Textos, São Paulo, Brazil, 78-88.

Smith, N.J.H. (1985) The impact of cultural and ecological change on Amazonian. *Biological Conservation*, 32, 355-373.

Souza, E.B., Kayano, M.T., Tota, J., Pezzi, L., Fisch, G, et al. (2000) On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico Tropical. *Acta Amazonica* 30(2), 305-318.

Souza, K. N. S., Fabr e, N. N. & Batista, V. S. (2009) Landscape variables affecting fishery production in lake systems of floodplain areas in Central Amazon, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 25, 294-298.

Torrence, C.G. & Compo, G.P. (1998) A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61-78. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)

Torrence, C. & Webster, P. (1999) Interdecadal Changes in the ENSO-Monsoon System, *Journal of Climate*, 12, 2679-2690. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2679:ICITEM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2679:ICITEM>2.0.CO;2)

Zuur, A.F., Tuck, I.D. & Bailey, N. (2003) Dynamic factor analysis to estimate common trends in fisheries time series. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 60, 542–552.

Ward, A.S., Kurz, M.J., Schmadel, N.M., Knapp, J.L., Blaen, P.J., Harman, C.J., Drummond, J.D., Hannah, D.M., Krause, S., Li, A., Marti, E., Milner, A., Miller, M., Neil, K., Plont, S., Packman, A.I., Wisnoski, N.I., Wondzell, S.M., Zarnetske, J.P. (2019) Solute Transport and Transformation in an Intermittent, Headwater Mountain Stream with Diurnal Discharge Fluctuations. *Water*, 11, 2208.

Welcomme, R. L., et al. (2010) Inland capture fisheries. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2881-2896.

Winemiller, K.O., McIntyre, P.B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S. & Stiassny, M.L.J. (2016) Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351(6269), 128–129.

Wunderling, N., Staal, A., Sakschewski, B, Hirota, M., Tuinenburg, O., Donges, J., Barbosa, H. & Winkelmann, R. (2022) Recurrent droughts increase risk of cascading tipping events by outpacing adaptive capacities in the Amazon rainforest. Supplementary Information for. PNAS. Available at: [www.pnas.org](http://www.pnas.org)

## APÊNDICE A - TABELA

**Tabela A1.** Espécies de peixes ou etnoespécies desembarcadas nos portos do Rio Amazonas, no período de 1993 a 2011.

<b>Categoria</b>	<b>Nome comum</b>	<b>Nome Científico</b>
Mapará	Mapará	<i>Hypophthalmus edentatus</i> , <i>Hypophthalmus fimbriatus</i>
Mandubé	Mandubé	<i>Ageneiosus</i> spp.
Dourada	Dourada	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>
Curimatã	Curimatã	<i>Prochilodus nigricans</i>
Acari-Bodó	acari-bodó	<i>Pterygoplichthys pardalis</i>
Surubim	surubim-lenha/canela e surubim-pintado/tigre	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , <i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>
Fura calça	fura calça	<i>Pimelodina flavipinnis</i>
Filhote	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>
Jaraqui	jaraqui escama fina e jaraqui escama grossa	<i>Semaprochilodus taeniurus</i> ; <i>Semaprochilodus insignis</i>
Pescada	pescada e pescada preta	<i>Plagioscion squamosissimus</i> , <i>Plagioscion auratus</i>
Aracu	aracu comum, aracu amarelo e aracu cabeça gorda	<i>Schizodon fasciatus</i> , <i>Leporinus fasciatus</i> , <i>Leporinus friderici</i>
Piramutaba	Piramutaba	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>
Tambaqui	tambaqui amarelo/preto	<i>Colossoma macropomum</i>
Peixe-cachorro	Peixe-cachorro	<i>Rhaphiodon vulpinus</i> ; <i>Acestrorhynchus falcirostris</i> , <i>Acestrorhynchus falcatus</i> , <i>Acestrorhynchus microlepis</i>
Jandiá	Jandiá	<i>Leiarius marmoratus</i>
Pacu	pacu-comum, pacu-jumento, pacu-marreca, pacu olhudo	<i>Mylossoma</i> spp., <i>Myleus</i> spp., <i>Metynniss</i> spp., <i>Myloplus</i> spp.
Tucunaré	tucunaré, tucunaré-açú, tucunaré-pinima e tucunaré-tatú	<i>Cichla temensis</i> , <i>Cichla monoculus</i>

<b>Categoria</b>	<b>Nome comum</b>	<b>Nome Científico</b>
Acará	cará-açú, acará rosado, acará roxo e acaratinga	<i>Astronotus</i> spp., <i>Caquetaia spectabilis</i> , <i>Geophagus proximus</i>
Piracatinga	Piracatinga	<i>Calophysus macropterus</i>
Apapá	apapá amarelo, apapá branco	<i>Pellona flavipinnis</i> ; <i>Pellona castelnaeana</i>
Matrinxã	matrinxã e matrinxã/jatuarana	<i>Brycon cephalus</i>
Cujuba	Cujuba	<i>Oxydoras niger</i>
Barbado	Barbado	<i>Brachyplatystoma platynemum</i>
Arraia	Arraia	<i>Potamotrygon</i> spp.
Pirapitinga	Pirapitinga	<i>Piaractus brachypomus</i>
Bacu	bacu liso e bacu pedra	<i>Pterodoras lentiginosus</i> , <i>Lithodoras dorsalis</i>
Aruanã	Aruanã	<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>
Charuto	Charuto	<i>Hemiodus</i> spp.
Pirarara	Pirarara	<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>
Piranha	piranha cajú, piranha mafurá e piranha preta	<i>Serrasalmus</i> spp.
Jaú	Jaú	<i>Zungaro zungaro</i>
Branquinha	branquinha comum, cascuda e cabeça lisa	<i>Potamorhina latior</i> , <i>Psectrogaster amazonica</i> , <i>Potamorhina altamazonica</i>
Piranambú	Piranambu	<i>Pinirampus pirinampu</i>
Pirarucu	Pirarucu	<i>Arapaima gigas</i>
Mandí	Mandí	<i>Pimelodus</i> spp.
Tamuatá	Tamuatá	<i>Hoplosternum littorale</i>
Sardinha	sardinha comprida e sardinha papuda	<i>Triportheus</i> spp.
Traíra	Traíra	<i>Hoplias malabaricus</i>
Cara de gato	cara de gato	<i>Platynemichthys notatus</i>
Saranha	Saranha	<i>Cynodon gibbus</i>
Jeju	Jeju	<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>
Puraqué	Puraqué	<i>Electrophorus electricus</i>



## **CAPÍTULO 1**

### **THE HYDROLOGICAL CYCLE IN THE BRAZILIAN LOWER AMAZON DETERMINES FISHING CAPTURE AND GEAR PATTERNS**

Artigo científico submetido a revista *Fishes* da MDPI

## **The hydrological cycle in the Brazilian lower Amazon determines fishing capture and gear patterns**

### **Abstract**

Fishery catches in the Lower Amazon River were analyzed in relation to the hydrological cycle, temporal shifts in fishing effort, and fishing with nets or lines in lakes and rivers. The study was based on temporal series of catch data collected between January 1993 and June 2011, which were analyzed by ANCOVA. The most landings was with gillnets (98.65%) and in lakes environment (64.98%). Temporal series shows a significant decline over the time in gillnet-fishing catches for both lakes and rivers, as well as fishing effort. The influence of the annual flood cycle is reflected on the catch and flood pulse regulate the pattern of fishing productivity in the region. Fishers adapt to this pulse showing a traditional knowledge on the environment. The results also indicated that any changes in this dynamic system may impact traditional local fisheries and affect the economic wellbeing of fisher populations.

**Keywords:** Amazonia; small-scale fishery; fishing ground; fishing technique, hydrological pattern; sustainable development

**Key Contribution:** The fishers empirical knowledge in the Lower Amazon region prompt selection of techniques and fishing ground according to the hydrological cycle. Possible failures in this cycle can impact this dynamic, affecting fishing and the local community.

### **1. Introduction**

With more than 2.400 species [1], Amazonia has the greatest diversity of freshwater fish found anywhere in the world [2,3]. This biological richness supports the region's artisanal fisheries, which represent one of its principal economic sectors [4,5]. Fishery is responsible for the majority of the fish products sold regionally, nationally, and even for export [6]. Artisanal fishing is also the principal source of subsistence for the region's traditional riverside populations, whose per capita consumption of fish is among the world's highest [7].

Artisanal fishing is also an important source of full-time or seasonal employment for the population of the Brazilian Amazon region [8,9], where job opportunities are limited, and alternative sources of income are scarce. However, this activity is extremely variable, and the income derived from a fishing trip can be affected by a range of factors, both endogenous and exogenous, including the fishing season, target species, and fluctuations in the climate and river levels. A few previous studies have focused on the productivity of fisheries in the Lower Amazon basin [10,11], and the factors that determine the oscillations in the income generated by this activity.

On the other hand, longitudinal studies that evaluate long-term trends in the intensity and productivity of the region's artisanal fisheries are still scarce. This is due to the general lack of official fishery statistics in Brazil, those that provide continuous, long-term data [12,13,14]. In addition to the lack of any government policy for the monitoring of fisheries, the paucity of data reflects the unique characteristics of artisanal fisheries, which tend to be informal in most cases, cover large areas, and employ a variety of fishing techniques, while also landing their catches in relatively small and isolated localities that are difficult to monitor [15, 16]. Overall, then, Amazonian fisheries are complex, and the few available data are invaluable for the understanding of the exploitation of different environments and productivity levels, in the context of the annual flood cycle [10,17,18,19].

In the specific case of the Lower Amazon, no previous study has associated the variation in fishing techniques with the hydrological cycle, although data are available on the fluctuations in the productivity of certain species, and the relationship between this variation and both river levels and rainfall rates [11,10,20,21]. In this context, the present study focuses on the variation in the total fishery catches associated with the hydrological cycle, trends in fishing effort, and the patterns of use of gillnets and lines in floodplain lakes and river environments on the Lower Amazon.

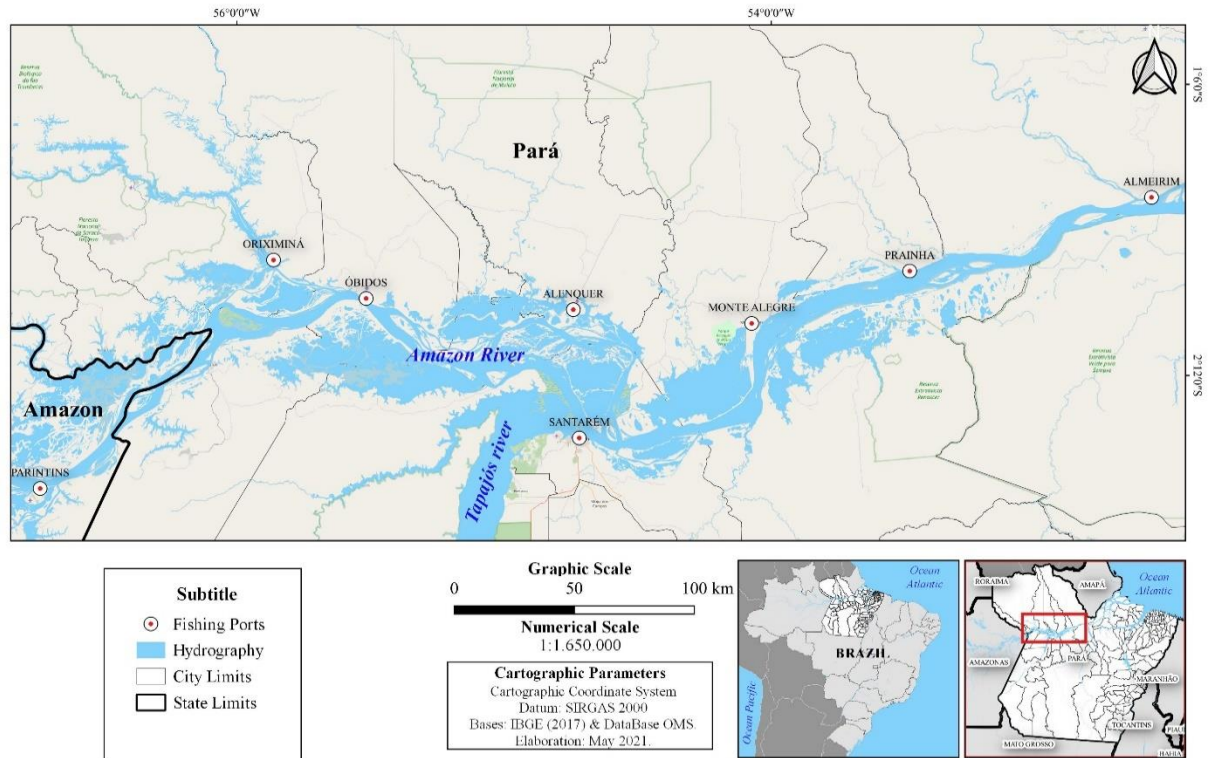
This study aims to answer the following questions: What is the time trend of the historical series of catches and effort? How is fishing distributed between lakes and rivers, depending on the hydrological cycle? What factors determine fisheries choice of fishing gear? When and how are the highest yields obtained from fisheries?

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Study area**

The fishery data analyzed in the present study were collected along a stretch of approximately 480 km (in a straight line) of the Lower Amazon River, including the principal course of the river, its lateral channels, creeks, and marginal and floodplain lakes, between the municipality of Parintins in the Brazilian state of Amazonas and Almeirim in the state of Pará (Figure 1). In this region, the river is extremely wide and its margins are lined with extensive, shallow floodplain lakes and other seasonally-flooded areas, some of which are forested, while others have more open vegetation. Over the course of the year, the level of the river rises and falls by approximately seven meters, leading to the flooding of land margins during the periods of peak rainfall and river discharge [22].

These fluvial environments and floodplain areas are exploited extensively by artisanal fishing vessels, which land their catches in the ports of the municipalities of Parintins, Oriximiná, Óbidos, Alenquer, Santarém, Monte Alegre, Prainha, and Almeirim [23].



**Figure 1.** Location of the eight fishing ports on the lower Amazon River, at which the fishery data analyzed in the present study were collected.

## 2.2. Data collection

The fishery data were collected in the ports of eight municipalities (Figure 1) and data collection occurred between January 1993 and June 2011, except for an interval between July 2005 and February 2008, when a lack of financial resources led to the suspension of research activities. The data were compiled into a relational database used in this work.

This monitoring consisted of daily interviews with the fishers or responsible of all the vessels that docked in the ports, registering following information's: (i) the type of vessel, (ii) the environment (lake or river) fished, (iii) the number of fishers, (iv) the duration of the trip, (v) the effective fishing days, (vi) the arrival date, (vii) the departure date, (viii) the fishing techniques used (gillnets or lines), and (ix) the weight of the fish caught, classified according to the common name used for the species by the fishers. Each interview form referred to a single fishing trip. The Total Catch (TC) was defined as the sum of the weights of the 42 ethno-species (Table A1).

The data were filtered to include only the catches landed by motorized fishing boats that operated on floodplain lakes, other environments subject to flooding (such as blackwater swamp [igapó] and marsh) or rivers, including all associated watercourses, such as bifurcations, channels, and major streams. The dataset was also restricted to trips during which gillnets (GN) or lines (L) were deployed (Table 1).

**Table 1.** Characteristics of the different types of fishing gear used by the artisanal fisheries of the Lower Amazon basin (adapted from Isaac et al., 2004).

Type	Category	Gear	Description	Usage
NETS	Gillnets	Driftnet (“bubuia”)	Long, tall gillnet, which is left to drift in the river channel.	Used to catch catfish.
		Gillnet (“malhadeira”)	Rectangular nets of multifilament nylon, with different mesh sizes.	Widely used near the surface or near the bottom, in the still waters of rivers or in floodplains. This net catches all different types of fish, depending on the mesh used and the site targeted. These nets may also be deployed actively, being trawled manually or by vessels.
		Small gillnet (“miqueira”)	Rectangular nets of monofilament nylon, with different mesh sizes.	Used in environments with strong currents, principally to catch mapará.
	Cast nets	Cast net (“redinha”)	Rectangular net used actively to encircle fish.	Used in deep water free of obstacles, for the capture of fish in shoals, in particular the jaraqui.
	Others	Handnet (“puçá”, “rapiché”)	Funnel-shaped nets with a fine mesh and pole.	Used in the dry season (low water), primarily at the margins of islands and in areas with gravelly bottoms.
LINES	Lines	Handlines and rods (“caniço”, “rapazinho”)	Long nylon line with a baited hook at the end, either held in the hand, tied to the bank or attached to a rod.	Used in lentic environments, near fruiting trees or in sheltered locations. Used to catch pacu, aracu, and other fish in flooded areas.
		Paternoster (“espinhel”)	Longline gear, to which a series of short lines with hooks are attached.	Used to target catfish in the river channel.

The weight (kg) of the catch landed each day was summed to provide monthly or/and annual total catches. For analysis, the months for which no data were available due to the interruption

of the monitoring (July 2005 through February 2008) were assigned the mean values recorded for the other months. This resulted in a total dataset with 222 monthly and 19 annual catches. The mean catches recorded for each calendar month during the study period were observed for the analysis of monthly patterns. The combined fishing effort (E) was obtained using [24] equation 2:  $E = \sum NF \times \sum FD$ , where NF = the number fishers and FD = the number of effective fishing days.

The total catch (in tons, t) and combined fishing effort values were transformed by the natural logarithm to standardize the linearization and homoscedasticity of the data. Even so, the relationship between catches and effort did not align with the origin, which impeded the calculation of the CPUE (Catch per Unit Effort), as recommended by Petrere Jr. *et al.* (2010) [24]. Given this, only the catches were used as the response variable [11] in the Analysis of Covariance (ANCOVA).

The River Level (RL) in the study area for the period between 1993 and 2011 were obtained from the Hydrological Information System (HidroWEB) of the Brazilian National Waters Agency [25]. These data were compiled from ANA's network of pluviometers and fluvial gages at Santarém. The analyses were based on the mean monthly (cm) level recorded for each year. To better characterize the hydrological cycle for the analysis of the catch dynamics associated with river levels, the data were arranged also in four phases, according to the level of the Amazon/Solimões river system [13]: (i) flooding (January–March), (ii) high water (April–June), (iii) ebb (July–September), and (iv) low water (October–December),

### 2.3. Statistical analysis

Exploratory and descriptive analyses were applied to the monthly and annual total catches (t) and the combined fishing effort data. The Mann-Kendall test with  $\alpha = 0.05$  was run in PAST® 4.02 [26] to determine the temporal trends for the monthly data of the total catches, and fishing effort, using as descriptor used gear (nets or lines) and environment (lake or river). This test calculates an S value, which negative values indicate a decreasing trend and positive values an increasing trend, while  $S = 0$  reflects a lack of any significant trend [27]. As the Mann-Kendall test is nonparametric, it does not require normally-distributed data [28,29]. The dynamic relationship among the different environments and types of fishing gear was observed using graphic plots.

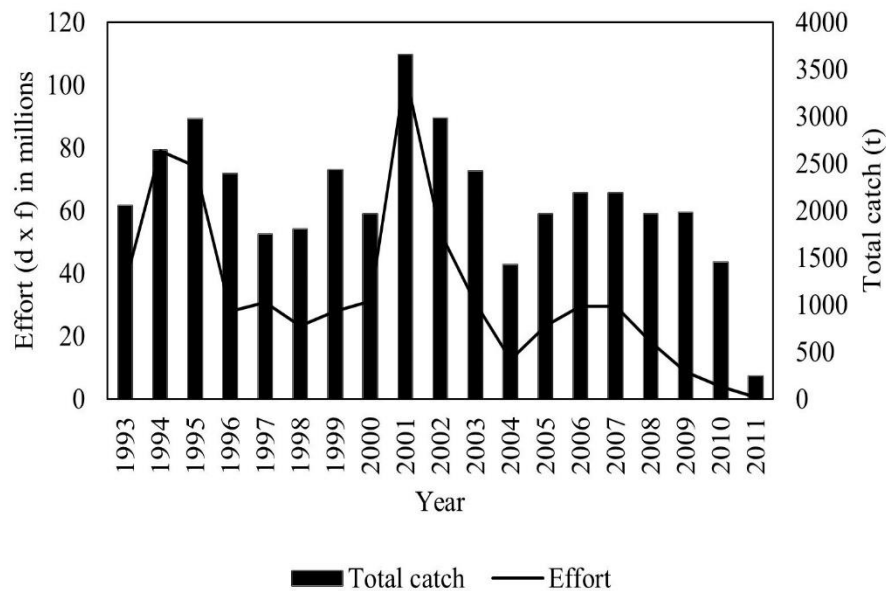
The ANCOVA model was used to evaluate whether the effects of catches taken using nets or lines were independent. The Box-Cox transformation was used to adjust the data to the models [30]. For this, the net catch data were first considered as the response variable, with the

line catch data being considered the covariable, and the months as the independent variable or treatments. This approach aimed to determine whether the net catches varied monthly and whether this variation was correlated with the line data (dependent variable). This ANCOVA procedure was repeated, considering the line data as the response variable in the model. Duncan's (1955) [31] test was used to identify the groups (months) of means that were significantly different from one another. These analyses were run on the R for Windows platform, version 3.6.2 [32].

### 3. Results

The mean monthly total catch of the Lower Amazon fishery, for the whole study period, was 182.4 t ( $\pm 111.3$  t) corresponding to a combined mean monthly effort of 21.6 ( $\pm 6.3$ ) days x fisher. The local artisanal fishing fleet undertook trips with a mean duration of four ( $\pm 3.0$ ) effective fishing days and a mean of five ( $\pm 4.2$ ) crew members per trip. Almost 65% of the total catch (26,3 t) was taken on lacustrine environments. It is interesting to note that gillnet fishing provided the greatest production overall with almost 99% (39,9 t) of total catch.

The time evolution of capture and effort are similar. With the exception of 2011, for which data are only available for the first half of the year, the total catch was highest in 1995, 2001, and 2002, while fishing effort was high in 1994 and 2001 (Figure 2).



**Figure 2.** Annual total catch (t) and fishing effort (days x fishers) monitored on the lower Amazon ports between 1993 and 2011.

The Mann-Kendall test (Table 2) revealed significant ( $p < 0.05$ ) and negative temporal trends over the time for the total catch, the fishing effort, and the catch with gillnets in both

environments. Total catch with lines and in lakes shows a positive trend over the time increased significantly, but catches with lines in river seem to be stable over the time (Table 2).

**Table 2.** Results of the Mann-Kendall test ( $S$  values and probabilities) for the evaluation of trends in fishery variables on the lower Amazon between January 1993 and June 2011 ( $*p < 0.05$ ).

Variable	$S$	$p$
Total catch	-3837	0.0005*
Fishing effort	-8691	0.0000*
Gillnets in lakes	-2927	0.0082*
Gillnets in rivers	-3622	0.0011*
Lines in lakes	2301	0.0376*
Lines in rivers	-1088	0.3258

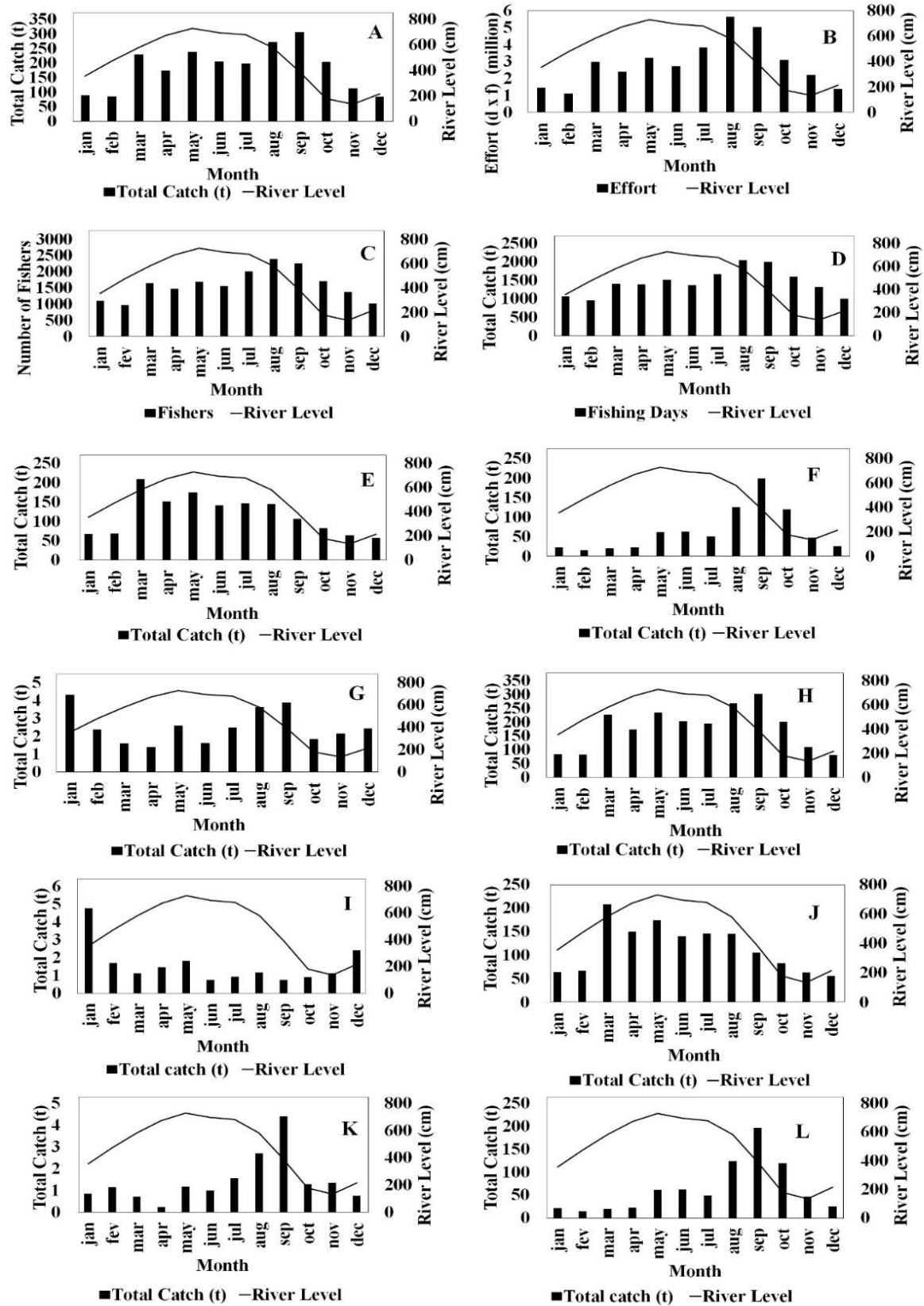
The catch varied seasonally and was associated with the hydrological cycle (Figure 3A). The largest catches were recorded in August and September, which corresponds to the ebb period, when the river level was falling. The fishing effort, number of fishers, and the number of fishing days also decreased as the level of the river increased, between January and July (Figure 3A–D).

The selection of the fishing technique and environment also varied seasonally, in association with the hydrological cycle (Figure 3E–H), when dryer months produce better yields. In the rivers, the largest catches were produced in August and September, that is, the ebb phase (Figure 3F). The line fishing (Figure 3G), was most productive in January (flood), August and September (ebb), whereas for the gillnets catches (Figure 3H), were higher August and September. In other words, catches decreased in volume as the level of the water rose.

However, combining environment and gear, is possible to see that gillnet catches in lakes were most homogeneous over the year, with larger catches during the high water months (Figure 3J) and line fishing in lakes shows December and January (flooding phase) as the most productive months (Figure 3I). Fishery in river was most seasonal, for both gillnets and lines, with higher pikes during falling water level periods (Figures 3K and 3L), in August and September.

It is possible to conclude that fishery is alternated clearly over time (Figure 3), with fishing activities being concentrated in the river environments during the low water period, and in the lacustrine environments at high water.





**Figure 3.** Monthly mean fishery variables recorded for the artisanal fishing fleet that operates on the lower Amazon, between January 1993 and June 2011: (A) total catch (t), (B) fishing

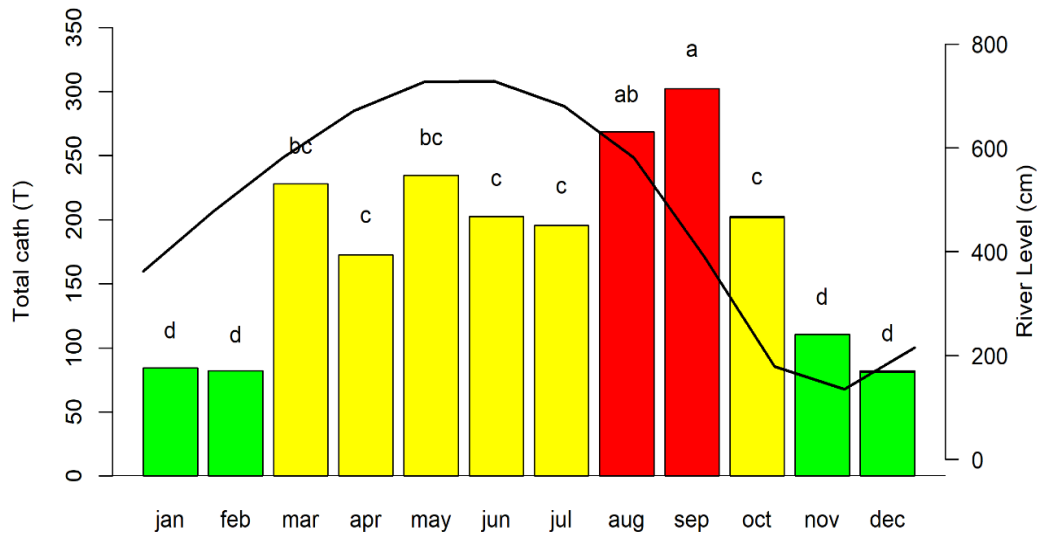
effort (days per fisher), (C) number of fishers, (D) number of effective fishing days, (E) total catch (t) from lake environments, (F) total catch (t) from river environments, (G) total catch (t) using lines, (H) total catch (t) using nets, (I) total catch (t) with lines in lake environments, (J) total catch (t) with gillnets in lake environments, (K) total catch (t) with lines in river environments com line, and (L) total catch (t) with gillnets in river environments. The plot also shows the mean monthly level of the Amazon River during the study period.

The inclusion of line or net fishing as a covariable in the respective models did not affect fishery production, that is, they were independent variables. Fishery production did vary significantly among months in both models, however (Table 3).

**Table 3.** Results of the ANCOVA for the monthly catches obtained using gillnets and lines in the study area on the lower Amazon River (\* $p < 0.05$ )

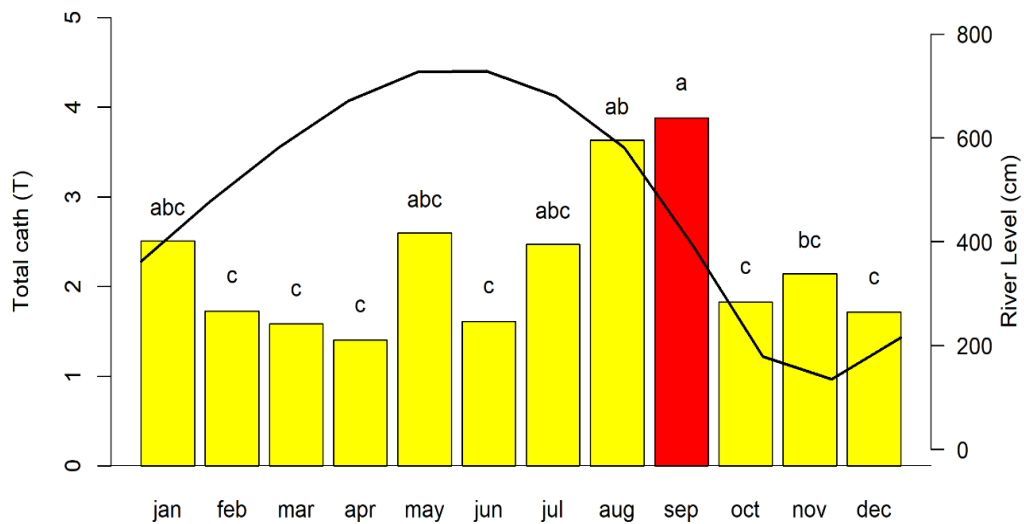
<b>Gillnets</b>				
	<b>Sum of the Squares</b>	<b>Df</b>	<b>F</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>
(intercept)	571322	1	75.6725	9.994 x 10 <sup>-16</sup> *
Line (covariate)	4891	1	0.6478	0.4218
Month (independent variable)	1156612	11	13.9268	2.2 x 10 <sup>-16</sup> *
Residual	1577936	209		
<b>Lines</b>				
	<b>Sum of the Squares</b>	<b>Df</b>	<b>F</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>
(intercept)	31.67	1	6.1932	0.01362*
Gill nets (covariate)	0.54	1	0.1065	0.74455
Month (independent variable)	117.14	11	2.0825	0.02295*
Residual	1053.44	206		

The results of the normality test of the model residuals ( $p = 0.2088$ ) and the test of the homogeneity of the variances ( $p = 0.7037$ ) confirmed that the model used for the gillnet fishing data was adequate. Similarly, the adequacy of the line fishing data was also confirmed (normality of the residuals:  $p = 0.4030$ ; homogeneity of variance:  $p = 0.7836$ ) following the Box-Cox transformation. The results of Duncan's test for multiple comparisons of the means indicated the formation of three distinct groups of monthly catches for gillnets (Figure 4): Group 1 (a and ab) which are the months of greatest captures and that occur in the descent of the waters in August and September; Group 2 (d) which are the months of drought and the beginning of the flood, corresponding to the months of November to February and; Group 3 (bc and c) which correspond to practically every flood month (from March to July) plus October.



**Figure 4.** Differences of the monthly means of gillnet catches (t) landed at the artisanal fishing ports on the Lower Amazon, based on the probability of differences between the means ( $\alpha = 0.05$ ) between January 1993 and June 2011.

Duncan's test, for captures with lines (Figure 5), denotes the formation of basically two groups: Group 1 (a) and Group 2 (ab, abc and c).



**Figure 5.** Groups of the monthly means of line catches (t) landed at the artisanal fishing ports on the lower Amazon, based on the probability of differences between the means ( $\alpha = 0.05$ ) between January 1993 and June 2011.

#### **4. Discussion**

The fisheries of the Lower Amazon are typically small-scale, based on a fleet of relatively small, wooden boats [33]. This sector is nevertheless vital to the subsistence of the local riverside communities, providing a source of income that requires little investment [34].

The majority of the total catch was obtained from flooded lacustrine environments using gillnets, which are the gear most used now a days in the region. Fishing on floodplain calm waters can be more accessible for inexperience or young fishers [19]. Some lakes are flooded all over the year so, fishing on lakes can be done continuously. During rainy season most of the fish species enter in these areas searching for refuge and food. Even during the dry season some sedentary species stay on flooded and shallow lacustrine areas. Therefore, fishing on lakes during the dry season is more productive.

In the past traditional communities and indigenous people used lines and cotton nets for fishing [35]. With the introduction of nylon nets in the 1960s [36], nylon gillnets have become widespread for commercial fishing. Gillnets are relative more efficient and durable [37,38], easy to handle, capture higher diversity of fishes and the amount of catch is more predictable [39].

While gillnets are often a source of severe conflicts [40], they support the commercial success of artisanal fisheries, and provide important economic benefits [4,5,39].

Other interesting result of the present study was the negative trend found in the net fishing catches, whereas line fishing in lakes has tended to increase over time (Table 2). This may reflect local fishery agreements [41], which are established by the local communities that share fishing grounds, in order to regulate the exploitation of fishery resources and avoid the exhaustion of stocks [42]. These agreements may nevertheless be reflected in the behavior of the fishers and, in most cases, they not allow the use of nets, which are considered “predatory” because they are non-selective and then they tend to have the greatest impact on fish stocks [43]. The adoption of this participative model of management has grown considerably in Brazilian Amazonia since the 1990s, with fishery agreements proliferating in the region of the lower Amazon, in particular, in lake environments [42].

The results of the present study have also highlighted a general trend for a reduction in both catches and fishing effort. The lack of government incentives for fisheries, and the absence of

policies that aim to improve the quality of life of fisher populations, appear to be among the factors motivating the offspring of fishers to abandon their communities and traditions [44]. The region's fishers face harsh conditions in general, and artisanal fishing is considered to be a risky occupation, not only in terms of personal health, but also the lack of any guarantee of returns [45, 46,47]. While the profession is still passed down from father to son [34], many individuals of the younger generation prefer alternative professions, justifying their choice in terms of the uncertainty of the future of artisanal fisheries [44]. This may at least partly account for the observed decrease in fishing effort and, as a consequence, in production.

Amazonian fisheries are complex and highly dynamic, and depend on the availability of specific environments, which are in constant flux, due to the seasonal oscillations in river levels [20,48]. The fishers' knowledge of the patterns of fluctuation in both the environment and the fish fauna [49] are also fundamental to the optimization of fishing strategies. This dynamic was confirmed in the present study, which demonstrated a clear association between catch volumes and the hydrological cycle (Figure 3). The months of the low water phase are known as the harvest season, that is, the most productive period, when fisheries increase in efficiency as the dimensions of the aquatic environment shrink [50, 17, 10].

Fishing techniques are determined by the target species and/or the environment targeted [51]. In particular, mono- (miqueiras) and multifilament (malhadeiras) gillnets are commonly used in lacustrine environments, where they are used to target the fish that inhabit these environments during the high water period [52,53]. These fish include the mapará catfish (*Hypophthalmus edentatus*, *Hypophthalmus fimbriatus*) and some characids, such as the tambaqui (*Colossoma macropomum*) and pacus, *Mylossoma*, *Myleus*, *Metynnis* and *Myloplus* [54]. The drift gillnets (bubuias) are deployed more in the rivers, to catch dourada (*Brachyplatystoma rousseauxii*) and other large, migratory catfish that are found in the principal channel [10].

The river level peaks in the high water phase, when catches decline due to the greater dispersal of the fish in the water, where they are able to find an increasing variety of refuge from both natural predators and fishing nets [13,10]. During the ebb phase, the aquatic environment begins to shrink, and the fish start to shoal as they return to the fluvial channels, where the adults of many species will then migrate upriver to breed. This is when fishing intensifies (Figure 3). Catches and fishing effort both increase during the months of low water, when aquatic environments shrink, exposing the fish to predators and, eventually, conditions that intensify both their natural mortality and their vulnerability to fisheries [55, 10].

The analysis of covariance (Table 3) indicated that the different months affect the catches with both nets and lines, but that their production varies independently. Three distinct groups of months were formed by the catches of both the gillnets and two with lines fishing operations. In most cases, the monthly catches were related systematically to the level of the river, with larger mean catches during the months of the ebb phase, that is, August and September (Figures 4 and 5). In addition to the seasonal pattern determined by the hydrological cycle, the catches from the lake and river environments alternated over time, with the rivers being fished more during the low water period, and the lacustrine environments being fished more intensively during the rainy season months, when the river rises (Figure 3E–F).

This alternation reflects the adaptations of the fishers to the ecological dynamics of most of the fish (with different types of bait being used for line fishing according to the feeding preferences of the target species) and the shifting opportunities presented by the different environments [10]. In other words, the productivity of net and line fishing varies independently, especially considering that the different techniques are more efficient for different species, in particular, lines for catfish and nets for other species. This means that fish such as piramutaba and surubins are the primary targets in the rivers, while curimatã, jaraquis, and mapará are the principal target in the lakes [56, 17]

During the flood phase, the fleet shift from the river channels to the lakes, in both net and line fishing operations (Figure 3K and 3L). This period coincides with the migrations of many Amazonian fish species, which move downstream in search of recently-flooded areas of várzea swamp, which provide important feeding grounds and nursery areas for the juvenile fish. These species include the dourada (*B. rousseauxii*), the maparás (*Hypophthalmus* spp.), and the curimatã (*Prochilodus nigricans*), which occupy the lakes during the flood period and leave them again as they dry out [57, 58].

Overall, then, the results of the present study indicate that any failure in the hydrological cycle may have a major impact on this complex dynamic, and thus could affect the local fisheries, with potentially deep consequences on the local communities that depend on these fisheries for their subsistence. Regional changes in climate predicted for the not too distant future [59,60] represent one potential threat to this activity, given that a potential decline in rainfall rates or longer dry seasons will likely have cascade effects throughout the trophic web.

The present study shows that the empirical knowledge of the fishers of the Lower Amazon region, prompt selection of fishing techniques and fishing ground to the phases of the hydrological cycle. The formulation of a comprehensive dataset on Amazonian fisheries will

permit the further improvement of the models used, and allow for most effective monitoring of any alterations in this dynamic. Continuous information on landings data will allow the rapid development of effective fishery management measures.

The monitoring of catch landings is considered to be the most efficient method for the sampling of natural fish stocks, and also the best way to evaluate the performance of fisheries [61,62,63], providing fundamental data for fishery research and conservation management. Given this, the Brazilian authorities should be encouraged to make all possible efforts to re-initiate the collection of reliable, continuous fishery data in the Amazon region [10] given that this monitoring will be essential to confirm the apparent decline in fisheries indicated by the data analyzed here. These data will also be fundamental to the assessment of the progressive impacts of climate change and other, associated processes on fishery productivity. The long-term data analyzed here revealed a clear decline over time in both the total catch and fishing effort, which should be investigated in more detail.

## **5. Conclusions**

The fishery catches monitored during the present study presented a clear seasonal pattern that was associated systematically with the hydrological cycle of the Amazon River. Most of catches are obtained in flooded areas and with gillnets. Evidence was also found of the influence of fishery agreements, given the growing trend for line fishing in the lakes and decreased catch with gillnets. The low water months coincided with the peak in productivity. During the ebb phase, the fisheries use both lines and nets. The studied catch and fishing effort declines should be investigated in more detail. A reliable set of long-term data will be essential to the development of adequate public policy and more effective fishery management.

**Author Contributions:** Conceptualization, investigation, M.F. and V.I.; methodology, M.F. and J.Q.; formal analysis, M.F., V.I., J.Q., B.B. E.Y. and D.T.; writing-original draft preparation, M.F. and L.P.; writing-review and editing, M.F. and V.J.; supervision, V.I. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Acknowledgments:** We would like to thank Hellem Cristina Teixeira Rodrigues (the Federal University of Pará [UFPA] Graduate Program in Environmental Sciences) for Figure 1.

## **References**

1. Reis, R.E.; Albert, J.S.; Di Dario, F.; Mincarone, M.M.; Petry, P.; Rocha, L.A. Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of Fish Biology* 2016; 89(1), 2-47.

2. Ruffino, M.L. Status and trends of the fishery resources of the Amazon Basin in Brazil. Chapter 1. Pg 1-77; In: Welcomme, Robin L.; Valbo-Jorgensen, John; Halls, Ashley S. (eds.) Inland fisheries evolution and management – case studies from four continents. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. Rome. Ed. 579; 2014
3. Oberdorff, T.; Dias, M.S.; Jézéquel, C.; Albert, J.S.; Arantes, C.C.; Bigorne, R. et al. Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. *Science Advances* 2019; 5, eaav8681.
4. Almeida, O. T.; Lorenzen, K.; McGrath, D. G.; Amara, L.; Rivero, S. Importância econômica do setor pesqueiro na calha do rio Amazonas-Solimões. *Novos Cadernos NAEA* 2010; 275, 1-14.
5. Doria, C. R. C.; Ruffino, M. L.; Hijazi, N. C.; Cruz, R. L. A pesca comercial do Rio Madeira no Estado de Rondônia, Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica* 2012; 42(1), 29-40.
6. Santos, G.M.; Ferreira, E.J.G.; Val, A.L. Recursos pesqueiros e sustentabilidade na Amazônica: fatos e perspectivas Hiléia - *Revista do Direito Ambiental da Amazônia* 2010; n. 8.
7. Isaac, V. J.; Almeida, M. C. El Consumo De Pescado En La Amazonía Brasileña. FAO COPESCAL Documento Ocasional 2011; 13, 1-43.
8. Almeida, O.; McGrath, D. G.; Ruffino, M., Rivero, S. Estrutura, dinâmica e economia da pesca comercial do baixo Amazonas. *Novos Cadernos, NAEA* 2009; 12(2), 175–194.
9. Batista, V.S.; Isaac, V.J.; Fabré, N.N. A Produção desembarcada por espécie e sua variação por macrorregião Amazônica. In: Batista, V.S. (ed.). *Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada*. Brasília: Ibama/ProVárzea 2012a; 276p.
10. Cruz, R.E.A.; Isaac, V.J.; Paes, E.T. A pesca da dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau,1855) na região do Baixo Amazonas, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca* 2017; 43(4), 474-486.
11. Barros, D.F; Petreire Jr.; M.; Lecours, V; Butturi-Gomes, D.; Castello, L.; Isaac, VJ. Effects of deforestation and other environmental variables on floodplain fish catch in the Amazon. *Fisheries Research* 2020; 230.
12. Isaac, V.J. Informe estatístico do desembarque pesqueiro na cidade de Santarém – PA: 1992-1993. Ibama, Coleção Meio Ambiente Série Estudos de Pesca 2000; 22(2), 225-236.



13. Barthem, R.B.; Fabré, N.N. *Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia*. In: Ruffino, M. L. (ed.). *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira*. Manaus: Ibama/ProVárzea 2004; 268p.
14. Gonçalves, C.; Batista, V.S. *Avaliação do desembarque pesqueiro efetuado em Manacapuru, Amazonas, Brasil*. *Acta Amazonica* 2008; 38(1), 135-144.
15. Navy, H; Bhattarai, M. *Economics and livelihoods of small-scale inland fisheries in the Lower Mekong Basin: a survey of three communities in Cambodia*. *Water Policy* 11 Supplement 2009; 1, 31–51.
16. Hallwass, G.; Lopes, P. F.; Juras, A. A.; Silvano, R. A. M. *Fishing effort and catch composition of urban market and rural villages in Brazilian Amazon*. *Environ Management* 2011; 47(2), 188-200.
17. Isaac, V. J.; Castello, L.; Santos; P. R. B. Ruffino, M. L. *Seasonal and interannual dynamics of river-floodplain multispecies fisheries in relation to flood pulses in the Lower Amazon*. *Fisheries Research* 2016; 183, 352–359.
18. Bentes, K. L. S.; Oliveira, L. L.; Zacardi; D. M.; Barreto, N. J. C. *The Relationship between Hydrologic Variation and Fishery Resources at the Lower Amazon, Santarém, Pará*. *Revista Brasileira de Geografia Física* 2018; 11(04), 1478-1489.
19. Castello, L.; Bayley, P.B; Fabré, N.N; Batista, V. S. *Flooding effects on abundance of an exploited, long-lived fish population in river-floodplains of the Amazon*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 2019; 29, 487–500.
20. Pinaya, W.H.D., Lobon-Cervia, F.J., Pita, P., Buss De Souza, R., Freire, J., Isaac, V.J. *Multispecies Fisheries in the Lower Amazon River and its Relationship with the Regional and Global Climate Variability*. *PLoS One* 2016; 11(6), e0157050.
21. Pinaya W.H.D.; Pita, P.; Souza, R. B.; Lobon-Cérvia, F. J.; Freire, J.; Isaac, V. J. *The Catfish Fishing in the Amazon Floodplain Lakes*. *Oceanogr Fish Open Access J.* 2018; 7(4), 555720.
22. Barthem, R.B.; Goulding, M. *An unexpected ecosystem: the Amazon revealed by the fisheries*. Gráfica Biblos, Lima. Botanical Garden Press.2007; Missouri. 241p.
23. Batista, V.S.; Isaac, V.J., Fabré, N.N.; Alonso, J.C. *Principais recursos pesqueiros: variações espaço-temporais e relações com o ambiente*. In: Batista, V.S. (ed.). *Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada*. Brasília: Ibama/ProVárzea 2012b; 276p.

24. Petrere Jr, M.; Giacomini, H.C.; De Marco Junior, P. Catch-per-unit-effort: which estimator is best? *Brazilian Journal of Biology* 2010; 70(3), 483-491.
25. Agência Nacional de Águas. (2015) HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Available at: [www.hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb](http://www.hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb) [Accessed on 20/02/2021].
26. Hammer, Ø.; Harper, D. A. T.; Ryan, P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 2001; 4(1), 1-9.
27. Gilbert, R.O. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. John Wiley and Sons, 1987; New York.
28. Yue, S.; Pilon, P.J.; Phinney, B.; Cavadias, G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Process* 2002; 16, 1807-1829.
29. Yue, S.; Pilon, P. A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. *Hydrological Sciences Journal* 2004; 49, 53-37.
30. Hossain, M. Z. The Use of Box-Cox Transformation Technique in Economic and Statistical Analyses. *Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences (JETEMS)* 2011; 2(1), 32-39.
31. Duncan, D.B. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 1955; 11, 1-42.
32. Field, A. P.; Miles, J.; Field, Z. *Discovering statistics using R*. Sage Publications (CA). Illustrated edition, 957p
33. Isaac, V. J.; Da Silva, C. O.; Ruffino, M. L. (2008) The artisanal fishery fleet of the Lower Amazon. *Fisheries Management and Ecology*, 15, 2012; 179-187.
34. Conceição, L.C.A.; Martins, C.M.; Santos, M.A.S.; Araújo, J.G.A.; Monteiro, E.P. A pesca artesanal e a sucessão geracional no município de Maracanã, estado do Pará, Brasil. *Guaju, Matinhos* 2020; 6(1), 70-85.
35. Veríssimo, J. *A Pesca na Amazônia*. Rio de Janeiro: Livraria Clássica Alves Publications, 1895; 206 pp.
36. Meschkat, A. Reports to the government of Brazil on the Fisheries of the Amazon Region. *FAO Report 1305, BRA/TE/Fi 1960; 76 pp.*
37. McGrath, D. G.; Castro, F.; Futemma, C.; Amaral, B.D.; Calabria, J. Fisheries and the evolution of resource management on the lower Amazon floodplain. *Human Ecology* 1993; (2), 167-195.
38. Furtado-Junior, F.; Sousa, G. F.; Tavares, M. C. S.; Begot, L. H. Seletividade da rede de arrasto para captura da piramutaba, *Brachyplatystoma vaillantii* (Valenciennes, 1840)

- obtida pela relação comprimento-perímetro. Boletim Técnico Científico do CEPNOR 2007; 7(1), 85-96.
39. Hallwass, G.; Keppeler, F.W.; Tomazoni-Silva, L.H.; Alves, I.; Isaac, V.J.; Almeida, M.C.; Silvano, R.A.M. 'Disentangling' the advantages from gillnets in freshwater small-scale fisheries in the Brazilian Amazon. *Rev Fish Biol Fisheries*. 2023; <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09771-w>
  40. Castro, F.; McGrath, D. O manejo comunitário de lagos na Amazônia. *Parcerias Estratégicas* 2001; 12, 112–126.
  41. Isaac, V.J.; Rocha, V.L.C., Mota, S.Q.C. Considerações sobre a Legislação da “Piracema” e outras restrições da pesca da região do Mean Amazonas. In: *Povos das Águas: Realidade e Perspectiva na Amazônia*. Gonçalves, L.F., Leitão, W., Mello, A.F. (eds.). Coleção Eduardo Galvão, PRMCT/CNPq. MPEG. Belém, Pará, Brasil 1993; p. 187-212.
  42. Silva, C.C; Camargo, S.A.F.; Silveira, E.D. Acordos de pesca na Amazônia Brasileira. *Boletim do Museo Integrado da Amazônia* 2021; 14(1), 70-80.
  43. Castro, F.; McGrath, D. Moving Toward Sustainability in the local Management of Floodplain Lake Fisheries in the Brazilian Amazon. *Human Organization* 2003; 62(2), 123-133.
  44. Silveira, E. M.; Serafin, S. R. F.; Siqueira, A. B. Novos olhares sobre a pesca artesanal na Lagoa do Mirim: uma abordagem ethnoecológica. In: *Anais do IV Simpósio sobre Formação de Professores – Simfop*. Santa Catarina: Unisul 2012; 7 a 11 de maio, p. 1-10.
  45. Brumer, A. As perspectivas dos jovens agricultores familiares no início do século XXI. In: Renk, A.; Dorigon, C. (eds.). *Juventude rural, cultura e mudança social*. Chapecó: Argos. 2014; 115-138.
  46. Teh, L.; Caddell, R.; Allison, E., Finkbeiner E., Kittinger, J., Nakamura K; Ota, Y. (The role of human rights in implementing socially responsible seafood. *PLoS ONE* 2019; 14(1), e0210241.
  47. Teh, L.C.L.; Ota, Y.; Cisneros-Montemayor, A.M.; Harrington, L.; Swartz, W. Are fishers poor? Getting to the muddy bottom of marine fisheries income statistics. *Fish Fish* 2020; 21, 471-482.
  48. Lima, M.A.L.; Kaplan, D.A.; Doria, C.R.C. Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary. *Ecohydrology* 2017; 10(8), 1899.

49. Silvano, R.A.M.; Begossi, A. Fishermen's local ecological knowledge on Southeastern Brazilian coastal fishes: contributions to research, conservation, and management. *Neotropical Ichthyology* 2012; 10, 133–147.
50. Batista, V.S.; Isaac, V.J.; Viana, J.P. Exploração e manejo dos recursos pesqueiros da Amazônia. In: Ruffino, M.L. (ed.) *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazonia brasileira*. Manaus: Edições ProVarzea/Ibama 2004; 63– 152.
51. Isaac, V.J.; Silva, C.O.; Ruffino, M.L. A pesca no Baixo Amazonas. In: Ruffino, M.L. (eds.). *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira*. Edições ProVarzea/IBAMA. Manaus 2004; 185– 211.
52. Petreire Jr., M. Pesca e esforço de pesca no estado do Amazonas. II Locais e aparelhos de captura e estatística de desembarque. *Acta Amazonica* 1978; 8(Supl. 2), 1-54.
53. Smith, N.J.H. *A pesca no rio Amazonas*. INPA, Manaus, Amazonas 1979; 154pp.
54. Isaac, V.J.; Fabr e, N.N.; da Silva, C.O.; Ruffino, M.L., Saint-Paul, U. Ecologia da Fauna Ict ica. In: Batista, V.S; Isaac, V.J. (eds.). *Peixes e pesca no Amazonas: uma avalia o integrada*. Brasília: Ibama/ProVárzea 2012; 201-246.
55. Lowe-McConnell, R.H. *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. EDUSP. São Paulo. 1999; 534p.
56. Hurd, L. E., Sousa, R. G. C., Siqueira-Souza, F. K., Cooper, G. J., Kahn, J. R.; Freitas, C. E. C. Amazon floodplain fish communities: Habitat connectivity and conservation in a rapidly deteriorating environment. *Biological Conservation* 2016; 195, 118–127.
57. Carvalho, F. M. Composi o química e reprodu o de mapará (Hypophthalmus edentatus, Spix 1829), do Lago Castanho, Amazonas (Siluriformes, Hypo-phthalmidae). *Acta Amazonica* 1980; 10(2), 379-389.
58. Ruffino, M. L.; Issac, V. J. Ciclo de vida e par metros biológicos de algumas espécies de peixes da Amazônia brasileira. IBAMA, Cole o Meio Ambiente, Série Estudos Pesca 2000; 22, 11-30.
59. Zhao, M.; Pitman, A.J. ; Chase, T. The impact of land cover change on the atmospheric circulation. *Climate Dynamics* 2001; 17(5-6), 467-477.
60. Salazar, L.F.; Nobre, C.A. ; Oyama, M.D. Climatic change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 2007; 34, L09708.
61. Barthem, R.B.; Petreire, M. Fisheries and population dynamics of the freshwater catfish *Brachyplatystoma vaillantii* in the Amazon Estuary. In: Armantrout, N.B. ; Wolotira, R.J.

(eds.). Condition of the World's aquatic habitats. Nova Delhi: Oxford; IBH Publishing CO. PVT. LTD 1995; 329-350.

62. Isaac, V.J.; Milstein, A.; Ruffino, M.L. A pesca artesanal no Baixo Amazonas: análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazonica* 1996; 26(1), 185-208.
63. Pauly, D.; Christensen, V.; Dalsgaard, J.; Froese, R.; Torres Jr, F. Fishing down marine food webs. *Science* 1998; 279(6), 860-863.

## Supplementary Materials

### Tables

**Table S1.** Contribution (%) of the principal fish species or ethno-species landed at the fishing ports monitored on the lower Amazon between 1993 and 2011.

English name	Local names	Scientific name	%
Long-whiskered catfish	Mapará	<i>Hypophthalmus edentatus</i> , <i>Hypophthalmus fimbriatus</i>	18.8%
Driftwood catfish	Mandubé	<i>Ageneiosus</i> spp.	15.7%
Gilded catfish	Dourada	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	10.1%
Curimatã	Curimatã	<i>Prochilodus nigricans</i>	8.1%
Janitor fish	Acari-bodó	<i>Pterygoplichthys pardalis</i>	4.4%
Surubim	Surubim-lenha, canela, pintado, tigre	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , <i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	3.9%
Catfish	Fura calça	<i>Pimelodina flavipinnis</i>	3.7%
Piraíba	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	3.6%
Jaraqui	Jaraqui escama fina, escama grossa	<i>Semaprochilodus taeniurus</i> , <i>Semaprochilodus insignis</i>	3.6%
Croaker	Pescada branca, pescada preta	<i>Plagioscion squamosissimus</i> , <i>Plagioscion auratus</i>	3.5%
Headstander	Aracu comum, amarelo, cabeça gorda	<i>Schizodon fasciatus</i> , <i>Leporinus fasciatus</i> , <i>Leporinus friderici</i>	3.5%

English name	Local names	Scientific name	%
Goliath catfish	Piramutaba	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>	2.8%
Tambaqui	Tambaqui amarelo, preto	<i>Colossoma macropomum</i>	2.7%
Freshwater barracuda	Peixe-cachorro	<i>Rhaphiodon vulpinus</i> , <i>Acestrorhynchus falcistrostris</i> , <i>Acestrorhynchus falcatus</i> , <i>Acestrorhynchus</i> <i>microlepis</i>	1.9%
Marbled catfish	Jandiá	<i>Leiarius marmoratus</i>	1.9%
Pacu	Pacu-comum, jumento, marreca, olhudo	<i>Mylossoma</i> spp., <i>Myleus</i> spp., <i>Metynnis</i> spp., <i>Myloplus</i> spp.	1.6%
Peacock bass	Tucunaré, açú, pinima, tatú	<i>Cichla temensis</i> , <i>Cichla monoculus</i>	1.0%
Eartheaters	Cará-açú, acará rosado, acará roxo, acaratinga	<i>Astronotus</i> spp., <i>Caquetaia spectabilis</i> , <i>Geophagus proximus</i>	1.0%
Piracatinga	Piracatinga	<i>Calophysus macropterus</i>	0.9%
Pellona	apapá amarelo, apapá branco	<i>Pellona flavipinnis</i> , <i>Pellona</i> <i>castelnaeana</i>	0.7%
Matrinxã	matrinxã, jatuarana	<i>Brycon cephalus</i>	0.7%
Ripsaw catfish	Cujuba	<i>Oxydoras niger</i>	0.7%
Slobbering catfish	Barbado	<i>Brachyplatystoma platynemum</i>	0.7%
Stingray	Arraia	<i>Potamotrygon</i> spp.	0.6%
Pirapitinga	Pirapitinga	<i>Piaractus brachypomus</i>	0.5%
Bacu	Bacu liso, pedra	<i>Pterodoras lentiginosus</i> , <i>Lithodoras</i> <i>dorsalis</i>	0.5%
Silver arowana	Aruanã	<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>	0.4%
Halftooth	Charuto	<i>Hemiodus</i> spp.	0.4%

English name	Local names	Scientific name	%
Redtail catfish	Pirarara	<i>Phractocephalus hemioliopterus</i>	0.4%
Piranha	Piranha cajú, mafurá, preta	<i>Serrasalmus</i> spp.	0.4%
Jaú	Jaú	<i>Zungaro zungaro</i>	0.3%
Toothless characin	branquinha comum, cascuda, cabeça lisa	<i>Potamorhina latior</i> , <i>Psectrogaster amazonica</i> , <i>Potamorhina altamazonica</i>	0.2%
Flatwhiskered catfish	Piranambu	<i>Pinirampus pinirampu</i>	0.1%
Pirarucu	Pirarucu	<i>Arapaima gigas</i>	0.1%
Mandí	Mandí	<i>Pimelodus</i> spp.	0.1%
Atipa	Tamuatá	<i>Hoplosternum littorale</i>	0.1%
Sardine	sardinha comprida, sardinha papuda	<i>Triportheus</i> spp.	0.0%
Wolf fish	Traíra	<i>Hoplias malabaricus</i>	0.0%
Striped catfish	Cara de gato	<i>Platynemichthys notatus</i>	0.0%
Dogtooth characin	Saranha	<i>Cynodon gibbus</i>	0.0%
Jeju	Jeju	<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>	0.0%
Electric eel	Puraqué	<i>Electrophorus electricus</i>	0.0%
<b>Total</b>			<b>100.0%</b>

## **CAPÍTULO 2**

### **HOW DOES CLIMATE CHANGE AFFECT SMALL SCALE FISHERIES? A CASE STUDY OF THE LOWER AMAZON IN BRAZIL**

Artigo científico submetido a revista *Fisheires Management and Ecology*



## **How does climate change affect small scale fisheries? A case study of the Lower Amazon in Brazil**

### **Abstract**

The potential effects of global climate change on inland artisanal fisheries have received little attention from scientists. The present study investigated the fisheries of the Lower Amazon in Brazil using a wavelet analysis of a 13-year data series of fishery catches, environmental variables, and climatic indices, in order to determine how these variables the catches of different species. The CPUE of the gillnet and line fisheries tended to increase over time. Relative humidity, latent heat, and sea surface temperatures influenced the productivity of both types of fishery. El Niño had a negative and immediate effect on the CPUE of the gillnets, while its effect on line fishing was positive, but with a lag of eight months. These findings indicate clearly that fishery productivity is modulated by climate events, which influence ecosystems and modify both habitats and ecological niches, and, in turn, impact fishery productivity.

**Keywords:** Amazonia. El Niño. Wavelet. Fishing gear.

### **1. Introduction**

In the Brazilian Amazon region, small scale fisheries have an enormous socioeconomic importance (Almeida *et al.*, 2010; Doria *et al.*, 2012), being responsible for the generation of gross annual receipts of approximately 465 million dollars and more than 168,000 jobs (Almeida *et al.*, 2010). Fish is also an important dietary staple of the local riverside communities, which are among the populations that most eat fish anywhere in the world (Cabral Jr. & Almeida, 2006; Isaac & Almeida, 2011), with a per capita consumption of approximately 135 kg per annum (Cerdeira *et al.*, 1997), which reflects the fundamental importance of local fisheries for the food security of the region's populations.

In tropical rivers, fishery catches tend to be closely related to the seasonal variability driven by the annual food pulse (Castello *et al.*, 2013; Pinaya *et al.*, 2016, Furtado *et al.*, submitted). In the Amazon region, the seasonal variability in the hydrological cycle, which is related primarily to the the flood pulse in the flooded forests and swamps (Junk *et al.*, 1989), affects the distribution of the fish, habitat quality, and the migratory cycle of many of the local species (Duponchelle *et al.*, 2021). Many Amazonian fish species undertake lateral and longitudinal movements between rivers and floodplain areas. At high water, the fish shelter and feed in the flooded forest and floodplain lakes, consuming seeds and other allochthonous resources, or even serving as prey for larger predators (Barthem & Goulding, 1997; Winemiller & Jepsen, 1998; Ribeiro & Petreire, 2006; Duponchelle *et al.*, 2021). Fish species richness increases as the

water rises, but declines again as the level decreases, which implies that shifts in the intensity of this cycle may impact both the characteristics of the local fish communities and, in turn, fishery productivity, in terms of the composition and diversity of the catches (Lowe-McConnell, 1999; Barthem & Fabr e, 2004). At low water, the fish move to the river channels, where they are targeted intensively by fisheries (Batista *et al.*, 2004; Isaac *et al.*, 2016; Cruz *et al.*, 2017; Furtado *et al.*, submitted).

In this context, the pressure from fisheries, combined with the environmental variability, are important determinants of the size of fish stocks, which means that a systematic understanding of this environmental variability is fundamental to the interpretation of fishery dynamics (Isaac *et al.*, 2016; Cruz *et al.*, 2017; Pinaya *et al.*, 2018). Given this, the study of the effects of environmental changes on fish populations is an essential step toward the effective management of the ecosystems targeted by fisheries, and has become an increasingly important prerequisite for the planning and implementation of strategies for the administration of fishery resources (Cruz *et al.*, 2017; Pinaya *et al.*, 2018).

The hydrological cycle of the Amazon basin and the variability in this cycle are associated strongly with climatic patterns such as the ENSO (El Niño Southern Oscillation) and the variability in the sea surface temperature of the Atlantic Ocean, which are important determinants of the region's fishery productivity (Castello *et al.* 2015; Isaac *et al.*, 2016; Cruz *et al.*, 2017; Pinaya *et al.*, 2018; Barros *et al.*, 2020). Given this, it is necessary to understand how environmental variables may modulate the hydrological cycle of the Amazon basin and, in turn, how this affects the ecology of the local fish species and the productivity of local fisheries (Pinaya *et al.*, 2016; Cruz *et al.*, 2017; Pinaya *et al.*, 2018; Barros *et al.*, 2020; Gouveia *et al.*, 2019).

Over the past 30 years, extreme variation in climate, associated with changes in the temperature of the Atlantic Ocean, have intensified the hydrological cycle, prolonging the flood and dry periods, a pattern intensified by ENSO events (Zhao *et al.*, 2001; Salazar *et al.*, 2007; Christensen *et al.*, 2013; Gloor *et al.*, 2013; Gouveia *et al.*, 2019; Wunderling *et al.*, 2022). During the same period, intense deforestation has led to a reduction in evapotranspiration rates, which have affected atmospheric recycling processes (Sumaila *et al.*, 2011; Freitas *et al.*, 2013). It is still unclear how these recent shifts in the hydrological cycle, in particular, the greater frequency of ENSO events, may have impacted fishery productivity.

In the specific case of the Lower Amazon, only one study (Pinaya *et al.*, 2018) has related fishery productivity systematically with environmental and economic variables, considering

temporal patterns, although it focused on only one type of fish, the long-whiskered catfish *Hypophthalmus* spp. (known locally as *long-whiskered catfish*). The findings of this study indicated that catches were related to the dynamics of the hydrological cycle and sea surface temperatures, ENSO events, and economic factors. Different species are known to react in distinct ways to environmental variability, however (Arantes *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020).

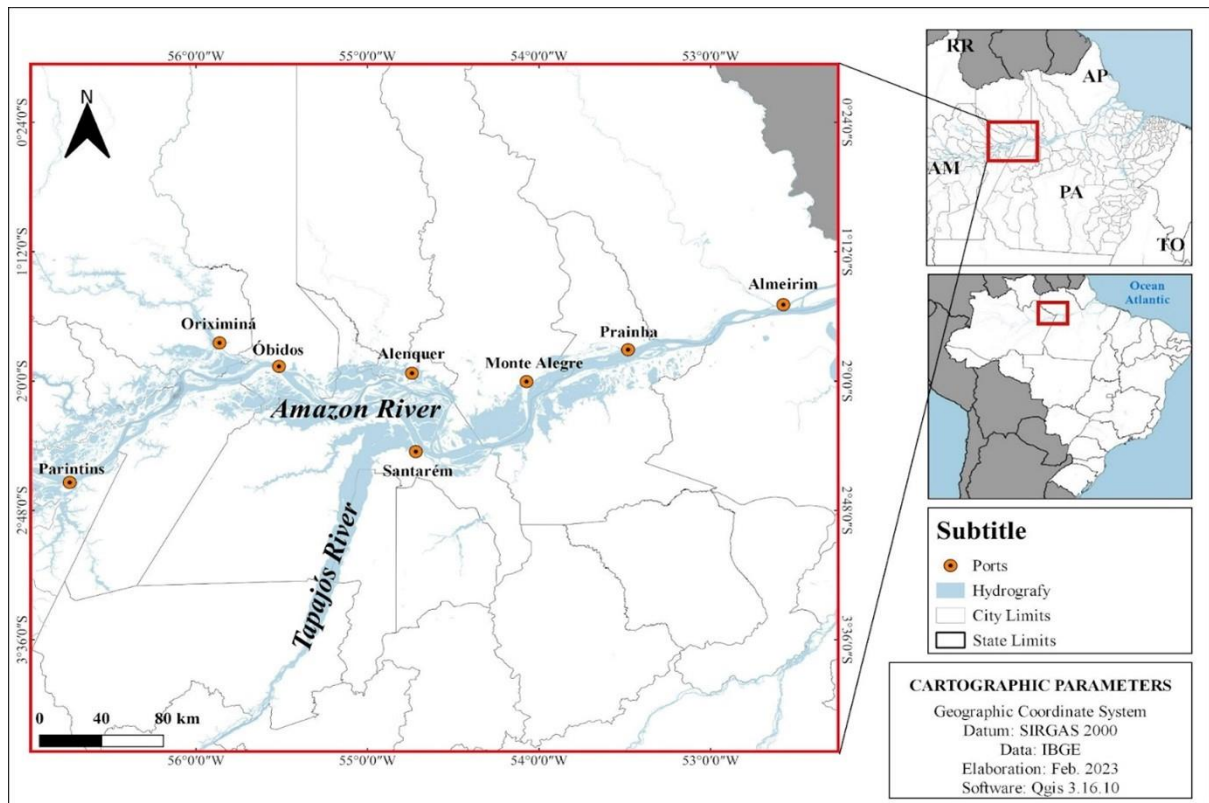
The fisheries of tropical rivers are often multi-specific and employ a variety of different types of fishing gear, but in particular, gillnets and lines (Parsa *et al.*, 2020). The type of fishing gear, in turn, determines the species caught and the size of the fish harvested. Given this, the most reliable understanding of the effects of environmental and climatic changes on ecosystems and fish stocks will come from the evaluation of the total productivity, as well as the catches of key fish species, in accordance with the fishing technology employed.

In this context, the present study investigated the effects of environmental variables, in particular climatic factors, on the fisheries of the Lower Amazon, considering a set of local species that are targeted using gillnets and lines. The analyses were based on a historical series of continuous data obtained from the monitoring of the region's artisanal fisheries conducted between January 1993 and June 2005. The study tested the hypothesis that environmental and climatic changes have intensified the hydrological cycle and influenced differentially the productivity of the gillnet and line fisheries, according to the different species they target.

## **2. Material and Methods**

### **2.1. Study area**

The study area encompasses the region known as the Lower Amazon (Figure 1). The data analyzed in the present study were obtained from the local artisanal fisheries, which operate on the principal channel of the Amazon River, as well as its floodplain, marginal lakes and channels, tributaries, and streams, and land their catches in the ports of the municipalities of Parintins, Oriximiná, Óbidos, Alenquer, Santarém, Monte Alegre, Prainha, and Almeirim. This stretch of the Amazon runs along a straight-line distance of approximately 564 km. The local fluvial environments and flooded areas are exploited intensively by artisanal fishing vessels (Batista *et al.*, 2012). The lower Amazon River is very wide and its margins are lined with extensive, shallow floodplain lakes and other seasonally-flooded areas, including forests and marshes. The level of the river varies by approximately seven meters over the course of the year, creating an extensive flooded area between January and June each year, when both rainfall and the discharge of the river reach their peaks (Barthem & Goulding, 2007).



**Figure 1.** Location of the eight fishing ports on the Lower Amazon in which the catch data on the local artisanal fisheries were collected in the present study, between 1993 and 2005.

## 2.2. Data collection

The fishery variables were derived from the data collected by the IARA/IBAMA and ProVárzea/IBAMA projects between January 1993 and June 2005. During this period, fishery production was monitored by data collectors at fishing ports located in key municipal centers, who conducted daily interviews with all the fishers or the crew members responsible for the vessels, to collect data on the catch (kg) per fish species, the types of vessel and fishing gear used, the environment fished, the effective fishing days (d), and the number of fishers (f). These data were recorded on individual forms, with each form representing a single fishing trip. The Total Catch (TC) was the sum of the weight of the catches of the 42 ethnospecies (Table S1) included in the database of the present study.

The dataset was filtered to include only the data on fishing trips conducted by motorboats operating in either “lake” (floodplain lakes and flooded areas including blackwater swamps and marshes) or “river” environments, which include the main channel, lateral channels, streams, and creeks. The catch data were grouped by month and year to minimize the variability of the samples. The types of fishing gear were also organized in two groups (Table S2), “nets” and “lines”, following Isaac *et al.* (2004). This resulted in two matrices with 150 month/year records

and 13 annual records for each type of fishing gear, with the total weight of each catch being given in tons.

We calculated the fishing effort separately for each type of fishing gear, considering that it may vary considerably among trips, depending on both the type of gear and the technological level of the operation (Nadal Egea, 1996). In the case of nets, fishing effort was based on the number of effective fishing days (d), while for lines, the effort was calculated based on the number of fishers (f) multiplied by the number of effective fishing days (d). The Catch Per Unit of Effort (CPUE) was calculated for the whole set of species caught by each group of fishing gear, using the CPUE<sub>2</sub> equation of Petrere Jr. *et al.* (2010), which divides the TC (tons per month/year) by the total effort (per month/year). Once calculated, the CPUEs were standardized by the mean and standard deviation (Peck *et al.*, 2005). More specifically, the catches (t) of the five species caught most by each type of gear (nets or lines) were evaluated over the study period to provide a perspective on the seasonal variation of each species. The time series of the hydrological, meteorological, and climatological data were obtained for the study area (Table 1), coinciding with the period of the fishery data (January 1993 through June 2005), with the monthly means of each year being considered for analysis.

**Table 1.** Summary of the variables analyzed in the present study.

TYPE OF SERIES	Variables
<b>FISHERY</b>	<b>CPUE of the gillnets:</b> Catch Per Unit Effort with nets in tons per day (response variable)
	<b>CPUE of the gillnets:</b> Catch Per Unit Effort with lines in tons per day (response variable)
<b>HYDROLOGICAL</b>	<b>RL</b> = mean River Level (cm)
	<b>R</b> = Rainfall (mm)
	<b>RN</b> = Runoff (kgm <sup>-2</sup> )
<b>METEOROLOGICAL</b>	<b>AT</b> = Air Temperature (°C)
	<b>ST</b> = Surface Temperature of the ground (K)
	<b>SH</b> = Specific Humidity of the air (kg/kg)
	<b>LH</b> = Latent Heat (wm <sup>-2</sup> )
	<b>SST</b> = Sea Surface Temperature (°C)
<b>CLIMATOLOGICAL</b>	<b>NAO</b> = North Atlantic Oscillation Index

	<b>GITA</b> = Gradient Inter-hemispheric SST in the Atlantic Index
	<b>Niño 3+4</b> = anomaly of the SST in the region between 5°S–5°N and 170°W–120°W.
	<b>MEI</b> = Multivariate ENSO (El Niño Southern Oscillation) Index

The hydrological data used in the present study were obtained from the network of automatic fluvial stations maintained by the National Waters Agency (ANA – [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)). Three variables were used here – **R** – Rainfall (mm), **RL** – mean River Level (cm), and **RN** – surface Runoff ( $\text{kg} \times \text{m}^{-2}$ ) – which were standardized for analysis (Peck *et al.*, 2005). The rainfall data were obtained from the records of the meteorological stations located in the towns of Parintins, Nhamundá, Juruti, Oriximiná, Óbidos, Santarém, Alenquer, Monte Alegre, Prainha, and Almeirim. The time series of the level of Amazon River were obtained from the records of the Parintins and Santarém fluvial stations. The data on river discharge were obtained from the Óbidos station, which is the only station that collects data from the riverbed, 750 km from the mouth of the river.

The meteorological variables were extracted from the database of the Reanalysis Project of the National Centers of Environmental Prediction/Atmospheric Research (NCEP/NCAR). The variables analyzed in the present study were the Air Temperature (**AT**, °C), Surface Temperature of the ground (**ST**, K; positive values indicate the loss of latent heat from the surface), Specific Humidity of the air (**SH**, kg/kg), and Latent Heat (**LH**,  $\text{wm}^{-2}$ ). The **ST**, **SH**, and **LH** values were standardized for analysis (Peck *et al.*, 2005). The mean monthly Sea Surface Temperature (**SST**, °C) was obtained from the global database of the Pathfinder project, version 5.0 (PV5), which was developed by the NODC (National Oceanographic Data Center) and RSMAS (Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science at the University of Miami), and was provided by the PODAAC (Physical Oceanography Distributed Active Archive Center).

A number of climatological indices were also included in the analyses, such as the Multivariate ENSO (El Niño-Southern Oscillation) Index (**MEI**), whose numerical time series is derived from the application of the empirical orthogonal functions of the **SST** time series and five other meteorological variables of the tropical Pacific Ocean (Wolker and Timlin, 1998), the North Atlantic Oscillation index (**NAO**), Gradient Inter-hemispheric SST in the Atlantic Index (**GITA**), and the **El Niño 3+4** SST anomaly in the region between 5°S–5°N (latitude) and 170°W–120°W (longitude).

### 2.3.Data analysis

The Mann-Kendall test ( $p < 0.05$ ), run in PAST® 4.02 (Hammer et al., 2001) was used to verify the significance of the temporal trends in the CPUEs of the net and line fisheries. The mean monthly catches ( $t$ ) were used to plot the fishing regime monthly for each type of fishing gear (gillnets and lines). The species most captured with nets and lines were associated with the monthly hydrological regime in order to identify possible patterns of these species associated with fishing gear and the hydrological cycle. The analysis of the relationship between total fishery productivity and each environmental variable was based on the CPUEs of the nets and lines, using the Continuous Wavelet Transform (CWT) and Wavelet Coherence, WC (Torrence & Compo, 1998; Torrence & Webster, 1999; Grinsted *et al.*, 2004).

The wavelet analysis (CWT) was used to analyze the patterns in the variables, considering the time-frequency factor of the univariate series of the environmental variables, and the CPUEs of the nets and lines. This analytical tool has an advantage over the classical spectral analyses because it allows for the evaluation of the frequency of events at different scales of temporal variability, and does not require a stationary series (constant period). In the present study, the years represented time ( $x$  axis) and the months were considered to be the frequencies or intervals ( $y$  axis).

In the CWT, the unidimensional time series is decomposed or transformed into a diffuse bidimensional image simultaneously in the time-frequency domain. This permits the evaluation of the amplitude of any given periodic signal from the series, and how this amplitude varies over time (Torrence & Compo, 1998; Torrence & Webster, 1999). For a time series  $x_j$  of length  $N$  with equal spacing  $\delta t$ , the CWT can be interpreted as an adaptation of the discrete Fourier transform,  $F(w) = \sum_i x_i \exp(iwt_j)$ , in which the term  $\exp(iwt_j)$  is substituted by a wavelet  $\Psi(t_j - t_i, s)$ , which is a function with a mean of zero, located in the time-frequency domain (Grinsted *et al.*, 2004). The wavelet function may be expanded or contracted by the variation in the scale  $s$ , or transformed, altering the index of time  $t_i'$  (equation 1). The time series can then be decomposed as a function of the time and scale (Magrini, 2020).

$$W_i(s) = \sum_{j=0}^{N-1} x_j c(s) \Psi * \left( \frac{t_j - t_i}{s} \right) \quad (1)$$

where  $*$  = the combined complex and  $c(s) = \sqrt{\frac{\delta t}{s}}$ , which results in  $\Psi$  terms of unit energy.

In the plots of the wavelets, the blue shading indicates the lowest intensity (power spectrum) of the series, while the red shading indicates the highest intensity. The black outline represents

the 5% significance level of the spectra, while the pale area is the **COI** (Cone of Influence), within which, edge effects may distort the results.

The analysis of the WC, following the approach of Lan *et al.* (2013), was used to determine the most significant correlations between the variables, as well as their timing ( $x$  axis), frequency ( $y$  axis) and lags, with the direction of the correlations being determined by the position and angle of the arrows in the WC plots. For the visual interpretation of the phase angles (indicated by the arrows in the figures), the CPUEs were allocated to series 1 and the environmental variables to series 2. Once series 1 and 2 had been defined, the arrows were analyzed following Krüger (2021): (1) arrows pointing to the right  $\rightarrow$  ( $0^\circ$ ), that is, series 1 and 2 are completely in phase; (2) series 1 advanced at an angle of  $\swarrow$   $45^\circ$  from series 2, which indicates that series 2 responded in 1/8 of the period; (3) series 1 at an angle of  $\downarrow$   $90^\circ$  from series 2, i.e., series 2 responded in 1/4 of the interval; (4) series 1 at an angle of  $\searrow$   $135^\circ$  from series 2, i.e., series 2 responded in 3/8 of the interval; (5) arrows pointing to the left  $\leftarrow$  ( $0^\circ$ ), that is, series 1 and 2 in opposite phases; (6) series 2 advanced at an angle of  $\nwarrow$   $135^\circ$  from series 1, i.e., series 1 responded in 3/8 of the interval; (7) series 2 at an angle of  $\uparrow$   $90^\circ$  from series 1, i.e., series 1 responded in 1/4 of the interval, and (8) series 2 at an angle of  $\nearrow$   $45^\circ$  from series 1, i.e., series 1 responded in 1/8 of the interval.

The causal relationships between the CPUEs and the climatic indices were analyzed based on the WCs, with the seasonality being controlled for, following Tsai *et al.* (1997) and Isnanto (2011), given that the CPUEs presented considerable seasonal variation. In this case, the CPUEs were allocated to series 1 and the climatic variables to series 2.

The WCs of the two time series can thus be defined by equation 2 (Torrence & Webster, 1999):

$$R_n^2(s) = \frac{|S(s^{-1}W_n^{XY}(s))|^2}{S(s^{-1}|W_n^X(s)|^2)S(s^{-1}|W_n^Y(s)|^2)} \quad (2)$$

where  $S$  = a smoothing operator and  $W_n^X(s)$  = a wavelet transformed continuously from series  $X$ .

In practise, this analysis allows for the evaluation of the between the CPUEs and explanatory variables and irregular cycles, in order to determine whether the responses are immediate or misphased, and whether the correlation is positive or negative (Krüger, 2021).

The Average Wavelet Coherence (AWC) was used to select the environmental variables with the greatest predictive power for the analysis of the productivity of the net and line fisheries. The AWC is the mean value of coherence within the significant coherence zone, that



is, the larger the AWC, the more significant the contribution of the variable under analysis for the explanation of the variability in the response variables (Hu *et al.*, 2017). Based on this, three variables were selected for each group, the net and line fisheries.

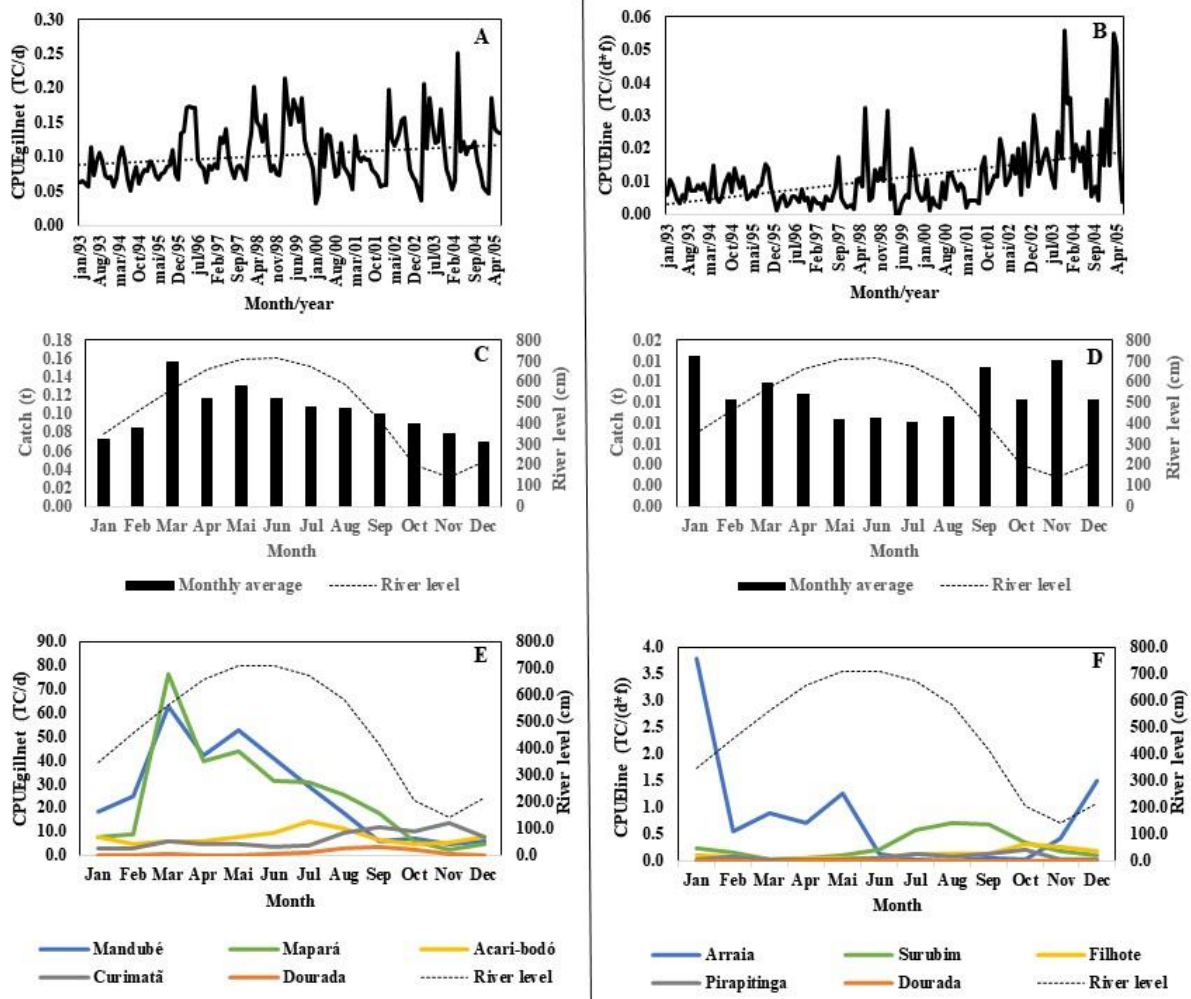
The AWC plots were used to identify the periods of greatest correlation (represented by the red points in the figures). The wavelet analyses were run in the R program for Windows, version 4.1.1 (<https://www.R-project.org/>).

### **3. Results**

#### **Seasonality and the temporal evolution of the CPUEs**

The CPUE data series for the net fishing indicates a decline in productivity in January 2000 and 2003, whereas that of the line fishing began to increase from October 2001 onward (Figures 2A-B). These trends were significant in both cases (nets:  $S = 1525$ ,  $p = 0.0133$ ; lines:  $S = 3176$ ,  $p = 0.0000$ ), with marked seasonality. At an annual scale, the highest net CPUEs were recorded in March, and the lowest in December and January, whereas the line CPUEs peaked in January and the lowest values were recorded in July (Figure 2C-D). In other words, the temporal variation in the CPUEs of the net and line presented an inverse and alternate pattern.

The species caught most with nets were the driftwood catfish (*Ageneiosus* spp.), long-whiskered catfish (*Hypophthalmus* spp.), gilded catfish (*Brachyplatystoma rousseauxii*), janitor fish (*Pterygoplichthys pardalis*), and curimatã (*Prochilodus nigricans*). In the line fishing, the principal species caught were stingrays (*Potamotrygon* spp.), surubim (*Pseudoplatystoma* spp.), gilded catfish (*Brachyplatystoma rousseauxii*), piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum*), and pirapitinga (*Piaractus brachypomus*). The catches of these species obtained by net and line fisheries fluctuated in distinct patterns over the course of the year (Figures 2E-F). The fish caught using gillnets, such as the gilded catfish, janitor fish, and curimatã, presented a peak harvest during the driest months, whereas the peak harvest of the long-whiskered and driftwood catfish occurs during the rainiest months. However, line fishing for stingray was most productive during the rainiest months, whereas surubim, gilded catfish, filhote, and pirapitinga were caught more frequently during the driest months.



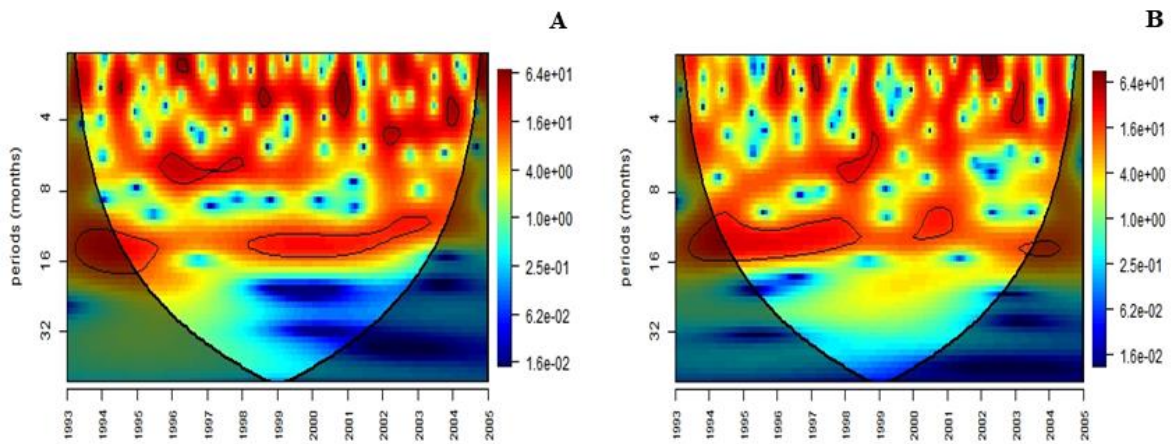
**Figure 2.** (A) CPUE of the nets, (B) CPUE of the lines, (C) Fishing regime for the nets, (D) Fishing regime for the lines, (E) Monthly fishing regime for the species caught most with nets and (F) Monthly fishing regime for the species caught most with lines – Lower Amazon, 1993–2005.

### Relationship between the CPUEs and the environmental variables

The CWTs indicate greater productivity at a frequency interval of six months for the net CPUEs, in particular in 1996 and 1977. For the line CPUEs, the highest values were recorded in 1998 and 1999, also with an interval of six months (Figures 3A–B). One other strong seasonal signal of varying productivity was found in the case of the net CPUEs with a frequency of 12 months, in both 1995 and between 1998 and 2003. The same signal was observed in the case of the line CPUEs, between 1995 and 1998 and in 2000.

The hydrological and meteorological variables presented seasonal signals with a frequency of approximately six and 12 months. By contrast, the climatic variables returned inter-annual signals, with frequencies of between 16 and 32 months. The signals of the MEI and El Niño

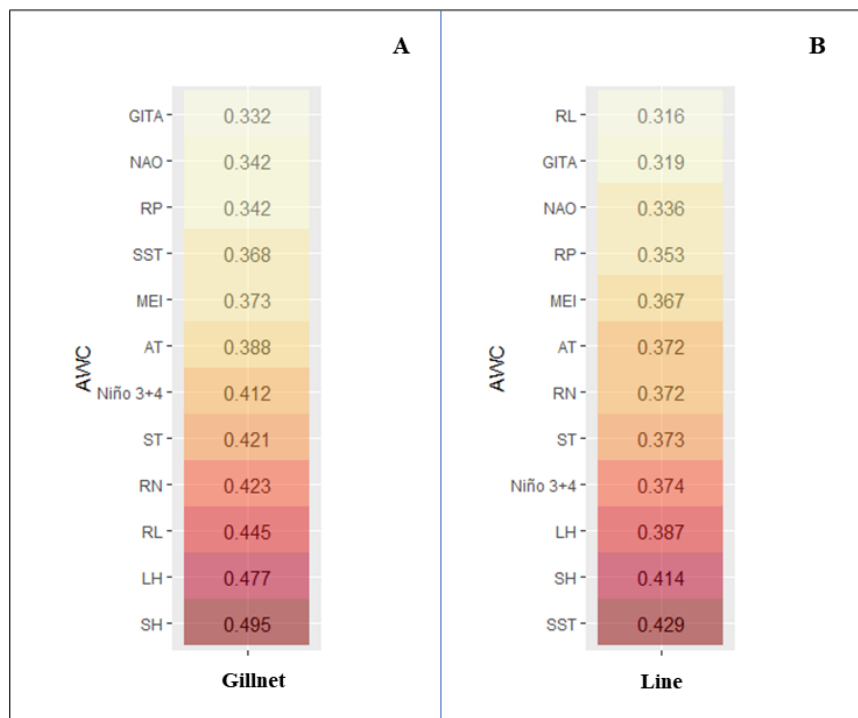
3+4 are very intense, with frequencies of 16–64 months, in particular between 1996 and 2001 (Figure S1).



**Figure 3.** Wavelets (WCT) for the CPUEs of the (A) net and (B) line fisheries on the Lower Amazon (1993–2005). The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence).

**Predictive variables in the fisheries**

The AWC values indicate that the variables that most influenced the estimates of the net-fishing CPUEs were, in order of importance, the SH, LH, and RL, while in the case of the line CPUEs, these variables were the SST, SH, and LH (Figure 4).

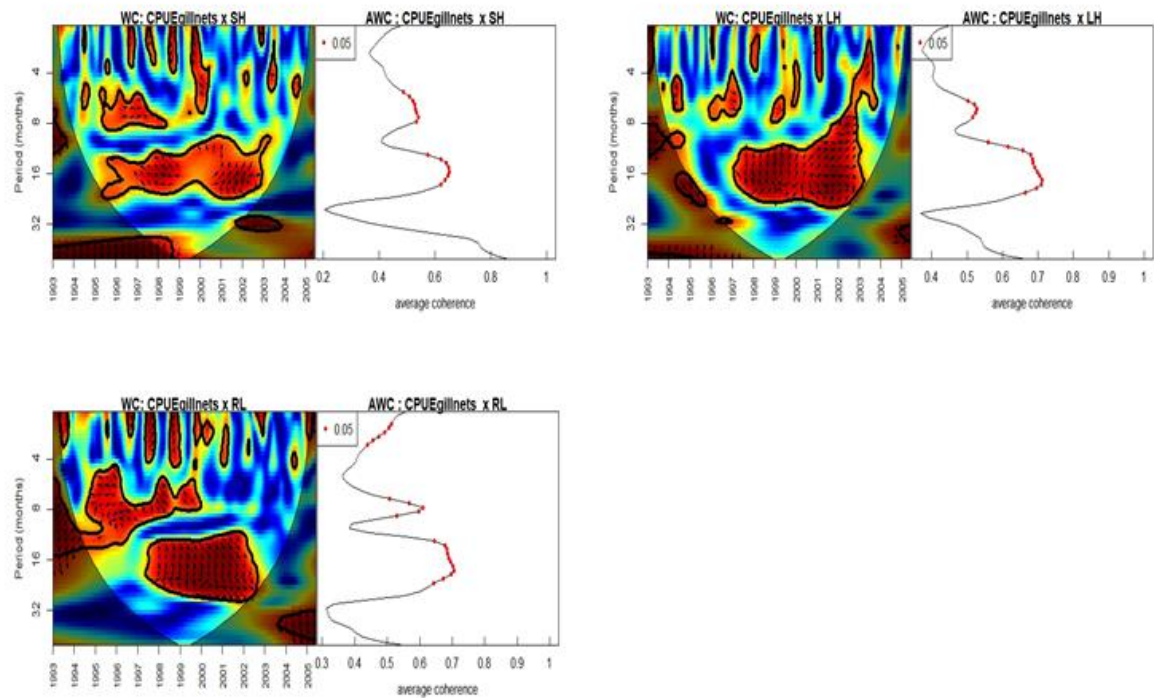


**Figure 4.** Average Wavelet Coherence (AWC), which represents the relationship between the CPUEs of the (A) net and (B) line fisheries and each of the environmental variables [River

Level (RL), Rainfall (R), Runoff (RN), Air Temperature (AT), Ground Surface Temperature (ST), Specific Humidity (SH), Latent Heat (LH), Sea Surface Temperature (SST), NAO, GITA, El Niño 3+4, and MEI] of the fisheries on the Lower Amazon, 1993–2005. The results are the mean WCs with a 5% significance level.

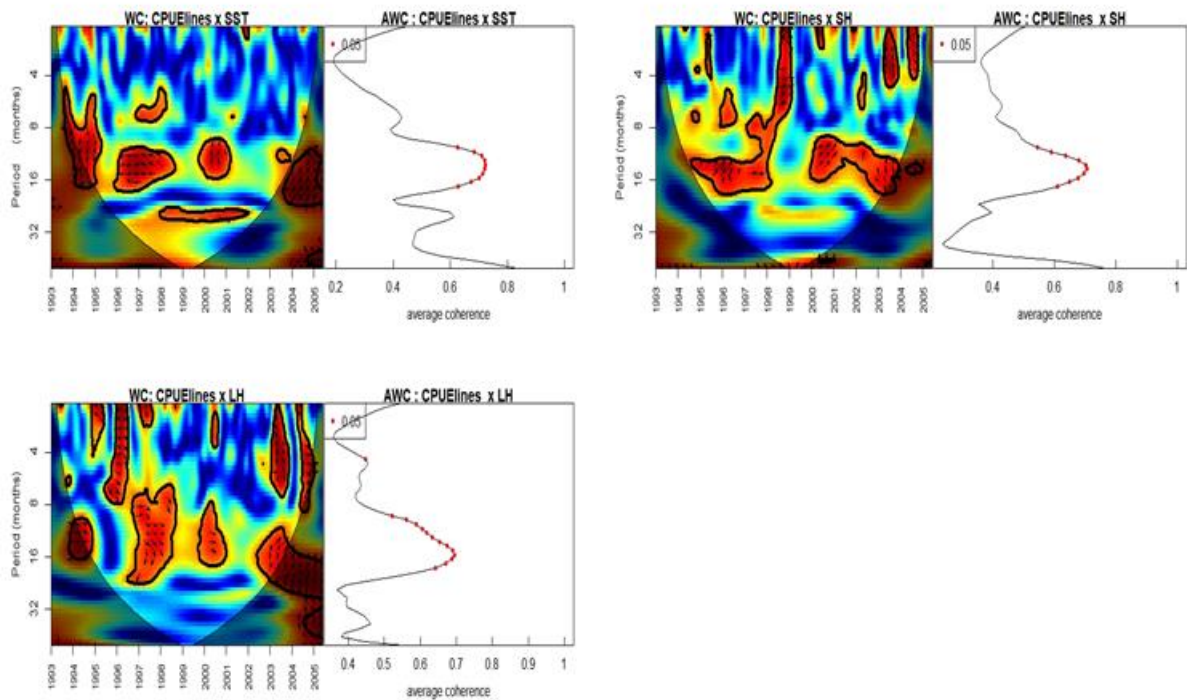
### **Influence of the environmental variables on the CPUEs**

The combined WC and AWC analysis revealed significant relationships between the CPUEs and environmental variables. The relationships between these variables and the net CPUEs (Figure 5) show that the SH was correlated negatively with these fisheries in 16 months between 1995 and 1999 with a lag of six months (lag=6). In this same period and between 2000 and 2003, the influence was positive with a lag of two months (lag=2). However, the semi-annual signal between de 1995 and 1998 in a period of approximately eight months, revealed a positive and immediate influence of the SH on the net fisheries. A strong annual signal of the LH was also observed, with a positive influence on the net CPUEs over a period of approximately 16 months between 1997 and 2000, with a lag of four months (lag=4), in addition to a different positive signal of two months (lag=2) in the same period and between 2001 and 2003. The semi-annual signal in the six-month period, in particular in 1996, has an immediate and positive influence (lag=0), which indicates that the greatest productivity of the net fisheries occurs during the dry season. In the 16-month period between 1997 and 2002, the level of the river (RL) had a negative effect on the net CPUE with a lag of two months (lag=2) and also negatively in the eight-month period with immediate effect (lag=0) between 1995 and 1997. The river level also had a negative influence on these fisheries with a lag of three months (lag=3), principally between 1997 and 2000.



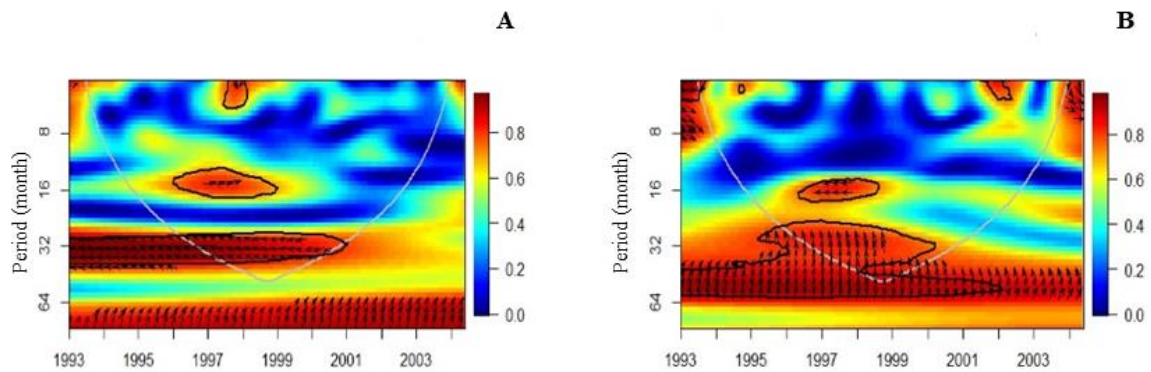
**Figure 5.** Wavelet coherence (WC) and Average Wavelet Coherence (AWC) of the principal predictor variables of the CPUE of the net fisheries (SH = Specific Humidity, LH = Latent Heat, RL = River Level) – Lower Amazon, 1993–2005. The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence). The relative phase is shown in the form of vectors.

The analysis of the relationships between the line CPUEs and the predictor variables revealed that the strongest signals had an annual frequency, but did not persist for long (Figure 6). Specifically, the SST had a negative influence on the fisheries in a 12-month period in 1994, with a lag of three months ( $\text{lag}=3$ ), and then with immediate effect between 1996 and 1998. In the 12-month period, the SH had a positive influence on the fisheries with a lag of approximately two months ( $\text{lag}=2$ ) in 1994–1998, 2000, and 2002. The LH had a positive influence on the fisheries over a 16-month interval with a lag of two months ( $\text{lag}=2$ ), in 1996–1998 and 2003, and with immediate effect ( $\text{lag}=0$ ) in 2000.



**Figure 6.** Wavelet coherence (WC) and Average Wavelet Coherence (AWC) of the principal predictor variables of the CPUE of the line fisheries (SST = Sea Surface Temperature, SH = Specific Humidity, LH = Latent Heat) – Lower Amazon/1993 a 2005. The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence). The relative phase is shown in the form of vectors.

After the removal of the seasonal (annual) signals, strong coherence was found in the association of the CPUE series of both the net and line groups with the variable Niño 3+4, with a well-defined interval of approximately 4 years for the whole study period (Figure 7). This indicates that the net CPUE tends to decline during positive ENSO events, and increase during negative events. In the case of the line CPUE, El Niño had a positive impact, with a lag of just over 8 months between 1996 and 2000. In other words, El Niño has contradicting effects on the CPUE, according to the type of fishing gear, with a negative effect on net fishing, and a positive effect on line fishing.



**Figure 7.** Wavelet coherence (WC) of the CPUEs of the (A) net and (B) line fisheries (without the annual signal) with the Niño 3+4 index on the Lower Amazon (1993–2005). The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence). The relative phase is shown in the form of vectors.

#### 4. Discussion and Conclusions

In the Amazon region, small scale artisanal fishing is a traditional activity that was practised by the local indigenous populations long before European colonization, with the knowledge and expertise that had been passed down the generations (Veríssimo, 1895; Batista *et al.*, 2004). The seasonal dynamic and the distribution patterns of the different species that inhabit the Amazonian environments shift in response to the hydrological cycle and are reflected in the systematic alternation of the use of different types of fishing gear by the local fishers, in an attempt to optimize fishery productivity (Isaac *et al.*, 2012), as observed present study.

The monthly fishing regime reflects the alternation in the selection of the fishing gear, related to the hydrological cycle. In other words, during the high water period, the fishers opt to use gillnets, which are the most efficient, but least selective type of gear (Halwass *et al.*, 2023), whereas during the low water months, they opt for lines, with the use of baited hooks being associated with an increase in the foraging behavior of predator species (Ruffino & Isaac, 1995). As the water level declines, the aquatic environments retract, reducing the availability of shelter and feeding resources for the aquatic biota, which leads to an increase in catchability in the river channels. This dynamic environmental scenario is also reflected in shifts in behavior patterns, such as competition for space, in particular among the large-bodied predators (Barthem & Fabr e, 2003).

This alternation of fishing gear by the artisanal fishers reflects their traditional knowledge, which allows them to determine which method is most adequate for each hydrological phase

and landscape scenario, reflecting adaptive management practises (Berkes *et al.*, 2000). This is very important because it reflects a degree of resilience in the face of alterations in the environment, within the limits of the variability experienced by the different generations of fishers (Book & Mclachlan, 2009).

In addition to the alternation in the use of fishing gear, there were complementary shifts in the target species. During high water periods, for example, the catches of planktivorous species, such as the driftwood and long-whiskered catfish, were associated with an increase in the concentration of sediments and nutrients for the plankton through processes of lixiviation and the expansion of aquatic floodplain habitats (Hainfellner *et al.*, 2019). At low water, the catches of the demersal species that swim at the bottom of the river channel increase as the aquatic environments retract, accumulating bottom nutrients, leading to the formation of a fish assemblage distinct from that found at high water (Correa, 2008). The hydrological cycle also contributes to differential mortality rates from predation and the establishment of stressful abiotic conditions, such as hypoxia, and biotic phenomena, including increased parasitism, as the aquatic environment retracts (Rodríguez & Lewis, 1994), which influences the distribution of the different species between the floodplain and river channel habitats (Rodríguez & Lewis, 1997; Tejerina-Garro *et al.*, 1998; Layman & Winemiller, 2005).

However, the overall trend of a progressive increase observed in the CPUEs of both types of fishing gear may reflect an increase in the capacity of the fisheries and in the catchability of the gear used by these fisheries. In recent years, in fact, both the size of the vessels and their catch storage capacity have been increasing, and the technology of the fishing gear has been improving, leading to an increase in productivity and the economic returns of the fisheries. Increasing effort or capacity is a common trend in fisheries around the world, even in the case of small scale operations, as shown in many recent reports (Muallil *et al.*, 2013; De La Puente *et al.*, 2020; Zeller *et al.*, 2021).

Over the past three decades, in turn, climate change, in particular global warming, has led to the intensification of the hydrological cycle, with a greater frequency of extreme floods and severe droughts, and an increase in the amplitude of hydrological processes (Gloor *et al.*, 2013; Gouveia *et al.*, 2019). This indicates that the habitat available for the principal species may also have been impacted by deforestation rates and the recent advance of agriculture frontiers (Vieira *et al.*, 2008). These changes threaten processes such as spawning, recruitment, and even feeding in the fish that depend on the flood pulse to complete their life cycle, or even predators which,



even though they do not necessarily require access to flooded areas to complete their life cycle, are favored by the abundance of prey produced by the environments (Winemiller *et al.*, 2008).

The wavelet analyses revealed strong annual and semi-annual signals for the CPUEs of both the nets and the lines. These signals correspond to the peaks in the fish harvest. The semi-annual periods of the net fisheries reveal harvests of catfish (long-whiskered, driftwood, gilded, and filhote) catfish, which are fished alternately from the lakes during the winter (high water) and the rivers during the summer (low water). This highlights the efficiency of the net fisheries, which are highly productive throughout the year (Hallwass *et al.*, 2023).

The annual signal of the wavelets is coherent and is repeated in most of the variables analyzed, reflecting the influence of the hydrological cycle on the CPUE or fishery productivity (Cruz *et al.*, 2017; Furtado *et al.*, submitted). The annual signals of the variables such as humidity, latent heat, and the river level also reflected the effects of the variability among years. In the driest years, the catchability of the fisheries increases, even though the recruitment of the fish that inhabit the flooded forest may be affected. In the rainiest years, while catchability decreases, the increased availability of flooded areas guarantees the recruitment of species such as the curimatã and pirapitinga, which has a positive impact on the fisheries for the following few months.

This variation in the direction of the WC reflects the complexity of the task of quantifying the effects of the hydrology of the system and fisheries on the fish populations and assemblages, and the risks of applying a simplified analytical approach. This is because the long-term variation in the intensity and duration of the annual flood pulse has far-reaching impacts on community structure and interspecific relationships. This can be verified in the responses of both types of fishery to shifts in the environmental variables. For example, when the WC of the net CPUE correlates positively with the SH and negatively with the LH, the species most associated with the rainy season, such as the long-whiskered and driftwood catfish, are the ones that contribute most to the composition of the total CPUE. However, when the correlation with the SH is negative and that for the LH is positive, species most associated with the dry season, such as the curimatã and gilded catfish, have the greatest impact on the total CPUE. Given this, the variation among years in the hydrological cycle not only has a direct effect on catchability, but also an indirect effect, related to the abundance of the species that depend on flooded areas to successfully complete their life cycle.

The results of the analyses presented here indicate an inverse relationship between the ENSO and the net CPUEs, that is, that the CPUE tends to decline during the positive phase of the

ENSO, and vice versa. El Niño events can provoke major droughts in the Amazon basin (Marengo *et al.*, 2006), impacting the magnitude and duration of the different phases of the flood pulse. Frappart *et al.* (2012) found that approximately 70% of the aquatic habitats of the Amazon floodplain remained dry during an El Niño event, which indicates that the inverse relationship found here may reflect the reduced connectivity and restrictions on migrations between environments, which would, in turn, result in a greater density of species within a limited area. A situation of this type is known to favour an increase in mortality due to the severe abiotic conditions and intense predation pressure (Röpke *et al.*, 2016; Legder *et al.*, 2012). By contrast, the ENSO had a direct relationship with the line CPUE, which suggests that, during positive events, habitat restrictions divert the fishers to specific areas of the river channels, where they may find a greater density of carnivorous fish such as gilded catfish, surubim or filhote, which are more easily caught by line fishing when the water is at its lowest level (Ruffino & Isaac, 1995). The greater selectivity of the line fishing, together with the greater density of fish in restricted areas during the dry season, points to an increase in the productivity of line fishing during this period (Goulding *et al.*, 2019).

The variability in fishery productivity is clearly related to the modulation of the effects provoked by the climatic (Gloor *et al.*, 2013; Gouveia *et al.*, 2019) and environmental variables (Arantes *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020). Since the 1990s, there has been a clear intensification of the hydrological cycle of the Amazon basin, which has modified the distribution of the rains, provoking extreme floods and severe droughts of much greater duration in the middle and lower stretches of the basin (Zhao *et al.*, 2001; Salazar *et al.*, 2007; Christensen *et al.*, 2013). The frequency of extreme events, such as El Niño and La Niña, has also increased (Gloor *et al.*, 2013; Gouveia *et al.*, 2019; Wunderling *et al.*, 2022). Overall, then the results of these analyses indicate that the increasing intensity of climate change may have a negative effect on the productivity of net fisheries, which are predominant in the region (Halwass *et al.*, 2023). This may also result in drastic changes in the structure of the fish communities.

In this scenario of increasingly intense climate change, the fisheries themselves may ultimately be threatened, given the potential impacts of these changes on the abundance of the principal target species. Even with an increase in the CPUE of the line fisheries, the relative efficiency of this type of fishing may eventually lead to the exhaustion of the target stocks, in particular those of the large catfish, which are already threatened by intense fishing pressure (Cruz *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2020)

It is interesting to note here that, despite the enormous diversity of fish in the Amazon basin, 80% of the total catch volume is derived from a dozen species (Barthem & Fabr e, 2004; Santos & Santos, 2005; Batista *et al.*, 2012). In fact, this excessive concentration of effort on a few commercially-viable species is one of the principal threats to the sustainability of Amazonian fisheries (Castello *et al.*, 2011). As shown here, the abundance of these species may fluctuate enormously due to the variation among years in the configuration of the dry and rainy seasons. The focus of efforts on only a few species, together with the variability in climate, may thus contribute to the exhaustion of these commercial stocks.

In addition to the climatic variables, the fish fauna of the alluvial plains of the Amazon basin is influenced by other aspects of the environment, such as the depth and transparency of the water, and the amount of nutrients, which are natural secondary characteristics associated with the variability in the fauna (Rodríguez & Lewis, 1997; Tejerina-Garro *et al.*, 1998). Other, anthropogenic effects including alterations in river flow and sediment deposition resulting from the construction of hydroelectric dams (Latrubesse *et al.*, 2017; Doria *et al.*, 2020), pollution and alterations in water quality caused by mining and smelting operations (Magris *et al.*, 2019; Aguiar *et al.*, 2020), deforestation for the extraction of lumber or cattle ranching (Vieira *et al.*, 2008), and even the existence, or otherwise, of local fishery management practises, which may interfere in the maintenance of local fish stocks (Arantes *et al.*, 2019). All these effects accumulate synergistically and may, in turn, affect global climate conditions.

Clearly, the continuity of fisheries and the maintenance of their productivity at current levels will depend not only on adequate controls, in particular of fishing effort, but also external variables, which include climate change and other human activities that have direct or indirect impacts on the quality of the environment. Ultimately, the sustainability of fisheries will only be possible through the integration of conservation efforts and environmental protection policies at regional, national, and global levels.

#### **Acknowledgments and funding information**

There was no specific funding, however, we are grateful to the Natural Resources of the Várzea project, the project “Administration of the Fishery Resources of the Middle Amazon: Pará and Amazonas states” and the Brazilian Institute for the Environment and Renewable Natural Resources, for making the data available. We would also like to thank Mateus Trindade Barbosa (the Federal Rural University of Amazon [UFRA] Cartographic Engineering and Surveying Course) for Figure 1.

## References

Agência Nacional de Waters (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. ([www.hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb](http://www.hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb)). Accessed on 20/02/2021.

Aguiar, V.M.C., Baptista Neto, J.A., Quaresma, V.S., Bastos, A.C. & Athayde, J.P.M. (2020) Bioavailability and ecological risks of trace metals in bottom sediments from Doce river continental shelf before and after the biggest environmental disaster in Brazil: The collapse of the Fundão dam. *Journal of Environmental Management*, 272. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111086>.

Almeida, O. T., Lorenzen, K., McGrath, D. G., Amara, L. & Rivero, S. (2010) Importância econômica do setor pesqueiro na calha do rio Amazonas-Solimões. *Novos Cadernos NAEA*, 275: 1-14. in *Saudi Arabia, Emerging Markets Finance and Trade*, 54, 935–956. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2017.1423469>

Arantes, C. C., Winemiller, K. O., Asher, A., Castello, L., Hess, L. L., Petrere, M. & Freitas, C. E. C. (2019) Floodplain land cover affects biomass distribution of fish functional diversity in the Amazon River. *Scientific Reports*, 9, 16684. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52243-0>

Barros, D.F., Petrere Jr., M., Lecours, V., Butturi-Gomes, D., Castello, L. & Isaac, V.J. (2020) Effects of deforestation and other environmental variables on floodplain fish catch in the Amazon. *Fisheries Research*, n. 230.

Barthem, R. & Goulding, M. (1997) *The catfish connection. Ecology, migration and conservation of Amazon predators*, New York: Columbia University Press.

Barthem, R. B. & Fabr e, N. N. (2003) *Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia*. In M. L. Ruffino (Ed.). *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira*. Ibama/Pr V rzea, 11–55.

Barthem, R.B. & Fabr e, N.N. (2004) *Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia*. In: Ruffino, M. L. *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira*. Manaus: Ibama/ProVárzea, 268p.

Barthem, R.B. & Goulding, M. (2007) An unexpected ecosystem: the Amazon revealed by the fisheries. Gráfica Biblos, Lima. Botanical Garden Press. Missouri, 241p.

Batista, V.S., Isaac, V.J. & Viana, J.P. (2004) Exploração e manejo dos recursos pesqueiros da Amazônia. In: Ruffino, M.L. (Ed.) A pesca e os recursos pesqueiros na Amazonia brasileira. Manaus: Edições ProVarzea/Ibama, 63– 152.

Batista, V.S., Isaac, V.J., Fabré, N.N. & Alonso, J.C. (2012) Principais recursos pesqueiros: variações espaço-temporais e relações com o ambiente. In: Batista, V.S. Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada. Brasília: Ibama/ProVárzea. 276p.

Berkes, F., Colding, J. & Folke, C. (2000) Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications*, 10: 1251-1262. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[1251:ROTEKA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[1251:ROTEKA]2.0.CO;2)

Brook, R.K. & Mclachlan, S.M. (2009) Trends and prospects for local knowledge. In: *Ecological and conservation research and monitoring. Biodiversity Conservation*, 3501-3512.

Cabral J.R. & Almeida, O.T. (2006) Avaliação do mercado da indústria pesqueira na Amazônia. In: Almeida, O. T. (Coord.). *A indústria pesqueira na Amazônia. Projeto Manejo dos Recursos Naturais da Várzea*. Manaus: IBAMA/ProVárzea, 17-39.

Castello L., McGrath D.G., Pieter S. & Becka, A. (2011) Resource sustainability in small-scale fisheries in the Lower Amazon floodplains. *Fisheries Res* 110: 356-364. doi:10.1016/j.fishres.2011.05.002

Castello, L., McGrath, D.G., Arantes, C.C. & Almeida, O.T. (2013) Accounting for heterogeneity in small-scale fisheries management: the Amazon case. *Mar. Policy*, 38, 557-565.

Castello, L., Isaac, V.J. & Thapa R. (2015) Flood pulse effects on multispecies fishery yields in the Lower Amazon. *R. Soc. open sci.* 2: 150299. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.150299>

Cerdeira, R. G. P., Ruffino, M. L. & Isaac, V.J. (1997) Consumo de pescado e outros alimentos pela população ribeirinha do lago Grande de Monte Alegre, PABrasil. *Acta Amazonica*, 27(3), 213-228.

Christensen, J. H., Krishna Kumar, K., Aldrian, E., An, S.-I., Cavalcanti M. de Castro, I.F.A., Dong, W., Goswami, P., Hall, A., Kanyanga, J. K., Kitoh, A., Kossin, J., Lau, N.-C., Renwick, J., Stephenson, D.B., Xie, S.-P. & Zhou, T. (2013) Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M. (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 1217-1308.

Correa, S.B. (2008) Fish assemblage structure is consistent through an annual hydrological cycle in habitats of a floodplain-lake in the Colombian Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 6(2), 257-266.

Cruz, R.E.A., Isaac, V.J. & Paes, E.T. (2017) A pesca da dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau,1855) na região do Baixo Amazonas, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(4), 474-486.

De la Puente *et al.* (2020) Growing Into Poverty: Reconstructing Peruvian Small-Scale Fishing Effort Between 1950 and 2018 *Front. Mar. Sci.*, 18 August 2020 *Sec. Marine Fisheries, Aquaculture and Living Resources*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00681>

Doria, C. R. C., Ruffino, M. L., Hijazi, N. C. & Cruz, R. L. (2012) A pesca comercial na bacia do rio Madeira no estado de Rondônia, Amazônia brasileira. *Acta Amazônica*, 42, 29-40.

Doria, C.R.C, Dutka-Gianelli, J., Brasil de Sousa, S.T., Chu, J. & Garlock, T.M. (2020) Understanding impacts of dams on the small-scale fisheries of the Madeira River through the lens of the Fisheries Performance Indicators. *Marine Policy*, (), 104261–doi:10.1016/j.marpol.2020.104261

Duponchelle, F., Isaac, V.J., Doria, C.R.C., Van Damme, P.A., Herrera-R, G.A., Anderson, E.P., Cruz, R.E.A., Hauser, M., Hermann, T.W., Agudelo, E., Bonilla-Castillo, C., Barthem, R.B., Freitas, C.E., Garcia-DaVila, C., Garcia-Vasquez, A., Renno, J. & Castello, L. (2021) Conservation of migratory fishes in the Amazon basin. *Aquatic Conservation-Marine and Reshwater Ecosystems*, 31, 1087-1105.

Frappart, F. *et al.* (2012) Surface freshwater storage and dynamics in the Amazon basin during the 2005 exceptional drought. *Environ. Res. Lett.* 7, 044010.

Freitas *et al.* (2013) The Potential Impacts of Global Climatic Changes and Dams on Amazonian Fish and Their Fisheries. <http://dx.doi.org/10.5772/54549>

Furtado, M.S.C., Queiroz, J.C.B, Silva, B.C., Yasojyma, E.K.K., Thomaz, D.O. & Isaac, V.J. (submitted) The hydrological cycle in the Brazilian lower Amazon determines fishing capture and gear patterns. *Fishes*.

Gloor, M. *et al.* (2013) Intensificacion of the amazon hydrological cycle over the last two decades. *Geophysical Research Letters*. Wiley Online Library. 40(9), 1729-1733.

Goulding, M., Venticinque, E., Ribeiro, M.L.B., Barthem, R. B., Leite R. G., Petry P. Silva-Júnior, U.L., Ferraz, P. S. & Cañas C. (2019) Ecosystem-based management of Amazon fisheries and wetlands. *Fish and Fisheries*, 20(1), 138-158

Gouveia, N.A., Gherardi, F.M., Wagner, F.H. & Aragão, L.E. (2019) Qual o impacto da intensificação do ciclo hidrológico da bacia amazônica no Atlântico Tropical Oeste? *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, Santos, São Paulo, Brazil. ISBN 978-85-17-00097-3.

Grinsted, A., Moore, J.C. & Jevrejeva, S. (2004) Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11, 561566. Available from: <https://doi.org/10.5194/npg-11-561-2004>

Hainfellner, P. *et al.* (2019) (Reproductive cycle of the Amazonian planktivorous catfish *Hypophthalmus marginatus* (Siluriformes, Pimelodidae). *Aquaculture Research*. Available from: <<http://hdl.handle.net/11449/189519>>

Hallwass, G., Keppeler, F.W., Tomazoni-Silva, L.H., Alves, I., Isaac, V.J., Almeida, M.C. & Silvano, R.A.M. (2023) ‘Disentangling’ the advantages from gillnets in freshwater small-scale fisheries in the Brazilian Amazon. *Rev Fish Biol Fisheries*. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09771-w>

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001) Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1): 1-9.

Hu, W., Si, B.C., Biswas, A. & Chau, H.W. (2017) Temporally stable patterns but seasonal dependent controls of soil water content: Evidence from wavelet analyses. *Hydrological Processes*, 31(21), 3697–3707.

Isaac, V.J., Silva, C.O. & Ruffino, M.L. (2004) A pesca no Baixo Amazonas. In: Ruffino, M.L. (eds.). *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira*. Edições ProVarzea/IBAMA. Manaus, 185– 211.

Isaac, V. J. & Almeida, M.C. (2011) El consumo de pescado en la Amazonía Brasileña. *COPESCAALC Documento Ocasional*. Roma: FAO, 13, 43p.

Isaac, V.J, Fabre, N.N, da Silva, C.O, Ruffino, M.L, Saint-Paul, *et al.* (2012) Ecologia da Fauna Ictíica. In: Batista, V.S, Isaac, V.J (Eds.). *Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada*. Ibama/ProVárzea, Brasília, 201-246.

Isaac, V.J., Castello, L., Santos, P.R.B. & Ruffino, M.L. (2016) Seasonal and interannual dynamics of river-floodplain multispecies fisheries in relation to flood pulses in the Lower Amazon. *Fisheries Research*, 183, 352–359. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2016.06.017>



Isnanto, R.R. (2011) Comparison on several smoothing methods in nonparametric regression. *Journal System Computer* 1, 1.

Junk, W. J., Bayley, P. B. & Sparks, R. E. (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems. In D. P. Dodge (Ed.), *Proceedings, International Large River Symposium (LARS)*. NRC Research Press, 110–127.

Krüger, J.J. (2021) A Wavelet Evaluation of Some Leading Business Cycle Indicators for the German Economy. *Journal of Business Cycle Research*, 17, 293–319. Available from: <https://doi.org/10.1007/s41549-021-00060-8>

Lan, K.W., Evans, K. & Lee, M.A. (2013) Effects of climate variability on the distribution and fishing conditions of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western Indian Ocean. *Climatic Change* 119, 63-77. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0637-8>

Latrubesse E.M., Arima, E.Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V.R., d’Horta, F.M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P.A., Ribas, C.C., Norgaard, R.B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, B. & Stevaux, J.C. (2017) Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature* 546(7658), 363–369 DOI 10.1038/nature22333.

Layman, C.A. & Winemiller, K.O. (2005) Patterns of habitat segregation among large fishes in a Venezuelan floodplain river. *Neotropical Ichthyology* 3, 111–117. doi: 10.1590/S1679-62252005000100007

Legder, M. E. *et al.* (2012) Drought alters the structure and functioning of complex food webs. *Nature Clim. Change* 3, 223–227.

Lima, M.A.L., Carvalho, A.R., Nunes, M.A., Angelini, R. & Doria, C.R.C. (2020) Declining fisheries and increasing prices: The economic cost of tropical rivers impoundment. *Fisheries Research*, January, 105399. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.105399>

Lowe-McConnell, R.H. (1999) *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. EDUSP. São Paulo. 534p.

Magrini, L.A. (2020) Funções wavelet e transformada wavelet contínua: representação simultânea nos domínios do tempo e da frequência. *Revista Eletrônica Paulista de Matemática*, Bauru, 19, 17–32, dez.

Magris, R.A., Marta-Almeida, M., Monteiro, J.A.F. & Ban, N.C. (2019). A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SWBrazil). *Science of the Total Environment*, 659, 828-840. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.238>.

Marengo, J.A. (2006) On the hydrological cycle of the Amazon Basin: a historical review and current state-of-the-art. *Rev. Bras. Meteorologia*, 21(3A), 1-19.

Muallil, R.N., Cleland, D. & Aliño, P.M. (2013) Socioeconomic factors associated with fishing pressure in small-scale fisheries along the West Philippine Sea biogeographic region, *Ocean & Coastal Management*, 82, Pages 27-33, ISSN 0964-5691. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.04.013>.

Nadal Egea, J. A. (1996) *Esfuerzo y Captura: Tecnología y Sobreexplotación de Recursos Marinos Vivos*. El Colegio de México. México, D. F. 476, 104.

Parsa M., Emery, T.J., Williams A.J & Nicol S. (2020) A Robust Métier-Based Approach to Classifying Fishing Practices Within Commercial Fisheries. *Front. Mar. Sci.* 7:552391. doi: 10.3389/fmars.2020.552391.

Peck, R.C. & Olsen J. (2005) Devore, *Introduction to Statistics and Data Analysis*. 4th Ed., Thomson Brooks/Cole, Belmont, CA

Petrere Jr, M., Giacomini, H.C., De Marco Junior, P. (2010) Catch-per-unit-effort: which estimator is best? *Brazilian Journal of Biology*, 70(3), 483-491.

Pinaya, W.H.D, Pita, P., Souza, R.B., Lobon-Cérvia, F.J.; Pita, P., Buss de Souza, R., Freire, J. & Isaac, V. J. (2016) Multispecies Fisheries in the Lower Amazon River and Its Relationship with the Regional and Global Climate Variability. *PLoS One*, 11, p. e0157050.

Pinaya, W.H.D, Pita, P., Souza, R. B., Lobon-Cérvia, F.J., Freire, J. & Isaac, V.J. (2018) The Catfish Fishing in the Amazon Floodplain Lakes. *Oceanogr Fish Open Access J.* 7(4), 555720. DOI: 10.19080/OFOAJ.2018.07.555720

R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>). Accessed on 20/02/2021.

Ribeiro, M. & Petreire, M. (2006). Fisheries ecology and management of the Jaraqui (*Semaprochilodus Taeniurus, S. Insignis*) in central Amazonia. *Regulated Rivers: Research & Management.* 5, 195 - 215. 10.1002/rrr.3450050302.

Rocha, V.B. (2008) Uma abordagem de Wavelets aplicada à combinação de previsões: Uma análise teórica e experimental. Curitiba: UFP, 155p. Dissertação de Mestrado.

Rodríguez, M.A. & Lewis, W.M. Jr. (1994) Regulation and stability in fish assemblages of neotropical floodplain lakes. *Oecologia*, 99, 166–180. doi: 10.1007/BF00317098

Rodríguez, M.A. & Lewis, W.M. Jr. (1997) Structure of fish assemblages along environmental gradients in floodplain lakes of the Orinoco river. *Ecological Monographs*, 67(1), 109–128. Available from: [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1997\)067\[0109:SOFAAE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1997)067[0109:SOFAAE]2.0.CO;2)

Röpke, C.P., Amadio, S., Winemiller, K.O. & Zuanon, J. (2016) Seasonal dynamics of the fish assemblage in a floodplain lake at the confluence of the Negro and Amazon Rivers. *J. Fish Biol.* 89, 194–212.

Ruffino, M.L. & Isaac, V.J. (1995) Life cycle and biological parameters of several Brazilian Amazon fish species. *Aqua Docs*. Accessed on: <http://hdl.handle.net/1834/26082>

Salazar, L.F., Nobre, C.A. & Oyama, M.D. (2007) Climatic change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34, L09708.

Santos, G.M. & Santos, A.C.M., 2005. A sustentabilidade da pesca na Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(54), 165-182p.

Silva, P. B., Arantes, C.C., Freitas, C.E.C., Petrere, M. Jr & Ribeiro, F.R.V. (2020) Seasonal hydrology and fish assemblage structure in the floodplain of the lower Amazon River. *Ecology of Freshwater Fishes*, 30, 162–173. Available from: <https://doi.org/10.1111/eff.12572>

Sumaila *et al.* (2011) Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries, *Nature Climate Change*, 1

Tejerina-Garro, F.L., Fortin, R. & Rodríguez, M.A. (1998) Fish community structure in relation to environmental variation in floodplain lakes of the Araguaia River, Amazon Basin. *Environmental Biology of Fishes*, 51(4), 399–410.

Torrence, C.G. & Compo, G.P. (1998) A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), 61-78. Available from: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2)

Torrence, C. & Webster, P. (1999) Interdecadal Changes in the ENSO-Monsoon System, *Journal of Climate*, 12, 2679-2690. Available from: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2679:ICITEM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2679:ICITEM>2.0.CO;2)

Tsai, C.F., Chen, P.Y., Chen, C.P., Lee, M.A., Shiah, G.Y. & Lee, K.T. (1997) Fluctuation in abundance of larval anchovy and environmental conditions in coastal waters off south-western Taiwan as associated with the El Niño–Southern Oscillation. *Fish. Oceanogr*, 6: 238-249.

Veríssimo, J.A. (1895) *A pesca na Amazônia*. Rio de Janeiro: Livraria Alves, 137pp.

Vieira, I.G.G, Toledo, P.M., Silva, J.M.C. & Higuchi, H. (2008) Deforestation and threats to the biodiversity of Amazonia. *Braz. J. Biol.*, 68(4, Suppl.), 949-956.

Winemiller K.O. & Jepsen, D.B. (1998) Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *J. Fish Biol.*, 53, 267–296.

Winemiller, K.O., Agostinho, A.A. & Caramaschi, E.P. (2008) Chapter 5 - Fish Ecology in Tropical Streams, Editor(s): David Dudgeon, In Aquatic Ecology, Tropical Stream Ecology, Academic Press, Pages 107-III, ISBN 9780120884490. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-012088449-0.50007-8>.

Wolker K. & Timlin, M.S. (1998) Measuring the strength of ENSO - how does 1997/98 rank? *Weather*, 53, 315-324.

Wunderling, N., Staal, A., Sakschewski, B, Hirota, M., Tuinenburg, O., Donges, J., Barbosa, H. & Winkelmann, R. (2022) Recurrent droughts increase risk of cascading tipping events by outpacing adaptive capacities in the Amazon rainforest. Supplementary Information for. PNAS. Available from: [www.pnas.org](http://www.pnas.org)

Zeller *et al.* (2021) Fishing Effort and Associated Catch per Unit Effort for Small-Scale Fisheries in the Mozambique Channel Region: 1950–2016. *Front. Mar. Sci.*, 11 August 2021 Sec. Marine Fisheries, Aquaculture and Living Resources Volume 8. Available from: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.707999>

Zhao, M., Pitman, A.J. & Chase, T. (2001) The impact of land cover change on the atmospheric circulation. *Climate Dynamics*, 17(5-6), 467-477.

## Supplementary Materials

### Tables

**Table S1.** Fish species or ethnospecies landed at ports on the Lower Amazon River between 1993 and 2005.

English name	Local names	Scientific name
Long-whiskered catfish	Mapará	<i>Hypophthalmus edentatus</i> , <i>Hypophthalmus fimbriatus</i>
Driftwood catfish	Mandubé	<i>Ageneiosus</i> spp.
Gilded catfish	Dourada	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>
Curimatã	Curimatã	<i>Prochilodus nigricans</i>
Janitor fish	Acari-bodó	<i>Pterygoplichthys pardalis</i>
Surubim	Surubim-lenha, canaela, pintado, tigre	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , <i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>

<b>English name</b>	<b>Local names</b>	<b>Scientific name</b>
Catfish	Fura calça	<i>Pimelodina flavipinnis</i>
Piraíba	Filhote	<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>
Jaraqui	Jaraqui escama fina, escama grossa	<i>Semaprochilodus taeniurus</i> , <i>Semaprochilodus insignis</i>
Croaker	Pescada branca, pescada preta	<i>Plagioscion squamosissimus</i> , <i>Plagioscion auratus</i>
Headstander	Aracu comum, amarelo, cabeça gorda	<i>Schizodon fasciatus</i> , <i>Leporinus fasciatus</i> , <i>Leporinus friderici</i>
Goliath catfish	Piramutaba	<i>Brachyplatystoma vaillantii</i>
Tambaqui	Tambaqui amarelo, preto	<i>Colossoma macropomum</i>
Freshwater barracuda	Peixe-cachorro	<i>Rhaphiodon vulpinus</i> , <i>Acestrorhynchus falcirostris</i> , <i>Acestrorhynchus falcatus</i> , <i>Acestrorhynchus microlepis</i>
Marbled catfish	Jandiá	<i>Leiarius marmoratus</i>
Pacu	Pacu-comum, jumento, marreca, olhudo	<i>Mylossoma</i> spp., <i>Myleus</i> spp., <i>Metynnis</i> spp., <i>Myloplus</i> spp.
Peacock bass	Tucunaré, açú, pinima, tatú	<i>Cichla temensis</i> , <i>Cichla monoculus</i>
Eartheaters	Cará-açú, acará rosado, acará roxo, acaratinga	<i>Astronotus</i> spp., <i>Caquetaia spectabilis</i> , <i>Geophagus proximus</i>
Piracatinga	Piracatinga	<i>Calophysus macropterus</i>
Pellona	apapá amarelo, apapá branco	<i>Pellona flavipinnis</i> , <i>Pellona castelnaeana</i>
Matrinxã	matrinxã, jatuarana	<i>Brycon cephalus</i>
Ripsaw catfish	Cujuba	<i>Oxydoras niger</i>
Slobbering catfish	Barbado	<i>Brachyplatystoma platynemum</i>
Stingray	Arraia	<i>Potamotrygon</i> spp.
Pirapitinga	Pirapitinga	<i>Piaractus brachypomus</i>
Bacu	Bacu liso, pedra	<i>Pterodoras lentiginosus</i> , <i>Lithodoras dorsalis</i>
Silver arowana	Aruanã	<i>Osteoglossum bicirrhosum</i>

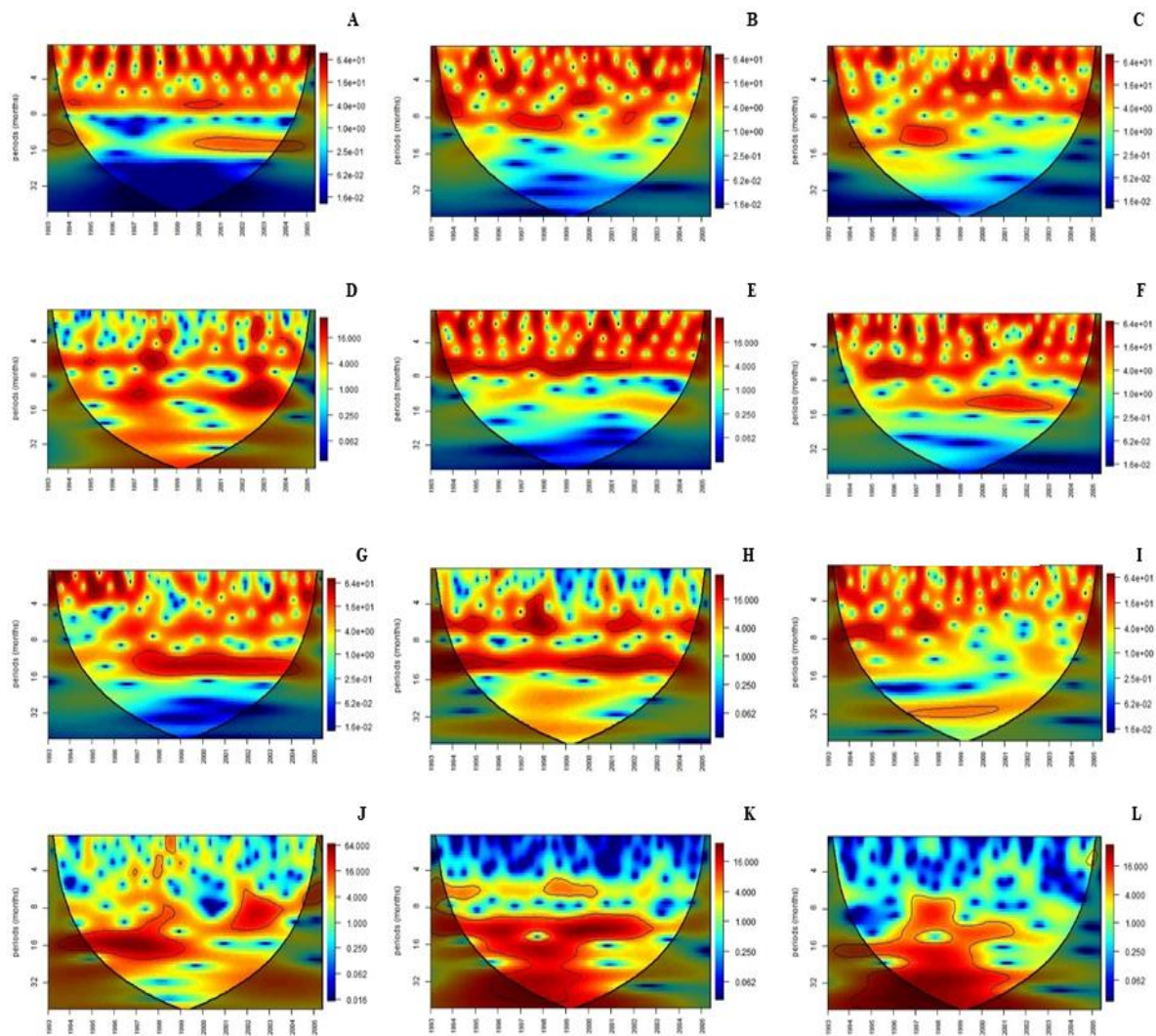
English name	Local names	Scientific name
Halftooth	Charuto	<i>Hemiodus</i> spp.
Redtail catfish	Pirarara	<i>Phractocephalus hemioliopus</i>
Piranha	Piranha cajú, mafurá, preta	<i>Serrasalmus</i> spp.
Jaú	Jaú	<i>Zungaro zungaro</i>
Toothless characin	branquinha comum, cascuda, cabeça lisa	<i>Potamorhina latior</i> , <i>Psectrogaster amazonica</i> , <i>Potamorhina altamazonica</i>
Flatwhiskered catfish	Piranambu	<i>Pinirampus pirinampu</i>
Pirarucu	Pirarucu	<i>Arapaima gigas</i>
Mandí	Mandí	<i>Pimelodus</i> spp.
Atipa	Tamuatá	<i>Hoplosternum littorale</i>
Sardine	sardinha comprida, sardinha papuda	<i>Triporthesus</i> spp.
Wolf fish	Traíra	<i>Hoplias malabaricus</i>
Striped catfish	Cara de gato	<i>Platynematichthys notatus</i>
Dogtooth characin	Saranha	<i>Cynodon gibbus</i>
Jeju	Jeju	<i>Hoplerythrinus unitaeniatus</i>
Electric eel	Puraqué	<i>Electrophorus electricus</i>

**Table S2.** Description of the different types of fishing gear used by the fisheries of the Lower Amazon (adapted from Isaac *et al.*, 2004).

Type of gear	Local name	Description	Use
NETS	<b>Bubuia</b>	Long, tall gillnet left to drift in the river channel.	Used for catfish.
	<b>Malhadeira</b>	Rectangular gillnets made of multifilament nylon with varying mesh sizes.	Widely used in environments without strong currents, where they are set at the surface or on the bottom, in river backwaters or lakes. These nets catch all types of fish, depending on the mesh used and the area targeted. May also be used actively, being hauled manually or trawled by vessels.
	<b>Miqueira</b>	Rectangular gillnets made of monofilament nylon with varying mesh sizes.	Employed in environments without strong currents, primarily to catch long-whiskered catfish.

<b>LINES</b>	<b>Canço, rapazinho, linha de mão</b>	Long nylon line with a hook at the end, which is either held in the hand, attached to a wooden pole or tied to the bank.	Implemented in lentic environments near fruiting trees or in sheltered areas. Used to catch pacu, headstander, and other fish in flooded areas.
	<b>Espinhel</b>	Paternoster line, consisting of a long, robust principal line to which an array of shorter lines with hooks is attached.	Used to fish for catfish in the river channel.

## Figures



**Figure S1.** Wavelets (CWT) for: (A) mean River Level, (B) Rainfall, (C) Runoff, (D) Air Temperature, (E) Ground Surface Temperature, (F) Specific Humidity, (G) Latent Heat, (H) Sea Surface Temperature, (I) NAO, (J) GITA, (K) El Niño 3+4, and (L) MEI – Lower Amazon (1993–2005). The 5% significance level against red noise is shown by the bold outline (cone of influence).



### **CAPÍTULO 3**

## **MUDANÇAS ESPAÇO-TEMPORAIS DA PESCA ARTESANAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Artigo científico em formato de submissão à revista *Fisheires Management and Ecology*

## **Mudanças espaço-temporais da pesca artesanal na Amazônia brasileira**

### **Resumo**

Este estudo analisou a dinâmica espacial e temporal da captura e do esforço de pesca e as relações com as variáveis pesqueiras e ambientais para os bagres *Hypophthalmus* spp. e *Ageneiosus* spp. em lagos de várzea e rios da Amazônia brasileira. Considerou-se uma série de dados pesqueiros do Baixo Amazonas de 1993 a 2004. Ferramentas de geoestatística foram utilizadas para avaliar a dinâmica pesqueira no intuito de estudar possíveis mudanças da captura e do esforço ao longo do tempo e do espaço. Modelos de regressão global (GR) e modelos locais de regressão geograficamente ponderados (GWR), foram utilizados para identificar variáveis significantes com estas capturas, considerando como covariáveis o número de viagens, a distância até o porto de desembarque, o nível do rio e o índice do Niño 3+4. A pesca dos maparás e mandubés é uma pescaria sazonal do período de águas altas, com pico de produção em março. Os locais de captura sofreram alteração ao longo do tempo. O número de visitas aos locais de pesca e a distância dos pesqueiros aos portos de desembarques foram as variáveis que melhor definiram a variabilidade das capturas. Locais mais próximos dos municípios dos portos de desembarque resultaram menos produtivos em todo o período.

**Palavras-chave:** Baixo Amazonas. Dinâmica Pesqueira. Geoestatística. Variabilidade pesqueira. *Hypophthalmus* spp. *Ageneiosus* spp. mapará. mandubé

### **1. Introdução**

Na Amazônia brasileira, a pesca artesanal é considerada uma das mais importantes atividades extrativas da região (Santos & Santos, 2005) e é responsável por grande parte do pescado comercializado, o que a torna uma das principais atividades econômicas dessa região (Almeida *et al.*, 2001; Almeida *et al.*, 2004). O pescado também é a principal fonte de proteína na alimentação da população de ribeirinhos (Isaac & Almeida, 2011). Contudo, a principal finalidade das pescarias é o comércio, sendo o pescado vendido fresco ou beneficiado nos mercados locais ou nas empresas que exportam para outras localidades (Almeida *et al.*, 2001; Isaac & Cerdeira, 2003; Aviz, 2006; Cruz *et al.*, 2017). Apesar da grande diversidade íctica da Amazônia, a produção pesqueira está voltada apenas para um pequeno número de espécies (Barthem & Fabré, 2004; Santos & Santos, 2005; Batista *et al.*, 2012a), dentre elas os maparás (*Hypophthalmus* spp.) e mandubés (*Ageneiosus* spp.) se destacam dentre as principais espécies capturadas no Baixo Amazonas (Barthem & Fabré, 2004; Furtado *et al.*, submetido).

As espécies *Hypophthalmus* spp., pertencem ao grupo dos Siluriformes, da família Pimelodidae. Trata-se de bagres de porte médio, estritamente pelágicos e planctófagos, que se

alimentam principalmente de crustáceos planctônicos (Carvalho, 1980a; Alcântara Neto, 1994). As espécies *Ageneiosus* spp., pertencem ao grupo dos Siluriformes da família Auchenipteridae, têm hábitos noturnos e habitam microambientes ao longo dos rios, nos remansos e entre as corredeiras. São carnívoros, se alimentam de peixes e invertebrados, como camarões e insetos (Agostinho *et al.*, 2007). Os maparás e mandubés são peixes migradores, que normalmente habitam ambientes lóticos e cujas dinâmicas reprodutivas são complexas e geograficamente extensas (Carvalho, 1980a; Barthem & Goulding, 1997; Barthem & Fabré, 2004). Alterações em sua abundância podem contribuir para profundas consequências no ecossistema (Angelini *et al.*, 2006), podendo impactar sobre outras espécies da cadeia alimentar (Cruz *et al.*, 2017).

As pescarias comerciais destes peixes na região ocorrem principalmente nos rios Amazonas, Negro e Solimões (Batista *et al.*, 1998). No Baixo Amazonas, são capturados principalmente *H. marginatus* (Valenciennes, 1840) e *H. edentatus* (Spix & Agassiz, 1829) e *Ageneiosus* spp., (Pinaya *et al.*, 2018; Furtado *et al.*, submetido), que possuem significativo interesse econômico são conhecidos pelos respectivos nomes vernaculares de mapará e mandubé. Estas espécies são capturadas juntas, com o mesmo tipo de arte de pesca, uma rede de malha de nylon, chamada localmente “miqueira” (Carvalho, 1980a; Alcântara Neto, 1994; Barthem & Fabré, 2004; Agostinho *et al.*, 2007; Issac *et al.*, 2012), e nos mesmos tipos de locais e safras. Portanto se constituem em um “sistema de produção pesqueira” de acordo com Isaac *et al.* (2009). Mandubés e maparás ocuparam o primeiro e segundo lugar, respectivamente, nas pescarias com redes de emalhe na região do Baixo Amazonas, no período de 1993 a 2005 (Furtado *et al.*, submetido), onde grandes volumes são capturados, principalmente no período de cheia (Carvalho *et al.* 1980b; Pinaya *et al.*, 2018; Furtado *et al.*, submetido).

A Amazônia possui uma dinâmica complexa na captura de peixes, dependendo dos ambientes disponíveis e de acordo com os pulsos de inundação que controlam fatores abióticos e bióticos (Petrere Jr., 1985; Junk *et al.*, 1989; Pinaya *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2017). Logo, o ciclo hidrológico, que alterna os meses do ano entre estação chuvosa e seca, tem um papel muito importante na produtividade dos recursos pesqueiros (Junk *et al.*, 1989). O sucesso e a dinâmica das pescarias artesanais da Amazônia são altamente dependentes das características do meio ambiente, o que influencia na pesca e no comportamento do pescador (Castello & Macedo, 2016; Isaac *et al.*, 2016).

No entanto, a abundância das espécies de importância econômica vem sendo ameaçada, não somente pela intensidade pesqueira, mas também pelas grandes modificações ambientais, promovidas por políticas de desenvolvimento, que priorizam o lucro e não a conservação, a

exemplo do desmatamento, hidrelétricas, plantações de soja e bovinocultura, dentre outras (Freitas *et al.*, 2012; Castello & Macedo, 2016; Winemiller *et al.*, 2016). As alterações do meio ambiente provocadas por estas iniciativas podem representar ameaças aos estoques pesqueiros (Junk *et al.*, 2007) e ainda comprometer o comércio e a sobrevivência das comunidades que vivem da pesca.

Mudanças no meio aquático, influenciam o ciclo hidrológico que por sua vez afetam o clima regional e global, o que implica em alterações no ciclo de chuvas e estiagem (Zhao *et al.*, 2001; Salazar *et al.*, 2007; Furtado *et al.*, submetido). Estudos científicos predizem, em um futuro próximo, uma Amazônia oriental mais seca do que atualmente, o que pode afetar desde pequenos igarapés até a área de inundação das várzeas (Junk *et al.*, 2009). Desta forma, pode-se supor que o resultado das pescarias depende não somente da intensidade de exploração dos estoques, mas também de impactos das atividades do homem que afetam a dinâmica do ambiente e consequentemente, da pesca.

Além dos fatores ambientais e climáticos, a variabilidade do esforço de pesca afetam a composição e o volume das capturas, que apresentam uma dinâmica complexa e associada aos saberes tradicionais dos pescadores (Castello *et al.*, 2015; Isaac *et al.*, 2015; Isaac *et al.*, 2016; Cruz *et al.*, 2017; Batista *et al.*, 2018; Keppeler *et al.*, 2020).

A frota pesqueira que atua ao longo da calha do Rio Amazonas é composta, principalmente, por barcos pequenos que atuam de maneira independente e concentram-se principalmente nos remansos e poças do rio (Cardoso & Freitas, 2007; Isaac *et al.*, 2008; Doria *et al.*, 2012; Isaac *et al.*, 2015), refletindo as suas características hidrológicas que dificultam os deslocamentos de longa distância (Isaac *et al.*, 2015). Contudo, o aumento da demanda pelo pescado e a pressão pesqueira nas proximidades dos grandes centros urbanos, tem levado a um aumento do esforço pesqueiro e à procura por locais que apresentam os melhores rendimentos em termos de produção (Petrere Jr., 1986; Isaac *et al.*, 2015).

Desta forma é válido supor que, o esforço pesqueiro e variáveis ambientais como o nível do rio, assim como eventos climáticos extremos como o fenômeno de El Niño, se constituem em fatores que podem atuar juntos para reduzir ou aumentar as capturas ou a ocupação de espécies de peixes tropicais (Barlow *et al.*, 2018).

Variáveis espaciais e temporais podem ser utilizadas no estudo das capturas e esforço de pesca, no contexto do manejo territorial e conservação das espécies de peixes (Fisher, 2010; Pascual *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2016; Keppeler *et al.*, 2020). Todavia, poucos trabalhos analisam a combinação de variáveis espaciais e temporais com séries de dados da pesca

artesanal da Amazônia. Podemos citar, Petrere Júnior (1986), Isaac *et al.* (2004), Batista & Petrere (2007), Isaac & Ruffino (2007), Keppeler *et al.* (2020) que demonstram que locais mais distantes dos grandes centros urbanos tem maiores rendimentos pesqueiros, denotando um gradiente de degradação ambiental e dos recursos, bem como uma maior pressão pesqueira em locais próximos dos centros urbanos. O trabalho de Ruffino e Isaac (2000) mostra que a duração e o rendimento das viagens de pesca estão relacionados com a distância dos locais de pesca até a cidade de Santarém, no estado do Pará, onde está localizado o principal porto de desembarque da região do Baixo Amazonas. O trabalho de Souza *et al.* (2009) testa a relação entre a produção dos lagos de várzea e a distância deles até o canal do rio, via de entrada dos barcos, concluindo que, quanto maior a distância entre o lago e o rio, maior é a produção.

Contudo, os estudos que analisam a evolução da produtividade da pesca na região, bem como as variáveis que afetam as capturas são muito limitados. Em parte, isto está relacionado às escassas estatísticas pesqueiras oficiais que são descontínuas e limitadas temporal e quase nenhuma informação espacial da origem das capturas (Barthem, 2000; Barthem & Fabr e, 2004; Gonçalves & Batista, 2008).

At e o momento, nenhum estudo foi realizado para as pescarias do Baixo Amazonas, considerando a dinâmica espaço-temporal para as capturas de bagres, utilizando ferramentas de geoestatística e estatística espacial nas séries de dados. Nesse contexto, entender a dinâmica destas capturas   importante para compreender possíveis mudanças ocorridas nos padrões das pescarias ao longo do espaço e do tempo, cujos achados serão relevantes para o manejo pesqueiro.

Considerando a importância dos bagres para o ambiente aquático e amazônico, este trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal de madub es e maparás em lagos de várzea e rios amazônicos e as relações das capturas associadas a variáveis pesqueiras e ambientais, por meio de uma série histórica de dados contínuos do Baixo Amazonas do período de 1993 a 2004. Com isso, pretende-se que o estudo sirva como subsídio para um ordenamento pesqueiro destas espécies, respondendo aos seguintes questionamentos: 1) Os locais das capturas sofreram alteração ao longo do tempo? 2) Os locais mais próximos das cidades estão se tornando menos produtivos? 3) Quais variáveis influenciaram espacialmente as pescarias?

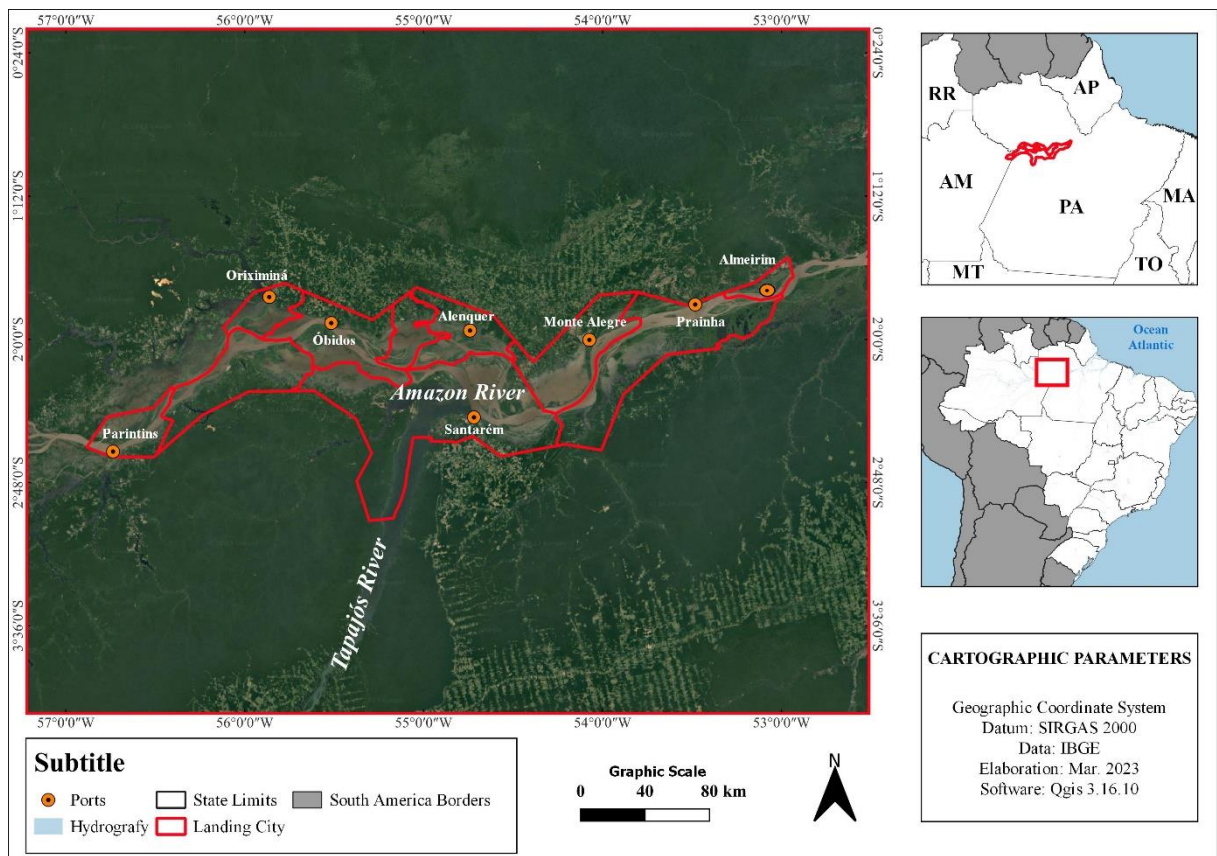
## **2. Material e Métodos**

### **2.1.  rea de estudo**

Os dados do estudo são provenientes das pescarias comerciais realizadas ao longo do rio Amazonas, contemplando a calha principal do rio, canais, igarapés, lagoas marginais e planície

de inundação, entre os municípios de Parintins no estado do Amazonas e Almeirim no estado do Pará (Figura 1) e compreende uma extensão de aproximadamente 480 km em linha reta. O rio desta região é largo, ladeado de lagos de várzea extensos e rasos, bem como outras áreas (florestadas ou não) que são sazonalmente alagáveis. A variação sazonal do rio é de aproximadamente sete metros e nos períodos de maior pluviosidade e vazão, ocorre ampla área de inundação nas suas margens, que tem pouca declividade (Barthem & Goulding 2007).

Os ambientes fluviais e as áreas de inundação são bastante explorados por embarcações pesqueiras artesanais que capturam o pescado. Foram consideradas áreas de captura dos municípios de Parintins, Oriximiná, Óbidos, Alenquer, Curuá, Juruti, Santarém, Monte Alegre, Prainha e Almeirim (Batista *et al.* 2012b). A produção é transportada até as sedes dos municípios, onde há portos de desembarque (Figura 1) e melhores possibilidades de comercialização.



**Figura 1.** Localização geográfica dos municípios da Amazônia brasileira com seus respectivos portos de desembarque, onde foram obtidos os dados das pescarias do Baixo Amazonas entre os anos de 1993 e 2004.

## 2.2. Coleta de dados

Os dados foram coletados nos portos citados na Figura 1, no período de janeiro de 1993 a dezembro de 2004, por meio de entrevistas com pescadores ou encarregados das embarcações

no momento do desembarque. Foram obtidas informações sobre o tipo de embarcação, número de pescadores, duração das pescarias, peso por espécie (kg) e coordenadas dos locais de pesca. Todas as informações foram sumarizadas em um banco de dados relacional onde cada linha representava uma unidade amostral (uma viagem de pesca).

Para este estudo, consideramos somente as informações referentes às pescarias que foram realizadas com barcos motorizados que realizaram operações de pesca (barco pescador) em ambientes de lagos (incluindo todos os lagos), áreas alagáveis (igapós e campos alagados ou rios) e canais como paranás e grandes igarapés. Filtramos os desembarques onde houve registro de maparás e mandubés, uma vez que são capturadas de forma conjunta, por meio do mesmo sistema de produção pesqueira, caracterizado pelo uso de redes de emalhe, localmente chamadas ‘miqueiras (Batista *et al.*, 2004), cujos pesos (em t) foram somados por mês/ano (n=144 meses). Assim, as variáveis incluídas neste estudo foram: o peso total (t) das capturas de maparás e mandubés, o número de viagens aos locais de pesca e a distância das sedes dos portos de desembarque até os locais de pesca. As distâncias (km) dos locais de pesca até os portos de desembarque, foram obtidas, por meio do software QGIS (<http://qgis.osgeo.org>) e da ferramenta de “Distância para o Ponto Central Mais Próximo” (linha para ponto central).

Séries de dados do nível do rio e da anomalia do El Niño foram obtidas de acordo com a área de estudo e para o mesmo período dos dados pesqueiros, sendo consideradas as médias mensais para cada ano. Utilizamos a série temporal do NR-nível médio do rio Amazonas (cm), que correspondem aos registros das estações de Parintins e Santarém, obtida da rede de estações fluviais automáticas da Agência Nacional de Águas (ANA - [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)). Utilizamos as médias mensais do Niño 3+4-anomalia da SST na região entre 5°S-5°N (latitude) e 170°W-120°W (longitude).

### 2.3. Análise de dados

Com o objetivo de verificar a tendência temporal da série de captura de maparás e mandubés, utilizou-se o teste de Mann-Kendall ( $p < 0.05$ ), que foi executado no programa PAST<sup>®</sup> 4.02 (Hammer *et al.*, 2001).

Mapas descritivos para as capturas e esforço de pesca foram utilizados para visualizar os locais mais produtivos e de maior esforço pesqueiro, para todo o período estudado. Os mapas foram construídos no pacote *getData* do programa R versão 3.3.2 (R Core Team, 2016).

Para a análise da evolução espaço-temporal da captura e do esforço foram utilizadas ferramentas de geoestatística (Matheron, 1971).

O semivariograma experimental (baseado na amostra) foi usado na análise da dependência espacial da captura ( $t$ ) e do número de viagens aos locais de pesca (Christakos, 1984).

Os principais parâmetros da maioria dos modelos de semivariograma são o efeito pepita ( $C_0$ ), usado para modelar a descontinuidade na origem causada por erros de amostragens, erros de medida ou microregionalizações da variável analisada; o patamar ( $C$ ), que pode incluir o efeito pepita, também conhecido como *sill*, representa o nível de variabilidade do semivariograma até sua estabilização, quando a dependência espacial deixa de existir; o alcance,  $a$ , (ou amplitude variográfica) é a distância observada até o nível onde a variabilidade se estabiliza. Indica a distância em que as amostras estão correlacionadas espacialmente (Druck *et al.*, 2004; Yamamoto & Landim, 2013).

Em muitas situações dois ou mais modelos permissíveis devem ser combinados para ajustar a forma do semivariograma experimental. A série de dados pesqueiros apresentou extensões bastante longas e o semivariograma experimental ao longo das direções pôde revelar diversas escalas de variabilidade. Logo, a sucessão aninhada (*nested*) de escalas ( $S$ ) de variabilidade foi modelada por uma soma de semivariogramas (Druck *et al.*, 2004; Yamamoto & Landim, 2013).

As informações dos modelos semivariográficos ajustados foram utilizadas na krigagem para o cálculo das estimativas dos valores da variável em localizações não amostradas. Ao contrário dos estimadores lineares mais tradicionais, a krigagem utiliza um sistema de pesos ( $\lambda_\alpha$ ) que considera um modelo de correlação espacial específico à variável, dado pelo modelo semivariográfico, na área de estudo. Deste modo, a krigagem fornece não somente uma estimativa de mínimos quadrados da variável em estudo, mas também o erro de variância associado (Druck *et al.*, 2004; Yamamoto & Landim, 2013). As análises geoestatísticas foram realizadas no programa R, com auxílio das bibliotecas *geoR* e *gstat*.



Parâmetros estimados dos modelos globais GR (*Global Regressin*) (Fotheringham *et al.*, 1997) e locais GWR (*Geographically Weighted Regression*) (Brunsdon *et al.*, 1996) foram mapeados de forma que a heterogeneidade espacial dos modelos pudesse ser explorada e os resultados pudessem ser mais bem avaliados. Mapas das estimativas locais do  $R^2$ , e das estimativas locais com respectivas significâncias do número de viagens aos locais de pesca (X1), distância das sedes dos municípios aos locais de pesca (X2), nível médio do rio (X3) e Niño 3+4 (X4), foram obtidos para os modelos GWR em períodos de águas altas (LoweMcconnell, 1975; Junk *et al.*, 1989), já que estas pescarias são específicas para este período (Lewis *et al.*, 2000; Isaac *et al.*, 1996). As análises foram conduzidas com auxílio de funções disponibilizadas na *biblioteca Gwmodel* do programa R.

Desta forma, a GR foi utilizada para a identificação de relações entre a captura (t) com o número de viagens aos locais de pesca, distância das sedes dos municípios aos locais de pesca, nível médio do rio e o Niño 3+4, que descreve uma família de modelos de regressão em que os coeficientes podem variar espacialmente (Fotheringham *et al.*, 1997). Estes modelos quantificam a força das relações entre as variáveis considerando suas localizações.

Por meio do GWR as relações foram testadas e ponderadas espacialmente, adicionando mais informações às análises e permitindo determinar se as tendências observadas são globais ou locais (Brunsdon *et al.*, 1996). Um modelo de regressão foi ajustado a todos os dados contidos em cada uma das regiões identificadas em torno de um ponto de regressão, com pontos de dados mais próximos do ponto de amostragem tendo maior peso em relação aos pontos mais distantes. As estimativas locais resultantes foram mapeadas nos locais dos pontos de regressão para visualizar possíveis variações nas relações entre as variáveis (Fotheringham *et al.*, 2002).

A multicolinearidade (Belsley *et al.*, 1980) nos modelos GWR foi investigada por meio da correlação local entre pares de variáveis independentes e fatores de inflação de variância

local (*local variantes inflation factors* - VIFs) para cada variável independente. Valores de VIF maior do que 10 foram considerados indicativos de multicolinearidade (Wheeler & Tiefelsdorf, 2005; Wheeler, 2007).

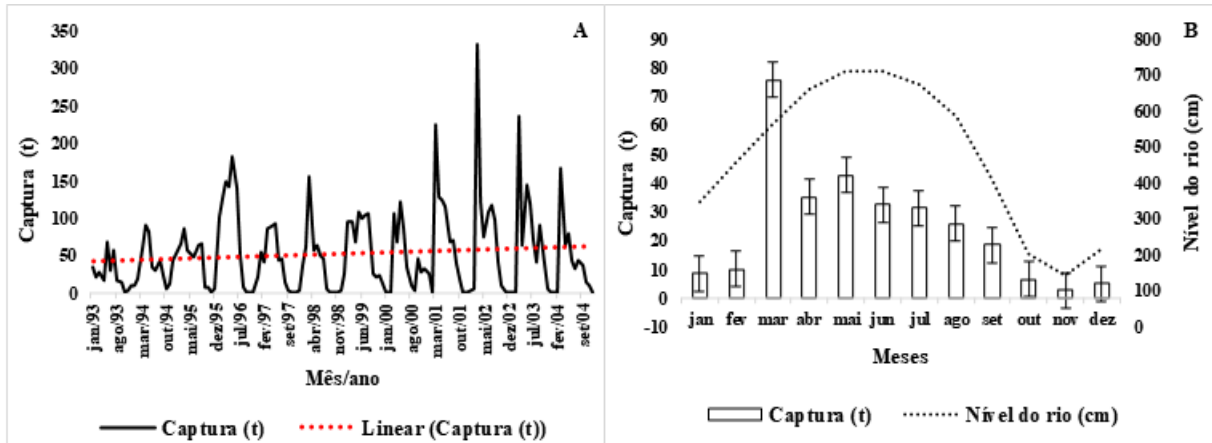
Então, o GWR realizou uma regressão de mínimos quadrados local para cada célula de entrada em uma malha contínua. Cada regressão foi calculada com base nos dados de cada célula e sua vizinhança, definida arbitrariamente. Dentro dessa vizinhança, os dados das células vizinhas terão um peso menor quanto mais longe estiverem da célula de origem. Os pesos são atribuídos com base em um *kernel* definido arbitrariamente. Com isso, na saída da análise cada célula apresentou um coeficiente. Coeficientes com valores positivos indicam uma relação positiva entre as variáveis (resposta e explicativa), enquanto valores negativos indicam uma relação negativa. Um valor igual a zero indica nenhuma relação.

Mapas com as significâncias de cada coeficiente estimado também foram produzidos (Fotheringham *et al.*, 2002). O *Índice de Moran* global foi utilizado para avaliar se os resíduos da regressão global apresentavam correlação espacial. Já que, a presença de autocorrelação espacial nos resíduos pode refletir uma menor qualidade no ajuste do modelo de regressão global. Isto foi realizado a partir da média de valores em torno de cada observação em sua localização. Ou seja, se o valor da observação é alto (ou baixo) e a média dos valores vizinhos a ela também for alto (ou baixo), considera-se que existe uma associação positiva; caso contrário a associação é negativa, indicando zonas de transição. Valores *I* de Moran muito baixos vão indicar ausência de autocorrelação (ou correlação, no caso de duas variáveis) espacial (Câmara & Monteiro, 2004; Druck *et al.*, 2004; Anselin *et al.*, 2007).

### **3. Resultados**

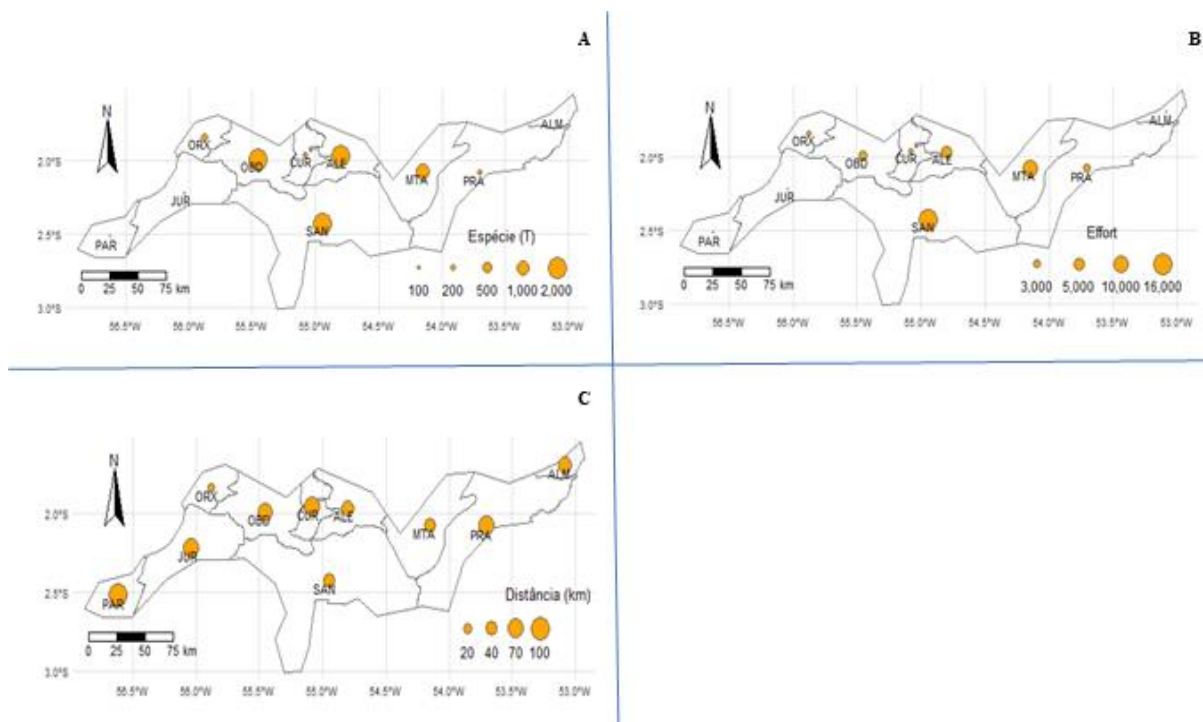
A pesca no Baixo Amazonas ocorreu dentro dos municípios de Parintins (PAR), Oriximá (ORX), Alenquer (ALE), Óbidos (OBD), Santarém (SAN), Monte Alegre (MTA), Prainha (PRA) e Almeirim (ALM) (Figura 1). Nos municípios de Juruti (JUS) e Curuá (CUR) não houve desembarques no período considerado.

A produção apresenta forte sazonalidade anual com picos no período de águas altas (Figura 2A). Um aumento na produção pesqueira foi observado graficamente no mês de março, para os anos entre 2001 e 2003 (Figura 2A). A série temporal das capturas (t) apresentou tendência de aumento, estatisticamente não significativo ( $S=238$ ;  $p>0,6823$ ). Na escala anual, os maiores rendimentos foram nos meses de março, abril e maio (Figura 2B).



**Figura 2.** (A) Série das capturas (t) de mandubés e maparás, (B) Regime mensal de pesca para os mandubés e maparás - Baixo Amazonas 1993 a 2004. A linha em vermelho na figura representa a tendência.

Os municípios de Óbidos, Santarém e Alenquer apresentaram os maiores volumes de capturas (t) (Figura 3A). O esforço foi mais intenso nos municípios de Santarém e Monte Alegre (Figura 4C). Os municípios mais distantes dos locais de desembarque como Parintins, Curuá, Prainha, Juruti, Óbidos e Almeirim, foram menos produtivos (Figuras 3A e 3C).



**Figura 3.** Bubble maps por municípios para a (A) capturas (t) em todo o período, (B) número de viagens aos locais de pesca e (C) médias das distancias (km) entre o local de captura e o local de desembarque - Baixo Amazonas 1993 a 2004.

### Modelagem do semivariograma

Duas estruturas de variabilidade espaciais ( $b_1$  e  $b_2$ ) foram identificadas para as capturas em duas escalas indicadas pelos alcances  $a_1$  (0,40 graus decimais) e  $a_2$  (1,20 graus decimais), aproximados para 45 km e 130 km, respectivamente. Para o esforço uma escala local menor (distâncias de 0,30 graus decimais, em torno de 33 km) em relação às capturas foi observada (Tabela 1).

**Tabela 1.** Parâmetros ajustados para os semivariogramas das capturas e esforço de pesca – Baixo Amazonas 1993 a 2004. Efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $b_1$  e  $b_2$ ) e Alcance ( $a_1$  e  $a_2$ ).

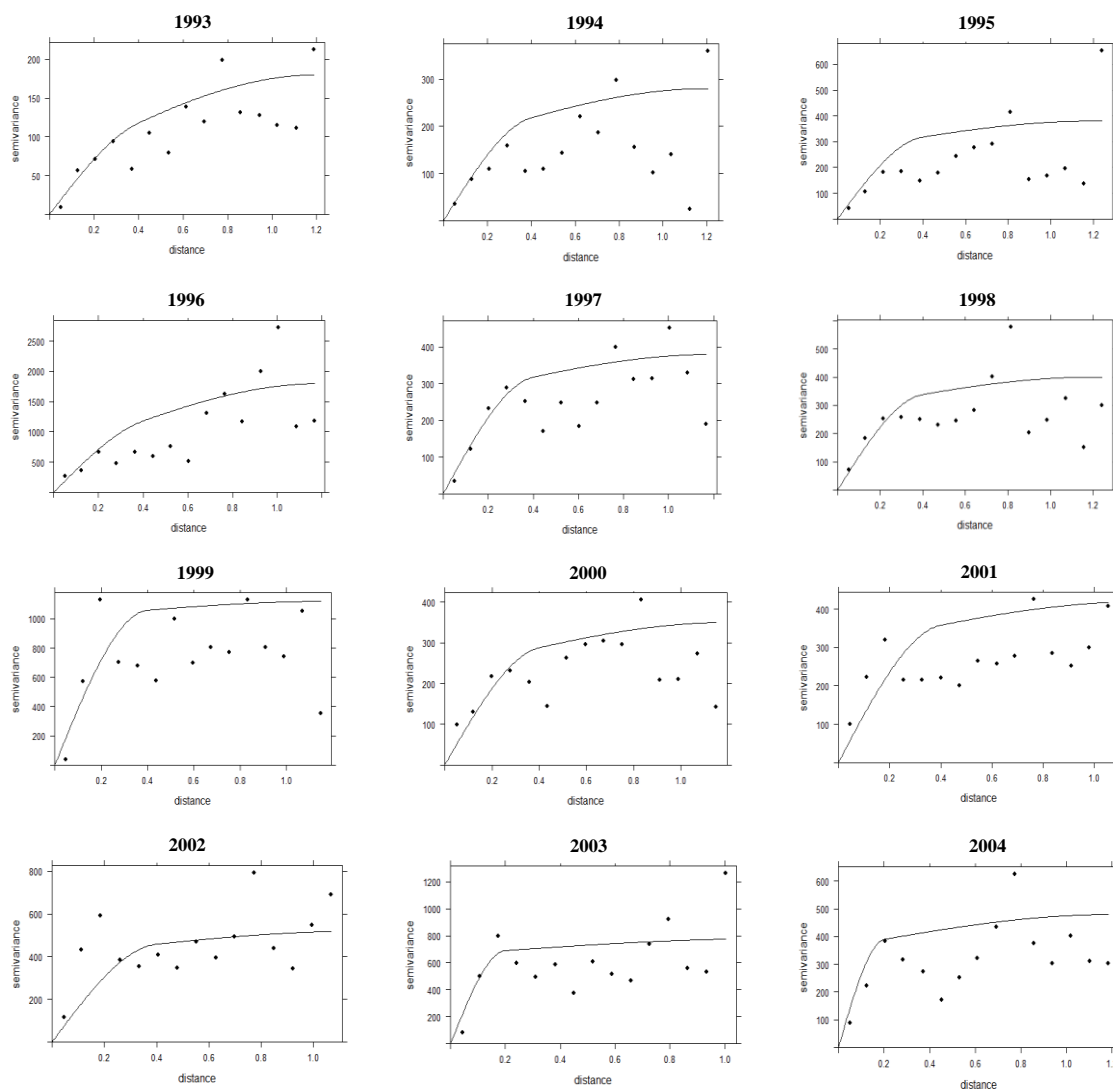
ANO	CAPTURA					ESFORÇO				
	$C_0$	$b_1$	$a_1$	$b_2$	$a_2$	$C_0$	$b_1$	$a_2$	$b_2$	$a_2$
1993	0	60	0.40	120	1.20	0	2400	0.35	1200	1.20
1994	0	160	0.40	120	1.20	0	2800	0.30	2500	1.20
1995	0	260	0.40	120	1.20	0	3000	0.30	2000	1.20
1996	0	600	0.40	1200	1.20	0	1000	0.30	500	1.20
1997	0	260	0.40	120	1.20	0	1000	0.30	900	1.20
1998	0	280	0.40	120	1.20	0	1000	0.30	1000	1.20
1999	0	1000	0.40	120	1.20	0	1500	0.30	1000	1.20
2000	0	230	0.40	120	1.20	0	2000	0.30	1500	1.20
2001	0	300	0.40	120	1.20	0	2000	0.30	1700	1.20
2002	0	400	0.40	120	1.20	0	2000	0.30	600	1.20

Segundo os semivariogramas (Tabela 2), observa-se que as capturas em locais de pesca com distâncias acima de 45 até 130 km apresentaram um aumento gradativo até o ano de 1996, em seguida, houve uma tendência de diminuição. As capturas para distâncias menores de que 45 km tiveram um aumento significativo a partir do ano de 2001.

**Tabela 2.** Capturas (t) segundo os alcances – Baixo Amazonas/1993 a 2004.

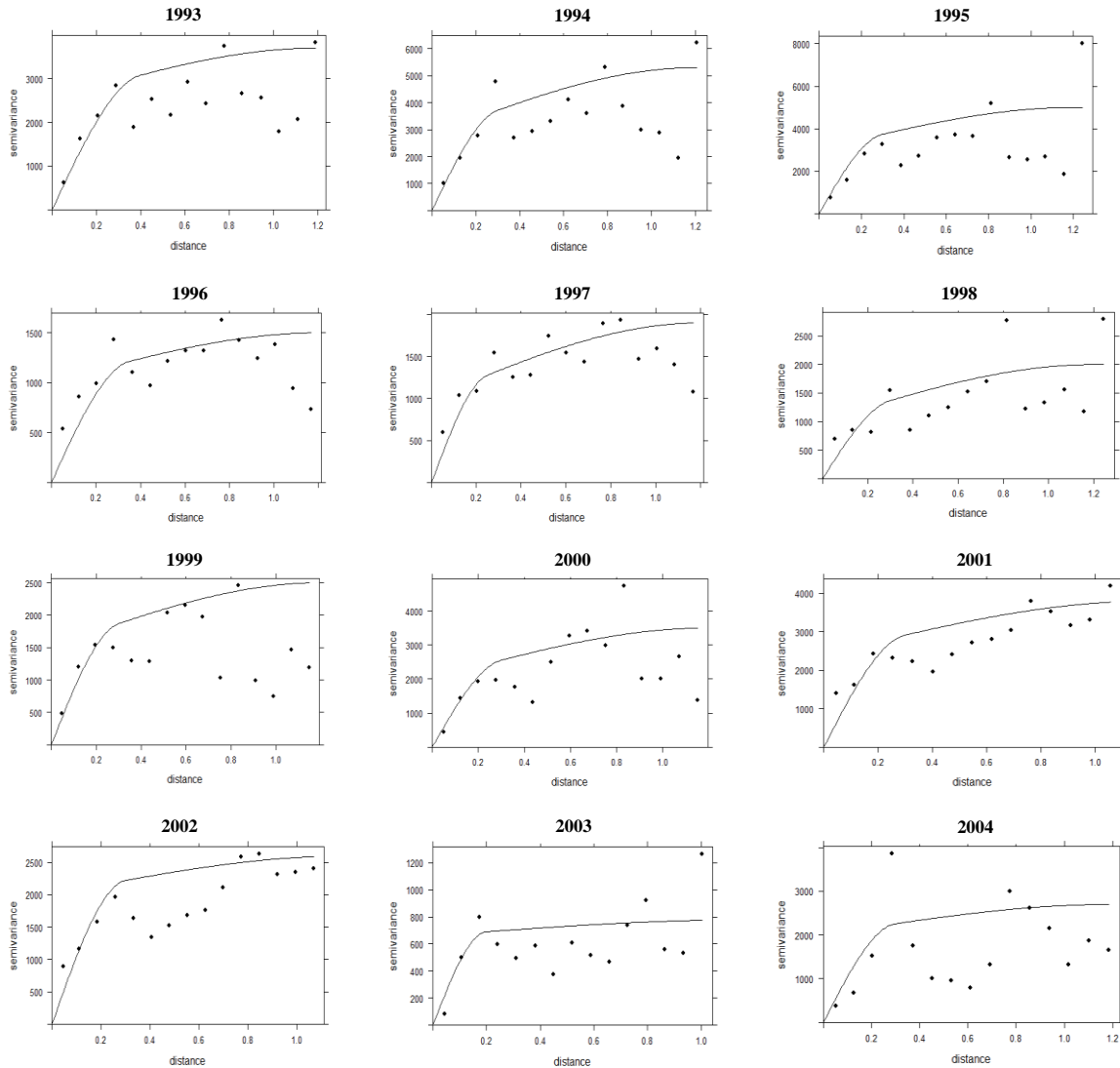
Distância (km)	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
d<45	38,8	149,8	82,5	54,9	23,0	29,5	110,4	30,2	385,0	333,2	319,6	216,8
45<d<130	216,9	262,5	377,2	745,2	430,7	372,1	577,2	449,9	392,8	499,02	443,7	242,2
d>130	41,9	38,5	49,5	120,1	20,7	77,3	91,3	52,4	40,8	78,0	47,4	31,5

Os semivariogramas esféricos aninhados (anuais) dos modelos ajustados para as capturas, mostram curvas com formato característico de dependência espacial, na qual existe um ponto onde as semivariâncias se estabilizam (patamar) (Figura 4).



**Figura 4.** Modelos de semivariogramas ajustados aos dados das capturas (t) dos mandubés e mapará – Baixo Amazonas/1993 a 2004.

Os semivariogramas esféricos aninhados (anuais) dos modelos ajustados para o esforço, também mostram curvas com formato característico de dependência espacial, na qual existe um ponto onde as semivariâncias se estabilizam (patamar) (Figura 5).

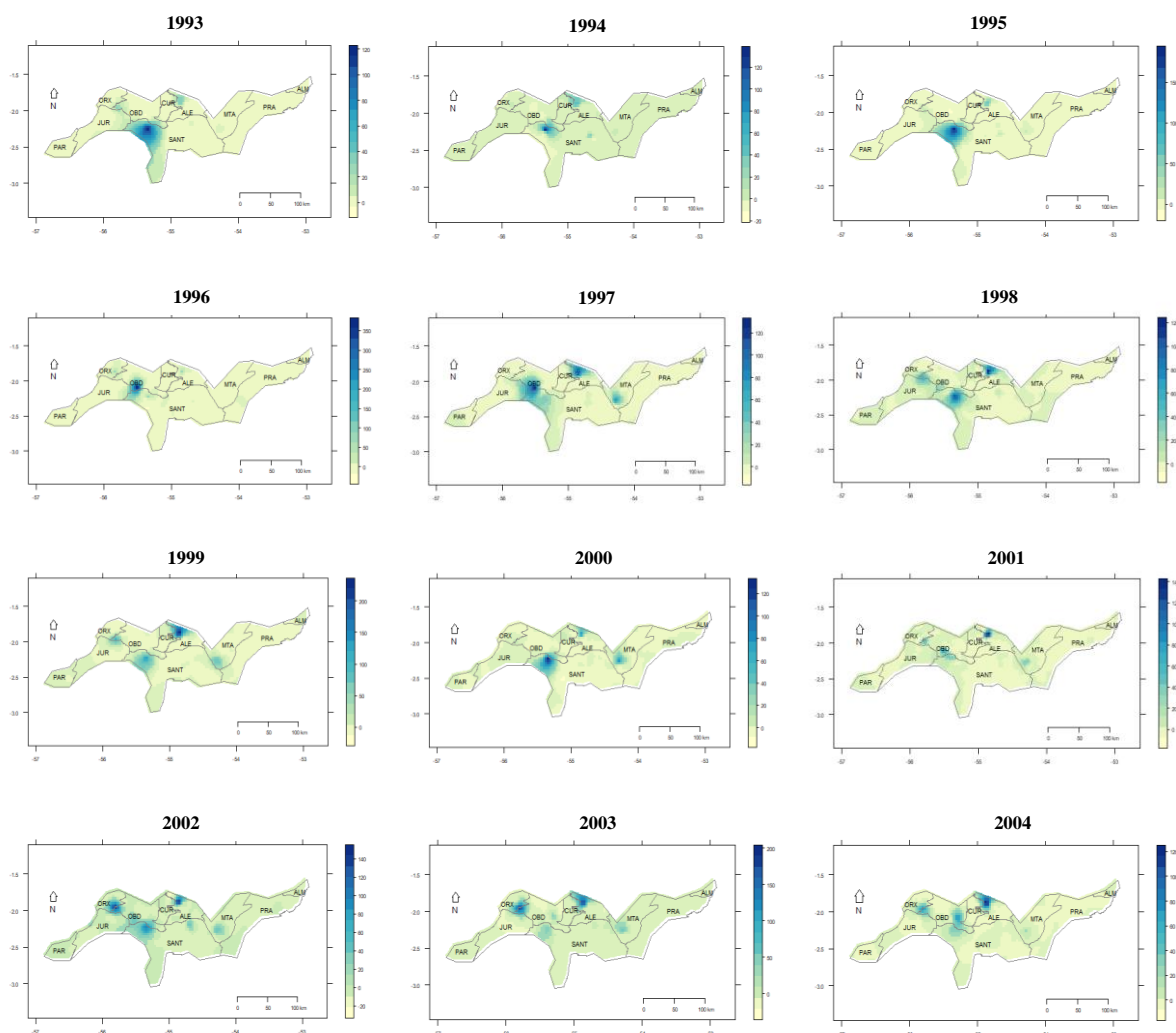


**Figura 5.** Modelos de semivariogramas ajustados aos dados do esforço de pesca (número de viagens aos locais de pesca) dos mandubés e mapará – Baixo Amazonas/1993 a 2004.

**Estimativa espacial**

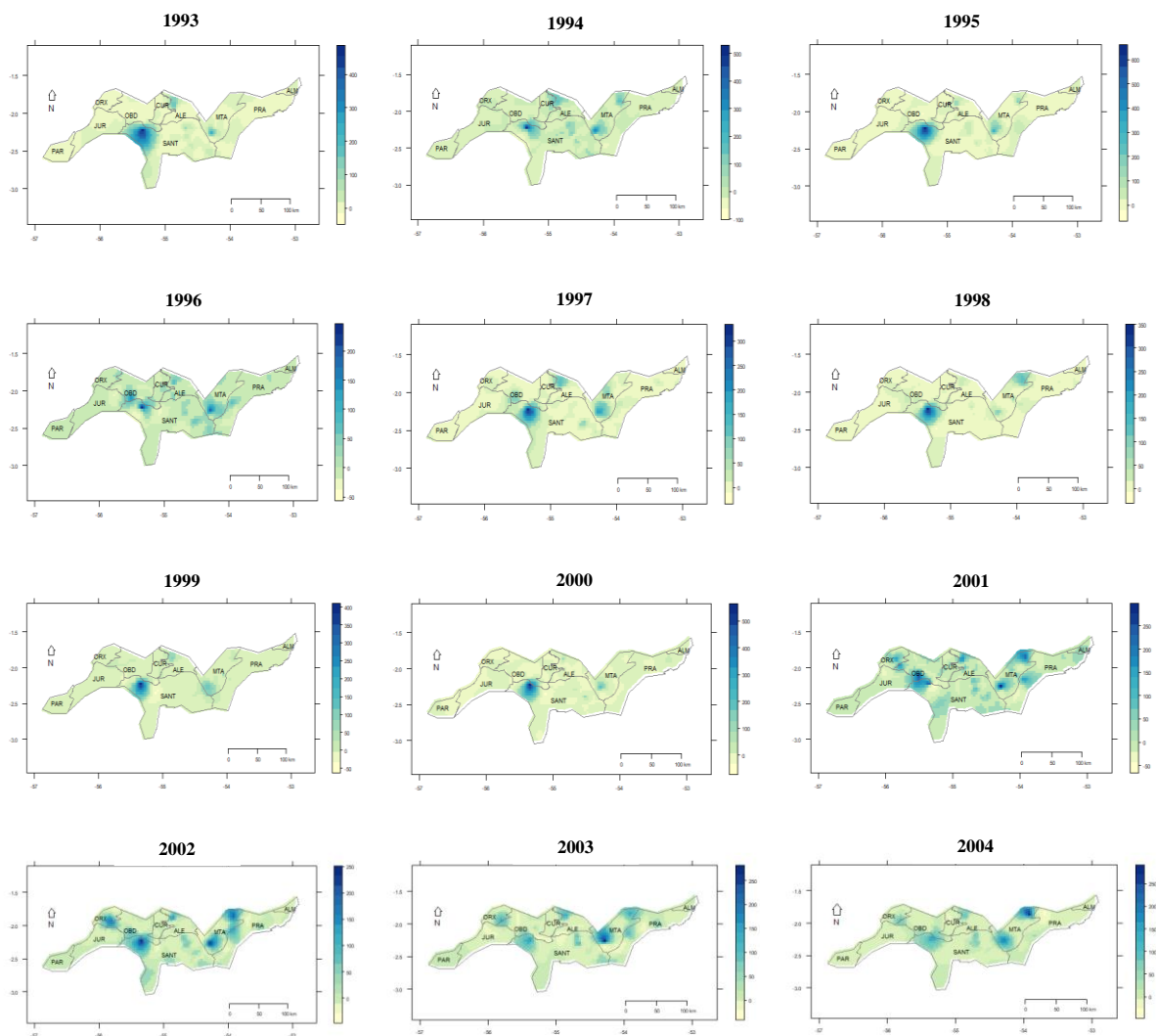
Os volumes capturados de mapará e mandubés foram maiores nos municípios de Santarém e Curuá (1993); Santarém e Alenquer (1994 e 1995); Óbidos (1996); Óbidos, Curuá e Monte Alegre (1997); Santarém, Alenquer e Oriximiná (1998); Óbidos, Santarém, Alenquer e Monte Alegre (1999); Santarém, Alenquer e Monte Alegre (2000); Óbidos, Alenquer e Monte Alegre (2001); Oriximiná, Óbidos, Santarém, Alenquer e Monte Alegre (2002 e 2003) e Oriximiná,

Óbidos, Santarém e Alenquer (2004). Uma oscilação da intensidade das capturas (ora mais intensas, ora menos intensas) foi observada entre Santarém e Alenquer em todo o período estudado. Há um padrão de maiores capturas nos pesqueiros mais próximos aos locais de desembarque, principalmente nos anos de 2002 e 2003 (Figura 6).



**Figura 6.** Capturas (t) de mandubés e maparás preditas por krigagem – Baixo Amazonas/1993 a 2004.

Santarém foi o município sempre frequentado em todos os anos pelas embarcações (Figura 7). Nos anos de 2001 e 2002 a maioria dos municípios foi frequentada pelas embarcações, a exceção de Parintins e Juruti em 2001 e Parintins, Juruti e Almeirim em 2002. Nos anos de 2003 e 2004 a frequência de viagens diminuiu para Santarém e aumentou para Monte Alegre. Nem sempre os locais mais frequentados foram os mais produtivos, a exemplo do ano de 2001 (Figuras 6 e 7).



**Figura 7.** Número de viagens aos locais de pesca para as capturas de mandubés e maparás, previstas por krigagem – Baixo Amazonas/1993 a 2004.

#### **Modelos de regressão global (GR) e local (GWR) para o período de águas altas**

O número de viagens e a distância aos pontos de pesca foram positivamente correlacionados com as capturas de mandubés e maparás ( $p < 0,10$ ) no modelo de regressão global. A distância foi positivamente correlacionada com a captura. O nível médio do rio e o Niño 3+4 não apresentaram evidências de correlação com as capturas (Tabela 3). O modelo explicou cerca 63% da variabilidade das capturas ( $R^2 = 0,63$ ). O teste VIF para cada variável independente ( $X_1 = 1,005$ ;  $X_2 = 1,006$ ;  $X_3 = 6,662$  e  $X_4 = 6,635$ ) indicou a ausência de multicolinearidade ( $VIFs < 10$ ).



**Tabela 3.** Coeficiente das estimativas para o modelo linear global das capturas, no período de águas altas ( $p < 0,10$ ) – Baixo Amazonas/1993.

	Estimativa	Erro-padrão	Valor t	Pr (>  t  )
Intercepto	-20,997	640,311437	-0,033	0,974
Número de viagens (X1)	0,454	0,017439	26,043	<b>0,001</b>
Distância (X2)	0,115	0,069764	1,654	<b>0,099</b>
Nível do rio (X3)	0,005	0,156293	0,034	0,973
Niño 3+4 (X4)	0,160	26,179909	0,006	0,995

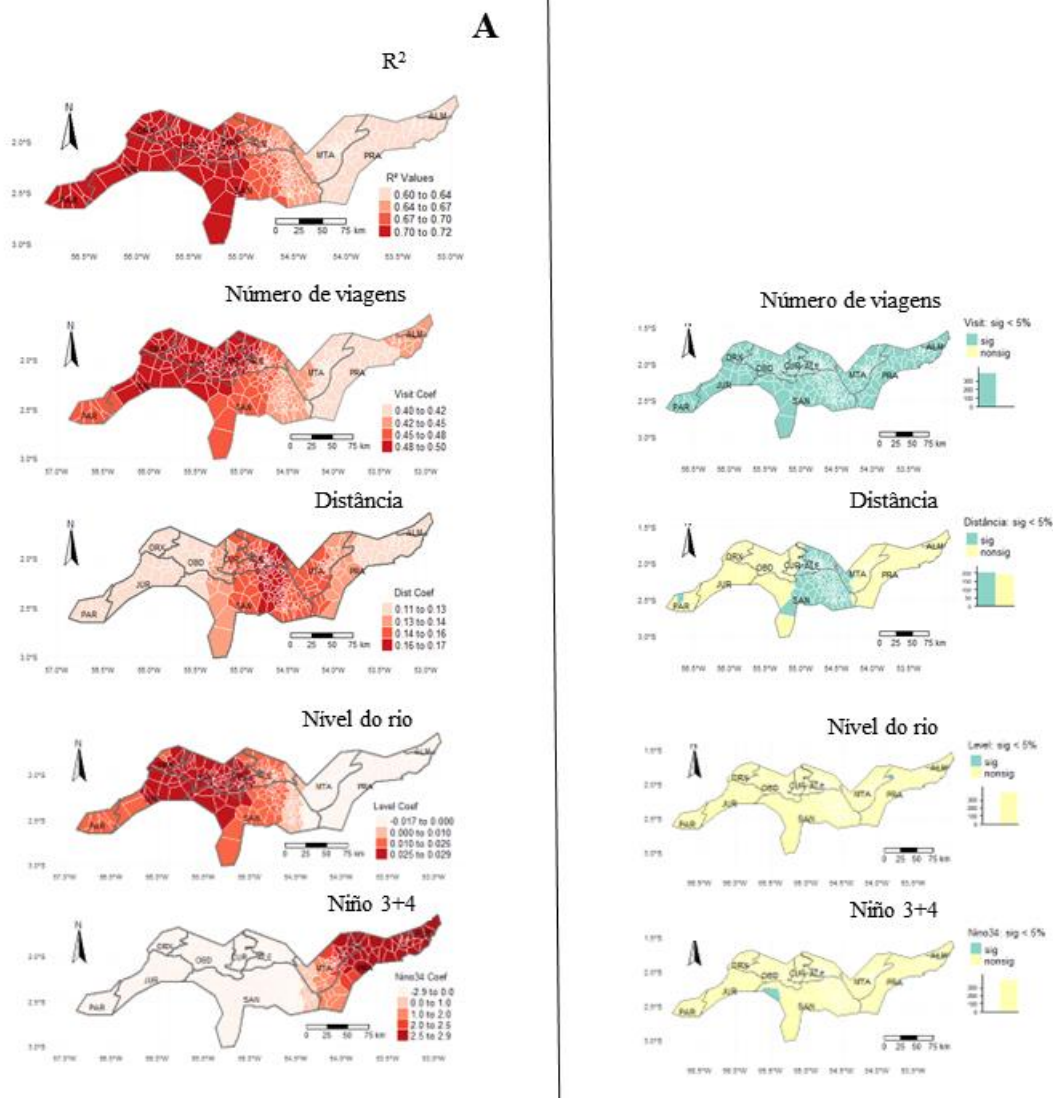
O teste  $I$  de Moran ( $I = 0,524$ ;  $p=0,300$ ), indicou que o modelo de regressão linear não detectou nenhum sinal de correlação espacial ou, na possibilidade de existir correlação espacial, essa não foi capturada pelo modelo.

As médias dos coeficientes no modelo de regressão local (GWR) foram iguais as médias dos coeficientes no modelo de regressão global (GR). O número de viagens e as distâncias apresentaram somente coeficientes locais positivos. O nível do rio e o índice de El Niño 3+4 apresentaram coeficientes locais negativos e positivos (Tabela 4). Cerca de 67% da variabilidade da captura é explicada pelo modelo ( $R^2=0,67$ ).

**Tabela 4.** Coeficiente das estimativas para o modelo GWR das capturas e posição dos dados no período de águas altas ( $p < 0,10$ ) – Baixo Amazonas/1993 a 2004.

	Mínimo	Quartil 1	Mediana	Quartil 3	Máximo	Global
Intercepto	-84,201	-33,210	27,573	41,558	49,426	-20,997
Número de viagens (X1)	0,409	0,423	0,457	0,482	0,491	<b>0,454</b>
Distância (X2)	0,115	0,131	0,147	0,161	0,169	<b>0,115</b>
Nível do rio (X3)	-0,117	-0,005	0,015	0,024	0,028	0,005
Niño 3+4 (X4)	-2,846	-2,510	-1,860	0,760	2,864	0,160

O GWR mostra que nas áreas dos municípios de Parintins, Juruti, Oriximiná, Óbidos, Santarém e grande parte de Curuá, o  $R^2$  foi acima de 70%, cujos locais mais ocidentais da área de estudo, mostram os maiores valores de  $R^2$  (Figura 8A). Na área mais a oeste as capturas foram mais bem correlacionadas (positivamente) com o número de viagens (em cada local de pesca). O mapa de significância do número de viagens aos locais de pesca, mostra que relações significativas em praticamente todos os locais de pesca, reforçando a relação positiva dessa variável com as capturas (Figura 8B). O mapa dos coeficientes das distâncias dos locais de pesca até os locais de desembarque mostra os pesqueiros localizados na parte mais central da área de estudo. Cujas áreas significativas, também, estão apontadas na área central da área de estudo (Figuras 8A-B). Os coeficientes do nível do rio mostra correlação com as capturas mais a oeste da área de estudos, enquanto o índice Niño 3+4 mostra-se correlacionado mais ao leste, ou seja, na distribuição espacial praticamente nenhum local de pesca apresentou significância no modelo (Figura 8B).



**Figura 8.** Mapas para o R<sup>2</sup> local, coeficientes das variáveis explicativas (número de viagens, distâncias (km), Nível do rio (cm) e Niño 3+4) e respectivos mapas das significâncias dos coeficientes das variáveis para o período de águas altas - Baixo Amazonas/1993 a 2004.

#### 4. Discussão

As pescarias de maparás e mandubés são social e ecologicamente importantes na Amazônia (Fischer, *et al.*, 1992; Pinaya *et al.*, 2018). Entender a dinâmica espacial e temporal das capturas e a variabilidade dos fatores que modelam a captura, pode ser uma tarefa difícil, dada a pouca disponibilidade de dados para as pescarias da região (Pinaya *et al.*, 2016). Neste estudo pudemos concluir que embora a tendência temporal das séries de captura tenha sido positiva, a situação parece ser de estabilidade, por não ter sido encontrada significância no teste correspondente. Isto é um bom indicador e pode representar que as pescarias não se encontram ainda ameaçadas diretamente ou em declínio, como poderia se pensar.

Contudo, é reconhecido um aumento do esforço pesqueiro das pescarias de pequena escala na Amazônia (Almudi & Sinclair, 2022) fato também observado neste estudo. Oscilações do esforço ao longo dos anos (maior ou menor intensidade), podem estar associadas às múltiplas atividades realizadas pelos pescadores, como a agricultura e a criação de pequenos animais, que em caso de safras mais fracas, completam a renda e reduzem a dependência à pesca (McGrath *et al.*, 2008; Huntington *et al.*, 2017). Os incentivos para a diversificação econômica dos pescadores de áreas ribeirinhas podem reduzir a pressão da pesca e diminuir os riscos associados à variabilidade interanual dos estoques pesqueiros (Hallwass *et al.* 2013; Kasperski & Holland, 2013).

A dinâmica longitudinal e lateral nos sistemas fluviais tem sido amplamente explicada por duas teorias ecológicas: o *continuum* fluvial (Vannote *et al.*, 1980) e o pulso de inundação (Junk *et al.*, 1989). Neste estudo, comprovou-se claramente, que o pulso hidrológico determina a sazonalidade das pescarias de mapará e mandubé, que por sua vez demonstram um período de safra nos meses de águas altas, sendo o mês de março o mais produtivo para a região (Isaac *et al.*, 1996; Pinaya *et al.*, 2018; Furtado *et al.*, submetido). O mapará é uma espécie pelágica e mandubé é demersal e é nesses ambientes que elas se alimentam. Com as cheias dos rios os nutrientes inorgânicos e materiais alóctones escoam para os lagos de várzea e áreas alagáveis, estimulando a produção de fitoplâncton e zooplâncton, o que favorece o mapará diretamente (Lewis *et al.*, 2000; Isaac *et al.*, 1996) e indiretamente o mandubé, pelo incentivo à produção secundária de outros organismos como crustáceos ou moluscos (Carvalho, 1980a; Alcantara Neto, 1994; Agostinho *et al.*, 2007). Além disso, estas espécies se reproduzem na cheia após a formação dos cardumes que entram nos menores canais dos rios, o que ocasiona sua concentração e favorece a safra. Ou seja, a época de águas altas é favorável para os dois grupos de espécies seja pelo aproveitamento das áreas, por favorecer a alimentação e crescimento dos juvenis e pré adultos (Carvalho *et al.*, 1980a; Oliveira *et al.*, 2023). Mesmo não tendo analisados os tamanhos dos espécimes das capturas, pode-se sugerir que tanto jovens como adultos fazem uso desse habitat já que, face à baixa seletividade da maioria das redes de emalhe utilizadas, é provável que indivíduos de diferentes faixas etárias sejam capturados nas pescarias (Hallwass *et al.*, 2023).

Os municípios com maiores volumes de capturas, foram: Óbidos, Santarém e Alenquer. Isto indica que nestes locais possíveis fatores ambientais (como o tipo de fundo, área alagada ou da existência de microambientes) ou facilidade de acesso (traduzido nos custos das pescarias) possam moldar o esforço empregado em determinadas áreas (Pereira *et al.*, 2023; Barros *et al.*,

2020). Uma vez que a maior parte da frota pertence à cidade de Santarém, se justifica a importância dos pesqueiros localizados neste município e que podem ser acessíveis a frota de menor autonomia. Além disso, as empresas com frigoríficos de pescado existentes em Santarém e em Óbidos à época, favoreciam a escolha dos locais de captura entre esses dos municípios, o que inclui Alenquer que está localizado entre os dois.

Locais mais próximos dos centros urbanos, foram sempre mais visitados pelas embarcações, o que possivelmente é regulado por questões mais econômicas e podem convergir em modificações ambientais em médio prazo (Petrere, 1986; Isaac *et al.* 2004; Batista *et al.*, 2007; Keppeler *et al.*, 2020), o que já vem acontecendo por conta da atividade de garimpo na região (Nascimento *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2023). Provavelmente, mudanças espaciais nas práticas de pesca de maparás e mandubés podem também ser cíclicas respondendo a fatores macro ou micro-econômicos dos mercados abastecedores (Cruz *et al.*, 2017; Keppeler *et al.* 2020).

Apesar de não termos comprovado um impacto forte de eventos climáticos extremos na escolha dos locais de pesca escolhidos pelos pescadores, as informações disponíveis sugerem que certas características ecológicas das espécies de peixes facilitam ou dificultam a sua captura sob determinadas condições hidrológicas (Ropke *et al.*, 2017; Freitas *et al.*, 2018). Por exemplo, uma seca intensa em um lago na Amazônia Central leva a declínios na abundância de grupos de espécies com história de vida de equilíbrio (caracterizada por baixa fecundidade e cuidado parental) e estrategistas de história de vida periódica (caracterizada por alta fecundidade e nenhum cuidado parental) (Ropke *et al.*, 2017).

Os dados das capturas e o número de viagens aos locais de pesca apresentaram dependência espacial, para todos os anos. Ao mesmo tempo, a distribuição espacial das capturas e dos locais de pesca escolhidos mostra alterações ao longo dos anos. Logo, locais que eram bem produtivos em 1993 (início do período) tornaram-se menos produtivos em 2004 (fim do período), a exemplo de Santarém que teve a produção pesqueira reduzida nos anos de 2003 e 2004. Da mesma forma, os locais que antes eram pouco frequentados pelas embarcações passaram a ser mais produtivos em determinados anos, a exemplo de Monte Alegre, nos anos de 2003 e 2004.

Os modelos espaciais globais e locais para as espécies em período de águas altas mostraram que os rendimentos pesqueiros para os maparás e mandubés foram explicados pelo número de viagens aos locais de pesca (esforço) e pela distância entre os pesqueiros e local de desembarque, mostrando uma correlação positiva destas variáveis com as capturas. Isto significa dizer que lugares mais distantes são mais visitados pela frota pois também são os que geram melhores capturas (Petrere Jr., 1986; Isaac *et al.*, 2004; Isaac; Ruffino, 2007). Os locais

mais significativos foram os localizados nos municípios de Alenquer, Santarém e Monte Alegre, o que pode estar relacionado com o maior número de registros nesses municípios.

Os resultados deste estudo indicam claramente que os locais mais produtivos não se localizam nas proximidades da cidade de Santarém, maior porto pesqueiro da região e que a frota vem preferindo se concentrar em locais nas proximidades da cidade de Óbidos, Alenquer, Curuá, ou mesmo Monte Alegre. Isto indica que, de alguma forma, a região mais próxima da cidade de Santarém seria reservada à uma frota de menor porte, com menor autonomia e por sua vez menos produtiva, ou mesmo pode indicar o esgotamento dos pesqueiros já bastante explorados historicamente. A cidade de Santarém representa o maior centro urbano da região e, portanto, também o maior mercado consumidor de pescado. Isto leva a pensar que pesqueiros já muito explorados por esta frota possam estar tendo menores níveis de produtividade do que antigamente (Petrere Jr., 1986; Isaac *et al.*, 2004; Isaac & Ruffino, 2007). Também é sabido que esta região apresenta grandes níveis de desmatamento e degradação ambiental, pela presença de gado, culturas agrícolas extensivas e pelo próprio desenvolvimento urbano desordenado, o que obviamente pode também afetar negativamente os ambientes utilizados pela ictiofauna (Renó *et al.*, 2018; Azevêdo *et al.*, 2018; Pinaya *et al.*, 2018).

Os mandubés e maparás são consideradas espécies migradoras (Carvalho, 1980a; Barthem & Goulding, 1997; Barthem & Fabré, 2004) assim,   esperado também que varia es da produtividade pesqueira sejam condicionadas a fatores tanto globais, como locais. Neste trabalho não foi possível correlacionar as capturas ao nível do rio e aos eventos extremos globais como El Niño. Talvez, uma série com uma maior quantidade de anos amostrados possa demonstrar estas rela es no futuro, uma vez que o efeito dos fen menos climáticos e hidrológicos sobre a biota e sobre a pesca requer longas séries de dados (Mérona, 1995), mas sabe-se que estas variáveis impactam a pesca de maneira geral e, em particular, na Amazonia (Pinaya *et al.*, 2018; Furtado *et al.*, submetido). Portanto, considera-se que o fato de algumas variáveis aqui utilizadas não explicarem as capturas, não significa que essas variáveis não sejam relevantes para determinar a produtividade pesqueira.

Provavelmente, também outras variáveis necessitem ser testadas para este tipo de modelo. O comportamento dos pescadores e variáveis econ micas e sociais (como custos das opera es de pesca, indicadores de pobreza e desenvolvimento humano etc.) podem afetar diretamente a produtividade, o desempenho da pesca e o sucesso da gestão pesqueira (Aswani, 1998; Salas & Gaertner, 2004; Fulton *et al.*, 2011).

A continuidade dos trabalhos, a partir de um sistema de monitoramento contínuo da pesca, pode ajudar a melhor definir a interação destes e outros fatores sobre as capturas no futuro, sendo que para tal é necessário o reestabelecimento urgente do sistema de estatística pesqueira para a região.

Considera-se, contudo, que este estudo contribuiu para uma melhor compreensão da importância relativa dos fatores que influenciam os resultados da produção de pescarias de pequena escala (Lynch *et al.*, 2017; Fluet-Chouinard *et al.*, 2018), destacando que locais mais distantes do principal porto da região se mostram mais produtivos à época do estudo, o que pode servir como subsídio para um plano de manejo e conservação de ambientes pesqueiros, ou, quem sabe, para regulamentações ou acordos de pesca regionais.

Assim, este estudo caracterizou-se como uma primeira abordagem de análises que conduzam a um entendimento das variações espaço-temporais da pesca na Amazônia, considerada uma área de grande diversidade ictica. Os trabalhos sobre a pesca na região precisam ser ampliados e replicados, uma vez que indicativos de sobrepesca têm sido constatados repetidamente nos estudos recentes de avaliação de estoques pesqueiros comercialmente importantes, especialmente de espécies migradoras (Prestes *et al.*, 2022; Hallwass *et al.*, 2023).

## **5. Conclusões**

- A pesca dos maparás e mandubés é uma pescaria sazonal do período de águas altas, com pico de produção em março.
- Os volumes de produção se mantêm estáveis ao longo dos anos.
- Os locais de captura de maparás e mandubés sofreram alteração ao longo do tempo, isto é, locais que eram bem produtivos no início do período estudado tornaram-se menos produtivos ao final do período.
- O número de viagens aos locais de pesca e a distância dos pesqueiros aos portos de desembarques foram as variáveis que melhor definiram a variabilidade das capturas.
- Locais mais próximos dos municípios dos portos de desembarque resultaram menos produtivos em todo o período.

## **Agradecimentos e informações sobre financiamento**

Não houve financiamento específico, porém, agradecemos ao Projeto Recursos Naturais da Várzea, ao projeto “Gestão dos Recursos Pesqueiros do Médio Amazonas: Pará e Amazonas” e ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, por disponibilizar os dados. Agradecemos também ao Mateus Trindade Barbosa (Curso de

Engenharia Cartográfica e Agrimensura da Universidade Federal Rural da Amazônia [UFRA]) pela Figura 1.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Waters (ANA). HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. ([www.hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb](http://www.hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb)). Accessed on 20/02/2021.

Agostinho, A.A., Gomes, L.C. & Pelicice, F.M. (2007) Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil. Maringá: Eduem, 501p.:il.

Alcântara Neto, C.P. (1994) Ecologia da pesca dos maparás, *Hypophthalmus* spp. (Siluriformes, Hypophthalmidae), no lago Grande de Monte Alegre, Baixo Amazonas, Pará. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, Pará, 141p.

Almeida, O. T., McGrath, D. G. & Ruffino, M.L. (2001) The commercial fisheries of the lower Amazon: an economic analysis. *Fishery Management and Ecology*, 8, 253-269.

Almeida, O. T., Lorenzen, K. & McGrath, D.G. (2004) Commercial fishing sector in the regional economy of the Brazilian Amazon. In: Welcomme, R.; Petr, T. (Org.). *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries* Bangkok: FAO-Regional Office for Asia and the Pacific/RAP Publication, 2, 15-24.

Almudi, T. & Sinclair, A.J. (2022) Community-level responses to extreme flooding: the case of Brazilian Amazon ribeirinhos. *Climate and Development*, 14(9), 781-793.

Angelini, R., Fabré, N.N. & da Silva-Jr., U.L. (2006) Trophic analysis and fishing simulation of the biggest Amazonian catfish. *African Journal of Agricultural Research*, 1, 151-158.

Anselin, L., Sridharan, S. & Gholston, S. (2007) Using exploratory spatial data analysis to leverage social indicator databases: the discovery of interesting patterns. *Social Indicators Research*, 82(2) [s. 1.], 287-309.

Aswani, S. (1998) Patterns of marine Harvest effort in southwestern New Georgia, Solomon Islands: resource management or optimal foraging? *OceanCoast. Manage*, 40, 207–235. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(98\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(98)00047-7)

Aviz, A. (2006) A pesca artesanal e a empresa pesqueira no município de Óbidos, Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, 1(2), 77-94.

Azevêdo, A.S. de C. & Vieira, T.A. (2018) Análise dos crimes ambientais registrados nas regiões do Baixo Amazonas e Tapajós, Pará, no período de 2012 a 2015. *Desenvolv. Meio Ambiente*, 46, 254-275. doi: 10.5380/dma.v46i0.54483.

Barlow, J., França, F., Gardner, T.A., Hicks, C.C., Lennox, G.D., Barenguer, E., Castello, L., Economo, E.P., Ferreira, J., Guénard, B., Leal, C.G., Isaac, V., Lees, A.C., Parr, C.L., Wilson, S.K., Young, P.J. & Graham, N.A.J. (2018) The future of hyperdiverse tropical ecosystems. *Nature*, 559, 517–526. doi:10.1038/s41586-018-0301-1

Barros, D.F., Petrere Jr., M., Lecours, V., Butturi-Gomes, D., Castello, L. & Isaac, V.J. (2020) Effects of deforestation and other environmental variables on floodplain fish catch in the Amazon. *Fisheries Research*, n230.

Batista, V.S., Inhamuns, A.J., Freitas, C.E.C. & Freire-Brasil, D. (1998) Characterization of the fishery in river communities in the low-Solimões/high-Amazon region. *Fish. Manage. Ecol.*, 5, 419-435

Batista, V.S., Isaac, V.J. & Viana, J.P. (2004) Exploração e manejo dos recursos pesqueiros da Amazônia. In: Ruffino, M.L. (ed.) *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazonia brasileira*. Manaus: Edições ProVarzea/Ibama, 63-152.

Batista, V.S. & Petrere Júnior, M. (2007) Spatial and temporal distribution of fishing resources exploited by the Manaus fishing fleet, Amazonas, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 67, 651-656.



- Batista, V.S., Isaac, V.J., Fabré, N.N., Almeida, O.T., Alonso, J.C., Ruffino, M.L. & Silva, C.O. (2012a) O estado da pesca na Amazônia In: Batista, V.S. Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avalia o integrada. Brasília: Edi es Ibama/Provárzea, 13–30.
- Batista, V.S. et al. (2012b) A produ o desembarcada por espécie e sua varia o por macrorregião Amazônica. In: Silva, V.; Batista. S. (Ed.). Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avalia o integrada. Brasília, DF. Ibama/ProVárzea
- Batista, V., Alonso, J. C., Ladle, R. J. & Fabré, N.N. (2018) Drivers of the upper River Amazon giant catfish fishery. *Fisheries Management and Ecology*, 1–11. doi: 10.1111/fme.12270
- Barthem, R. & Goulding, M. (1997) The catfish connection. Ecology, migration and conservation of Amazon predators, New York: Columbia University Press
- Barthem, R.B. (2000) Situa o do manejo das pescarias dos grandes bagres amazônicos do Brasil. In: Informe del Taller Regional sobre Manejo de las Pesquer as de Bagres Migratorios del Amazonas. Programa de Cooperación Gubernamental FAO/Noruega. GCP/ INT/648/NOR. Informe de Campo F-5, 33-56.
- Barthem, R.B. & Fabré, N.N. (2004) Biologia e diversidade dos recursos pesqueiros da Amazônia. In: Ruffino, M. L. A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira. Manaus: Ibama/ProVárzea, 17-51.
- Barthem, R.B. & Goulding, M. (2007) An unexpected ecosystem: the Amazon revealed by the sheries. Gr ca Biblos, Lima. Botanical Garden Press. Missouri, 241p.
- Belsley, D.A., Kuh, E. & Welsch, R.E. (1980) Regression Diagnostics: Identifying Influential Data and Sources of Collinearity. Published by John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 320p
- Brunsdon, C., Fotheringham, A.S., Charlton, M. (1996) Geographically Weighted Regression: A Method for Exploring Spatial Nonstationarity. *Geographical Analysis*, 28(4), 281-298.

Câmara, G. & Monteiro, A.M.V. (2004) Conceitos básicos em ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 346 p.

Cardoso, R.S. & Freitas, C.E.C. (2007) Desembarque e esforço de pesca da frota pesqueira comercial de Manicoré (Médio Rio Madeira), Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 37(4), 605-612. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672007000400016>.

Carvalho, F.M. (1980a) Alimentação de Mapará (*Hypophthalmus edentatus* Spix 1829) do Lago Castanho, Amazonas (Siluriformes, Hypophthalmidae). *Acta Amazonica*, 10(3), 545-555.

Carvalho, F. M. (1980b) Composição química e reprodução (*Hypophthalmus edentatus*, Spix 1829) do Lago Castanho, Amazonas (Siluriformes, Hypophthalmidae). *Acta Amazonica*, 10(2), 379-389.

Castello, L., Isaac, V.J. & Thapa, R. (2015) Flood pulse effects on multispecies fishery yields in the Lower Amazon. *R. Soc. Open Sci.*, 2(150299).

Castello, L. & Macedo, M.N. (2016) Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Global Change Biol.*, 22, 990–1007.

Christakos, G. (1984) On the Problem of Permissible Covariance and Variogram Models. *Water Resources Research*, 20(2), 251-265.

Cruz, R.E.A., Isaac, V.J. & Paes, E.T. (2017) A pesca da dourada *Brachyplatystoma rousseauxii* (Castelnau, 1855) na região do Baixo Amazonas, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(4), 474-486.

Doria, C.R.C., Ruffino, M.L., Hijazi, N.C. & Cruz, R. L. (2012) A pesca comercial na bacia do rio Madeira no estado de Rondônia, Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 42(1), 29-40. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672012000100004>.

Druck, S., Carvalho, M.S., Câmara, G. & Monteiro, A.V.M. (Ed). (2004) Análise espacial de dados geográficos. Brasília: EMBRAPA, 209p.

Fischer, C.F.A., Chagas, A.L.G.A. & Dornelles, L.D.C. (1992) Pesca de águas interiores. Coleção Meio Ambiente, Série Estudos de Pesca 1. IBAMA, Brasília, Brazil, 29p.

Fisher, W. (2010) GIS and spatial analyses in fisheries: challenges, opportunities and the future. In: Nishida, T.; Canton, A.E.S. (Eds.). GIS/Spatial Analyses in Fisheries and Aquatic Sciences, 4(4). International Fishery GIS Society, Saitama, Japan, 579p. ISBN 4-9902377-2-2

Fluet-Chouinard, E., Funge-Smith, S. & McIntyre, P.B. (2018) Global hidden harvest of fresh water fish revealed by household surveys. P. Natl. Acad. Sci., 115, 7623–7628. <https://doi.org/10.1073/pnas.1721097115>

Fotheringham, A.S., Charlton, M. & Brunson, C. (1997) Measuring Spatial Variations in Relationships with Geographically Weighted Regression. In: Fisher, M.M; Getis, A. (Eds.) Recent developments in spatial analysis spatial statistics. behavioural modelling, and computational intelligence, Springer-Verlag Berlin, 60-62p. doi:10.1007/978-3-662-03499-6

Fotheringham, A.S., Brunson, C. & Charlton, M. (2002) Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships; Wiley: Chichester.

Freitas, C.E.C., Rivas, A.A.F., Campos, C.P., Sant'Ana, I., Kahn, J.R., Correa, M.A.M. & Catarino, M.F. (2012) The Potential impacts of global climatic changes and dams on Amazonian fish and their fisheries. In: Turker, H. (Ed.), New Advances and Contributions to Fish Biology, InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/54549>,

Freitas, C.E.C., Laurenson, L., Yamamoto, K.C., Forsberg, B.R., Petreire-Jr, M., Arantes, C. & Siqueira-Souza, F.K. (2018) Fish species richness is associated with the availability of landscape components across seasons in the Amazonian floodplain. Peerj., 6, e5080. <https://doi.org/10.7717/peerj.5080>

Fulton, E.A., Smith, A.D.M. & Smith, D.C. (2011) Van Putten, I.E. Human behaviour: the key source of uncertainty in fisheries management. Fish Fish., 12, 2–17. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00371.x>.

Furtado, M.S.C., Queiroz, J.C.B., Bentes, B., Gouveia, N.A., Lima, M.J.A. & Isaac, V. (submetido) How does climate change affect small scale fisheries? A case study of the Lower Amazon in Brazil. *Fisheries Management and Ecology*.

Gonçalves, C. & Batista, V.S. (2008) Avaliação do desembarque pesqueiro efetuado em Manacapuru, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 38(1), 135-144.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. (2001) Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 1-9.

Hallwass, G., Lopes, P.F.M., Juras, A.A. & Silvano, R.A.M. (2013) Behavioral and environmental influences on fishing rewards and the outcomes of alternative management scenarios for large tropical rivers. *J. Environ. Manage.*, 128, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.037>.

Hallwass, G., Keppeler, F.W., Tomazoni-Silva, L.H., Alves, I., Isaac, V.J., Almeida, M.C. & Silvano, R.A.M. (2023) ‘Disentangling’ the advantages from gillnets in freshwater small-scale fisheries in the Brazilian Amazon. *Rev Fish Biol Fisheries*. <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09771-w>

Huntington, H.P., Begossi, A., Gearheard, S.F., Kersey, B., Loring, P.A., Mustonen, T., Paudel, P.K., Silvano, R.A.M. & Vave, R. (2017) How small communities respond to environmental change: patterns from tropical to polar ecosystems. *Ecol. Soc.*, 22(9).

Isaac, V.J., Milstein, A. & Ruffino, M.L. (1996) A pesca artesanal no Baixo Amazonas: Análise multivariada da captura por espécie. *Acta Amazonica*, 26(2), 185-208.

Isaac, V.J. & Cerdeira, R.G.P. (2003) Avaliação e monitoramento de impacto dos acordos de pesca: região do médio Amazonas. Manaus: Pró-Várzea/ IBAMA, 61p.

Isaac, V.J., Silva, C.O. & Ruffino, M.L. (2004) A pesca no Baixo Amazonas. In: Ruffino, M.L. *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia brasileira*. Edições ProVarzea/IBAMA. Manaus, 185– 211.

Isaac, V.J. & Ruffino, M.L. (2007) Evaluation of Fisheries in Middle Amazon. American Fisheries Society Symposium, 49

Isaac, V. J., Silva, C.O. & Ruffino, M.L. (2008) The artisanal fishery fleet of the lower Amazon. Fisheries Management and Ecology, 15(3), 179-187. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2400.2008.00599.x>.

Isaac, V. J. & Almeida, M.C. (2011) El Consumo De Pescado En La Amazonía Brasileña. FAO COPESCAL Documento Ocasional, 13, 1-43.

Isaac, V.J., Fabre, N.N., da Silva, C.O., Ruffino, M.L. & Saint-Paul, U. (2012) Ecologia da Fauna Ictíca. Cap. 6, 201-246. *In*: Batista, V.S. & Isaac, V.J. (Org.) Peixes e pesca no Solimões-Amazonas: uma avaliação integrada. Ibama/ProVárzea, Brasília, Brazil, 276p. ISBN 978-85-7300-310-0

Isaac, V., Almeida, M., Cruz, R. & Nunes, L. (2015) Artisanal fisheries of the Xingu River basin in Brazilian Amazon. Braz. J. Biol., 75, 125–137. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.00314bm>

Isaac, V. J., Castello, L., Santos, P. R. B. & Ruffino, M. L. (2016) Seasonal and interannual dynamics of river-floodplain multispecies fisheries in relation to flood pulses in the Lower Amazon. Fisheries Research, 183, 352-359. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.06.017>

Junk W.J., Bayley P.B. & Sparks R.E. (1989) The flood pulse concept in river-floodplain systems. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 106, 110-127.

Junk, W.J., Soares, M.G. & Bayley, P.B. (2007) Freshwater fishes of the Amazon River basin: Their biodiversity, fisheries and habitats. Aquatic Ecosystem Health and Management, 10(2), 153-173.

Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Parolin, P., Wittmann, F. & Schöngart, J. (2009) Ecophysiology, biodiversity, and sustainable management of Central Amazonian floodplain forests: a synthesis. *In*: Junk, W.J., Piedade, M.T.F., Parolin, P., Wittmann, F. & Shöngart, J. (eds) Central

Amazonian floodplain forests: ecophysiology, biodiversity and sustainable management. Springer Verlag, Berlin.

Kasperski, S. & Holland, D.S. (2013) Income diversification and risk for fishermen. *P. Natl. Acad. Sci.*, 110, 2076–2081. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212278110>

Keppeler, F.W., Hallwass, G., Santos, F., Tomazzoni, L.H.S. & Silvano, R.A.M. (2020) What makes a good catch? Effects of variables from individual to regional scales on tropical small-scale fisheries, *Fisheries Research*, 229(105571). ISSN 0165-7836, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105571>

Lewis, W. M., Hamilton, S. K., Lasi, M. A., Rodríguez, M., Saunders, J.F., et al. (2000) Ecological determinism on the Orinoco floodplain. *Bio Science*, 50(8), 681-692.

Lima, M.A.L., Kaplan, D.A. & Doria, C.R.C. (2017) Hydrological controls of fisheries production in a major Amazonian tributary. *Ecohydrology*, 10(8), e1899. <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1899>.

Lowe-McConnell, R.H. (1975) *Fish communities in tropical freshwaters*. New York: Longman Inc., 337p.

Lynch, A. J., Cowx, I. G., Fluet-Chouinard, E., Glaser, S. M., Phang, S. C., Beard, T.D., Bower, S.D., Brooks, J. L., Bunnell, D.B., Claussen, J. E., Cooke, S. J., Kao, Y.C., Lorenzen, K., Myers, B. J. E., Reid, A.J., Taylor, J. J. & Youn, S. (2017) Inland fisheries—invisible but integral to the UN Sustainable Development Agenda for ending poverty by 2030. *Global Environ. Change*, 47, 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.10.005>.

Matheron, G. (1971) *The theory of regionalized variables and its applications*. Paris: Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, 2011p.

McGrath, D., Castro, F., Câmara, E. & Futemma, C. (2008) Manejo comunitário de lagos de várzea e o desenvolvimento sustentável da pesca na Amazônia. *Novos Cad. NAEA.*, 1, 1–23. <https://doi.org/10.5801/ncn.v1i2.4>.

Mérona, B. (1995) Ecologia da pesca e manejo pesqueiro na região Amazônica. Boletim do Museo Paraense Emílio Goeldi, Série Antropológica, 11(2), 167-183.

Nascimento, T.S.R., Monte, C.N., Corrêa, E.S., Costa, I. & Batista, L.F. (2022) The Seasonality of Contaminants in an Urbanized Microbasin in the Brazilian Amazon., 233-412. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05879-0>

Oliveira, L.S., Oliveira-Junior, J.M.B., Cajado, R.A., Silva, F.K.S. & Zacardi, D.M. (2023) Ichthyoplankton and plastic waste drift in a river in the Amazon Basin, Brazil. Front. Environ. Sci., 11, 1068550. doi:10.3389/fenvs.2023.1068550

Pascual, M., Borja, A., Galparsoro Iza, I., Ruiz, J., Mugerza, E., Quincoces, I., Murillas, A. & Arregi, L. (2013) Total fishing pressure produced by artisanal fisheries, from a Marine Spatial Planning perspective: A case study from the Basque Country (Bay of Biscay). Fisheries Research, 147, 240-252. Doi:10.1016/j.fishres.2013.06.010.

Pereira, D.V., Arantes, C.C., Sousa, K.N.S. & Freitas, C.E.C. (2023) Relationships between fishery catch rates and land cover along a longitudinal gradient in floodplains of the Amazon River. Fisheries Research, 258 (106561).

Petrere Jr., M.A. (1985) pesca comercial no rio Solimões-Amazonas e seus afluentes: análise dos informes do pescado desembarcado no Mercado Municipal de Manaus (1976-1978). Ciência e Cultura, 37(12), 1987-1999.

Petrere Junior, M. (1986) Variations in the relative abundance of tucunaré? (*Cichla ocellaris*, *C. temensis*) based on catch and effort data of trident fisheries. Amazon fisheries. II – Amazoniana, 10, 1-13.

Pinaya, W.H.D., Lobon-Cervia, F.J., Pita, P., Buss De Souza, R., Freire, J. & Isaac, V.J. (2016) Multispecies Fisheries in the Lower Amazon River and its Relationship with the Regional and Global Climate Variability. PLoS One, 11(6), e0157050.

Pinaya, W.H.D, Pita, P., Souza, R.B., Lobon-Cérvia, F.J., Freire, J. & Isaac, V.J. (2018) The Catfish Fishing in the Amazon Floodplain Lakes. *Oceanogr Fish Open Access J.*, 7(4), 555720. DOI: 10.19080/OFOAJ.2018.07.555720

Prestes, L., Barthem, R., Mello-Filho, A., Anderson, E., Correa, S.B, Couto, T.B.D. et al. (2022) Proactively averting the collapse of Amazon fisheries based on three migratory flagship species. *PLoS One*, 17(3), e0264490. <https://doi.org/10.1371/journal.pone>.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. (<http://qgis.osgeo.org>) Accessed on 30/02/2021.

R Core Team. (2016) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Renó, V.F., Novo, E.M.L. & Escada, M.I.S. (2016) Forest Fragmentation in the Lower Amazon Floodplain: Implications for Biodiversity and Ecosystem Service Provision to Riverine Populations. *Remote Sensing*, 8(11), 1-26.

Ropke, C. P., Amadio, A., Zuanon, J., Ferreira, E. J. G., Deus, C. P. & Pires, T.H.S; Winemiller, K.O. (2017) Simultaneous abrupt shifts in hydrology and fish assemblage structure in a floodplain lake in the central Amazon. *Scientific Reports*, 7, 40170. <https://doi.org/10.1038/srep40170>

Ruffino, M.L. & Isaac, V.J. (2000) A pesca artesanal no Médio Amazonas. Brasília: IBAMA, Coleção Meio Ambiente. Série Estudos Pesca, 22, 317- 348.

Salas, S.S. & Gaertner, D. (2004) The behavioural dynamics of fishers: management implications. *FishFish*, 5,153–167. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2004>.

Salazar, L.F., Nobre, C.A. & Oyama, M.D. (2007) Climatic change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34, L09708.



Santos, G.M.; Santos, A.C.M. (2005) Sustentabilidade da pesca na Amazônia. *Estudos Avançados*, 19(54), 165–182.

Souza, K.N.S., Fabré, N.N. & Batista, V. S. (2009) Landscape variables affecting fishery production in lake systems of floodplain areas in Central Amazon, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 25, 294-298.

Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R & Cushing, C.E. (1980) The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 130-137.

Zhao, M., Pitman, A.J. & Chase, T. (2001) The impact of land cover change on the atmospheric circulation. *Climate Dynamics*, 17(5-6), 467-477.

Wang, J., Chen, X. & Chen, Y. (2016) Spatio-temporal distribution of skipjack in relation to oceanographic conditions in the west-central Pacific Ocean, *International Journal of Remote Sensing*, 37(24), 6149-6164. doi: 10.1080/01431161.2016.1256509

Wheeler, D. & Tiefelsdorf, M. (2005) Multicollinearity and correlation among local regression coefficients in geographically weighted regression. *J Geograph Syst*, 7, 161–187. Doi: 10.1007/s10109-005-0155-6

Wheeler, D.C. (2007) Diagnostic tools and a remedial method for collinearity in geographically weighted regression. *Environment and Planning A*, 39(10), 2464-2481.

Winemiller, K.O., McIntyre, P.B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S. & Stiassny, M.L.J. (2016) Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351(6269), 128–129.

Yamamoto, J.K & Landim, P.M.B. (2013) *Geoestatística: conceitos e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 215p.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos resultados encontrados nesta tese:

- O conhecimento empírico dos pescadores da região do Baixo Amazonas permite a seleção de técnicas e locais de pesca de acordo com o ciclo hidrológico. Eventuais falhas nesse ciclo podem impactar essa dinâmica, afetando a pesca e a comunidade local.
- A umidade, o calor latente e a temperatura da superfície do mar influenciaram a produtividade com redes de emalhe e com linhas.
- A CPUE das redes de emalhe sofreu efeito negativo e imediato do El Niño, enquanto nas linhas o efeito foi positivo com defasagem de oito meses.
- Os locais mais distantes do centro urbano de Santarém se mostram mais produtivos para a pesca, o que pode indicar um certo esgotamento ou degradação ambiental desta região.
- Recomenda-se a implantação de um sistema de estatística pesqueira como suporte para a adoção de medidas de manejo para a pesca e conservação dos estoques pesqueiros.