

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA

DETERMINAÇÃO DO ESTOQUE E CICLO DE
VIDA DA TAINHA *Mugil liza* (Teleostei
Mugilidae) NO SUL DO BRASIL

VALÉRIA MARQUES LEMOS

Tese apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Oceanografia
Biológica da Universidade Federal do
Rio Grande, como requisito parcial à
obtenção do título de DOUTOR.

Orientador: Prof. Dr. João Paes Vieira Sobrinho

RIO GRANDE
Novembro, 2015

Dedico esse trabalho ao meu filho (a) ainda em meu ventre

Bueno, os agradecimentos são muitos...

Primeiramente quero agradecer ao Prof. João Paes Vieira pela orientação, pelas oportunidades, pelos ensinamentos, por compartilhar comigo sua paixão pela tainha, e, acima de tudo, pela amizade.

Obrigada à banca, Prof. Jorge Pablo Castello, Prof. José Henrique Muelbert, Prof. Luiz Felipe Cestari Dumont, Prof. Cassiano Monteiro-Neto e Dra. Stephanie Pasquaud, que gentilmente aceitaram essa tarefa e muito acrescentaram para minha formação e para este trabalho.

Muito obrigada ao Prof. Henrique Cabral e a Dra. Stephanie por me acolherem gentilmente em Lisboa e por terem contribuído com o trabalho.

Obrigada ao Prof. Antônio Sérgio Varela Jr. e ao Prof. Paulo Ricardo Schwingel, que sempre demonstraram boa vontade, tornando possível trabalharmos em parceria.

Obrigada á todos os pesquisadores do projeto Tainha e ao Luiz Louzada do IBAMA.

Agradeço de coração a todos os colegas e amigos do Laboratório de ictiologia pelo companheirismo e pelas boas discussões científicas ictiológicas (e outras nem tanto): Prof. Alexandre Garcia, Maurinho, Fábio, Renatinha, Vinicius, Léo, Ana, Rodrigo, Malu, Adna, Paulinha, Raizza, Gian, Aninha, Suzana, Priscila,...

Obrigada aos gurus que participaram ativamente das minhas saídas de campo mensais do Chuí até Santa Catarina, as quais, além das amostragens, trabalho pesado e cansaço, com certeza renderam boas histórias: Gilson Cordeiro, Mauricio Lang e Fabiano Correa. Aproveito para registrar meu agradecimento aos motoristas da FURG, especialmente para o Candinho, que nos transportou com segurança ao longo de muitos quilômetros de estrada.

Um agradecimento especial para amiga Dra. Débora Troca pelo auxílio, pela companhia, pela amizade e principalmente por aguentar meus momentos de mau humor.

Obrigada ao Instituto de Oceanografia da Universidade, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica, a Capes e também ao CNPq pelo suporte.

Obrigada a todos pescadores que me dirigi para obter informações sobre a tainha, e que na maioria das vezes vieram acompanhadas de verdadeiras lições de vida!

Meu agradecimento sincero para minha família pelo amor incondicional.

Obrigada especial pra minha mãe, mulher guerreira que sempre me orgulhou e me serviu de exemplo.

Obrigada ao Marcelo, meu companheiro de vida, meu amigo, meu amor.

Por fim, e mais importante, meu agradecimento ao Patrão Velho, por tudo de bom e por tantas pessoas maravilhosas que tem colocado no meu caminho!

ÍNDICE

LISTA DE ANEXOS	2
RESUMO	3
ABSTRACT	4
INTRODUÇÃO GERAL.....	5
1. A família Mugilidae.....	5
2. As espécies brasileiras.....	5
3. <i>Mugil liza</i> Valenciennes 1836.....	8
3.1. Caracteres diagnósticos de <i>Mugil liza</i>	8
3.2. Estrutura populacional	9
3.3. Ciclo de vida	10
3.4. Alimentação	15
3.5. Idade e Crescimento.....	17
3.6. Aquicultura	18
3.7. Pesca.....	21
3.8. Considerações Importantes	29
JUSTIFICATIVAS	31
HIPÓTESES.....	32
OBJETIVOS.....	33
METODOLOGIA GERAL.....	34
SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	40
CONCLUSÕES GERAIS DA TESE.....	48
LITERATURA CITADA.....	50
ANEXO I: Migration and reproductive biology of <i>Mugil liza</i> (Teleostei: Mugilidae) in south Brazil	67
ANEXO II: Stock discrimination of mullet (<i>Mugil liza</i> Valenciennes, 1836) by stable isotope ratio analysis of otolith carbonate.....	85
ANEXO III: Using the purse seine fisheries of <i>Mugil liza</i> in order to describe the reproductive migration in Southern Brazil.	100
ANEXO IV: Pré-recrutamento de <i>Mugil liza</i> (Teleostei: Mugilidae) na costa sul do Brasil.....	127

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I: Migration and reproductive biology of *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in South Brazil.

ANEXO II: Stock discrimination of mullet (*Mugil liza* Valenciennes, 1836) by stable isotope ratio analysis of otolith carbonate.

ANEXO III: Using the purse seine fisheries of *Mugil liza* in order to describe the reproductive migration in Southern Brazil.

ANEXO IV: Pré-recrutamento de *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) na costa sul do Brasil.

RESUMO

O objetivo geral desta Tese foi estudar o ciclo de vida da tainha *Mugil liza* na região sul e parte da sudeste do Brasil. Em cada um dos quatro capítulos que compõem esta Tese foram aplicadas distintas metodologias, a fim de esclarecer questões acerca da biologia reprodutiva da espécie no Sul do Brasil (ANEXO I - publicado), a identificação de estoques na área de estudo (ANEXO II - submetido), migração costeira da espécie e padrão de exploração pela frota industrial de cerco (ANEXO III - submetido), e aspectos importantes sobre a fase de pré-recrutamento (ocupação da zona de arrebenção por indivíduos de comprimento total ≤ 30 mm que antecede o recrutamento em estuários) (ANEXO IV). Os resultados gerais deste trabalho sugerem que a tainha explorada comercialmente desde São Paulo até o Rio Grande do Sul constitui um único estoque pesqueiro que tem seu habitat de desova associado à águas marinhas entre 18-21° C. Este estoque realiza uma migração costeira, a partir de estuários do Sul do Brasil, em sentido sul-norte até o local de desova. A migração dos cardumes, que ocorre a partir do mês de abril e estende-se até julho, em profundidades inferiores a 50 m, é necessária para que ocorra o término do desenvolvimento das gônadas e está relacionada com o deslocamento das isotermas de 19-21° C ao longo da costa sul do Brasil. Durante a migração, os indivíduos maduros que irão participar da reprodução, são capturados tanto pela pesca artesanal como pela frota industrial. A desova ocorre na costa norte de Santa Catarina e Paraná no mês de junho. Após a fase de vida no plâncton, os pré-juvenis habitam temporariamente a zona de arrebenção. Esta ocupação está relacionada a uma oportunidade de encontro com um ambiente estuarino o qual é utilizado como berçário. Dentro dos ambientes berçários, as capturas ocorrem ao longo do ano pela pesca artesanal, sendo formadas por indivíduos menores que o tamanho médio de primeira maturação. Dos seis principais estuários da região do estudo (Chuí- 34 °S a Laguna-29 °S), o estuário da Lagoa dos Patos (32 °S) representa o principal local de berçário para o estoque sul de *M. liza*, pois além da maior abundância de juvenis entre os locais comparados, apresenta intensa pesca de adultos no período da migração reprodutiva. As informações reunidas neste trabalho podem subsidiar a elaboração de medidas de ordenamento pesqueiro que assegurem níveis sustentáveis de exploração do estoque sul de *M. liza*.

Palavras-chave: ciclo de vida, biologia reprodutiva, pré-recrutamento, estoque sul, recurso pesqueiro.

ABSTRACT

The general objective of this thesis was to study the life cycle of the mullet *Mugil liza* throughout the south and southeastern regions of Brazil. In each of the four chapters composing this thesis, distinct scientific methodologies were applied in order to elucidate issues regarding the reproductive biology of *M. liza* in southern Brazil (APPENDIX I - published), stocks identification along the study area (APPENDIX II - submitted), reproductive coastal migration and pattern of exploitation by the industrial purse seine fisheries (APPENDIX III - submitted), and important aspects about the surf-zone pre-recruitment phase (when individuals of total length ≤ 30 mm occupy the surf zone area prior to estuarine recruitment) (APPENDIX IV). Main results suggest that *M. liza*, which is commercially exploited from the state of São Paulo to the Rio Grande do Sul, constitutes a single fish stock and has its spawning habitat associated with marine waters of temperatures between 18-21 °C. This stock performs a coastal migration from estuaries in the South of Brazil to spawning grounds. The migration is related to the displacement of the isotherms of 19-21 °C along the southern coast of Brazil. It starts in April in the south and extends until July at depths less than 50 m, and is essential to promote gonadal development. During mullet's migration, mature individuals, who will likely participate in the species reproduction, are captured by the industrial and artisanal fisheries. Spawning occurs on the northern coast of the states of Santa Catarina and Parana in June. After the planktonic life stage, pre-juvenile temporarily inhabit the surf zone. This occupation enhances the opportunity of finding an estuarine environment, which is used as a nursery. In the nurseries, catches by artisanal fisheries occur throughout the year and are largely dominated by individuals smaller than the average size at first maturity. Among the six major estuaries in the study area (Chuí- 34 °S to Laguna-29 °S), the Patos Lagoon estuary (32 °S) represents the main nursery site for the Southern stock of *M. liza*, suggesting that the estuarine area is the main factor for recruitment. Besides exhibiting the greater abundance of juveniles between studied sites, adult individuals in this area are intensively captured during the period of reproductive migration. Information provided in this study can be used to support the development of fisheries management measures to ensure sustainable levels of exploitation of *M. liza* stock.

Key words: life cycle, reproductive biology, pre-recruitment, stock south, fishing resource.

INTRODUÇÃO GERAL

1. A família Mugilidae

A família Mugilidae possui 14 gêneros e aproximadamente 70 espécies (Thomson 1997, Nelson 2006, Froese & Pauly 2010). Membros desta família ocorrem em todo o mundo, em zonas costeiras de mares tropicais, subtropicais e temperados (Menezes & Figueiredo 1985, Nelson 2006). Muitas espécies de Mugilídeos são consideradas diádromas, podendo ocorrer em ambientes distintos (marinho, estuarino e de água doce) em diferentes fases de seu ciclo de vida (Menezes 1983). Apresentam hábito alimentar zooplancctófago quando juvenil e iliófago quando adulto, o que lhes confere papel fundamental na transferência de matéria e energia nas cadeias tróficas dos ambientes costeiros (Vieira 1991, Laffaille *et al.* 1998, Cardona *et al.* 2001, Lebreton *et al.* 2011).

2. As espécies brasileiras

Na costa ocidental do Atlântico ocorre apenas o gênero *Mugil* (Thomson 1997). Menezes (1983) baseado em caracteres morfométricos e merísticos determinou na década de 80, a ocorrência de sete espécies na costa brasileira: *M. curema* Valenciennes 1836, *M. platanus* Gunther 1880, *M. gaimardianus* Desmarest 1831, *M. liza* Valenciennes 1836, *M. incilis* Hancock 1830, *M. curvidens* Valenciennes 1836 e *M. trichodon* Poey 1875.

A família Mugilidae apresenta características merísticas e morfologia muito semelhante, o que ocasiona dificuldade na identificação das espécies (Menezes 1983, Vieira 1991, Cervigón 1993, Thomson 1997). Atualmente, com novos estudos de morfometria e merística, somados a estudos moleculares e genéticos, são consideradas

como válidas seis espécies de Mugilídeos no Brasil: *M. curema*, *M. liza*, *M. rubrioculus*, *M. incilis*, *M. curvidens* e *M. brevirostris* (Menezes *et al.* 2010, 2015).

Três alterações importantes na taxonomia do gênero *Mugil* das últimas décadas se referem às espécies brasileiras. A espécie *M. gaimardianus*, a qual permaneceu por um tempo com o nome suprimido, devido à incerteza de sua identidade, hoje é aceita como espécie, porém passa a ter o nome válido de *M. brevirostris* (Ribeiro 1915) (Menezes *et al.* 2015). A espécie *M. trichodon* foi reportada para a costa do Brasil erroneamente. Os exemplares identificados eram da espécie *M. curvidens* (Menezes *et al.* 2015). Estudos genéticos indicaram não haver diferenciação entre *M. platanus* e *M. liza*, sendo considerado este último como nome válido para a espécie (Heras *et al.* 2009, Menezes *et al.* 2010). Além dessas alterações, esses estudos também confirmaram que a tainha *M. liza* que ocorre somente na costa Atlântica da América do Sul não faz parte do complexo cosmopolita *M. gr.cephalus* (Menezes *et al.* 2010).

As espécies *M. incilis*, *M. rubrioculus* e *M. curvidens*, denominadas popularmente como curimãs ou tainhas, são espécies capturadas pela pesca artesanal, principalmente em estuários e lagoas costeiras em alguns estados do Norte e Nordeste (Figura 1), apresentando um volume de produção considerável (Araújo & Silva 2013). *Mugil curema* e *M. brevirostris*, denominadas paratis e comuns em todo o litoral do país, também são capturadas pela pesca artesanal em alguns locais, porém, sua importância econômica é menor, devido ao reduzido tamanho atingido por essas espécies (em torno de 30 cm de comprimento total) (Menezes 1983).

A espécie mais importante de Mugilídeo para a atividade pesqueira no Brasil é a tainha *M. liza*. Esta espécie pode atingir até um metro de comprimento (Menezes 1983) e sua carne é considerada de excelente qualidade (Szpilman 2000). Representa a principal espécie para consumo em comunidades pesqueiras costeiras da região Sul

(Lima & Velasco 2012), sustentando uma pesca artesanal histórica e culturalmente importante no litoral Sul e Sudeste do país (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007).

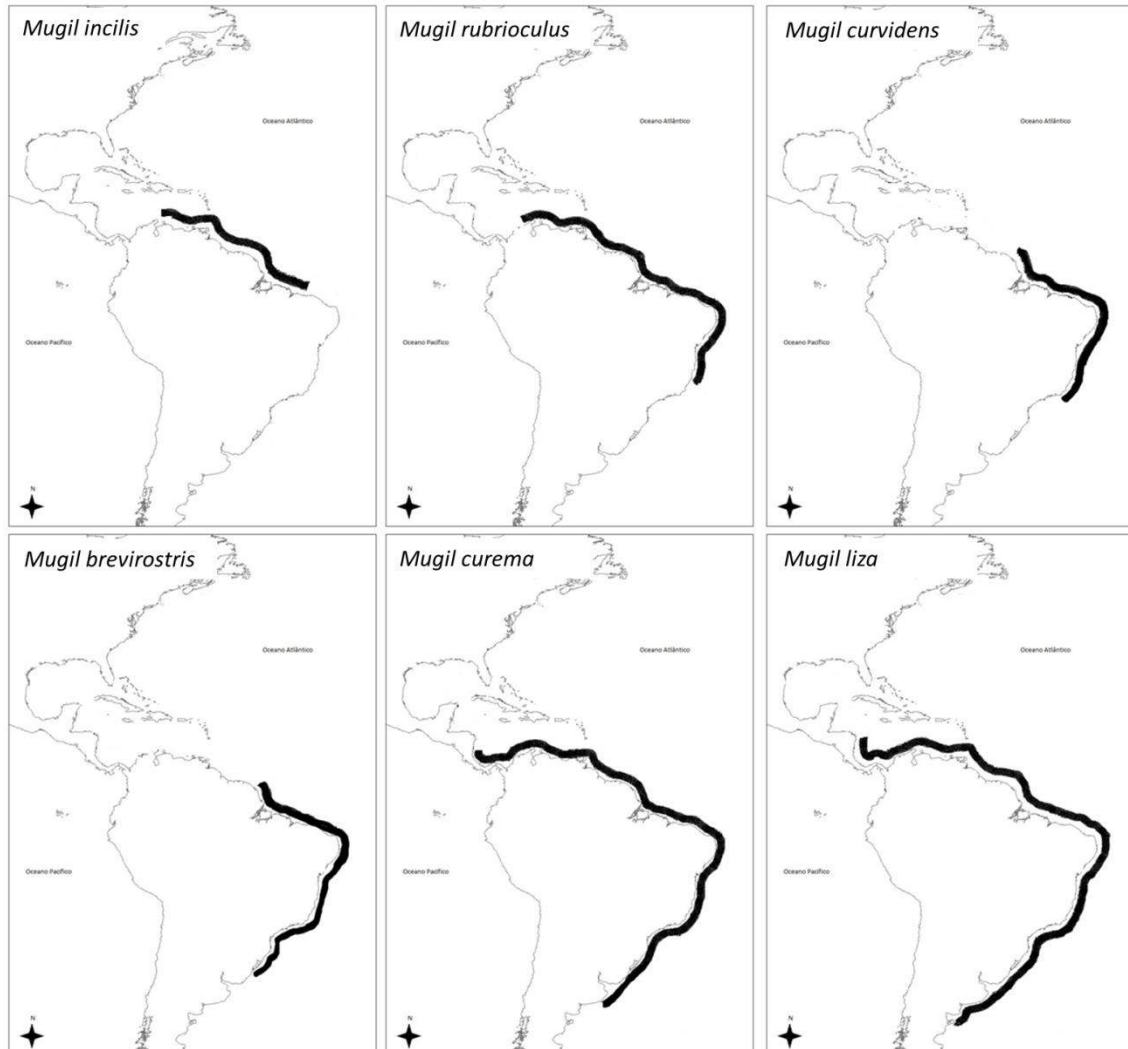


Figura 1. Mapa da distribuição das espécies de Mugilídeos que ocorrem na costa do Brasil. Dados de distribuição publicados em Menezes *et al.* (2015).

A elevada abundância na costa Sul e Sudeste brasileira e o alto valor econômico, fazem com que a espécie seja explorada também pela pesca industrial durante a migração reprodutiva (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007). Capturas industriais dirigidas para a tainha passaram a ser mais relevantes a partir do ano de 2000 quando especificamente a frota de cerco adotou a tainha como alternativa econômica ao colapso da espécie alvo desta frota, a sardinha-verdadeira – *Sardinella brasiliensis* (Seckendorff

& Azevedo 2007). Além do valor econômico do pescado, esta espécie apresenta um alto valor agregado através das gônadas femininas maduras, as quais são produto de exportação, consideradas análogas ao caviar (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007). Atualmente a tainha está entre as nove principais espécies de peixes capturados pela pesca extrativa no Brasil (MPA 2009).

3. *Mugil liza* Valenciennes 1836

3.1. Caracteres diagnósticos de *Mugil liza*

Menezes *et al.* (2010) descreve *M. liza* como uma espécie de corpo robusto, fusiforme, sem linha lateral e olhos cobertos quase que totalmente por uma membrana adiposa. Apresenta região dorsal do corpo escuro e região abdominal branca, com laterais prateadas contendo número variado de listras escuras longitudinais (Figura 2). Todas as nadadeiras (com exceção das nadadeiras pélvicas) apresentam coloração, com cromatóforos escuros. A primeira nadadeira dorsal tem quatro espinhos e a segunda tem nove raios (um não ramificado e oito ramificados). A nadadeira peitoral tem um raio não ramificado e de 14 a 17 ramificados. A nadadeira pélvica tem um espinho e cinco raios ramificados e a nadadeira anal possui três espinhos e oito raios ramificados nos espécimes adultos e dois espinhos e nove raios ramificados em indivíduos menores que 30 mm de comprimento padrão. As nadadeiras dorsal e anal podem ser ou não cobertas na porção basal por pequenas escamas. Presença de 29 a 39 escamas na série transversal e de 17 a 20 escamas no pedúnculo caudal. Possui 24 ou 25 vértebras. O primeiro arco branquial tem de 22 a 80 rastros (número aumenta com aumento do comprimento padrão) (Menezes *et al.* 2010).

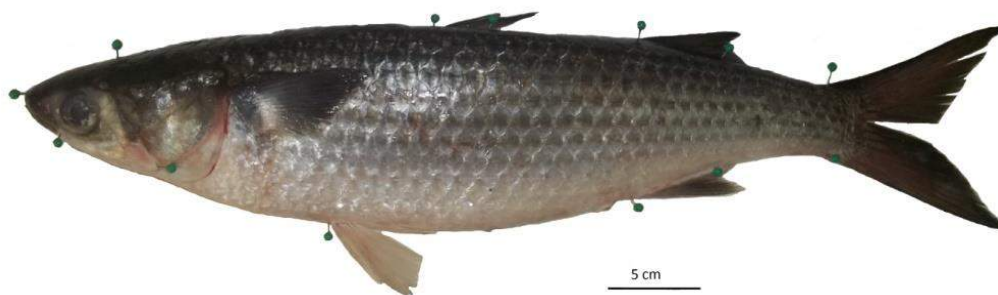


Figura 2. Exemplar fêmea de *Mugil liza* capturado em maio de 2011 na costa do Rio Grande do Sul (550 mm CT, 1680 g).

3.2. Estrutura populacional

Atualmente, é correto afirmar que a tainha explorada comercialmente no Sul e parte do Sudeste brasileiro é *M. liza* (Menezes *et al.* 2010). Entretanto, na década de 80 a tainha comercialmente exploradas no Sul e Sudeste do país eram denominadas de *M. liza* e *M. platanus* (Menezes 1983). A distinção entre as espécies era realizada através do número de escamas na série lateral (*M. liza* com 29 - 34 e *M. platanus* com de 34 - 40) (Menezes 1983). *Mugil liza* ocorreria a partir do litoral Norte tendo como limite sul de distribuição a costa do estado do Rio de Janeiro. Já *M. platanus*, teria distribuição a partir da costa do Rio de Janeiro e teria como limite sul de ocorrência o litoral da Argentina (Menezes 1983). Estudos genéticos recentes demonstraram que na verdade era apenas uma espécie: *M. liza* (Heras *et al.* 2009, Menezes *et al.* 2010).

Este foi um grande avanço na sistemática deste importante recurso pesqueiro. Posteriormente, Mai *et al.* (2014) comprovaram a existência de diferentes populações de *M. liza* ao longo da sua distribuição. Os autores determinaram que indivíduos oriundos do Rio de Janeiro constituem uma população geneticamente distinta da *população sul* (que se distribui da costa da Argentina até o litoral de São Paulo). Ainda é desconhecido o número de populações de *M. liza* existentes ao longo de toda sua distribuição, estudos complementares devem ser realizados a partir do Rio de Janeiro em sentido norte.

3.3. Ciclo de vida

Considerada de hábito pelágico costeiro, *M. liza* habita águas relativamente rasas. Há registros da ocorrência da espécie em áreas de recife, praias, estuários e eventualmente pode também penetrar em água doce. Forma cardumes e frequentemente é possível avistar exemplares saltando fora d'água (Szpilman 2000, Fischer *et al.* 2011).

3.3.1. Reprodução

Na grande maioria, as espécies de mugilídeos são classificadas como diádromas e apresentam comportamento reprodutivo muito similar (Tung 1981, Vieira 1991, Whitfield 1998, Bachelier *et al.* 2005, Whitfield *et al.* 2012). Espécies de *Mugil* no Sudeste da África (Wallace & van der Elst 1975), no Golfo do México (Ibañes & Benitez 2004), na China (Huang & Su 1989), no Mar Adriático (Bartulovic *et al.* 2011), assim como a tainha *M. liza* no Brasil, desovam em águas marinhas costeiras após realizarem uma migração a partir de estuários, os quais constituem o principal local de berçário dos juvenis (Vieira 1991).

Poucos trabalhos foram publicados sobre a biologia reprodutiva de *M. liza*. A migração reprodutiva da espécie foi estudada por Vieira & Scalabrin (1991). Parâmetros reprodutivos da espécie foram estudados por Esper *et al.* (2000, 2001) dentro da Baía de Paranaguá, no Paraná, por Gonzáles-Castro *et al.* (2011) na Laguna del Mar Chiquita, na Argentina e por Albieri & Araújo (2010) na Baía de Sepetiba, no Rio de Janeiro. Entretanto, nenhum trabalho sobre biologia reprodutiva de *M. liza* tinha sido publicado na área onde se concentra cerca de 90 a 95 % da atividade pesqueira (Santa Catarina e Rio Grande do Sul). Esta lacuna motivou o estudo de Lemos *et al.* (2014) (ANEXO I) sobre os parâmetros reprodutivos e a migração da tainha no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

A migração da tainha *M. liza* a partir da Lagoa dos Patos foi estudada por Vieira & Scalabrin (1991), onde foi demonstrada a influência de fatores climáticos na migração reprodutiva. Ventos do quadrante sudeste, comuns no Sul do Brasil no mês de maio (Möller *et al.* 2008) ocasionam, principalmente durante a passagem de frentes frias (Stech & Lorenzetti 1992), a penetração de cunha salina no Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) (Castello & Möller 1977). A queda de temperatura nesta época do ano e o aumento da salinidade dentro do estuário foram considerados como o gatilho para o início da formação dos cardumes e migração reprodutiva nos meses de abril a maio (Vieira & Scalabrin 1991).

Uma vez no ambiente marinho, a tainha desloca-se em direção a menores latitudes, até a área de desova (Lemos *et al.* 2014 – ANEXO I). Os cardumes que saem da Lagoa dos Patos são acrescidos de indivíduos que vem do Uruguai e Argentina, e ao longo da migração também recebem aporte de tainhas que saem de outros estuários da costa do Brasil (Vieira & Scalabrin 1991, Herbst & Hanazaki 2014). Durante a migração costeira, fatores oceanográficos e climáticos continuam exercendo forte influência no deslocamento dos cardumes e conseqüentemente na pesca, pois a época reprodutiva coincide com a safra pesqueira (ANEXO III). A desova não necessariamente ocorre em um local geográfico determinado e sim quando cardumes encontram uma condição oceanográfica ideal, principalmente de temperatura superficial do mar, condição que pode oscilar latitudinalmente de acordo com a dinâmica de massas d'água (Vieira & Scalabrin 1991, Lemos *et al.* 2014 – ANEXO I).

3.3.2. Fases iniciais – ovos e larvas

A maioria das tainhas (com algumas exceções, como por exemplo, *Rhinomugil corsula*) migra para o mar para se reproduzir (Thomson 1966). Após o período no

plâncton os indivíduos deslocam-se para zonas costeiras, como praias, e, principalmente estuários (de Silva 1980).

A fase de vida no plâncton como ovo e larva, que antecede a fase de ocupação da região costeira (praias arenosas marinhas, estuários de lagoas costeiras) de *M. liza* ainda é pouco compreendida, com escassos estudos quantitativos deste estágio na costa brasileira. Monteiro-Ribas & Bonecker (2001) descreveram as fases iniciais de *M. liza* a partir de desova induzida e fertilização.

Os ovos são esféricos, flutuantes (diâmetro médio de 0,90 milímetros), com uma única gota de óleo no centro, com membrana translúcida e lisa. O vitelo não é segmentado. A eclosão de larvas, com tamanho entre 2,47 - 2,64 mm de comprimento total ocorre aproximadamente 47 horas após a fertilização. Larvas apresentam corpo alongado com otólitos visíveis na cápsula ótica, sem pigmentação nos olhos e com boca ainda não desenvolvida (a boca forma-se após três dias da eclosão em indivíduos com comprimento total entre 2,71 e 2,84 mm) (Monteiro-Ribas & Bonecker 2001).

No quinto dia após a eclosão, o vitelo já foi totalmente absorvido, e as larvas que apresentam mandíbula e maxila formadas tem comprimento total médio de 3,23 mm. Após 13 dias de desenvolvimento a nadadeira caudal começa a se formar, a pigmentação torna-se mais evidente, com muitos melanóforos estrelados na região dorsal da cabeça, perto da boca e opérculo. Após 15 dias, o comprimento total médio é de 4,04 mm e melanóforos ocorrem ao longo de todo o corpo. A fase larval é concluída com aproximadamente 29 dias, com comprimento médio de 6,21 mm e todas as nadadeiras individualizadas (Monteiro-Ribas & Bonecker 2001) (Figura 3).

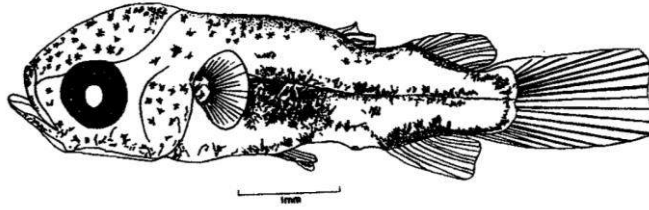


Figura 3. Larva de *Mugil liza* de 6,21 mm de comprimento total, com aproximadamente 30 dias após eclosão. Figura extraída de Monteiro-Ribas & Bonecker (2001). Barra da escala: 1 mm.

Muitos estudos sobre o ictioplâncton do Sul e Sudeste do Brasil foram realizados na área de abrangência da espécie (Busoli & Muelbert 1999, Franco *et al.* 2005; Macedo-Soares *et al.* 2009, 2014). No entanto, a ocorrência de ovos e larvas de Mugilídeos não é comum. As larvas da família são relatadas como neustônicas, de ocorrência esporádica e em baixas abundâncias no Sudeste do Brasil (Katsuragawa *et al.* 2006). Na região Sul, a ocorrência de larvas de Mugilidae também é considerada esporádica, sendo observada no outono, em áreas costeiras da plataforma continental (Weiss *et al.* 1976). Este fato possivelmente está relacionado com o pequeno número de estudos com amostragens em profundidades menores, em regiões mais costeiras.

3.3.3. Pré-recrutamento e Recrutamento

Embora as primeiras fases de vida de *M. liza* não sejam bem conhecidas, a fase posterior a vida no plâncton, a ocupação da zona costeira é bem reportada na literatura. Cerca de dois a três meses após o período reprodutivo, os juvenis de tainha de 20 a 30 mm de comprimento total são muito abundantes na zona de arrebentação ao longo da costa Sul do Brasil (Monteiro- Neto *et al.* 2003, Lima & Vieira 2009, Rodrigues & Vieira 2012, ANEXO IV). Segundo o modelo do ciclo de vida proposto por Vieira (1991), os juvenis abandonam o ambiente planctônico para o bentônico ao se aproximarem da zona costeira.

A abundância de juvenis de tainha com comprimento total entre 20 – 30 mm na “surf-zone” – pré-recrutamento – (ANEXO IV) está relacionada a uma oportunidade de entrada nos estuários existentes na costa: o processo de *recrutamento* propriamente dito (Vieira 1991). Garbin *et al.* (2013) registraram a formação de um anel juvenil nos otólitos, o qual é formado com cerca de 21 mm CT, momento em que os indivíduos passariam por uma mudança do habitat (recrutamento ao estuário). Esta ocupação da zona de arrebentação, que antecede o recrutamento, é muito comum ao grupo dos mugilídeos, e foi reportada para *M. gr. cephalus* na costa Africana (Whitfield 1998, Trape *et al.* 2009, Whitfield *et al.* 2012), Estados Unidos (de Silva 1980, Collins & Stender 1989) e China (Tung 1981, Hsu *et al.* 2007).

Ramos & Vieira (2001) demonstraram que juvenis de *M. liza* são os principais representantes da ictiofauna dos estuários do Rio Grande do Sul. Entretanto, ao longo da distribuição da população sul, o ELP é considerado um dos principais locais de recrutamento da espécie (ANEXO IV). Apesar da costa Sul do Brasil exibir uma complexa hidrografia com muitas lagunas e ambientes estuarinos (Schwarzbald & Schäfer 1984), juvenis de *M. liza* não são tão abundantes em outros estuários como são no ELP, ou apresentam ocorrência/abundância sazonal (Monteiro-Neto *et al.* 1990, Ramos & Vieira 2001, Hostim-Silva *et al.* 2002, Spach *et al.* 2003, Plavan *et al.* 2010, Vilar *et al.* 2011).

No estuário da Lagoa dos Patos, juvenis da espécie são considerados frequentes e abundantes durante todo o ano (Vieira *et al.* 2010). O pico de abundância dos juvenis neste estuário ocorre após o período reprodutivo, durante os meses de inverno e primavera, quando a temperatura é mais baixa (Vieira 1991). Embora ocorra uma ocupação de *M. liza* na porção límnic da Lagoa dos Patos, acompanhada por uma pesca de indivíduos adultos na zona límnic mais ao norte da Lagoa dos Patos (Milani &

Fontoura 2007), juvenis são extremamente abundantes somente na porção estuarina (Vieira 1991, Vieira *et al.* 2010).

3.4. Alimentação

Os mugilídeos apresentam uma grande capacidade de adaptação a alimentos de diversas origens, variando seus hábitos alimentares de acordo com a fase do ciclo de vida. São considerados detritívoros (Parejo 1991), iliófagos (de Silva 1980, Vieira 1991), zooplancctófagos (de Silva 1980), onívoros (Cervigón 1993) e fitófagos (de Silva 1980, Franco & Bashirullah 1992).

A fase larval marinha caracteriza-se por uma alimentação zooplancctófaga (Chidambaram & Kuriyan de 1952, Thomson 1966, Hickling 1970, Odum 1970, Albertini-Berhaut 1973, de Silva 1980). O desenvolvimento do trato digestório em larvas de *M. platanus* (*M. liza*) é lento (Acha 1990), sendo a digestão intracelular de fundamental importância até o 38º dias após a eclosão (Galvão *et al.* 1997). Com aproximadamente 40 dias de vida os indivíduos já apresentam as três regiões do estômago bem definidas (cárdia, corpo e piloro) e com dois meses após a eclosão o piloro já está diferenciado em uma estrutura muscular rígida (moela). A presença da moela e o longo intestino dos mugilídeos são característicos de espécies que apresentam grande ingestão de material não digerível (Hickling 1970), como areia e sedimento (Vieira 1991).

Após o período no plâncton, os juvenis chegam à zona de arrebenção e começam a alimentar-se de diatomáceas bentônicas com ingestão de grande quantidade de sedimento (Vieira 1991). A mudança da dieta zooplancctófaga para o hábito alimentar herbívoro/detritívoro ou iliófago, com a consequente diminuição do componente animal na dieta, ocorre a partir do pré-recrutamento (Vieira 1991). Nesta fase, juvenis menores que 30 mm CT ocupam a zona de arrebenção adjacentes a estuários e lagoas costeiras, até que condições físicas e biológicas favoreçam a entrada nos ambientes de berçário.

Essa mudança na dieta compõe uma estratégia para aumentar seu peso e auxiliar a entrada em ambientes estuarinos via cunha salina (Vieira 1991). Essa estratégia pode não ser exclusiva de *M. liza* no Sul do Brasil, pois, a análise estomacal de juvenis de mugilídeos de diferentes espécies na costa Africana demonstrou grande quantidade de areia/sedimento em mais de 90 % dos estômagos (Blaber & Whitfield 1977).

A ocupação de um novo habitat e mudança do hábito alimentar é acompanhada de transformações morfológicas. O aumento do comprimento do intestino e a posição da boca em *M. liza* (que passa de mais alta do que larga para uma posição inversa) foi relacionada com o início de uma dieta bentônica (Acha 1990) em pré-recrutas. Mudanças, variações morfométricas na cabeça e altura do corpo, também ocorrem em juvenis de *M. gr. cephalus* já recrutados em estuários (Anderson 1958).

Em *M. liza* este processo de mudança de hábito alimentar, acompanhado de alterações na estrutura do trato digestório, ocorre em um processo do tipo saltatório (Acha 1990) e não progressivamente como ocorre em outros mugilídeos (Suzuki 1965, Blaber & Whitfield 1977). Roselet (2005) demonstrou que indivíduos que permanecem no ambiente costeiro adjacente o estuário da Lagoa dos Patos apresentam uma aparente redução da taxa de crescimento, que pode ser atribuída ao custo energético da regulação osmótica, redução da taxa de conversão alimentar e, especialmente, pela menor disponibilidade de alimento fora do estuário. O desenvolvimento do intestino e do corpo só tem início a partir do momento em que os juvenis recrutam no estuário da Lagoa dos Patos (Roselet 2005), corroborando os resultados de Acha (1990).

Em diversos locais do mundo os mugilídeos parecem conservar comportamentos adaptativos e estratégias ecológicas. No entanto, mudanças e particularidades dos ambientes físicos podem influenciar a ecologia alimentar de juvenis de tainhas (Blaber 1987). Em localidades onde a plataforma continental é mais larga e as praias possuem caráter dissipativo, juvenis de mugilídeos tem menos dependência de ambientes

estuarinos, podendo fazer a transição do hábito alimentar de zooplânctófago para iliófago no ambiente marinho costeiro (Blaber 1987), como é o caso de *M. liza* na costa Sul do Brasil (Vieira 1991). Entretanto, em praias arenosas com alta morfodinâmica, a alteração da dieta dos juvenis de Mugilídeos ocorre dentro dos estuários, pois a dinâmica da zona de arrebentação não permite uma fase de pré-recrutamento longa, devido à dificuldade de alimentar-se junto ao fundo (Blaber & Whitfield 1977).

Uma vez que a tainha adota o hábito alimentar iliófago (Pillay 1953, de Silva & Wijeyaratne 1977), este permanece até o estágio adulto. Sua estratégia alimentar permite então a ingestão de diversos itens, como plantas, detritos (Odum 1970, Brusle 1981), microalgas (Almeida *et al.* 1993, Laffaille *et al.* 2002), meiofauna (Laffaille *et al.* 1998), muitos deles com um alto grau de indigestibilidade. As partículas de sedimento ingeridas auxiliariam o processamento mecânico da digestão de diatomáceas e restos vegetais (Vieira 1991). Odum (1970) sugere que as bactérias e protozoários sobre as partículas de detritos ingeridos podem ser importantes como uma fonte essencial de nutrientes e, sobretudo, pela participação na decomposição de material vegetal.

Com transições de hábito alimentar durante as fases de vida e de hábito iliófago quando adultas, com grande ingestão de material vegetal, as tainhas estão entre os poucos peixes de médio e grande porte capazes de se alimentar sobre níveis tróficos baixos (Laffaille *et al.* 2002, Gautier & Hussenot 2005), desempenhando um papel importante nas teias alimentares costeiras (Lefevre *et al.* 1999, Laffaille *et al.* 2002, Oliveira *et al.* 2014).

3.5. Idade e Crescimento

Estudos publicados demonstraram a aptidão dos otólitos para este tipo de investigação. Os parâmetros da curva de von Bertalanffy foram distintos entre os estudos, entretanto, todos eles concluem que a espécie possui crescimento relativamente

moderado e a longevidade da espécie variou entre sete e dez anos e meio (Tabela I). A espécie é considerada como apresentando uma taxa de mortalidade natural elevada ($M = 0,30$) (González-Castro *et al.* 2009) ($M = 0,37$) (Garbin *et al.* 2013) quando comparada a outras espécies de Mugilidae. Além disso, indivíduos coletados no ambiente marinho são em média maiores e mais velhos (650 mm CT e 10,5 anos) do que indivíduos estuarinos (500 mm CT e 8,5 anos), e a idade em que ocorre o recrutamento à pesca é com seis anos (Garbin *et al.* 2013).

TABELA I. Parâmetros da curva de von Bertalanffy calculados para *Mugil liza* em diferentes estudos.

Local do estudo	L_{∞}	K	Longevidade	Fonte
São Paulo	734 mm	0,24 ano ⁻¹	7 anos	Miranda et al. (2006)
Argentina	563,8 mm	0,30 ano ⁻¹	10 anos	González-Castro et al. (2009)
Sul e Sudeste do Brasil	662 mm	0,17 ano ⁻¹	10,5 anos	Garbin et al. (2013)

O crescimento de *M. liza* é controlado por ciclos anuais de processos biológicos, principalmente reprodutivos, e também por fatores abióticos. Parâmetros ambientais importantes que afetam este processo sofrem variação de acordo com a latitude. Por exemplo, variação nas taxas de crescimento de juvenis e adultos da espécie no Nordeste brasileiro são influenciadas pelo ciclo sazonal de chuvas e estiagem (Sousa *et al.* 2015), enquanto que em maiores latitudes, como na Argentina, o ciclo sazonal de temperatura é mais importante (González-Castro *et al.* 2009).

3.6. Aquicultura

A aquicultura, considerada como uma alternativa para a pesca extrativa, vem crescendo muito nos últimos anos (FAO 2014) e o cultivo de mugilídeos vem acompanhando este aumento da atividade. Dentre os maiores produtores do grupo estão Egito, Estados Unidos, Coreia, Itália, Taiwan, China, Cuba, Colômbia e Israel, sendo o Egito o maior produtor (Godinho *et al.* 1988, FAO 2014). Três espécies são importantes

para o cultivo: *Liza ramada*, *Valamugil seheli* e *Mugil gr. cephalus*, sendo esta última, a mais cultivada (Saleh 2008). Segundo os relatórios da FAO (2014), a produtividade de *M. gr. cephalus* aumentou muito de 1997 (~ 25 mil toneladas) a 2003 (147 mil toneladas), devido, sobretudo, ao aumento da produção pelo Egito. Em 2005, somente o Egito produziu mais de 156 mil toneladas de tainhas via cultivo (Saleh 2008).

Mugilídeos possuem várias características apontadas como relevantes quando se propõe o cultivo de uma espécie. De um modo geral, são peixes eurihalinos e euri térmicos, permitindo a criação em águas de diferentes salinidades (Fonseca Neto & Spach 1999) e adaptação a climas tropical e subtropical (Godinho *et al.* 1988, Oliveira & Soares 1996, Okamoto *et al.* 2006), são tolerantes aos produtos nitrogenados (Sampaio *et al.* 2002, Poersch *et al.* 2007), são adequadas tanto a sistemas de monocultivo como em policultivo com outras espécies de peixes e também de crustáceos (Benetti & Fagundes Netto 1991, Neto & Spach 1999, Sampaio *et al.* 2001) em viveiros, lagos e reservatórios (FAO 2014) e também em sistemas extensivos (Cafsi *et al.* 2003). Suportam bem condições de confinamento, aceitam com facilidade alimentos artificiais, apresentam baixa posição na cadeia trófica, o que possibilita o uso de ração de baixo teor de proteína animal (Godinho *et al.* 1988), apresentam boas taxas de crescimento em salinidades médias (Lisboa *et al.* 2015) e um bom mercado consumidor (Crescêncio 2005).

Deve-se ressaltar que, onde *M. gr. cephalus* é fortemente cultivada, Egito (Saleh 1991, Suloma & Ogata 2006), Taiwan (Yeh 1998), Filipinas e Itália (Landoli 2000), Grécia, Israel, Tunísia e Turquia (Sadek & Mires 2000), a produção é realizada a partir da coleta de larvas e/ou juvenis em ambiente natural (Ramírez *et al.* 2007, FAO 2014). O fornecimento de larvas e juvenis oriundos de propagação artificial ainda é limitado, e não atende a demanda dos produtores (El-Sayed & El-Gobashi 2011). A reprodução em

cativeiro, ainda em escala limitada, ocorre somente nos Estados Unidos, Itália, Taiwan e Egito (Lee & Ostrowski 2001, Saleh 2008, FAO 2014).

A tainha é uma espécie que migra por longas distâncias para a reprodução, e quando mantida em condições de cativeiro exibe disfunções reprodutivas que inibem a liberação espontânea dos gametas, portanto, é necessária indução hormonal para que ocorra a desova em ambiente controlado (Godinho 2005). Embora tenha sido demonstrado a possibilidade de desova induzida e alevinagem da espécie no Brasil (Benetti & Fagundes Neto 1980, Andreatta *et al.* 1982, Godinho *et al.* 1993) e em Cuba (Alvarez-Lajonchere *et al.* 1988), a utilização de técnicas de reprodução em cativeiro aumenta muito os custos de produção, sendo economicamente inviável (Saleh 2008) até o momento.

No Brasil, a piscicultura marinha em geral, ainda vem sendo realizada em nível experimental, não havendo registros de produção comercial de nenhuma espécie marinha (Cerqueira 2002, MPA 2012). *Mugil liza* tem sido considerada como uma espécie promissora para a piscicultura (Godinho *et al.* 1988), e muitas pesquisas brasileiras tem sido realizadas com o intuito de viabilizar o seu cultivo. Como por exemplo, estudos com foco no efeito da densidade de estocagem dos alevinos (Scorvo-Filho *et al.* 1992), uso de diferentes ingredientes na ração e variações dos fatores físicos e químicos da água (Godinho *et al.* 1988), experimentos para testar os efeitos no crescimento em mono e policultivo (Scorvo-Filho *et al.* 1995), descrição do desenvolvimento do sistema digestório de juvenis com o objetivo de aprimorar o manejo alimentar (Galvão *et al.* 1997), utilização do sistema de bioflocos (da Rocha *et al.* 2012), efeitos dos compostos nitrogenados, salinidade (Miranda Filho *et al.* 1995, Sampaio *et al.* 2002, Poersch *et al.* 2007), e da temperatura no crescimento e sobrevivência de juvenis (Okamoto *et al.* 2006).

Os primeiros estudos sobre o cultivo de tainhas no Brasil foram realizados na região nordeste através de viveiros naturais, com pouco ou nenhum controle das variáveis ambientais (Godinho *et al.* 1988). A partir daí, várias tentativas experimentais de cultivo foram realizadas em Pernambuco, São Paulo, Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, mas nenhuma bem sucedida (Godinho 2005). Atualmente a Universidade Federal de Santa Catarina, com apoio de vários órgãos privados e governamentais, executa um projeto que tem como objetivo, viabilizar a utilização sustentável da tainha, desenvolvendo e aprimorando técnicas de maturação, reprodução, larvicultura e cultivo dessa espécie em cativeiro em Santa Catarina (Epagri 2014). Uma vez que a tecnologia para o cultivo seja dominada, a produção de tainha pela aquicultura poderá se tornar uma alternativa, visto que a pesca extrativa do recurso não tem demonstrado boas expectativas.

3.7. Pesca

Segundo o diagnóstico publicado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA) em 2015, a produção nacional de Mugilídeos apresenta dois momentos distintos entre 1980 e 2010. Até 1994 a produção oscilou com uma média anual de 20.850 t. A partir de 1995 foi verificado um declínio acentuado, com uma produção média anual de cerca de 13.650 t. Apesar das flutuações interanuais, e dos problemas enfrentados pelo Brasil acerca da confiabilidade das estatísticas pesqueiras, as capturas reportadas aumentaram após o ano 2000, atingindo recorde em 2007, quando foram capturadas 21.412 t (MPA/ MMA 2015).

As regiões Norte e Nordeste do país foram responsáveis por 56 a 60 % dos desembarques de Mugilídeos entre o período de 1980 a 2010, entretanto os dados são relativos a família Mugilidae (Figura 4), enquanto que o Sul e Sudeste contribuíram de 40 a 44 % do total, somente com a captura de *M. liza* (Figura 5).

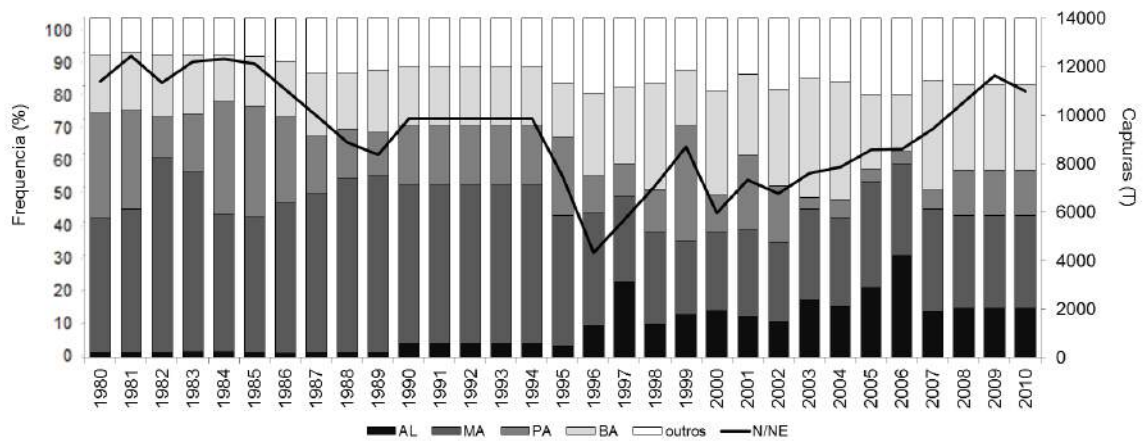


Figura 4. Frequência percentual da contribuição de cada estado nas capturas e captura total (toneladas) de Mugilídeos no Norte e Nordeste do Brasil. Estados agrupados na categoria outros: Amapá, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe. Valores de capturas dos períodos de 1990-1994 e 2008-2010 são estimativas. Dados publicados no diagnóstico do MPA/MMA 2015.

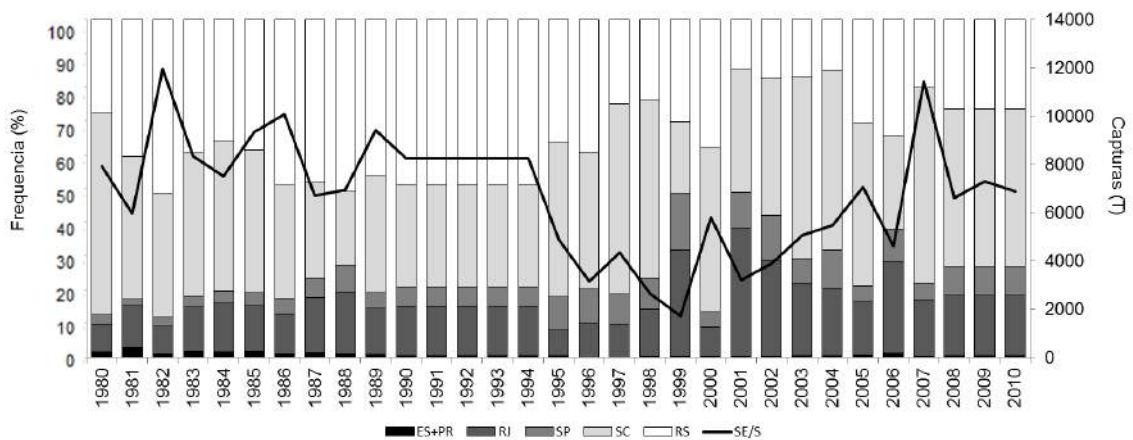


Figura 5. Frequência percentual da contribuição de cada estado nas capturas e capturas totais (toneladas) de *Mugil liza* na região Sul e Sudeste do Brasil. Valores de capturas dos períodos de 1990-1994 e 2008-2010 são estimativas. Dados publicados no diagnóstico do MPA/MMA 2015.

Mugil liza está entre as nove principais espécies de peixes capturados pela pesca extrativa no Brasil (MPA 2009). A atividade pesqueira sobre este recurso segue o padrão de utilização dos diferentes habitats pela espécie em diferentes estágios do seu

ciclo de vida. Durante maior parte do ano há captura de grande quantidade de indivíduos com comprimentos menores que o tamanho médio de primeira maturação (L_m) em estuários pela pesca artesanal (Lemos *et al.* 2014) (Figura 6). Quando a espécie está em período reprodutivo e inicia a migração a partir dos estuários para se reproduzir no mar, o recurso também passa a ser alvo da pesca industrial (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007, Lemos *et al.* 2014).

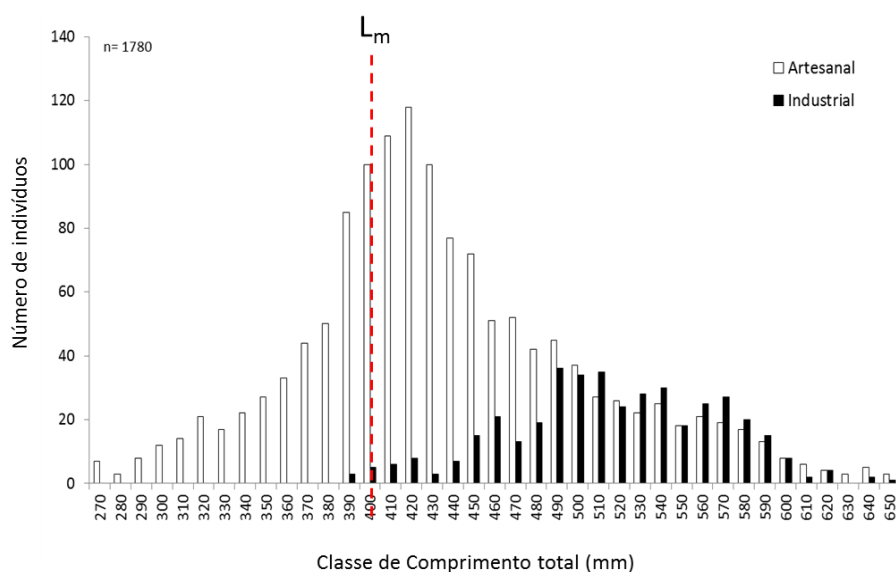


Figura 6. Distribuição por classe de comprimento total (mm) das amostras das capturas de *Mugil liza* pela pesca artesanal (Rio Grande, Tramandaí, Passo de Torres e Laguna) entre maio de 2011 e junho de 2012 e pela pesca industrial de cerco nas temporadas de pesca de 2011 e 2012. Linha tracejada destaca o tamanho médio de primeira maturação ($L_m=400$ mm) da espécie (Lemos *et al.* 2014).

Enquanto a atividade artesanal sobre a espécie ocorre em todo litoral brasileiro, a modalidade industrial concentra-se nas regiões Sul e Sudeste (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007), sendo que os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina respondem por cerca de 90 a 95 % do volume total capturado (MMA/MPA 2015).

3.7.1. Pesca artesanal de *Mugil liza* no Sul e Sudeste do Brasil

No Brasil, a importância dessa espécie para a pesca artesanal, em lagoas, estuários e região costeira é datada do século XVI (Staden 1974, Léry 1980). Está associada historicamente à subsistência e a tradição cultural de comunidades de

pescadores artesanais das regiões costeiras (Reis & D’Incao 2000, Seckendorff & Azevedo 2007).

A pesca estuarina ocorre geralmente ao longo de todo ano, nas principais baías e estuários da costa sul-sudeste. Uma grande diversidade de técnicas e petrechos é empregada na captura da espécie nos estuários: rede de emalhe e suas variações, rede de cerco ou rede trolha, armadilhas e tarrafas. Em muitos locais há a coexistência de mais de um dos petrechos, e há também a variação das dimensões e forma de operação de uma mesma técnica em distintos locais (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007, MPA/MMA 2015). Já a pesca de praia ocorre no período da migração e é realizada com redes de emalhar e também com a tradicional modalidade de arrasto de praia (MPA/MMA 2015).

A pesca artesanal ocorre em todo litoral sudeste-sul do Brasil, entretanto, no Espírito Santo a tainha não representa um recurso de importância econômica, sendo pouco expressiva em volume de produção (1 % da produção artesanal total da espécie) (PROZEE 2005). No Rio de Janeiro a pesca ocorre durante o ano inteiro, com picos de abundância nos meses de safra (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007). Além da ocorrência do cerco de pequenas traineiras (considerada industrial), a pesca artesanal ou de pequena escala é praticada através do arrastão de praia, emalhe, cerco e suas derivações, e o gancho, um tipo de armadilha (Monteiro-Neto *et al.* 2011) na região costeira e dentro das baías e lagoas (MPA/MMA 2015).

Em São Paulo a tainha está entre as 20 principais espécies desembarcadas. O litoral do estado possui diferentes regiões de pesca da tainha de acordo com a importância e características da pescaria (Miranda & Carneiro 2007, Miranda *et al.* 2011). No litoral sul ocorrem os maiores desembarques da espécie (80 % da pesca artesanal), através do uso do cerco-fixo, emalhe de superfície, arrasto e emalhe de praia. Na Região Central há predominância da atuação da frota industrial de cerco (88 % do

total descarregado da espécie) além do emalhe e do arrasto de praia artesanais, e no litoral norte a espécie é capturada principalmente pela frota artesanal (66 % da captura) através de rede de emalhe (Miranda & Carneiro 2007, Miranda *et al.* 2011, MPA/MMA 2015).

A pesca de tainha no litoral do Paraná não é economicamente expressiva, sua importância está no valor social e cultural que representa. A frequência é sazonal, ocorre nos meses de maio e junho e o arrastão de praia é a forma tradicional de pesca mais antiga para capturar a espécie, embora existam outras artes (rede feiticeira, cambau, picaré ou caceio de praia, arrastão de praia, caceio ou deriva, lanço ou cerco, caracol ou redondo, fundeio e tarrafa). Nos complexos estuarinos de Paranaguá e de Guaratuba a pesca é realizada com embarcações a remo ou a motor com predomínio do emalhe (MPA/MMA 2015).

Em Santa Catarina cerca de 7.900 pescadores artesanais participam da pesca da tainha, o que demonstra a importância deste recurso para esse estado (FEPESC 2012). A atividade ocorre em todo o litoral, mas a Ilha de Santa Catarina é responsável pela maior parte das capturas da tainha no estado (43 % do total) (MPA/MMA 2015). Pescadores utilizam redes de caço e malha (funcionam como pequenas redes de cerco, pois possuem anilhas para seu fechamento), emalhe fixo em praias, redes de espera, arrastão de praia, tarrafas e em algumas localidades pode também ocorrer pesca com caniço, linha de mão com anzol ou garatéias, realizadas por pescadores esportivos (MPA/MMA 2015). Nas barras de acesso às lagoas costeiras e estuários existe a pesca de tarrafa cooperativa com botos, praticada diariamente em algumas localidades (FEPESC 2012, MPA/MMA 2015).

Entretanto, a pesca da tainha sazonal mais tradicional em Santa Catarina é o arrastão de praia com canoa a remo (FEPESC 2012). Herança dos colonizadores açorianos, não representa grande expressão econômica, mas atuou favoravelmente no

passado para o estabelecimento de famílias de pescadores em todo o litoral (Bannwart 2013). Ainda nos dias de hoje observa-se forte característica comunitária, com integração da comunidade e também de turistas. A importância desta atividade foi reconhecida, através da Lei nº 15.922/2012, quando o Governo do Estado de Santa Catarina declarou a pesca da tainha como Patrimônio Histórico, Artístico e Cultural do Estado.

A tradição como recurso pesqueiro artesanal também ocorre no Rio Grande do Sul. Até 1970, todo desembarque registrado desta espécie no estado era proveniente da pesca na Lagoa dos Patos. Atualmente é o segundo recurso pesqueiro em importância econômica para os pescadores da região (Kalikoski & Vasconcellos 2013). A pesca artesanal no interior do ELP ocorre com redes de espera, cerco e redes de deriva e a maior concentração do esforço pesqueiro sobre a tainha ocorre no médio estuário, sendo a pesca de cerco mais realizada em áreas do médio e baixo estuário (Kalikoski & Vasconcellos 2013).

Na Lagoa do Casamento, sistema de águas límnicas, localizado na porção nordeste da Lagoa dos Patos, a tainha é capturada com redes de emalhe ao longo de todo ano, com maior abundância em janeiro e fevereiro. Embora as capturas sejam baixas (média de 25 toneladas anuais) e ocorra durante o período de defeso de pesca na porção norte da Lagoa dos Patos, é a terceira espécie mais importante entre as cinco exploradas nessa região (Milani & Fontoura 2007).

Além da atividade em toda a área da Lagoa dos Patos, há também pescarias de praia em cerca de 20 comunidades ao longo do litoral do estado, concentrando-se a maioria no litoral norte, com diversos tipos de redes de pesca (Peres 2007). No estuário do Rio Tramandaí há pesca de emalhe e a tradicional pesca com tarrafa cooperativa com botos *Tursiops truncatus* (Simões-Lopes *et al.* 1998).

3.7.2. Pesca Industrial de *Mugil liza* no Sul e no Sudeste do Brasil

A representatividade das capturas industriais vem crescendo no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e o oposto vem ocorrendo com as capturas pela pesca artesanal (Figura 7). A pesca industrial de *M. liza* ocorre principalmente pela frota de cerco (95 % da captura industrial do recurso) que atua durante a migração reprodutiva ao longo da costa do Sul e parte do Sudeste do Brasil durante os meses de maio a julho (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007, ANEXO I e III). As traineiras têm como principal alvo a sardinha-verdadeira *Sardinella brasiliensis*, mas com a forte queda nos rendimentos deste recurso a partir dos anos 2000, a frota foi reorientada à pesca da tainha, como uma atividade alternativa (Seckendorff & Azevedo 2007).

O forte interesse pela captura industrial de *M. liza* foi incentivado pelo potencial econômico apresentado pelas gônadas maduras, consideradas análogas ao caviar (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007). Atualmente empresas de Santa Catarina realizam o processamento industrial da tainha para a retirada de ovas, cujo destino da carcaça é o mercado interno e o das ovas é a exportação para países da Europa e da Ásia (Taiwan, França, Grécia, Itália e Espanha). De acordo com o MPA/MMA (2015) as exportações de ovas de tainha apresentou declínio acentuado principalmente entre 2007 (600 t) e 2013 (180 t), resultando na redução da movimentação financeira de cerca de US\$ 10 milhões em 2007 para 3,6 milhões em 2013 (MPA/MMA 2015).

Inicialmente toda embarcação de cerco permissionada para a sardinha poderia também atuar na captura de tainha. Entretanto, devido ao aumento do esforço de pesca sobre o recurso e a inclusão de *M. liza* na lista de espécies sobreexploradas da IN MMA Nº 5/2004 (IN IBAMA Nº 171/2008), a permissão para a pesca de tainha pelo cerco passou a ser uma autorização complementar à da sardinha (INI MPA-MMA nº10, 10/06/2011), mais restrita em número de embarcações e determinada anualmente frente

a alguns critérios estabelecidos para a obtenção da mesma (mais detalhes no ANEXO III).

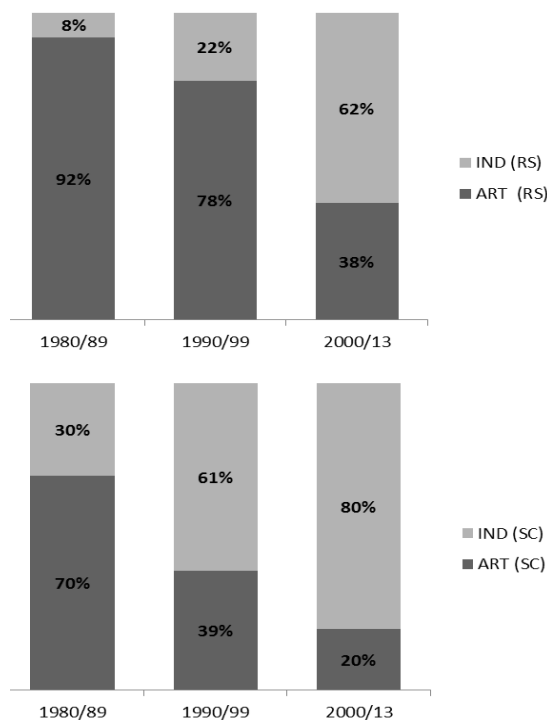


Figura 7. Percentual da contribuição das capturas industriais e artesanais de tainha *Mugil liza* no Rio Grande do Sul e Santa Catarina ao longo de três décadas. Dados de desembarques extraídos do MPA/MMA 2015.

3.7.3. Pesca no Uruguai e Argentina

A espécie tem pouca importância comercial nos países vizinhos, Argentina e Uruguai. O estoque explorado é o mesmo estoque sul que sustenta a pesca no Sul e Sudeste do Brasil (Mai *et al.* 2014). Os dados de pesca argentina disponíveis (1935-2011) demonstram que *M. liza* representa, em média, menos de 0,1 % das capturas anuais do país (~ 55 ton/ano) (Ministério de Ganadería Agricultura y Pesca de Argentina). Quanto aos desembarques do Uruguai (dados disponíveis: 1994 - 2009), é possível notar que o mesmo captura o recurso em maior quantidade que a Argentina, mas não ultrapassa 0,2 % do recurso pesqueiro capturado anualmente pelo país (~ 250 ton/ano) (DINARA).

Na Argentina, *M. liza* é capturada principalmente com redes de emalhe e o destino do pescado é o consumo local do produto fresco no mercado interno. Uma pescaria artesanal de relativa importância ocorre na Bahía de Samborombón e em San Clemente, Buenos Aires (Ministério de Ganadería Agricultura y Pesca de Argentina).

3.8. Considerações Importantes

A tainha é uma espécie com importância histórica para a pesca artesanal no Sul e Sudeste do Brasil, e atualmente, também representa um recurso econômico considerável para a pesca industrial (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007). Além das intensas explorações industriais e artesanais, a espécie sofre outras pressões de pesca ao longo de sua distribuição, como amadora e de subsistência (Miranda *et al.* 2011). A diversidade de modalidades atuando sobre recurso, e as altas taxas de exploração da população sul da espécie (Garbin *et al.* 2013) apontam para a necessidade de elaboração e implementação de medidas que assegurem a exploração a níveis sustentáveis.

A grande variabilidade interanual das capturas demonstra que a espécie é extremamente dependente das condições ambientais (Miranda *et al.* 2006, Vieira *et al.* 2008), como por exemplo, os efeitos negativos do evento El-Niño na safra da tainha (Vieira *et al.* 2008) e no recrutamento dos juvenis (Moraes 2012). A espécie também é potencialmente vulnerável a perturbação e degradação de habitats estuarinos, os quais constituem os locais de berçário para os juvenis (Vieira 1991, ANEXO IV). Medidas de conservação da espécie devem ser vinculadas também à saúde destes ambientes. Entretanto, as áreas berçários, coincidem com áreas planejadas para a expansão portuária, investimentos turísticos e imobiliários (MPA/MMA 2015), tornando esse assunto objeto de conflito para os gestores.

Além da relevância econômica da espécie, existe grande importância cultural para a região Sul do Brasil como pode ser demonstrada a partir dos exemplos: (i) a declaração da pesca de arrasto com canoa a remo como Patrimônio Histórico, Artístico e Cultural do Estado de Santa Catarina através da Lei nº 15.922/2012, na qual destaca a importância desta atividade que constitui a mais tradicional modalidade de pesca do estado e que conserva até os dias de hoje um caráter comunitário; (ii) a ocorrência de muitas festas populares tendo a espécie como temática principal, as quais movimentam o turismo e comércio no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina (iii) a elaboração da Lei 4.613, que desde 1995 proíbe a prática do surf em quase todos os balneários da Ilha de Santa Catarina nos períodos da pesca da tainha; e, (iv) a tradicional pesca de tarrafa cooperativa com o boto *Tursiops truncatus* na região estuarina de algumas lagoas costeiras (como em Laguna e Tramandaí), na qual a interação direta entre pescador e mamífero desperta o interesse pela conservação deste último por parte dos pescadores (Simões-Lopes *et al.* 1998). Assim, é possível afirmar que a preservação de *M. liza* não representa somente segurança econômica e alimentar, mas também, assegura a tradição e cultura que há em torno da espécie na região.

Assim, a natureza econômica, cultural e histórica, o grande e diverso número de usuários explorando esse recurso e a existência de vulnerabilidades naturais e antrópicas que afetam a espécie impõem a necessidade da implementação de políticas que assegurem uma exploração sustentável de *M. liza* crucial para sua manutenção, como recurso pesqueiro e de biodiversidade.

JUSTIFICATIVAS

Considerando a grande importância econômica e cultural da tainha *Mugil liza*, a proposta desta Tese foi elucidar alguns dos aspectos do ciclo de vida de *M. liza* no Sul do Brasil e determinar a existência de diferentes estoques da espécie ao longo da área do estudo. As motivações para a realização deste trabalho foram o atual cenário em que coloca a tainha como um dos 10 recursos pesqueiros mais importantes do país; a classificação da espécie como recurso sobreexplorado pelo MMA em 2004; e, principalmente, as lacunas existentes sobre o ciclo de vida da espécie e caracterização do (s) estoque (s), que até o momento, justificavam a inexistência de um plano de manejo para definir diretrizes para uma exploração sustentável (MPA/MMA 2015).

HIPÓTESES

Hipótese 1: A tainha *Mugil liza* se reproduz no ambiente marinho após a migração costeira a partir de ambientes estuarinos.

Os únicos trabalhos publicados sobre biologia reprodutiva de *M. liza* (na Argentina - Gonzáles-Castro *et al.* 2011, Paraná - Esper *et al.* 2000, 2001, no Rio de Janeiro - Albieri & Araújo 2010) foram realizados dentro de ambientes lagunares e/ou estuarinos. Além disso, existe uma lacuna de estudos sobre a reprodução da espécie na área onde ocorrem cerca de 90 a 95 % das capturas comerciais (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007).

Hipótese 2: A população sul de *Mugil liza* compõe um único estoque pesqueiro.

A população sul da espécie tem distribuição desde Argentina até São Paulo (Mai *et al.* 2014). Considerando que um estoque pesqueiro não necessariamente compõe uma população genética (Cadrin *et al.* 2005) a identificação de um ou mais estoques de *M. liza* dentro da população sul torna-se fundamental para o manejo.

Hipótese 3: O Estuário da Lagoa dos Patos constitui o principal local de berçário para juvenis de *Mugil liza*.

Juvenis de *M. liza* utilizam ambientes estuarinos como zonas de berçário (Vieira 1991). A presença e grande abundância de juvenis da espécie no Estuário da Lagoa dos Patos ao longo de todo o ano, aliado ao conhecimento empírico de pescadores que sugerem que o estuário da Lagoa dos Patos seja o principal berçário para a espécie (Herbst & Hanazaki 2014), este ambiente assume grande importância para o ciclo de vida de *M. liza*.

OBJETIVOS

Objetivo geral

Gerar informações sobre o ciclo de vida e determinação do estoque da tainha *Mugil liza* Valenciennes 1836 no Sul do Brasil.

Objetivos Específicos

1. Determinar os parâmetros reprodutivos de *Mugil liza* no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (ANEXO I);
2. Determinar o(s) local(s) de desova(s) na costa Sul do Brasil e caracterizar suas condições oceanográficas (ANEXOS I e III);
3. Identificar possíveis estoques de *Mugil liza* existentes entre a costa Sul/Sudeste brasileira com base nas condições ambientais de nascimento dos indivíduos através das características químicas dos otólitos dos juvenis (ANEXO II);
4. Descrever a distribuição espaço temporal da atividade da frota de cerco sobre o recurso *Mugil liza* no Sul e parte do Sudeste do Brasil durante a migração reprodutiva da espécie (ANEXO III);
5. Descrever o processo de pré-recrutamento de *Mugil liza* e correlacioná-lo com variáveis ambientais no Rio Grande do Sul e sul de Santa Catarina (ANEXO IV).

METODOLOGIA GERAL

Área de estudo e amostragem

Este estudo foi realizado na costa Sul e parte do Sudeste do Brasil, abrangendo distintas áreas de amostragens de acordo com os objetivos específicos de cada um dos trabalhos da tese (ANEXOS) (Figura 8).

Para o estudo sobre a biologia reprodutiva (Anexo I), as tainhas foram obtidas mensalmente (maio 2011 a junho 2012), através de pescadores artesanais, em quatro áreas amostrais (Laguna - SC, Tramandaí e Rio Grande – RS, este último com coletas dentro da Lagoa dos Patos e na zona costeira), além da obtenção de exemplares capturados em duas safras de pesca (maio a julho de 2011 e 2012) pela pesca industrial de cerco ao longo da migração reprodutiva (Figura 8A). Para o estudo sobre a identificação de estoques (Anexo II), foram analisados dados de juvenis de *M. liza* coletados através de arrastos de praia na zona de arrebentação (Chuí, Rio Grande, Mostardas, Tramandaí, Laguna, Passo de Torres, Pontal do Paraná e Rio de Janeiro) e no estuário da Lagoa dos Patos (Figura 8B) durante os meses de junho a outubro de 2011. Para o trabalho sobre a análise do deslocamento da frota de cerco durante a migração reprodutiva de *M. liza* (Anexo III) foram analisados dados do Programa de Rastreamento das Embarcações Pesqueiras por Satélite - PREPS da frota de cerco que atua desde o sul do Rio Grande do Sul até norte de São Paulo durante as safras de 2008 a 2012 (Figura 8C). E, para o trabalho do Anexo IV, sobre o pré-recrutamento da espécie, foram analisados dados oriundos de amostragens sistemáticas mensais em seis pontos de coleta, de junho de 2011 a maio de 2012, na zona de arrebentação de praias arenosas (arrastos de praias com uma rede picaré) ao longo de um gradiente latitudinal

de aproximadamente 1 grau de latitude de distância entre os pontos: Barra do Chuí no Rio Grande do Sul e Laguna em Santa Catarina (Figura 8D).

Para os objetivos II e IV, durante cada amostragem biológica também foram registradas as variáveis ambientais: salinidade, temperatura e transparência da água.

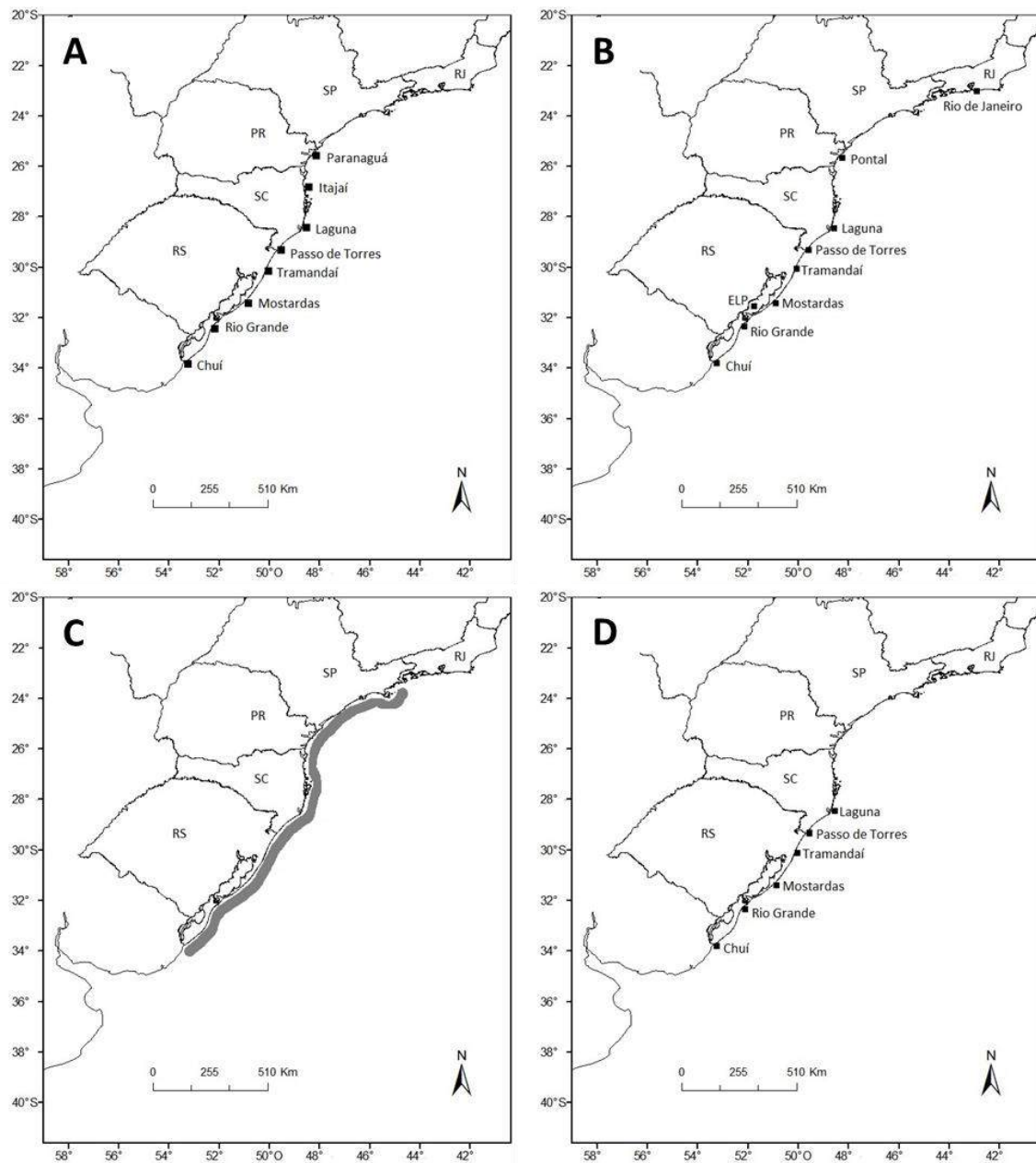


Figura 8. Mapa da área de estudo: Litoral Sul e parte do Sudeste do Brasil. Cada um dos mapas apresentam as áreas de amostragem referentes a cada um dos objetivos que contam nos anexos da tese. ANEXO I: Estudo da migração e reprodução de *Mugil liza* (A), ANEXO II: Análise isotópica de oxigênio e carbono em otólitos dos juvenis de *M. liza* (B), ANEXO III: Acompanhamento da distribuição da frota de cerco sobre o estoque sul de *M. liza* durante a migração reprodutiva (C) e ANEXO IV: Análise do pré-recrutamento de *M. liza* (D).

Análise de dados

A metodologia utilizada no Anexo I, sobre o estudo da biologia reprodutiva da tainha seguiu os protocolos de Albieri & Araújo (2010), Gonzáles-Castro *et al.* (2011),

e Lemos *et al.* (2011). Depois da identificação e biometria dos exemplares, as gônadas foram classificadas quanto ao estágio de maturação de acordo com Albieri & Araújo (2010) e González-Castro *et al.* (2011). Foram realizados preparados histológicos permanentes de todas as gônadas, os quais foram fotografados para determinação do diâmetro dos oócitos nos diferentes estágios de maturação. A fecundidade média foi realizada através do método gravimétrico a partir do protocolo de Vazzoler (1996). Para determinar o local de desova e sua associação com a condição de temperatura superficial do mar foi utilizado a análise da maturação das gônadas dos exemplares coletados ao longo da costa pela frota industrial de cerco e a temperatura superficial do mar durante o período da migração reprodutiva, obtida através de Giovanni -NASA GES DISC (Acker & Leptoukh, 2007).

Para o estudo do Anexo II, juvenis coletados através de uma rede de arrasto do tipo picaré, foram identificados, e após a biometria, tiveram seus otólitos sagittae removidos. Depois de limpos, os otólitos foram armazenados individualmente e enviados para o Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - IG/UnB para análise isotópica de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) e oxigênio ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) através de *Isotopic Ratio Mass Spectrometry* (IRMS) (espectrômetro de massa de fluxo contínuo e fonte gasosa com setor magnético). A partir do material de referência, a razão isotópica “ δ per mil (‰)” foi calculada para cada amostra. A diferença da razão isotópica entre as amostras dos distintos locais foi testada através da análise de variância (ANOVA).

No trabalho do Anexo III, sinais geo-referenciados (Datum WGS84) originados do PREPS (fornecidos pelo MPA), emitidos a cada hora por cada embarcação da frota industrial de cerco permissionada para a Captura Auxiliar de tainha foram filtrados utilizando como critério as velocidades compatíveis com operações de pesca (VCOP) (SEAPPR/MMA/IBAMA/MB 2006, Bertrand *et al.* 2005). Visando determinar a

distribuição da densidade das operações de pesca no tempo e espaço e sua relação com a temperatura superficial do mar (TSM), o somatório de sinais transmitidos em quadrantes de $0,125^\circ \times 0,125^\circ$ (latitude e longitude) foram plotados mensalmente, juntamente com a média mensal de TSM (obtida através de Giovanni -NASA GES DISC (Acker & Leptoukh, 2007)). Para estimar a faixa de temperatura ideal da ocorrência do recurso durante a migração reprodutiva costeira, a distribuição da concentração espacial dos sinais VCOP e TSM foi testada através de análise de variância (ANOVA).

Para o estudo do pré-recrutamento de *M. liza* (Anexo IV) foram construídos dois modelos lineares generalizados (McCullagh & Nelder 1989) para determinar a relação entre probabilidade de ocorrência e abundância dos pré-recrutas na zona de arrebentação dos seis locais amostrados e as variáveis ambientais. As variáveis explicativas utilizadas nos modelos foram: ambientais coletadas em campo (salinidade, temperatura e transparência da água), área (km^2) e largura da boca (km) de cada um dos seis estuários adjacentes aos locais de coleta, distância (km) de cada ponto amostral com relação ao estuário mais próximo, distância de cada ponto amostral da área de desova (definida por Lemos *et al.* 2014) e latitude. Antes da construção dos modelos, o conjunto de variáveis explanatórias foi testado para identificar colineariedade.

O modelo para ocorrência pode ser descrito como: *M. liza* \sim (mês*ponto) + $X_1 + \dots + X_i \dots + X_n$, família = binomial (link = “logit”), onde X_i representa os descritores abióticos para ocorrência de *M. liza*, e o modelo para a abundância de pré-recrutas pode ser descrito como: *M. liza* ($\log(\text{CPUE}+1)$) \sim (mês*ponto) + $X_1 + \dots + X_i \dots + X_n$, família = Gamma (link = “log”), onde X_i representa os descritores abióticos para explicar a abundância de *M. liza*. A escolha dos melhores modelos foi realizada a partir da metodologia utilizada por Rodrigues *et al.* (2014).

Para as análises dos dados foram utilizados os programas Microsoft Excel, Bioestat 5.3, ArcMap 10.0, Image J software (Burger & Burge, 2007) e Software R (R Development Core Team 2005).

SÍNTESE DOS RESULTADOS

CAPÍTULO 1

Migration and reproductive biology of *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in South Brazil

V. M. Lemos, A. S. Varela Jr., P. R. Schwingel, J. H. Muelbert & J. P. Vieira

Artigo publicado em Journal of Fish Biology em maio de 2014.

Versão completa acessível no ANEXO I.

O estudo da migração e análise dos parâmetros reprodutivos de *Mugil liza* no sul do Brasil demonstrou que a espécie é desovante total e o desenvolvimento oocitário ocorre de maneira sincrônica em dois grupos. De mesma forma como outros Mugilídeos, as fêmeas da tainha estão aptas a desovar somente após o último estágio de desenvolvimento gonadal, o qual ocorre durante a migração no ambiente marinho, quando então ocorre a hidratação dos oócitos. A presença de ovários hialinizados (oócitos hidratados) esteve associada a exemplares coletados pela pesca industrial de cerco no litoral norte de Santa Catarina e costa do Paraná onde a temperatura superficial do mar esteve entre 19 e 21 °C. O cálculo do índice gonadossomático (IGS) e o fator de condição (Δk) demonstraram que a desova ocorre no ambiente marinho, depois da migração ao longo da costa.

A migração reprodutiva a partir do Estuário da Lagoa dos Patos tem início no mês de abril/maio. Os cardumes migram seguindo a progressão temporal e latitudinal em sentido norte das isotermas de 19 e 21 °C. Os índices reprodutivos e análise das gônadas demonstraram que a desova ocorreu no mês de junho ao norte de Santa Catarina e costa do Paraná, quando ovários em estágio desovado foram mais frequentes

nas amostragens. O tamanho médio de primeira maturação (L_m) para sexos agrupados foi de 408,3 mm de comprimento total (CT). Machos maturam em média menores que as fêmeas: $L_{m\sigma} = 400,1$ mm CT e $L_{m\varphi} = 421,9$ mm CT. A fecundidade média calculada para fêmeas entre 426 e 660 mm CT foi de 1.624,551 oócitos por fêmea.

Além do cálculo do tamanho médio de primeira maturação, fecundidade e determinação do local, condição de temperatura superficial do mar e época do ano em que ocorreu a desova, foi possível construir uma escala de desenvolvimento das gônadas (macro e microscópica) para ambos os sexos de *M. liza*. Também foi descrita a diferença na composição das capturas entre a pesca industrial de cerco e artesanal. A frota industrial captura, ao longo da costa do Sul do Brasil, basicamente indivíduos maduros envolvidos no processo reprodutivo, enquanto que há grande incidência de indivíduos com tamanhos menores do que o L_m nas capturas da pesca artesanal em diferentes pontos no Rio Grande do Sul e Santa Catarina durante todos os meses do ano.

CAPÍTULO 2

Stock discrimination of mullet (*Mugil liza* Valenciennes, 1836) by stable isotope ratio analysis of otolith carbonate

V. M. Lemos, C. Monteiro-Neto, H. Cabral & J. P. Vieira

Trabalho submetido em Journal of Fish Biology em setembro de 2015.

Versão completa acessível no ANEXO II.

Neste estudo, a análise da composição isotópica de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) e carbono ($\delta^{13}\text{C}$) nos otólitos dos juvenis do ano coletados desde o Rio de Janeiro até o Chuí, demonstrou a existência de duas áreas de desova distintas ao longo da costa. Juvenis coletados ao longo de toda costa sul do Brasil compartilham da mesma composição isotópica, a qual remete a uma condição ambiental do local de nascimento comum entre eles (18-21 °C). Otólitos de indivíduos coletados no Rio de Janeiro apresentam composição isotópica que permitem concluir que seu local de nascimento ocorre em águas com temperaturas maiores (21-24 °C) daquele local de nascimento dos indivíduos do sul.

Muitas técnicas genotípicas e fenotípicas são aplicadas para o reconhecimento de estoques e populações de peixe (Ihssen *et al.* 1981, Cadrin *et al.* 2005). Nos últimos anos, a química de otólitos tem identificado grupos com base na caracterização do ambiente de nascimento e de residência dos indivíduos (Gao *et al.* 2001), muitas vezes com maior refinamento que os métodos genéticos (Campana & Thorrold 2001, Cadrin *et al.* 2005). Sabe-se que marcadores genéticos fornecem uma ferramenta importante para identificar o grau de isolamento reprodutivo entre os grupos (Cadrin *et al.* 2005), no entanto, a história de vida, o padrão de migração populacional, as condições ambientais as quais os indivíduos estão sujeitos, resultam em diferenças em escalas

geográficas finas, que estudos genéticos podem não demonstrar com a resolução desejada (Conover 1998).

Na tentativa de atender a orientação de vários autores que determinam a associação das duas abordagens – genéticas e química de otólitos (Campana et al. 1994), e considerando a estrutura populacional genética da população sul definida por Mai *et al.* (2014), os resultados deste trabalho demonstraram que a população sul compõe um estoque. A desova deste estoque ocorre em condições ambientais específicas (na costa de Santa Catarina/Paraná) distintas dos indivíduos do Rio de Janeiro. Portanto, para fins de manejo, a população sul, sobre a qual incide até 95% da exploração comercial de *M. liza* no Brasil (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL 2007), deve ser considerada como uma unidade de manejo, identificada tanto pela análise genética quanto pela análise química de carbonato em otólitos.

CAPÍTULO 3

Using the purse seine fisheries of *Mugil liza* in order to describe the reproductive migration in Southern Brazil

Valéria M. Lemos, Débora F. Ávila Troca, Jorge Pablo Castello & João Paes Vieira
Artigo submetido em Latin American Journal of Aquatic Research em agosto de 2015.

Versão completa acessível no ANEXO III.

Foram analisados dados do Programa Nacional de Rastreamento das Embarcações Pesqueiras por Satélite (PREPS) da frota de cerco que atuou na captura de tainha no Sul e Sudeste do Brasil entre 2008 e 2012. A partir da análise desses dados, foi possível demonstrar o deslocamento espaço-temporal da frota em sentido sul-norte, entre os meses de maio a julho, acompanhando os cardumes que migram ao longo da costa de acordo com o deslocamento das isotermas de 19-21 °C.

A área de atuação da frota é desde a costa sul do Rio Grande do Sul até o litoral norte de São Paulo. Junho foi o mês onde se observou maior frequência (54 %) de sinais emitidos pela frota quando estavam com velocidades compatíveis com a operação de pesca (VCOP) ($p < 0,05$). Independente do mês e da latitude, cerca de 60 % das transmissões VCOP ocorreram em temperaturas superficiais do mar entre 18–21 °C, não sendo observada diferença significativa deste padrão entre os anos ($p > 0,05$).

Além do padrão espaço-temporal da exploração do recurso pela frota, foi possível observar que 95 % dos sinais VCOP foram transmitidos em profundidades menores que 50 m. Quanto ao esforço pesqueiro, os dados demonstraram que não houve incremento no esforço (horas de mar, número de embarcações) ao longo das cinco safras. Em média, 51 embarcações estiveram ativas anualmente. Cada barco apresentou cerca de 350 horas com transmissões VCOP por safra, o que corresponde em média, 17

% do tempo em que esteve no mar. Este trabalho constitui a primeira análise dos dados do PREPS da frota de cerco, a qual contribuiu para a compreensão da exploração industrial e do padrão migratório da tainha, demonstrando a aptidão destes dados para aplicação científica.

CAPÍTULO 4

Pré-recrutamento de *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) na costa sul do Brasil

V. M. Lemos, S. Pasquaud, H. Cabral & J. P. Vieira

Periódico a ser definido.

Versão completa acessível no ANEXO IV.

Mugil liza é uma espécie que desova em ambiente marinho e que utiliza estuários como áreas de berçário (Vieira 1991). Após a fase planctônica, os juvenis utilizam a zona de arrebentação de praias arenosas como habitat intermediário durante o período de pré-recrutamento, que antecede o recrutamento nos ambientes estuarinos. Neste trabalho foram analisadas as relações entre variáveis ambientais e presença e abundância de pré-recrutas (comprimento total ≤ 30 mm) em seis locais na zona de arrebentação adjacentes aos principais estuários da costa Sul do Brasil, de Laguna (29 °S) até o Chuí (34 °S), através de modelos lineares generalizados.

A área estuarina adjacente ao ponto amostral foi a variável responsável pela maior parte da explicabilidade dos modelos para presença (8,1 %) e para a abundância (15,9 %) dos pré-recrutas. A probabilidade da ocorrência de pré-recrutas foi maior entre agosto e novembro, e esteve associada a menores temperaturas da água, enquanto que maiores abundâncias de pré-recrutas foram registradas entre dezembro a fevereiro. Rio Grande foi o ponto amostral que apresentou maior probabilidade de ocorrência e também maior abundância de pré-recrutas (CPUE: 26,4 indivíduos/arrasto; ANOVA; $F= 4,98$; $p < 0,05$) representando 51,7 % do total de *M. liza* capturado nos seis locais. Não houve diferença significativa entre a abundância no restante dos locais (ANOVA; $F= 10,73$; $p > 0,05$).

Estes resultados comprovam que pré-recrutas são mais abundantes e presentes na área costeira adjacente à desembocadura do Estuário da Lagoa dos Patos, corroborando a hipótese de que este estuário é o principal local de berçário para a população sul da espécie.

CONCLUSÕES GERAIS DA TESE

A tainha tem seu ciclo de vida associado à ocupação de diversos habitats em distintos períodos. A migração reprodutiva a partir de ambientes estuarinos ocorre nos meses de abril/maio. Os cardumes migram ao longo da costa Sul do Brasil em profundidades de até 50 metros, até a área de desova. Este deslocamento em ambiente marinho é primordial para o término do amadurecimento das gônadas femininas (hidratação).

A desova ocorre em ambiente marinho após a migração costeira e está mais relacionada com uma condição oceanográfica de temperatura superficial do mar entre 18-21 °C, do que um local geográfico específico. Esta condição ocorre na costa de Santa Catarina e Paraná nos meses de junho e julho. Este evento de desova é responsável pelo aporte de juvenis que vão colonizar os ambientes estuarinos do Sul do Brasil, permitindo concluir a existência de um único estoque Sul.

Esta condição térmica difere da temperatura superficial do mar durante o evento de desova na costa do estado do Rio de Janeiro (21-24 °C), permitindo concluir que, baseado na ferramenta aplicada para determinação de estoques (análise isotópica de carbono e oxigênio em carbonato dos otólitos), tainhas do Rio de Janeiro constituem um estoque distinto do estoque sul. Assim, na ocasião em que forem propostas medidas de manejo para a exploração da espécie, o estoque sul deve ser considerado como uma unidade.

Após a fase de vida como ovo e larva no plâncton, e, antes do processo de recrutamento propriamente dito (entrada em ambientes estuarinos), juvenis da espécie ocupam temporariamente a zona de arrebentação de praias arenosas durante o período

denominado como pré-recrutamento. Este período está relacionado com a oportunidade de encontro com ambientes estuarinos, considerados habitats berçário para a espécie. Ao longo da costa do Sul de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, os juvenis de tainha apresentam maior abundância e maior probabilidade de ocorrer na zona de arrebentação adjacente a desembocadura do Estuário da Lagoa dos Patos (ELP), permitindo aceitar a hipótese de que este estuário é o principal local de berçário para população sul de tainha.

Por fim, a partir do trabalho realizado, algumas recomendações para futuros estudos a cerca do ciclo de vida de *Mugil liza* para o estoque sul:

- (i) Dar continuidade ao acompanhamento de alguns parâmetros reprodutivos (proporção entre sexos nas capturas, tamanho médio de primeira maturação, fecundidade, época e local de desova), principalmente na área de maior ocorrência da espécie (Lagos dos Patos, Tramandaí e Laguna) considerando que estes são plásticos e, portanto, sofrem influência de acordo com o grau de exploração do estoque e também de variações ambientais (Vazzoler 1996);
- (ii) Dar continuidade ao monitoramento das fases de recrutamento dentro do estuário da Lagoa dos Patos, Laguna e Tramandaí e do pré-recrutamento ao longo da costa, com o objetivo de acompanhar possíveis variações temporais desta fase de vida da tainha;
- (iii) Realizar estudos que elucidem o tempo de permanência dos juvenis de tainha na zona de arrebentação durante o processo de pré-recrutamento;
- (iv) Considerando a distribuição geográfica do estoque, que abrange a costa do Uruguai e Argentina, estudos futuros devem incluir essas áreas.

LITERATURA CITADA

- Acha, EM. 1990. Estudio anatómico-ecológico de la liza *Mugil liza* durante su primer año de vida. *Frent. Marít.*, 7: 37-43.
- Acker, JG & G Leptoukh. 2007. Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data. Available at <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (accessed 20 September 2014).
- Albertini-Berhaut, J. 1973. Biologie des stades juveniles de Teleosteens Mugilidae *Mugil auratus* R. 1810, *Mugil capito* C. 1829 et *Mugil saliens* R. 1810. II. Modifications du regime alimentaire em relation avec la taille. *Aquaculture* 4: 13–27.
- Albieri, RJ & FG Araújo. 2010. Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in a tropical Brazilian bay. *Zoologia* 27(3): 331-340.
- Almeida, PR, F Moreira, JL Costa, CA Assis & MJ Costa. 1993. The feeding strategies of *Liza ramada* Risso, 1826 in fresh and brackish water in the River Tagus, Portugal. *Journal of Fish Biology*, 42(1), 95-107.
- Alvarez-Lajonchère, L, JB Arritola & LO Averhoff. 1988. Positive results of induced spawning and larval rearing experiments with *Mugil liza*, a grey mullet from Cuban Waters. *Aquaculture*, 73: 349-355.
- Anderson, WW. 1958. Larval development, growth and spawning of striped mullet *Mugil cephalus* along the South Atlantic coast of the United States. *Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service* 58:500–519.
- Andreatta, ER, IP Rocha & JBR Rodrigues. 1982. Ensaio sobre desova induzida da tainha, *Mugil brasiliensis* Spix e Agassiz 1831. *Anais do II Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca*. Recife PE: 463-468.

- Araújo, AR & FD Silva. 2013. Aspectos da pesca e biologia da tainha, *Mugil curema* (Osteichthyes: Mugilidae), no estuário do Rio Vaza Barris, Sergipe, Brasil. Arquivos de Ciência do Mar, 46(1).
- Bacheler, NM, RA Wong & JA Buckel. 2005. Movements and mortality rates of stripped mullet in North Carolina. North American Journal of Fisheries Management 25 (1): 361-373.
- Bannwart, JP. 2013. A pesca da tainha no litoral catarinense. Revista Agropecuária Catarinense, Florianópolis, 26 (2).
- Bartulović, V, J Dulčić, S Matić-Skoko & B Glamuzina. 2011 Reproductive cycles of *Mugil cephalus*, *Liza ramada* and *Liza aurata* Teleostei: Mugilidae. Journal of Fish Biology 78: 2067 -2073.
- Benetti, DD & EB Fagundes Netto. 1980. Considerações sobre desova e alevinagem da tainha (*Mugil liza* Valenciennes, 1836) em laboratório. Publ. Inst. Pesq. Mar. Brasil, 135: 1-26.
- Benetti, DD & EB Fagundes Netto. 1991: Preliminary results on growth of mullets *Mugil liza* and *Mugil curema* fed artificial diets. World-Aquacult. 22: 55–57.
- Bertrand, S., JM Burgos, F Gerlotto & J Atiquipa. 2005. Lévy trajectories of Peruvian purse-seiners as an indicator of the spatial distribution of anchovy (*Engraulis ringens*). ICES J. Mar. Sci., 62: 477 - 482. doi:10.1016/j.icesjms.2004.12.002
- Blaber, SJM & AK Whitfield. 1977. The feeding ecology of juvenile mullet mugilidae in southeast African estuaries. *Biol. J. Linn. Soc.*, 9:259-268
- Blaber, SJM. 1987. Factors affecting recruitment and survival of mugilids in estuaries and coastal waters of southeastern Africa. Am. Fish. Soc. Symp. 1: 507-518.
- BRASIL, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 171, DE 9 DE MAIO DE 2008. Estabelecer normas, critérios e padrões para o exercício da pesca

em áreas determinadas e, especificamente, para a captura de tainha *Mugil platanus* e *M. liza*, no litoral das regiões Sudeste e Sul do Brasil. Diário Oficial da União, 12 de maio de 2008, Nº 89, Seção 1, p. 67.

Brusle, J. 1981. Sexuality and biology of reproduction of grey mullets. In *Aquaculture of Grey Mulletts* Oren, O. H. pp. 94–154. Cambridge: Cambridge University Press.

Burger, W & MJ Burge. 2007. Digital Image Processing: Na Algorithmic Approach Using Java. Springer, ISBN 184628 3795. Available online at: <http://www.imagingbook.com> [Accessed: 16/II/2012]

Busoli, RO & JH Muelbert. 1999. Composição taxonômica e distribuição do ictioplâncton na zona de arrebentação da Praia do Cassino (32 10'S, 52 20'W). *Atlântica*, 21: 19-35.

Cadrin, SX, KD Friedland & J Waldman. 2005. Stock identification methods: applications in fishery science. Elsevier Academic Press, San Diego.

Cafsi, MEI, MS Romdhane, A Chaouch, W Asmoudia, S Khérjia, F Chanussotd & A Chérif. 2003. Qualitative needs of lipids by mullet, *Mugil cephalus*, fry during freshwater acclimation. *Aquaculture*, 225: 233 - 241.

Cardona, L. 2001. Non-competitive coexistence between Mediterranean grey mullet *Osteichthyes*, *Mugilidae*: evidence from seasonal changes in food availability, niche breadth and trophic overlap. *Journal of Fish Biology* 59: 729–744. doi: 10.1111/j.1095-8649.2001.tb02376.x

Castello, JP & OO Moller. 1977. Sobre as condições oceanográficas no Rio Grande do Sul. *Atlantica* 2(2): 25-99.

Cerqueira, VR. 2002. Cultivo do robalo: aspectos da reprodução, larvicultura e engorda. UFSC/LAPMAR.

Cervigón, F. 1993. Los peces marinos de Venezuela, 2nd edn, Vol. II. Caracas, Venezuela: Fundacion Científica Los Roques.

- Chidambaram, K & GK Kurian. 1952. Notes on the grey mullets (*Mugil spp.*) of Krusadai Island, Gulf of Mannar. J. Bombay nat. Hist. Soc, 50(3): 515-19.
- Collins, MR & BW Stender. 1989. Larval striped mullet *Mugil cephalus* and wrute mullet *M. curema* off the southeastern United States. Bul. Mar. Sci. 45: 580-589.
- Crescêncio, R. 2005. Ictiofauna brasileira e seu potencial para criação. In: UFSM ed.. Espécies nativas para piscicultura no Brasil. RS, Brasil. 1: 23-33.
- Rocha, AFD. 2012. Avaliação do potencial de criação juvenis de tainha *Mugil cf. hospes* e *Mugil liza* em sistema de bioflocos. Tese de Doutorado – FURG, Rio Grande, Brasil.
- De Silva SS & MJS Wijeyaratne. 1977. Studies on the biology of young grey mullet, *Mugil cephalus* L. II. Food and Feeding. Aquaculture, 122: 157-167. doi:10.1016/0044-84867790183-1.
- De Silva, SS. 1980. Biology of juvenile grey mullet: a short review. Aquaculture 19: 21-36.
- DINARA – Dirección Nacional de Recursos Acuáticos, governo do Uruguai (<http://www.dinara.gub.uy/>).
- El-Sayed, AFM & AE El-Gobashi. 2011. Effects of tank colour and feed colour on *Liza aurata* growth and production in marine nursery ponds. Aquaculture Research, 42:1163-1169.
- Epagri 2014. Empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina. <http://www.epagri.sc.gov.br>.
- Esper, M de LP, MS de Menezes & W Esper. 2001. Época reprodutiva de *Mugil platanus* (Günther, 1880), Pisces Mugilidae da Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil). Acta Biológica Paranaense, 30.

- Esper, M de LP, MS de Menezes & W Esper. 2000. Escala de desenvolvimento gonadal e tamanho de primeira maturação de fêmeas de *Mugil platanus* Günther, 1880 da Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Acta Biol. Par.*, Curitiba, 29 (1-4): 255-263.
- FAO 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome.
- FEPESC. 2012. Boletim da Federação de Pescadores do Estado de Santa Catarina.
- Fischer, L G, LED Pereira & JP Vieira. 2011. *Peixes estuarinos e costeiros*, 2nd edn. Rio Grande.
- Fonseca Neto, JC & HL Spach. 1999. Responses of branchial chloride cells to salinity changes in the euryhaline teleost *Mugil platanus* Günther, 1880 Pisces, Mugilidae. *Iheringia, Série Zoologia*.
- Franco, BC., CLDBR Wongtschowski, JH Muelbert & MM Mata. 2005. O ictioplâncton da quebra da plataforma da Região Sul do Brasil e sua relação com as condições ambientais. Instituto Oceanográfico.
- Franco, L & KMB Bashirullah. 1992. Alimentación de la lisa *Mugil curema* del golfo de Cariaco-Estado Sucre, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 102:219-238.
- Froese, R & D Pauly. 2010. Fishbase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org. Acesso em: 14 mai. 2014.
- Galvão, MSN, N Yamanaka, N Fenerich-Verani & CM Pimentel. 1997. Estudos preliminares sobre enzimas digestivas proteolíticas da tainha *Mugil platanus* Günther, 1880 (Osteichthyes, Mugilidae) durante as fases larval e juvenil, *Bol. Inst. Pesca*, 24:101-110.
- Garbin, T, JP Castello & PG Kinas. 2013. Age, growth, and mortality of the mullet *Mugil liza* in Brazil's southern and southeastern coastal regions. *Fisheries Research* 149: 61–68.

- Gautier, D & J Hussenot. 2005. *Les mulets des mers d'Europe: synthèse des connaissances sur les bases biologiques et les techniques d'aquaculture*. Editions Quae.
- Godinho, HM, PC da S Serralheiro & JD Scorvo Filho. 1988. Revisão e discussão de trabalhos sobre as espécies do gênero *Mugil* Teleostei, Perciformes, Mugilidae da costa brasileira Lat. 3° S- 33° S. B. Inst. Pesca, 151: 67-80.
- Godinho, HM, ET Kavamoto, EF Andrade-Talmeli, PCS Serralheiro, P Paiva, & EM Ferraz. 1993. Induced spawning of the mullet *Mugil platanus* Günther, 1880, in Cananéia, São Paulo, Brazil. Boletim do Instituto de Pesca, 20: 59-66.
- González-Castro, M, G J Macchi & MB Cousseau. 2011. Studies on reproduction of the mullet *Mugil platanus* Günther, 1880 Actinopterygii, Mugilidae from the Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina: similarities and differences with related species. Italian Journal of Zoology 78: 343–353.
- González-Castro, MG, V Abachian & RG Perrotta. 2009. Age and growth of the striped mullet, *Mugil platanus* Actinopterygii, Mugilidae, in a southwestern Atlantic coastal lagoon 37°32'S-57°19'W: a proposal for a life-history model. J. Appl. Ichthyol. 25: 61–66.
- Heras, S, MI Roldan, MG Castro. 2009. Molecular phylogeny of Mugilidae fishes revised. Rev. Fish Biol. Fish 19: 217–231.
- Herbst, DF & N Hanazaki. 2014. Local ecological knowledge of fishers about the life cycle and temporal patterns in the migration of mullet (*Mugil liza*) in Southern Brazil. Neotropical Ichthyology, 12(4): 879–890. <http://doi.org/10.1590/1982-0224-20130156>
- Hickling, CF. 1970. Contribution to the Natural History of the English Grey Mulletts Pisces, Mugilidae. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 50(3): 609-633.

- Hostim-Silva, M, MJD Vicente, V Figna & JP Andrade. 2002. Ictiofauna do rio Itajaí Açu, Santa Catarina, Brasil. *Notas Técnicas Da FACIMAR*, 6: 127–135.
- Hsu CC, YS Han, WN Tzeng. 2007. Evidence of flathead mullet *Mugil cephalus* L. spawning in waters northeast of Taiwan. *Zool. Stud.*, 46: 717-725.
- Huang, CS, & WC Su. 1989. Studies on the fluctuations of fishing conditions for grey mullet (*Mugil cephalus* Linnaeus) from the western coast of Taiwan. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 16: 47-83.
- IBAMA/ICMBIO/CEPSUL 2007. Relatório de reunião técnica para o ordenamento da pesca da tainha *Mugil platanus*, *M. liza* na região sudeste/sul do Brasil. http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/relatorio_de_ordenamento/tainha/rel_2007_abr_tainha.pdf accessed 20 January 2014.
- Ibáñez, AL, & O Gutiérrez Benítez. 2004. Climate variables and spawning migrations of the striped mullet and white mullet in the north-western area of the Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology*, 65(3): 822-831.
- Kalikoski, DC & M Vasconcellos. 2013. Estudo das condições técnicas, econômicas e ambientais da pesca de pequena escala no estuário da Lagoa dos Patos, Brasil: uma metodologia de avaliação. *FAO fisheries and aquaculture*.
- Katsuragawa, M, JH Muelbert, JF Dias, CLDB Rossi-Wongschowski & LSP Madureira. 2006. O ictioplâncton na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). *O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região sudeste-sul do Brasil*. São Paulo: Edusp, 359-446.
- Laffaille, P, E Feunteun, C Lefebvre, A Radureau, G Sagan & JC Lefebvre. 2002. Can thin-lipped mullet directly exploit the primary and detritic production of European macrotidal salt marshes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54(4): 729-736.

- Laffaille, P, S Brosse, E Feunteun, A Baisez & JC Lefeuvre. 1998. Role of fish communities in particulate organic matter fluxes between salt marshes and coastal marine waters in the Mont Saint-Michel Bay. *Hydrobiologia* 373/374: 121–133.
- Landoli, C. 2000. Marine Fish Farming in Italy. *In* Muir J. and Basurco B. (eds). *Mediterranean offshore mariculture*. Zaragoza: CIHEAM-IAMZ, 2000. p. 33
- Lebreton, B, P Richard, EP Parlier, G Guillou & GF Blanchard. 2011. Trophic ecology of mullets during their spring migration in a European saltmarsh: A stable isotope study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 91(4): 502-510.
- Lee, CS & AC Ostrowski. 2001. Current status of marine finfish larviculture in the United States. *Aquaculture*, 200: 89-109.
- Lefeuvre, JC, P Laffaille & E Feunteun. 1999. Do fish communities function as biotic vectors of organic matter between salt marshes and marine coastal waters? *Aquatic Ecology*, 33(3): 293-299.
- Lemos, VM, AS Varela Jr, G Velasco, & J P Vieira. 2011. The reproductive biology of the plata pompano, *Trachinotus marginatus* (Teleostei: Carangidae), in southern Brazil. *Zoologia*. 28(5): 603-609.
- Lemos, VM, AS Varela Jr., PR Schwingel, JH Muelbert & JP Vieira. 2014. Migration and reproductive biology of *Mugil liza* Teleostei: Mugilidae in south Brazil. *J. Fish Biol.* <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12452>.
- Léry, J. de. 1980. Viagem à terra do Brasil . São Paulo. Ed. da Universidade de São Paulo. 302 p.
- Lima, BB, & G Velasco. 2012. Estudo piloto sobre o autoconsumo de pescado entre pescadores artesanais do estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 38(4).

- Lima, MSP & JP Vieira. 2009. Variação espaço-temporal da ictiofauna da zona de arrebentação da Praia do Cassino, Rio Grande do Sul, Brasil. *Zoologia* 26(3): 499–510. <http://doi.org/10.1590/S1984-46702009000300014>.
- Lisboa, V., IF Barcarolli, LA Sampaio & A Bianchini. 2015. Effect of salinity on survival, growth and biochemical parameters in juvenile Lebranch mullet *Mugil liza* (Perciformes: Mugilidae). *Neotropical Ichthyology*, 13(2): 447-452.
- Macedo-Soares, LC, AB Birolo & AS Freire. 2009. Spatial and temporal distribution of fish eggs and larvae in a subtropical coastal lagoon, Santa Catarina State, Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 7(2): 231-240.
- Macedo-Soares, LCP, CAE Garcia, AS Freire, JH Muelbert. 2014. Large-Scale Ichthyoplankton and Water Mass Distribution along the South Brazil Shelf. *PLoS ONE* 9(3): e9124.
- Mai, AC, CI Miño, LF Marins, C Monteiro-Neto, LV Miranda, PR Schwingel, VM Lemos, M González-Castro, JP Castello & JP Vieira. 2014. Microsatellite variation and genetic structuring in *Mugil liza* Teleostei: Mugilidae populations from Argentina and Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. DOI: 10.1060/j.ecss.2014.07.013.
- McCullagh, P & JA Nelder. 1989. *Generalized linear models* (Vol. 37). CRC press.
- Menezes, NA, M Nirchio, C de Oliveira & R Siccharamirez. 2015. Taxonomic review of the species of *Mugil* (Teleostei: Perciformes: Mugilidae) from the Atlantic South Caribbean and South America, with integration of morphological, cytogenetic and molecular data. *Zootaxa*, 3918(1): 1-38.
- Menezes, NA, C de Oliveira & M Nirchio. 2010. An old taxonomic dilemma: the identity of the western south Atlantic lebranche mullet Teleostei: Perciformes: Mugilidae. *Zootaxa* 2519: 59-68.

- Menezes, NA & JL Figueiredo. 1985. *Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. V. Teleostei 4*. Museu de Zoologia da USP, São Paulo. 105 p.
- Menezes, NA. 1983. Guia prático para o reconhecimento e identificação de tainhas e paratis Pisces-Mugilidae do litoral brasileiro. *Rev. Bras. Zool.*, 21: 1-12.
- Fontoura, NF, & PCC Milani. 2007. Diagnóstico da pesca artesanal na lagoa do Casamento, sistema nordeste da laguna dos Patos: uma proposta de manejo. *Biociências (On-line)*, 15(1).
- Ministério de Ganadería Agricultura y Pesca de Argentina. (<http://www.minagri.gob.ar/site/>)
- Miranda, LV, & MH Carneiro. 2007. A Pesca da Tainha *Mugil platanus* (Perciformes: Mugilidae) Desembarcada no Estado de São Paulo Subsídio ao Ordenamento. *Série Relatórios Técnicos*, 30, 1-13.
- Miranda Filho, KC, W Wasielesky JR & AP Maçada. 1995. Efeito da amônia e do nitrito no crescimento da tainha *Mugil platanus* Pisces: Mugilidae. *Brazilian Journal of Biology*, 5: 45-50.
- Miranda, LV de, JT Mendonça & MC Cergole. 2006. Diagnostico do estoque e orientações para o ordenamento da pesca de *Mugil platanus* Gunther 1880. Serie Documentos REVIZEE-Score sul. São Paulo: Instituto Oceanográfico-USP.
- Miranda, LV de, MH Carneiro, MB Peres & MC Cergole. 2011. Contribuições ao processo de ordenamento da pesca da espécie *Mugil liza* Teleostei: Mugilidae nas regiões sudeste e sul do Brasil entre os anos de 2006 e 2010. *Série Relatórios Técnicos* 49, 1–23.
- Möller Jr., OO, AR Piola, AC Freitas & EJD Campos. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. *Cont. Shelf. Res.*, 28: 1607–1624.

- Monteiro-Neto, C, RDA Tubino, AM Cardoso, AW Papoula, N Borges, L Prestelo & M Haimovici. 2011. Avaliação de sustentabilidade dos sistemas de pesca artesanal em cinco localidades do Estado do Rio de Janeiro. *Sistemas pesqueiros marinhos e estuarinos do Brasil. Ed. da FURG, Rio Grande*, 65-78.
- Monteiro-Neto, C, C Blacher, AS Laurent, FN Snizek, MB Canozzi & LLC Tabajara. 1990. Estrutura da comunidade de peixes de águas rasas na região de Laguna, Santa Catarina, Brasil. *Atlântica* 12(2): 53-69.
- Monteiro-Neto, C, LPR Cunha & JA Musick. 2003. Community structure of surf-zone fishes at Cassino beach, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research* 35: 492-501.
- Monteiro-Ribas, WM & ACT Bonecke. 2001. Artificial fertilization and development in laboratory of *Mugil liza* Valenciennes, 1836 Osteichthyes, Mugilidae. *Bulletin of Marine Science*, 8(3): 427-433.
- Moraes, LE. 2012. Influência da Perda de Habitat e Pressão de Pesca na Estrutura e Composição das Associações de Peixes das Zonas Rasas do Estuário da Lagoa dos Patos (RS) Brasil. Tese Doutorado em Oceanografia Biológica, Universidade Federal do Rio Grande.
- MPA 2009. *Boletim Estatístico da pesca e Aqüicultura - ano 2008*. Brasília: Ministério da pesca e aqüicultura, Ministério do Meio Ambiente.
- MPA 2012. *Boletim Estatístico da pesca e Aqüicultura - ano 2010*. Brasília: Ministério da pesca e aqüicultura, Ministério do Meio Ambiente.
- MPA/MMA. 2015. Plano de gestão para o uso sustentável da tainha, *Mugil liza* Valenciennes, 1836, no Sudeste e Sul do Brasil. Brasília: 137pp.
- Nelson, J. S. 2006. *Fishes of the World*, 4th edn. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.

- Fonseca Neto, JC, & HL Spach. 1999. Sobrevivência de juvenis de *Mugil platanus* Günther, 1880 (Pisces, Mugilidae) em diferentes salinidades. Boletim do Instituto de Pesca, 25: 13-17.
- Odum, WE. 1970. Utilization of the direct grazing and plant detritus food chains by the. Marine food chains, 222.
- Okamoto, MH, LA Sampaio & AP Maçada. 2006. Efeito da temperatura sobre o crescimento e a sobrevivência de juvenis da tainha *Mugil platanus* Günther, 1880. Atlântica, 28:61-66.
- Oliveira, IR & LSH Soares. 1996. Alimentação da tainha *Mugil platanus* Günther, 1880 Pisces: Mugilidae, da região estuarino-lagunar de Cananéia, São Paulo, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, 23:95-104.
- Oliveira, MCL., RF Bastos, MC Claudino, CM Assumpção & AM Garcia. 2014. Transport of marine-derived nutrients to subtropical freshwater food webs by juvenile mullets: a case study in southern Brazil. Aquatic Biology, 20: 91-100.
- Parejo, CB. 1991. Peces marinos. Tecnología de cultivo. Madri, Mundi-Prensa, 148.
- Peres, MB. 2007. Síntese das informações da pesca de tainha no Rio Grande do Sul. In: CEPSUL/IBAMA. 2007. I Relatório de reunião técnica para o ordenamento da pesca da tainha *Mugil platanus*, M. liza na região Sudeste/Sul do Brasil. Itajaí: CEPSUL/IBAMA/MMA.
- Pillay, TVR. 1953. Structure and development of the scales of five species of grey mullet of Bengal. Proceedings of the National Institute of Science India 17: 413-424.
- Plavan, AA, C Passadore & C Gimenez. 2010. Fish assemblage in a temperate estuary on the Uruguayan coast: seasonal variation and environmental influence. Braz. J. Oceanogr. 58: 299-314.

- Poersch, LH, MHS Santos, K Miranda-Filho & W Wasielesky Jr. 2007. Efeito agudo do nitrato sobre alevinos da tainha *Mugil platanus* Pisces:Mugilidae. Boletim do Instituto de Pesca, 332: 247-252.
- PROZEE. 2005. Relatório técnico sobre o censo estrutural da pesca artesanal marítima e estuarina nos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (No. 110, pp. 2004-74). Convênio SEAP/IBAMA/PROZEE.
- Ramírez, JA, A Del Ángel, RM Uresti & GM Vásquez. 2007. Low-salt restructured products from striped mullet (*Mugil cephalus*) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as additives. Food Chemistry, 02: 243-249.
- Ramos, LA & JP Vieira. 2001. Composição específica e abundância de peixes de zonas rasas dos cinco estuários do Rio Grande do Sul, Brasil. Boletim do Instituto de Pesca, 27(1): 109-121.
- Reis, EG & F D'Incao. 2000. The present status of artisanal fisheries of extreme Southern Brazil: an effort towards community-based management. Ocean and Coastal Management, 43:585-596.
- Rodrigues, FL & JP Vieira. 2012. Surf zone fish abundance and diversity at two sandy beaches separated by long rocky jetties. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 93(04): 867-875.
- Rodrigues, FL, HN Cabral & JP Vieira. 2014. Assessing surf-zone fish assemblage variability in southern Brazil. Marine and Freshwater Research <http://dx.doi.org/10.1071/MF13210>
- Roselet, FFG. 2005. Considerações ecológicas sobre o hábito alimentar iliófago dos juvenis da tainha *Mugil platanus* Günther, 1880 no estuário da Lagoa dos Patos e região costeira adjacente, RS Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Rio Grande.

- Sadek, S & D Mires. 2000. Capture of wild finfish fry in Mediterranean coastal areas and possible impact on aquaculture development and marine genetic resources. *The Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*, 52(2): 77–88.
- Saleh, M. 2008. Capture-based aquaculture of mullets in Egypt. In A. Lovatelli and P.F. Holthus (eds). *Capture-based aquaculture. Global overview. FAO Fisheries Technical Paper*. No. 508. Rome, FAO. pp. 109–126.
- Saleh, MA. 1991. Rearing of Mugilidae. A study on low salinity tolerance by thin lip grey mullet (*Liza ramada* Risso, 1826). In the proceeding of the FAO Workshop on Diversification of Aquaculture Production, Valetta, 1–6.
- Sampaio, LA, AH Ferreira, MB Tesser. 2001. Effect of stocking density on laboratory rearing of mullet fingerlings, *Mugil platanus* Gunther, 1880. *Acta Sci.* 23: 471–475.
- Sampaio, LA, W Wasielesky Jr & KC Miranda Filho. 2002. Effect of salinity on acute toxicity of ammonia and nitrite to juvenile *Mugil platanus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 68: 668-674.
- Schwarzbald, A & A. Schäfer. 1984. Gênese das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazoniana* (9). Manaus, 87-104.
- Scorvo Filho, JD, ER de Almeida Dias & LM da S Ayroza. 1992. Efeito da densidade sobre o desenvolvimento de alevinos da tainha listrada *Mugil platanus* em água doce. *Boletim do Instituto de Pesca*, 19: 105-109.
- Scorvo-Filho, JD, LM da S Ayroza, PF Colherinhas Novato. 1995. Efeito da densidade de estocagem sobre crescimento de tainha listrada *Mugil platanus* criada em mono e policultivo com carpa comum *Cyprinus carpio*, na região do Vale do Ribeira. *Boletim do Instituto de Pesca*, 22 (2): 85-93.

SEAPPR/MMA/IBAMA/MB. 2006. Cartilha do Programa Nacional de Rastreamento de embarcações pesqueiras por satélite.

http://sinpesq.mpa.gov.br/preps_cms/

Seckendorff, RW & VG Azevedo. 2007. Abordagem histórica da pesca da tainha *Mugil platanus* e do parati *Mugil curema* Perciformes: Mugilidae no litoral norte de São Paulo. Série Relatorios Técnicos 28: 1–10.

Simões-Lopes, PC, ME Fábian & JO Menegheti. 1998. Dolphin interactions with the mullet artisanal fishing on southern Brazil: a qualitative and quantitative approach? *Revista Brasileira de Zoologia*, 15(3): 709-726.

Souza, MF, NN Fabré & VS Batista. 2005. Seasonal growth of *Mugil liza* Valenciennes, 1836 in a tropical estuarine system. *Journal of Applied Ichthyology*, 1–6. doi: 10.1111/jai.12704

Spach, HL, CSantos & RS Godefroid. 2003. Padrões temporais na assembleia de peixes na gamboa do Sucuriú, Baía de Paranaguá, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(4): 591-600.

Staden, H. 1974. Duas viagens ao Brasil. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo. 218p.

Stech, JL & JA Lorenzetti. 1992. The response of the South Brazil bight to the passage of inter time cold fronts. *J. Geophys. Res.*, 97 (66): 9507-9520.

Suloma, A & HY Ogata. 2006. Future of Rice-Fish Culture, Desert Aquaculture and Feed Development in Africa: The Case of Egypt as the Leading Country in Africa. *JARQ*, 40(4): 351–360.

Suzuki, K. 1965. Biology of striped mullet, *Mugil cephalus* Linne; food contents of youngs. *Rep. Fac. Fish. Prefect. Univ. Mie*, 5(2): 295-305.

Szpilman, M. 2000. Peixes marinhos do Brasil: guia prático de identificação. Rio de Janeiro. Mauad Editora, 228p.

- Thomson, JM. 1966. The grey mullets. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 4: 301–335.
- Thomson, JM. 1997. The Mugilidae of the world. *Memoirs of the Queensland Museum* 41, 457–562.
- Trape, S, JD Durand, F Guilhaumon, L Vigliola & J Panfili. 2009. Recruitment patterns of young-of-the-year mugilid fishes in a West African estuary impacted by climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 85(3): 357-367.
- Tung IH. 1981. On the fishery biology of gray mullet, *Mugil cephalus* L., in Taiwan. *Rep. Inst. Fish. Biol. Minist. Econ. Aff. Natl. Taiwan Univ.* 3: 38-102.
- Vazzoler, AEA de M. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá, Universidade Estadual de Maringá, 169p.
- Vieira JP & C Scalabrin. 1991. Migração reprodutiva da Tainha *Mugil platanus*, Günther, 1880 no sul do Brasil. *Atlântica* 131: 131-141.
- Vieira JP, AM Garcia & AM Grimm. 2008. Evidences of El Niño Effects on the Mullet Fishery of the Patos Lagoon Estuary. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51 (2): 433-440.
- Vieira, JP, AM Garcia & LE Moraes. 2010. A assembleia de peixes. *In: Seeliger & Odebrecht. (Org.). O Estuário da Lagoa dos Patos: Um século de transformações*. 1ed. Rio Grande, p. 1-180.
- Vieira JP. 1991. Juvenile Mulletts Pisces: Mugilidae in the Estuary of Lagoa dos Patos, RS - Brazil. *Copeia* 2: 409-418.
- Vilar, CC, HL Spach & JC Joyeux. 2011. Spatial and temporal changes in the fish assemblage of a subtropical estuary in Brazil : environmental effects. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91(3): 635–648.
<http://doi.org/10.1017/S0025315410001943>

- Wallace, JH & RP Van Der Elst. 1975. The estuarine fishes of the East coast of South Africa. IV. Occurrence of juveniles in estuaries. V. Ecology, estuarine dependence and status. Investl Rep. oceanogr. Res. Inst. 42:1-63.
- Weiss, G, JAF Souza & A Santos. 1976. Contribuição ao conhecimento do ictioplâncton marinho da plataforma Sul do Brasil. Atlântica, 1 (1/2):1-99.
- Whitfield, AK. 1998. Ichthyoplankton in a southern African surf zone: nursery area for the post-larvae of estuarine associated fish species? Est Coast Shelf Sci 29: 533–547.
- Whitfield, AK, J Panfili & JD Durand. 2012. A global review of the cosmopolitan flat-head mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 Teleostei: Mugilidae, with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. Rev. Fish. Biol. Fisher. 22 (3): 641–681.
- Yeh, SP. 1998. Marine fish seed industry in Taiwan. p. 154–167. *In*: Proceedings of the Workshop on Offshore Technologies for Aquaculture, 13–16 October 1998. Technion, Faculty of Mechanical Engineering, Haifa, Israel

**ANEXO I: Migration and reproductive biology of *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae)
in south Brazil**

Migration and reproductive biology of *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in south Brazil

V. M. LEMOS*[†], A. S. VARELA JR.[‡], P. R. SCHWINGEL[§], J. H. MUELBERT*
AND J. P. VIEIRA*

*Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia, Avenida Itália, km 8, Campus Carreiros, Rio Grande, RS, Brazil, [‡]Universidade Federal do Rio Grande, Instituto Ciências Biológicas, Avenida Itália, km 8, Campus Carreiro, Rio Grande, RS, Brazil and [§]Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Rua Uruguai, 458-Itajaí, SC, Brazil

(Received 28 February 2014, Accepted 15 May 2014)

The mullet *Mugil liza* occurs along the Atlantic coast of South America from Venezuela to Argentina, but 95% of the commercial catch is collected from south Brazil between São Paulo and Argentina. *Mugil liza* is a single spawner with oocyte development occurring synchronously in two groups. Spawning happens in marine areas and occurs after migration. The reproductive migration occurs from Argentina (38° S) to the southern Brazilian states (24–26° S) from April to July, with peak spawning in June between northern Santa Catarina and Paraná. The presence of hyaline oocytes was associated with high salinity and sea surface temperatures of 19–21° C, and followed the seasonal northward displacement of these oceanographic conditions. The average size at first maturity (L_m) for both sexes was 408.3 mm total length, L_T . Males ($L_m = 400.1$) matured earlier than females ($L_m = 421.9$ mm). Fecundity ranged from 818 992 to 2 869 767 oocytes (mean = 1 624 551) in fish that were between 426 and 660 mm L_T .

© 2014 The Fisheries Society of the British Isles

Key words: fishery; mullet; reproduction; southern population; spawning.

INTRODUCTION

The grey mullet *Mugil liza* Valenciennes 1836 is a widely distributed species on the western Atlantic coast of South America, occurring from the Caribbean Sea to Argentina (Menezes *et al.*, 2010; Siccha-Ramirez *et al.*, 2014). The species is often considered to be catadromous owing to its predictable migrations from freshwater and estuarine habitats into marine spawning areas (Chao *et al.*, 1985; Vieira *et al.*, 2008; Fischer *et al.*, 2011). The southern fisheries population (Argentina to São Paulo, Brazil) corresponds to the distribution of the former *Mugil platanus* that is now recognized as a junior synonym of *M. liza* (Menezes *et al.*, 2010; Siccha-Ramirez *et al.*, 2014), and is under strong fishing pressure due to the economic importance of the large catches (>10 000 t year⁻¹) from migratory spawning aggregations (IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007).

[†]Author to whom correspondence should be addressed. Tel.: +55 53 32336539; email: vavadeleom@yahoo.com.br

Fishing for *M. liza* is culturally and historically important in southern Brazil (Vieira, 1991; Pina & Chaves, 2005; Miranda *et al.*, 2006). Catches in Rio Grande do Sul and Santa Catarina (*c.* 4000 t year⁻¹ between 1997 and 2010) represent up to 95% of the total combined catch of all other Brazilian states, Uruguay and Argentina (Vieira, 1991; IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007; MPA, 2012). *Mugil liza* has been recommended for classification as Near Threatened (NT) under the recent IUCN revision in Brazil, and in 2004 the species was classified as overexploited by the Brazil Ministry of Fishing and Aquaculture (IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007).

In southern Brazil, *Mugil liza* complete gonad maturation during the reproductive migration and it is hypothesized that spawning occurs in offshore waters between the northern part of Rio Grande do Sul (29° S) and the northern part of Santa Catarina (26° S) (Vieira & Scalabrin, 1991). Catches of mature females increase during April and May in Rio Grande do Sul, and between May and June in Santa Catarina, but gradually decrease as the fisheries move north towards São Paulo (24° S) in June and July (Vieira, 1991). Southern Brazil, especially Patos Lagoon (32° S), is considered to be the main nursery and fishery habitat for *M. liza* (Vieira, 1991; Vieira & Scalabrin, 1991; Vieira *et al.*, 2008).

The south-west Atlantic coastal system (SWACS) is influenced by the interactions between the currents of Brazil and the Falklands, the subtropical convergence formed by them, and the volume of freshwater outflow from the basin of the Río de la Plata and Patos–Mirim through the estuary of the Patos Lagoon (Castello & Moller, 1977; Reid, 1989; Ciotti *et al.*, 1995). In addition to these processes, temperature, which is stratified over the continental shelf, displays a pronounced seasonal cycle that is typical of temperate areas (Palma *et al.*, 2008). The wind direction in this region is predominantly from the north-east, except during the passage of southern cold fronts during the austral winter (Campos *et al.*, 1995). Seasonal variability in SWACS oceanographic conditions influence various biological behaviours of fishes (migration, spawning, mating and bottom fidelity) and influence fisheries. Some species perform seasonal migrations within the shelf ecosystem as a result of water mass dynamics or reproductive movements (Muelbert & Sinque, 1996; Jaureguizar *et al.*, 2004; Barletta *et al.*, 2010).

The aim of this study was to describe the reproductive cycle and northward coastal migration of the southern population of *M. liza* in an area of relatively high abundance (33–26° S) and associate spawning events with local oceanographic conditions. It was hypothesized that the northward reproductive migration of *M. liza* is related to the seasonal displacement of favourable oceanographic conditions. Using histological techniques, ripe ovaries with hyaline oocytes were also examined from monthly samples from the artisanal and industrial fisheries of southern Brazil.

MATERIALS AND METHODS

A total of 30 individuals were collected each month, between May 2011 and June 2012, from the artisanal fisheries of Patos Lagoon (31° 27' 53" S; 51° 48' 04" W), Rio Grande (32° 02' 06" S; 52° 05' 55" W), Tramandaí (29° 59' 05" S; 50° 08' 01" W) and Laguna (28° 28' 57" S; 48° 46' 51" W). Specimens were also collected from industrial purse seine fisheries during the fishing season (May to June) in 2011 and 2012 from Chui (33° 43' 26" S; 53° 18' 44" W) up to the northern part of Paraná State (25° 16' 41" S; 48° 02' 11" W) (Fig. 1).

Specimens were kept on ice during field sampling and processed in the laboratory. For each specimen, total length (L_T , mm) was measured, and total mass (M_T , g), eviscerated

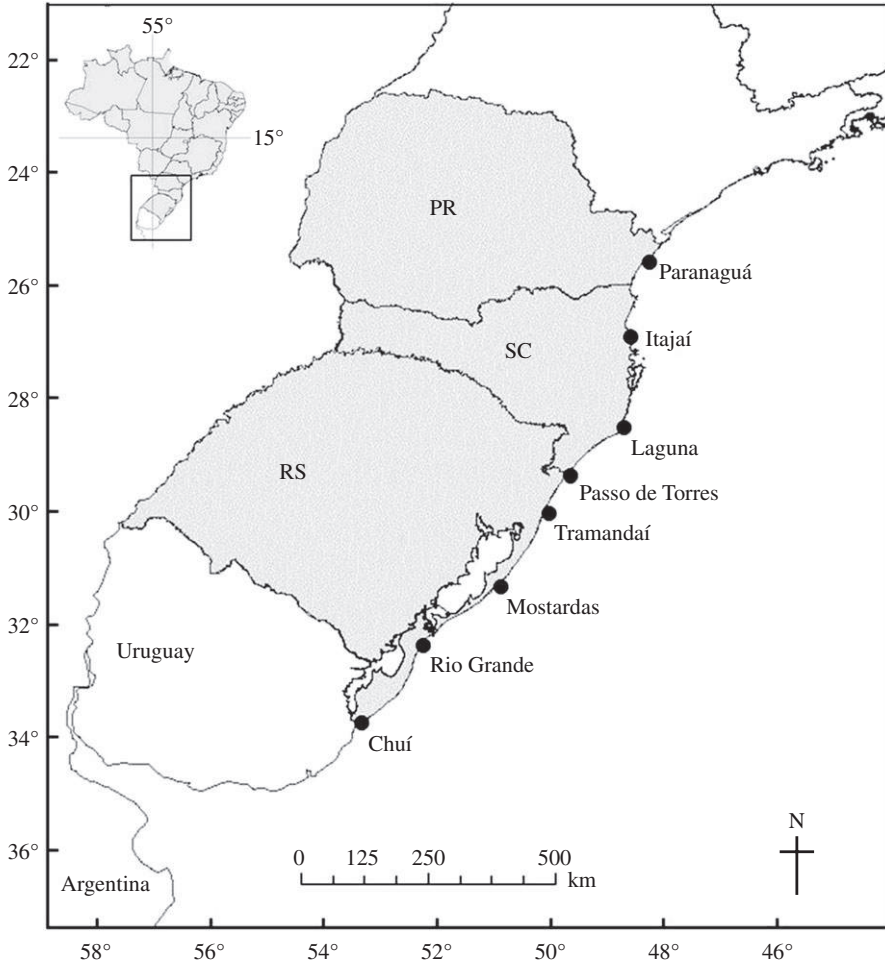


FIG. 1. Location of *Mugil liza* sampling areas in southern Brazil: Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) and Paraná (PR).

mass (M_E , g) and gonad mass (M_G , g) were determined. The gonads of all specimens were macroscopically classified into one of five developmental stages for females and one of three developmental stages for males. The classifications were adapted from Albieri & Araújo (2010) and González-Castro *et al.* (2011). After macroscopic classification, all gonads were fixed in 4% buffered formaldehyde. For histological analysis, gonads were transversely sectioned (0.3–0.5 mm) and vacuum processed automatically (Leica ASP200; www.leicabiosystems.com). Sections were then impregnated and embedded in Paraplast Xtra (Sigma P3808; www.sigmaaldrich.com) and the resulting blocks were cut into 5 μm sections using a motorized rotary microtome (Leica RM2255; www.leica-microsystems.com). Slides of these sections were stained with haematoxylin and eosin (Carson & Hadlik, 2009).

The histological sections were photographed using a digital camera (Olympus DP73) attached to a microscope (Olympus BX51; www.olympus-global.com). The oocyte developmental pattern was determined based on the distribution of different stages of germ cells. To determine the oocyte diameter at different developmental stages, c. 30 randomly selected oocytes in each ovary were measured using Image J software (Burger & Burge, 2007). The type of spawning was determined from the frequency distribution of oocytes.

The relationship between M_T and L_T was calculated separately for each sex using the following model: $M_T = a L_T^b$ (Le Cren, 1951), where a is the coefficient related to the increase in mass and b represents the allometric coefficient describing the individuals' growth type (King, 1995). The model was fitted with non-linear regression by least squares (Zar, 1999). The Gauss–Newton algorithm was used to perform the iterations (Myers, 1990), and a t -test (Zar, 1999) to determine whether b differed significantly from 3 and to test differences in the coefficients between males and females.

The size structure of the population was assessed by sex and the distribution of L_T frequencies within the study area was examined. Differences in sex ratios between months and L_T classes were tested using a χ^2 test. The mean L_T at first maturity (L_m) was determined from the relative frequency distribution of maturing and mature individuals within each L_T class, and was calculated separately for each sex. A sigmoid curve was obtained by fitting the following logistic equation: $P_M = \left[1 + e^{-(a+bL_T)} \right]^{-1}$, where P_M is the relative proportion of mature individuals, L_T is in mm and a and b are constants that were iteratively estimated using a non-linear least-squares procedure. The mean size at first maturity corresponds to the inflection point of the sigmoid curve; at that size, 50% of the individuals are mature (Beverton, 1992).

A linear regression was calculated for the \log_{10} of M_E and the \log_{10} of L_T . The gonado-somatic index ($I_G = 100 M_G M_E^{-1}$), the somatic index ($K' = M_E L_T^{-b}$) and the allometric condition factor ($K'' = M_T L_T^{-b}$) were calculated from the angular coefficient b of the linear regression of $\log_{10} M_T$ and $\log_{10} L_T$. The gonad condition factor (ΔK) was calculated as $K'' - K'$ based on the assumption that the period with the highest mean for the slope corresponds to the reproductive period (Vazzoler, 1996). The Kruskal–Wallis non-parametric test was used to determine whether I_G and ΔK means were significantly different between months ($P < 0.05$). The reproductive period was established using monthly variations in I_G and ΔK scores and the frequencies of the gonad maturation stages for specimens collected from May 2011 to July 2012.

Total fecundity (F) was estimated for 20 females using a gravimetric method, and was calculated as follows: $F = N M_G M_{GS}^{-1}$, where N is the number of hyaline oocytes in three sub-samples (cephalic, median and caudal) of the ovary and M_{GS} is gonad sub-sample mass (Vazzoler, 1996).

Sea surface temperature (SST) data were obtained from Giovanni (Acker & Leptoukh, 2007), an online data system developed and maintained by the NASA GES DISC. Monthly MODIS – Aqua 9 km \times 9 km data from May to July 2011 were used to estimate the surface temperature of water between 25–34° S and 53–47° W (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

RESULTS

A total of 1579 *M. liza* specimens were collected, of which 44.3% ($n = 700$) were females, 55.2% ($n = 872$) were males and <1% ($n = 7$) were of undetermined sex. All six stages of oocyte development were verified under microscopic examination (I, oogonia; II, reserve stock oocytes; III, yolk vesicle oocytes lipidic; IV, yolk vesicle oocytes lipoproteic; V, vitellogenic oocytes; VI, hyaline oocytes) and female gonads were grouped into five microscopic maturity stages (Table I). Final oocyte maturation was observed (Fig. 2). Four male cell types were recognized (spermatogonia, spermatids, spermatocytes and spermatozoa) (Fig. 2) and males were grouped into three maturity stages (Table II). The degree of gonad maturation was based on the variation in the histological characteristics of the gonads and the frequency of the different cells of gametogenesis. There were two modal groups in the frequency distribution analysis of oocyte diameters in both the mature and hyalinized stages [Fig. 3(c), (d)]. This indicates synchronous oocyte development in the two groups and shows that *M. liza* is a single spawner. The relationships between L_T and M_E for males, females and both sexes together are reported, and *M. liza* shows negative allometric growth ($b < 3$, $P < 0.05$) (Table III).

TABLE I. Characteristics of the ovary stages of female *Mugil liza*

Characteristics	A	B	C	D	E
Mean \pm s.d. I_G	0.29 \pm 0.16	0.80 \pm 0.61	8.07 \pm 4.55	11.92 \pm 6.66	1.38 \pm 1.65
Size in relation to abdominal cavity	<1/3	1/3	<2/3	3/4	1/3
Perception of oocytes	No	No	Yes	High	Few
Vascularization	No	Little	High	High	Haemorrhagic
Average diameter of oocytes	39.60 \pm 24.92	52.64 \pm 23.05	233.94 \pm 81.80	279.24 \pm 95.81	50.13 \pm 32.21
Colour of the ovaries	Clear pink translucent	Clear pink to yellow	Orange	Yellow	Red
Mean \pm s.d. mass (g)	2.27 \pm 0.60	8.85 \pm 0.60	101.69 \pm 56.50	197.58 \pm 54.07	19.45 \pm 10.50
Macroscopic description	Ovaries small, tubular, cylindrical. Firmly adhered to the upper-posterior abdominal cavity	Larger than the previous tubular, with a large variability in the size and dimensions due to the dynamics of maturation	Ovaries turgid and cylindrical. In some specimens, there is a remarkable asymmetry between them. The ovarian artery is clearly visible, staining well marked, as well as its ramifications	Large and bulky. Tubular vascularization well pronounced. The ovarian tunic is very thin and sensitive	Flabby, shrivelled, with a visible hemorrhagic aspect. The tunica ovarian presents thick, stiff due to enlargement experienced in the previous phase
Microscopic description	Oocytes predominance of types I and II. Cells organized in ovigerous lamellae	Oocytes predominance of types II, III and IV. Phase of vitellogenesis, cells undergoing dynamic lipid and protein deposition	Oocytes predominance of type V with some type II oocytes. Vitellogenesis is completed, cell cytoplasm packed with protein and lipid. Chorion evident	Little intercellular space, large cells with pink cytoplasm with many granules of lipids	Lamellae expanded, hemorrhagic appearance, presence of post-ovarian follicles and atretic follicles

I_G , gonado-somatic index; I, oogonia; II, reserve stock of oocytes; III, yolk vesicle oocytes lipidic; IV, yolk vesicle oocytes lipoproteic; V, vitellogenic oocytes; VI, hyaline oocytes.

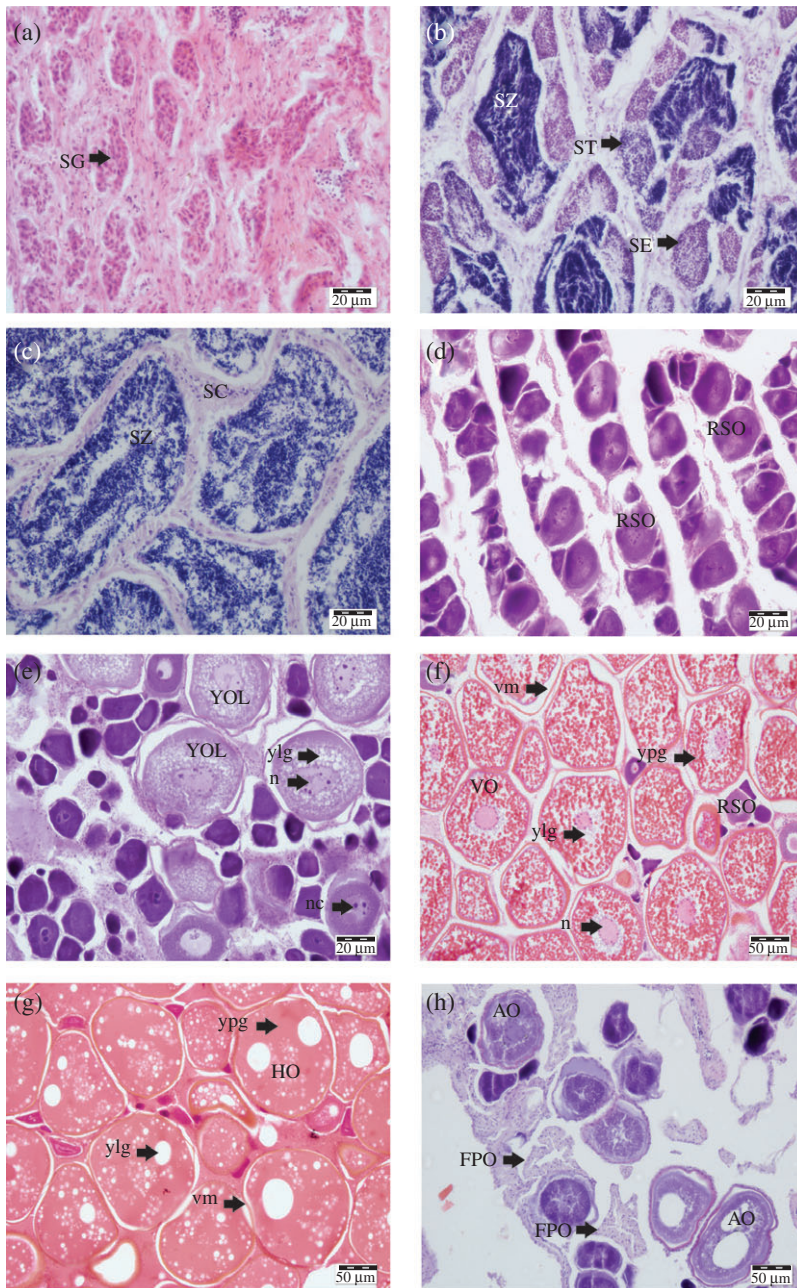


FIG. 2. Histological sections of ovary and testis at different maturity stages of *Mugil liza*. Males: (a) immature, (b) in maturation and (c) maturing testis. Females: (d) immature, (e) ovary during the vitellogenesis process, (f) maturing ovary, (g) hyalinized ovary and (h) spawned ovary. Testis cells: SG, spermatogonia; SE, spermatids; SE, spermatocytes; SZ, spermatozoa; SC, Sertoli cells. Ovary cells and structures: RSO, reserve stock oocyte; YOL, yolk lipid oocyte; VO, vitellogenic oocyte; HO, hyaline oocyte; AO, atretic oocyte; FPO, post-ovulatory follicle; ylg, yolk lipid globule; ypg, yolk protein globule; vm, vitelline membrane; n, nucleus; nc, nucleolus.

TABLE II. Characteristics of the testicular stages of male *Mugil liza*

Characteristics	Stages		
	A	B	C
Mean \pm s.d. I_G	0.11 \pm 0.02	1.04 \pm 0.87	3.25 \pm 1.51
Size in relation to abdominal cavity	<1/3	<1/3	2/3
Colour of the testis	Translucent	White	White to yellow
Mean \pm s.d. mass (g)	1.03 \pm 1.21	9.07 \pm 7.50	33.41 \pm 20.66
Macroscopic description	Very small size, thin, ribbon-shaped, difficult to see inside the coelomic cavity	Triangular, with great variation in size and thickness, due to the dynamic state of the process	Large, triangular and lobular aspect at more advanced stages. Easily expel the semen of the animal when the abdomen is pressed
Microscopic description	Spermatic cysts thick with the presence of spermatogonial	Spermatic cysts with several cells grouped in nests of spermatogenesis at their peripheries	Thin-walled cysts distended by the large volume of sperm inside

The mean L_m for both sexes was 408.3 mm L_T ($P_M = [1^{(10.747-0.0263L_T)}]^{-1}$; $r = 0.992$).

At first maturity, males were smaller than females ($L_m = 400.1$ mm L_T ; $P_M = [1^{(9.4946-0.02373L_T)}]^{-1}$; $r = 0.983$ for males *v.* $L_m = 421.9$ mm L_T ; $P_M = [1^{(19.545-0.0463L_T)}]^{-1}$; $r = 0.996$ for females). Fish < 400 mm L_T had a larger ratio of males to females (2.1:1) than fish > 400 mm L_T ($\chi^2 = 21.9$). In contrast, fish > 421 mm L_T had a smaller ratio of males to females (1:1.3) than fish < 421 mm L_T ($\chi^2 = 36.0$).

From January until August, the majority of *M. liza* caught by artisanal fisheries in Rio Grande do Sul state were larger than the size at first maturity (Fig. 4), but in Santa Catarina state, during the first half of the year, immature individuals were abundant in the catches. On average, the artisanal fisheries caught significantly more mature individuals ($\chi^2 = 44.3$) as determined by size, than immature individuals, throughout the year. Industrial purse seine fisheries operated primarily from May to July (Fig. 5) and also caught significantly more mature individuals than immature individuals ($\chi^2 = 72.6$).

Reproductive activity occurred between April and June, but June was the spawning month (Fig. 6). Throughout the year, male I_G values were lower than those of females. Male I_G values peaked in June in industrial purse seine fisheries (mean \pm s.d. $I_{G\delta} = 4.2 \pm 1.5$). The highest I_G values for females caught in artisanal fisheries occurred in April (mean \pm $I_{G\phi} = 5.5 \pm 6.4$). Peak I_G values for females caught in industrial purse seine fisheries were much higher and occurred in June (mean \pm s.d. $I_{G\phi} = 11.5 \pm 3.1$). The highest values of K were observed between May and July.

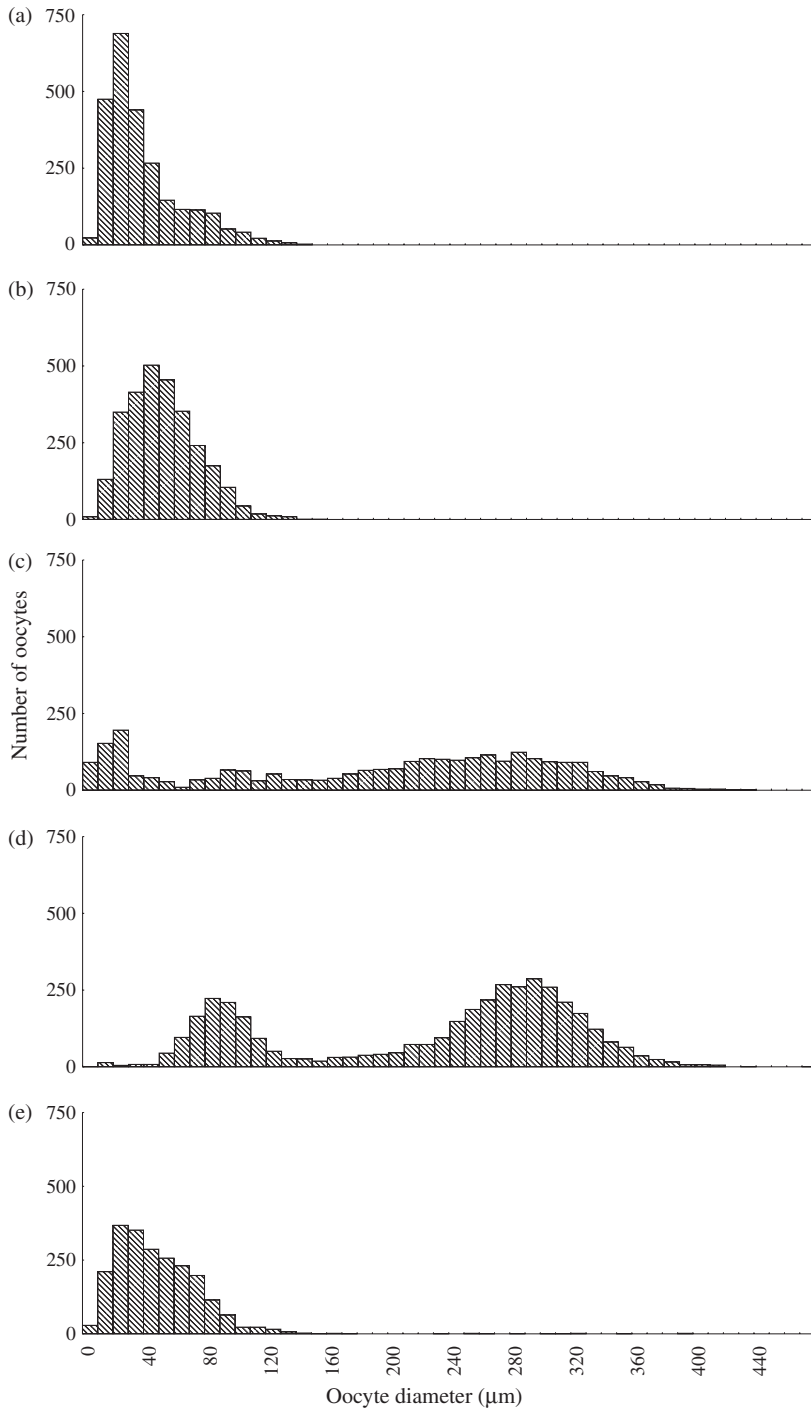


FIG. 3. Size-frequency distribution of oocyte diameters for the different stages of development in the ovaries: (a) immature ($n = 2513$), (b) maturing ($n = 2822$), (c) mature $n = 26\,820$, (d) hyaline ($n = 3963$) and (e) spawned ($n = 2200$).

TABLE III. Results of the regression analysis of the relationship between mass (M_T) and total length (L_T) of *Mugil liza*

	Both sexes	Males	Females
Equation	$M_T = 0.00002 L_T^{2.88730}$	$M_T = 0.01455 L_T^{2.78307}$	$M_T = 0.00637 L_T^{2.93909}$
r	0.9471	0.8618	0.903
n	1592	872	700
Mean L_T	455.5	417.6	462.2
Mean M_T	913.15	678.5	947.2

When both sexes are considered together, the highest values for K were attained in June (mean \pm S.D. = 10.7 ± 5.2) (Fig. 7).

Estimated fecundity ranged from 818 992 to 2 869 767 eggs per individual (mean \pm S.D. = $1\ 624\ 551 \pm 546\ 865$) for fish between 426 and 660 mm L_T . Fecundity was positively related to body size (Fig. 8). Relative fecundity ranged from 517 to 1552 eggs g^{-1} body mass.

Over 50% of the individuals were immature during the summer months (November, December, January and February). In June, 42% of females were in the hyaline stage (D), and 51% of males were in the mature stage (C). Histological analysis of gonads obtained from industrial fishing demonstrated that *c.* 50% of females were spawned (stage E) on the coast of Paraná in July. Between August and February, no mature female gonads were found.

SST displayed a northward progression of the 19–21° C range from May to July 2011 (Fig. 9).

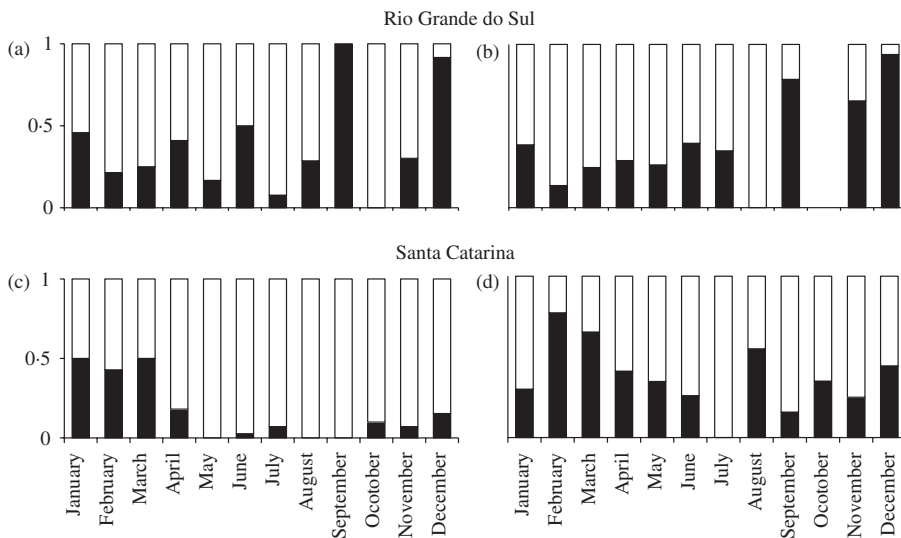


FIG. 4. Proportion of (a, c) females (F) and (b, d) males (M) smaller than the average total length (L_T) at first maturity (L_m) (■, $L_T < L_m$) and larger than the average size at first maturity (□, $L_T > L_m$) caught by the artisanal fishery in (a, b) Rio Grande do Sul and (c, d) Santa Catarina.

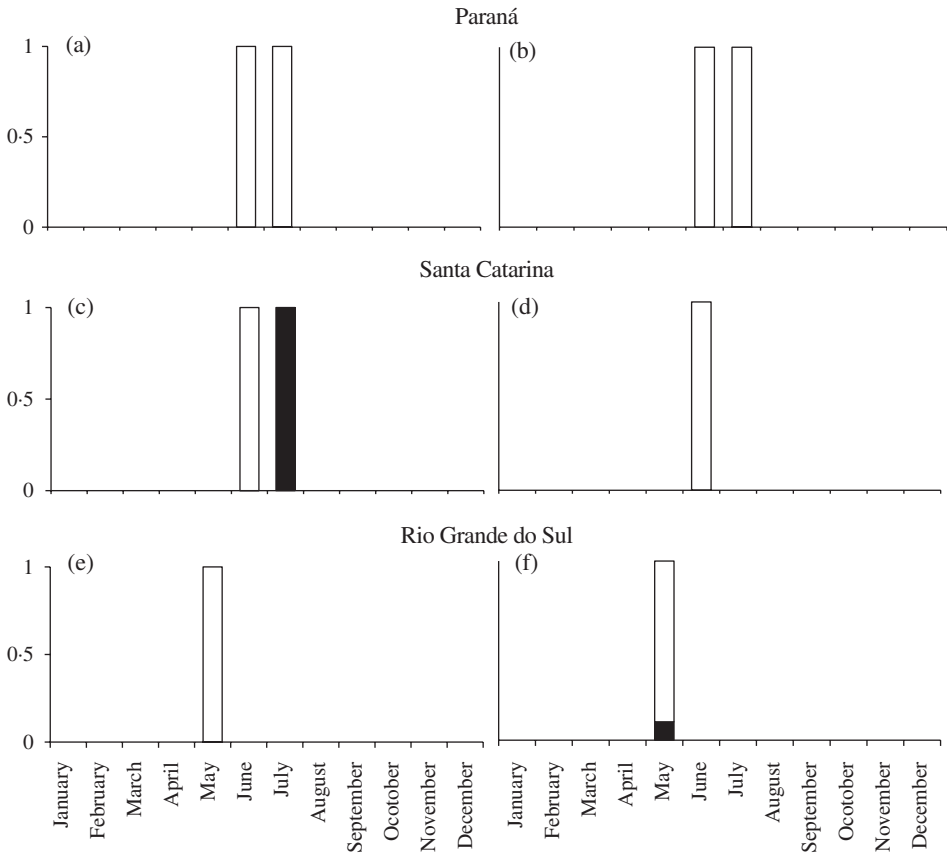


FIG. 5. Proportion of (a, c, e) females (F) and (b, d, f) males (M) smaller than the average total length (L_T) at first maturity (L_m) (■, $L_T < L_m$) and larger than the average size at first maturity (□, $L_T > L_m$) caught by the industrial purse seine fishery (May, June and July) in (a, b) Paraná, (c, d) Santa Catarina and (e, f) Rio Grande do Sul.

DISCUSSION

The *M. liza* distribution in southern Brazil is under strong fishing pressure (IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007). Gonads are harvested from *M. liza* caught in the breeding season and are exported as ‘*Bottarga*’ to international markets. The harvest of roe poses a significant threat to the conservation of this species, and the Brazilian Inter-ministerial Instruction (MPA/MMA No. 7 of 2011) banned the landing of *M. liza* roe without their respective carcasses.

According to Whitfield *et al.* (2012), there is increasing evidence that *Mugil cephalus* L. 1758 is a species complex, and it is now accepted that *M. liza*, a well-recognized species (Menezes *et al.*, 2010; Siccha-Ramirez *et al.*, 2014), is part of this complex (Whitfield *et al.*, 2012). If the principle of ‘niche conservation’, which suggests that related species tend to retain the ecological limits of their ancestors (Wiens *et al.*, 2010), is accepted, it appears reasonable to apply some ecological characteristics of the *M. cephalus* complex to *M. liza* and use them to discuss the reproductive activity of this species.

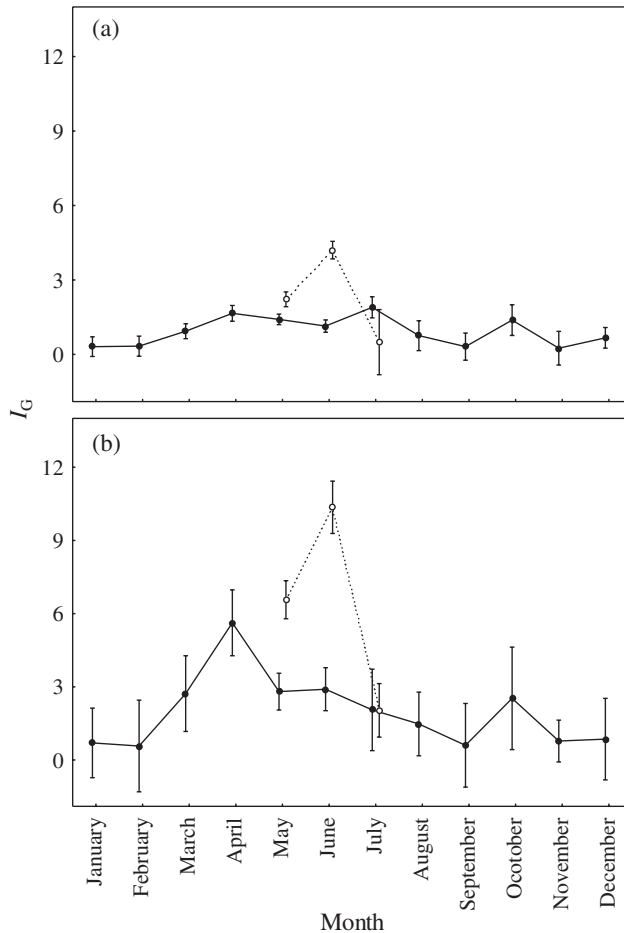


FIG. 6. Monthly variation of the mean \pm S.E. gonado-somatic index (I_G) of (a) male and (b) female of *Mugil liza* caught by the artisanal (●) and industrial (○) fisheries.

Mugil cephalus and *M. liza* are often considered to be catadromous, due to their predictable migrations from freshwater and estuarine habitats into marine spawning areas (Lucas & Baras, 2001; Fischer *et al.*, 2011; Chang & Lizuka, 2012; Whitfield *et al.*, 2012). Water temperature appears to be an important determinant in the vitellogenesis that is initiated in late summer to early autumn for both *M. cephalus* (Whitfield *et al.*, 2012) and *M. liza* (this study). Most records of *M. cephalus* spawning activity indicate that it occurs in water temperatures near 20° C (Ibáñez-Aguirre & Gutierrez, 2004; Hsu *et al.*, 2007; Whitfield *et al.*, 2012; Yelghi *et al.*, 2012). In southern Brazil, catches of *M. liza* coincide with the gradual shifting of the monthly coastal temperature range between 19 and 21° C along the Argentinean, Uruguayan and southern Brazilian coasts (Vieira & Scalabrin, 1991). The results of this study appear to confirm this hypothesis. A drop in temperature after May, when southern winds become more frequent (Piola *et al.*, 2005; Möller *et al.*, 2008), acts as a trigger for *M. liza* to migrate north and spawn in ocean waters with surface temperatures \sim 20° C. The decrease of temperature

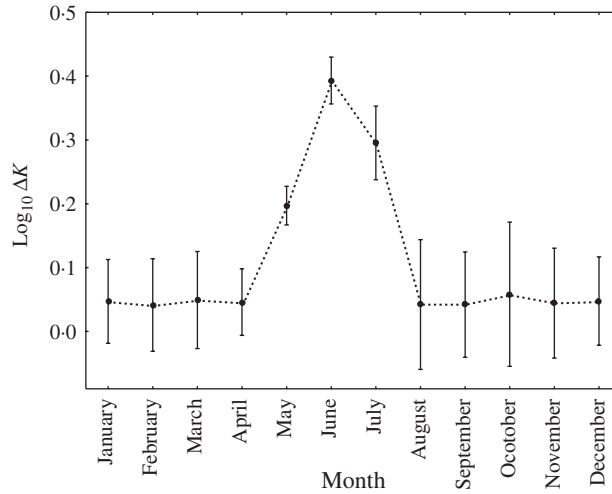


FIG. 7. Monthly variation of the mean \pm S.E. condition factor (ΔK) of *Mugiliza* caught by artisanal and industrial fisheries.

caused by winds and changes in sea level are directly associated with migration and spawning in others species of mugilids (Anderson, 1957; Moore, 1974; Ibáñez-Aguirre & Gutierrez, 2004).

Mugil cephalus is a single spawner and generally exhibits synchronous development of secondary growth oocytes. Egg delivery may occur either in one event or over a short time period (Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011). In this study, oocyte development in *M. liza* was observed in two synchronous groups (Fig. 3). The first group (<160 μm diameter) represents reserve stock oocytes, present in all stages, and the second group (>160 μm diameter) represents the synchronous development of secondary oocytes. All of the maturing oocytes were ultimately released during the reproductive period.

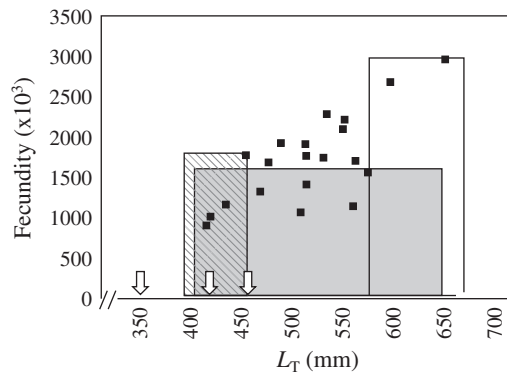


FIG. 8. Average fecundity of *Mugiliza* by total length (L_T) class. ■, the fecundity values in this study. ⇔, the respective mean L_T at first maturity (L_m). The base of the rectangles represents the length of the amplitude studied, the height of the rectangle represents the average fecundity observed. ▨, González-Castro *et al.* (2011) ($L_m = 454$ mm L_T , $n = 24$); □, Albiéri & Araújo (2010) ($L_m = 350$ mm L_T , $n = 20$); □, this study ($L_m = 421$ mm L_T , $n = 20$).

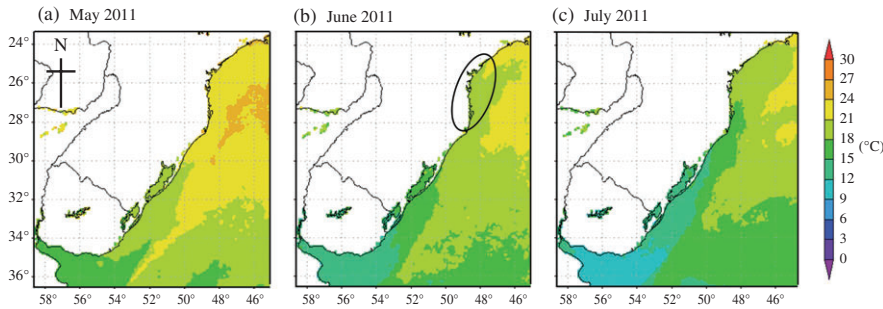


FIG. 9. Average monthly variation in sea surface temperature ($^{\circ}$ C) of the southern Brazilian coast for (a) May, (b) June and (c) July 2011. The ellipse in (b) shows favourable temperature range ($19\text{--}21^{\circ}$ C) for the spawning of *Mugil liza* in southern Brazil 2011 (data extracted from <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

Therefore, similar to *M. cephalus*, *M. liza* can be considered to be a single spawner (González-Castro *et al.*, 2011).

Thomson (1966) indicated that *M. cephalus* spawn at night in surface marine waters. All records show a strong preference by mugilids for water with salinity of $32\text{--}35$ (Nash & Shehadeh, 1980). In southern Brazil, purse seine fishing for mugilids occurs away from the coast in deep waters, which suggests that similar to *M. cephalus*, *M. liza* spawn in oceanic offshore water with salinities of $32\text{--}35$.

The frequency of spawning females (40%) observed in samples from industrial purse seine fisheries in July (2011 and 2012) indicates that spawning occurred in offshore waters in northern Santa Catarina and southern Paraná states, and not in shallow coastal waters. The broad geographical range of spawning locations along the coast of Santa Catarina suggests that *M. liza* spawning is more closely related to oceanographic conditions than to specific geographical locations. The oceanographic conditions involved in *M. liza* spawning are marine water, salinity of $32\text{--}35$, depth of *c.* 50 m and SSTs around 20° C. In 2011 and 2012, these conditions occurred in July along the coasts of Santa Catarina and Paraná (Fig. 9).

Although Whitfield *et al.* (2012) suggested that *M. cephalus* has different spawning periods across its distributional range, previous studies of *M. liza* reproductive activity (Albieri & Araújo, 2010) and the results of this study suggest that *M. liza* have a single spawning period known as the mullet run ('*corrida da tainha*' in Portuguese). The gradual northward migration of these fish from Argentina (around 36° S) to Santa Catarina (around 26° S) appears to be in preparation for spawning, as the I_G values for fish caught off Argentina (González-Castro *et al.*, 2011) and those sampled from the artisanal catches of southern Brazil (this study) are lower in April (<5.5) than those of fish sampled from industrial purse seine fishery catches in June (>11). Spawning in the southern population of *M. liza* appears to occur in June, as indicated by the presence of hyaline oocytes in this study, and is closely related to the northward displacement of temperatures between 19 and 21° C along the coast.

The negative allometric growth exhibited by both sexes and the length and mass relationship observed in this study are similar to previous results reported for *M. liza* (Frota *et al.*, 2004; Albieri & Araújo, 2010; González-Castro *et al.*, 2011). Also, as expected, the gonad morphology and gametogenesis of *M. liza* in this study were not different from those reported by Albieri & Araújo (2010) and González-Castro *et al.* (2011). The

fecundities reported for *M. liza* from Argentina (González-Castro *et al.*, 2011; mean of 1 800 000 oocytes per female) and Rio de Janeiro (Albieri & Araújo, 2010; mean of 3 080 000 oocytes per female) are positively correlated with size, as Albieri & Araújo (2010) analysed larger females than did González-Castro *et al.* (2011). The fecundities reported in these previous studies were within the range observed in this study (818 992–2 869 767 oocytes per female between 426 and 660 mm L_T).

The ΔK calculated in this study indicates that the nutritional and physiological conditions of Mugilidae are compatible with reproductive effort only between May and July. The lowest condition factor values were observed at the end of the spawning season (August). For *M. cephalus*, as well as *M. liza*, the hepato-somatic index is not the best indicator of spawning because the majority of fatty acid accumulation is observed in the abdominal cavity, and not in the liver, during the months prior to the spawning season (Ibáñez-Aguirre & Gallardo-Cabello, 2004). *Mugil liza* collected in the months before reproductive migration showed large accumulations of fat in the abdominal cavity. Individuals collected after migration (August to October) were thin and energy depleted. This state of exhaustion is noticed by fishermen, who call fish in this state machete-mullets ('tainha-facão' in Portuguese) an allusion to the elongated shape of the fish. This state probably results from the energy expenditure required for migratory and reproductive processes.

The L_m values obtained in this study (overall $L_m = 408.3$ mm L_T , $L_{m\delta} = 400.1$ mm L_T and $L_{m\varphi} = 421.9$ mm L_T) were similar to those reported by González-Castro *et al.* (2011) for Argentina ($L_{m\varphi} = 454$ mm L_T and $L_{m\delta} = 439$ mm L_T) and by Esper *et al.* (2000) for Paraná ($L_{m\varphi} = 412$ mm L_T), but differed by >50 mm from those reported by Albieri & Araújo (2010) for the Rio de Janeiro population (overall $L_m = 350$ mm L_T). It is well known that different stocks or populations may have different population parameters and this result suggests that there may be at least two different *M. liza* stocks. The upwelling regions of Cabo Frio and Santa Marta Cape probably represent two spawning areas associated with SSTs of 19–21° C.

The L_m of *M. liza* (408 mm L_T) corresponds to an age of 5–6 years (González-Castro *et al.*, 2009; Garbin *et al.*, 2013). Five to 6 years can be considered a late age of maturity, especially for a fish with longevity of up to 10.5 years (González-Castro *et al.*, 2009; Garbin *et al.*, 2013).

Since 2004, *M. liza* has been classified as overexploited by the Brazil Ministry of Fishing and Aquaculture (IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007). The species has been intensively exploited for >100 years by the artisanal fisheries in southern Brazil (Von Ihering, 1885), and since the early 2000s, they have also been heavily exploited by industrial purse seine fisheries (Seckendorff & Azevedo, 2007; Miranda *et al.*, 2011). Although the southern artisanal fishery catches *M. liza* throughout the year, both artisanal and industrial purse seine fisheries target ripe fish during their spawning migrations (May and June). In this period, the schools are densely aggregated. There is a lack of information about the population structure, size and distribution of *M. liza*. No precise data are available for the effects of fishing activity on different *M. liza* stocks. The stocks are in decline in some Brazilian regions, especially at Patos Lagoon and Santa Catarina, and the resource has no management plan (IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007; FAO, 2011). The systematic low catches observed for both artisanal and industrial fisheries after the peak in 2007 of c. 11 000 t (Boletim Estatístico da Pesca Industrial de Santa Catarina, 2008; CEPERG/IBAMA, 2008) may indicate that the stock has exceeded maximum sustainability and will collapse

similar to the *M. cephalus* populations in the Adriatic and Mediterranean Seas (FAO, 2014).

We acknowledge the financial aid and logistical support provided by the Universidade Federal do Rio Grande. We are also thankful to Dr. Jorge Pablo Castello and Dr. Luiz Felipe Cestari Dumont by the revision of article. V.M.L was financially supported by National Council of Scientific and Technological Development (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES) with a post-graduate scholarship. J.P.V. (Proc. 482236/2011-6) and J.H.M. (Proc. 310931/2012-8) received a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq grant. The group was also supported by SISBIOTA project (FAPERGS, 11/2262-7). Analyses and visualizations of MODIS-Aqua SST data used in this study were produced using the Giovanni online data system, developed and maintained by the NASA GES DISC.

References

- Albieri, R. J. & Araújo, F. G. (2010). Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in a tropical Brazilian bay. *Zoologia* **27**, 331–340.
- Anderson, W. W. (1957). Early development, spawning, growth, and occurrence of the silver mullet (*Mugil curema*) along the South Atlantic coast of the United States. *Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service* **57**, 397–414.
- Barletta, M., Jaureguizar, A. J., Baigun, C., Fontoura, N. F., Agostinho, A. A., Almeida-Val, V. M. F., Val, A. L., Torres, R. A., Jimenes-Segura, L. F., Giarrizzo, T., Fabré, N. N., Batista, V. S., Lasso, C., Taphron, D. C., Costa, M. F., Chaves, P. T., Vieira, J. P. & Correa, M. F. (2010). Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on Neotropical systems. *Journal of Fish Biology* **76**, 2118–2176.
- Boletim Estatístico da pesca Industrial de Santa Catarina (2008). *Boletim Estatístico da pesca Industrial de Santa Catarina – ano 2007*. Itajaí: SEAP/PR-Secretaria Especial de agricultura e pescada Presidência da República, UNIVALI-Fundação Universidade do Vale do Itajaí, Programa de Apoio Técnico e Científico ao Desenvolvimento da Pesca no Sudeste e Sul do Brasil.
- Beverton, R. J. H. (1992). Patterns of reproduction strategy parameters in some teleosts fishes. *Journal of Fish Biology* **41**, 137–160.
- Campos, E. J., Goncalves, J. & Ikeda, Y. (1995). Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: summer of 1991. *Journal of Geophysical Research* **100**, 18537–18550. doi: 10.1029/95JC01724
- Carson, F. L. & Hadlik, C. (2009). *Histotechnology: Self-Instructional Text*, 3rd edn. Chicago, IL: ASCP Press.
- Castello, J. P. & Moller, O. O. (1977). On the relationship between rainfall and shrimp production in the estuary of the Patos Lagoon (Rio Grande do Sul, Brazil). *Atlantica* **3**, 67–74.
- CEPERG/IBAMA (2008). *Caracterização da Pesca. Boletim de Desembarque de Pescado no Rio Grande do Sul no ano de 2007*. Rio Grande: Centro de Pesquisa e Gestão dos Recursos Pesqueiros Lagunares e Estuarinos/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
- Chang, W. C. & Lizuka, Y. (2012). Estuarine use and movement patterns of seven sympatric Mugilidae fishes: the Tatu Creek estuary, central western Taiwan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **106**, 121–126.
- Chao, L. H., Pereira, L. E. & Vieira, J. P. (1985). Estuarine fish community of the dos Patos Lagoon, Brazil: a baseline study. In *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration* (Yanez-Arancibia, A., ed), pp. 429–450. Mexico City: UNAM Press.
- Ciotti, A. M., Odebrecht, C., Fillmann, G. & Möller, O. O. (1995). Freshwater outflow and subtropical convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Continental Shelf Research* **15**, 1737–1756.
- Esper, M. d. L. P., Menezes, M. S. de. & Esper, W. (2000). Escala de desenvolvimento gonadal e tamanho de primeira maturação de fêmeas de *Mugil platanus* Günther, 1880 da Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Acta Biologica Paranaense* **29**, 255–263.

- FAO (2011). Coastal fisheries of Latin America and the Caribbean. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* **544**.
- Fischer, L. G., Pereira, L. E. D. & Vieira, J. P. (2011). *Peixes estuarinos e costeiros*, 2nd edn. Rio Grande: Luciano Gomes Fischer.
- Frota, L. O., Costa, P. A. S. & Braga, A. C. (2004). Length-weight relationship of marine fishes from the central Brazilian coast. *NAGA, World Fish Center Quarterly* **27**, 20–26.
- Garbin, T., Castello, J. P. & Kinas, P. G. (2013). Age, growth, and mortality of the mullet *Mugil liza* in Brazil's southern and southeastern coastal regions. *Fisheries Research* **149**, 61–68.
- González-Castro, M., Abachian, V. & Perrotta, R. G. (2009). Age and growth of the striped mullet, *Mugil platanus* (Actinopterygii, Mugilidae), in a southwestern Atlantic coastal lagoon (37°32'S-57°19'W): a proposal for a life-history model. *Journal of Applied Ichthyology* **25**, 61–66.
- González-Castro, M., Macchi, G. J. & Cousseau, M. B. (2011). Studies on reproduction of the mullet *Mugil platanus* Günther, 1880 (Actinopterygii, Mugilidae) from the Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina: similarities and differences with related species. *Italian Journal of Zoology* **78**, 343–353.
- Hsu, C. C., Han, Y. S. & Tzeng, W. N. (2007). Evidence of flathead mullet *Mugil cephalus* spawning in waters northeast of Taiwan. *Zoological Studies* **46**, 717–725.
- Ibáñez-Aguirre, L. & Gallardo-Cabello, M. (2004). Reproduction of *Mugil cephalus* and *M. curema* (Pisces: Mugilidae) from a coastal lagoon in the Gulf of Mexico. *Bulletin of Marine Science* **75**, 37–49.
- Ibáñez-Aguirre, L. & Gutierrez, O. (2004). Climate variables and spawning migrations of the striped mullet and white mullet in the north-western area of the Gulf of Mexico. *Journal of Fish Biology* **65**, 822–831. doi: 10.1111/j.1095-8649.2004.00488.x
- von Ihering, H. (1885). Die Lagoa dos Patos. *Deutsche geographische blätter* **8**, 182–204.
- Jaureguizar, A., Menni, R., Guerrero, R. & Lasta, C. (2004). Environmental factors structuring fish communities of the Río de la Plata estuary. *Fisheries Research* **66**, 195–211. doi: 10.1016/S0165-7836(03)00200-5
- King, M. (1995). *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Oxford: Fishing News Books.
- Le Cren, E. D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonadal weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology* **20**, 1–19.
- Lowerre-Barbieri, S. K., Konstantinos, G., Saborido-Rey, F., Murua, H. & Hunter, J. R. (2011). Reproductive timing in marine fishes: variability, temporal scales, and methods. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science* **3**, 71–91.
- Lucas, M. C. & Baras, E. (2001). *Migration of Freshwater Fishes*. Oxford: Blackwell.
- Menezes, N. A., de Oliveira, C. & Nirchio, M. (2010). An old taxonomic dilemma: the identity of the western south Atlantic Lebranche mullet (Teleostei: Perciformes: Mugilidae). *Zootaxa* **2519**, 59–68.
- Miranda, L. V. de, Mendonça, J T., & Cergole, M. C. (2006). Diagnostico do estoque e orientações para o ordenamento da pesca de *Mugil platanus* (Gunther 1880). Serie Documentos REVIZEE-Score sul. São Paulo: Instituto Oceanográfico-USP.
- Miranda, L. V. de., Carneiro, M. H., Peres, M. B. & Cergole, M. C. (2011). Contribuições ao processo de ordenamento da pesca da espécie *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) nas regiões sudeste e sul do Brasil entre os anos de 2006 e 2010. *Série Relatórios Técnicos* **49**, 1–23.
- Möller, O. O., Piola, A. R., Freitas, A. N. & Campos, E. J. D. (2008). The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. *Continental Shelf Research* **28**, 1607–1624.
- Moore, R. H. (1974). General ecology, distribution and relative abundance of *Mugil cephalus* and *Mugil curema* on the south Texas coast. *Contributions in Marine Science* **18**, 241–245.
- MPA (2012). *Boletim Estatístico da pesca e Aqüicultura - ano 2010*. Brasília: Ministério da pesca e aqüicultura, Ministério do Meio Ambiente.
- Muelbert, J. H. & Sinque, C. (1996). Distribution of bluefish (*Pomatomus saltatrix*) larvae along the continental shelf off southern Brazil. *Marine and Freshwater Research* **47**, 311–314.
- Myers, R. H. (1990). *Classical and Modern Regression with Applications*. Belmont, CA: Duxbury Press.

- Nash, C. E. & Shehadeh, Z. H. (1980). *Review of Breeding and Propagation Techniques for Grey Mullet, Mugil cephalus*. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Palma, E. D., Matano, R. P. & Piola, A. R. (2008). A numerical study of the southwestern Atlantic Shelf circulation: stratified ocean response to local and offshore forcing. *Journal of Geophysical Research* **13**, 1–22. doi: 10.1029/2007JC004720
- Pina, J. V. de. & Chaves, P. de. T. (2005). A pesca de tainha e parati na Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil. *Acta Biologica Paranaense* **34**, 103–113.
- Piola, A. R., Matano, R. P., Palma, E. D., Möller, O. O. & Campos, E. J. D. (2005). The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. *Geophysical Research Letters* **32**, L01603.
- Reid, J. L. (1989). On the geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: flow patterns, tracers, and transport. *Progress in Oceanography* **23**, 149–244.
- Seckendorff, R. W. & Azevedo, V. G. (2007). Abordagem histórica da pesca da tainha *Mugil platanus* e do parati *Mugil curema* (Perciformes: Mugilidae) no litoral norte de São Paulo. *Série Relatórios Técnicos* **28**, 1–10.
- Siccha-Ramirez, R., Menezes, N. A., Nirchio, M., Foresti, F. & Oliveira, C. (2014). Molecular identification of mullet species of the Atlantic South Caribbean and South America and the phylogeographic analysis of *Mugil liza*. *Reviews in Fisheries Science and Aquaculture* **22**, 86–96. doi: 10.1080/10641262.2013.833583
- Thomson, J. M. (1966). The grey mullets. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* **4**, 301–335.
- Vazzoler, A. E. A. de. M. (1996). *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática*. Maringá: Eduem, Universidade Estadual de Maringá.
- Vieira, J. P. (1991). Juvenile mullets (Pisces: Mugilidae) in the estuary of Lagoa dos Patos, RS Brazil. *Copeia* **1991**, 409–418.
- Vieira, J. P. & Scalabrin, C. (1991). Migração reprodutiva da Tainha (*Mugil platanus*, Günther, 1880) no sul do Brasil. *Atlantica* **13**, 131–141.
- Vieira, J. P., Garcia, A. M. & Grimm, A. M. (2008). Evidences of El Niño effects on the mullet fishery of the Patos Lagoon Estuary. *Brazilian Archives of Biology and Technology* **51**, 433–440.
- Whitfield, A. K., Panfili, J. & Durand, J. D. (2012). A global review of the cosmopolitan flathead mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **22**, 641–681.
- Wiens, J. J., Ackerly, D. D., Allen, A. P., Anacker, B. L., Buckley, L. B., Cornell, H. V., Damschen, E. J., Davies, T. J., Grytnes, J. A., Harrison, S. P., Hawkins, B. A., Holt, R. D., McCain, C. & Stephens, P. R. (2010). Niche conservatism as an emerging principle in ecology and conservation biology. *Ecology Letters* **13**, 1310–1324.
- Yelghi, S., Shirangi, S. A., Ghorbani, R. & Khoshbavar-Rostami, H. A. (2012). Annual cycle of ovarian development and sex hormones of grey mullet (*Mugil cephalus*) in captivity. *Iranian Journal of Fisheries Sciences* **11**, 693–703.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical Analysis*, 4th edn. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Electronic References

- Acker, J. G. & Leptoukh G. (2007). *Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data*. Available at <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (accessed 20 December 2013).
- Burger, W. & Burge, M. J. (2007). *Digital Image Processing: Algorithmic Approach Using Java*. Available at <http://www.imagingbook.com/> (accessed 16 February 2013).
- FAO (2014). *Global Capture Production 1950-2012*. Available at <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/es/> (accessed 13 February 2014).
- IBAMA/ICMBIO/CEPSUL (2007). *Relatório de reunião técnica para o ordenamento da pesca da tainha (Mugil platanus, M. liza) na região sudeste/sul do Brasil*. Available at http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/relatorio_de_ordenamento/tainha/rel_2007_abr_tainha.pdf (accessed 20 January 2014).

**ANEXO II: Stock discrimination of mullet (*Mugil liza* Valenciennes, 1836) by
stable isotope ratio analysis of otolith carbonate**

Stock discrimination of mullet (*Mugil liza* Valenciennes 1836) by stable isotope ratio analysis of otolith carbonate

Stock discrimination of *Mugil liza*

V. M. Lemos^{1,*}, C. Monteiro-Neto², H. Cabral³, J.P. Vieira¹

1. Universidade Federal do Rio Grande, Instituto de Oceanografia. Av. Itália km8. Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.

2. Universidade Federal Fluminense, Centro de Estudos Gerais, Departamento de Biologia Marinha. Outeiro de São João Batista s/n- Valonguinho. Niteroi, Rio de Janeiro, Brasil.

3. MARE. Marine and Environmental Science Centre. Universidade de Lisboa. Departamento de Biologia Animal. Campo Grande 1749-016. Lisboa, Portugal.

ABSTRACT

We investigated the use of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ stable isotopes in juvenile's mullet otoliths as indicators of stock structure in the southern Atlantic Ocean. The analysis identified two different spawning stocks in Brazilian coast, from Rio de Janeiro (22 °S) to Chui (33 °S), with distinct seawater thermal conditions of birth: southern stock (18-21 °C) and, north stock (21-24 °C).

Key-words: sea surface temperature; southern stock; spawning area

The mullet *Mugil liza*, Valenciennes 1836 is a marine fish species distributed along the coast of South America, from the Caribbean Sea to Argentina (Menezes *et al.*, 2010). According to Whitfield *et al.* (2012) there is increasing evidence that *Mugil gr. cephalus* is a species complex, and it is now accepted that *M. liza*, a well-recognized and described species (Menezes *et al.*, 2010), is part of this species complex and share several behavioral and environmental preferences with the group (Whitfield *et al.*, 2012; Lemos *et al.*, 2014).

Artisanal fisheries for *M. liza* is culturally and historically important in Southern and Southeastern Brazilian coast (Vieira, 1991; IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007). Since the early 2000s, the Brazilian industrial purse seine fishery heavily exploited the resource during the reproductive migration (Lemos *et al.*, 2014) due to the high value of mature roes, considered a delicacy analogous to caviar (IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007). More recently, the resource has shown strong signs of decline, and since 2004 the *M. liza* was ranked as overexploited (MPA/MMA, 2014). The current management plan for mullet (MPA/MMA, 2014) is not effective due to missing basic information, including data on official landings, stock characterization and stock assessment.

Stock is an exploited fishery unit. A stock may be a single spawning component, a biological population, a metapopulation, or comprise portions of these units (Cadrin *et al.*, 2014). The identification of discrete unit stocks has been for a long time a basic requirement for fisheries science and management (Cadrin *et al.*, 2014). Many genotypic and phenotypic methods are applied to the recognition of stocks and fish populations (Ihssen *et al.*, 1981; Cadrin *et al.*, 2014). In recent years, otolith chemistry has successfully identified groups based on the characterization of the environmental conditions of birth and early life (Campana *et al.*, 1994; Gao *et al.*, 2001).

The theoretical basis is that otoliths are deposited in, or very close to oxygen isotopic equilibrium with the ambient seawater, and record the environmental changes that an individual fish experienced (Kalish, 1991; Thorrold *et al.*, 1997; Gao *et al.*, 2001). Carbon isotopes deposited in otoliths come from the dissolved inorganic carbon (DIC) and animal metabolism, reflecting the physiological status and trophic changes (Thorrold *et al.*, 1997). The combination of carbon and oxygen isotopes is commonly used and can reveal spatial separation resulting from segregation during spawning, and hence population differences (Thorrold *et al.*, 1997; Campana, 1999).

Studies on the reproductive biology of *M. liza* in the Brazilian coast revealed population differences along the species range distribution due to distinctions between reproductive parameters (Albieri & Araujo, 2010; Gonzalez-Castro *et al.*, 2011; Lemos *et al.*, 2014; Mai *et al.*, 2014) found the existence of at least two genetically distinct populations between Rio de Janeiro, Brazil and Mar del Plata, Argentina. The southern population (Argentina to São Paulo, Brazil) encompasses the area where 95% of the commercial catch of the species occurs (IBAMA/ICMBIO/CEPSUL, 2007). The gradual northward migration of *M. liza* from Argentina (around 37 °S) to Santa Catarina, Brazil (around 26 °S), seems to occur during a pre-spawning process that takes place in high salinity waters and sea surface temperatures between 19 and 21 °C with peak spawning in June (Lemos *et al.*, 2014).

The traditional and still widely held view is that stocks are reproductively isolated populations with their own internal dynamics, which can be identified by genetic markers of lineage (Ihssen *et al.*, 1981). But, the lack of a global molecular marker to determine reproductive isolation (Waples *et al.*, 2008) has led to an interdisciplinary approach where in identifying stocks and population units. When integrated, multiple approaches provide strong evidences in the identification and delineation of stocks (Cadrin *et al.*, 2014). Chemical analysis has provided units

identification with greater refinement than genetic methods (Campana & Thorrold, 2001; Cadrin *et al.*, 2014), and the combination of both approaches is encouraged (Campana *et al.*, 1994). In this study we aim to determine the existence of one or more *M. liza* stocks in the area occupied by the southern population described by Mai *et al.* (2014) using isotopic analysis of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ carbonate in juvenile otoliths.

Specimens were collected between June and October 2011 in nine sites along the Southern Brazilian coast (Fig. 1). Water temperature ($^{\circ}\text{C}$) and salinity were measured at each sampling site. All fish caught were transported on ice to the laboratory. Individual fish were identified and weighed (g), and their total length (TL mm) measured. *Sagittae* otoliths were removed and sent to the “Instituto de Geociências da Universidade de Brasília” for analysis. Isotopic Ratio Mass Spectrometry (IRMS) was used for isotopic analysis of carbonates, with *Vienna Pee Dee Belemnite* (VPDB) as the standard.

Differences between the isotopic values between sampled sites were tested using analysis of variance (ANOVA). Isotope values are described using the standard “ δ per thousand (‰)” notation defined as:

$$\delta (\text{‰}) = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000, \text{ where, } R = {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O} \text{ or } {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}.$$

The values of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ found for the otoliths of *M. liza* (Table 1) were within the expected ranges for marine species (-2 to $+4\text{‰}$ and -9 to $+1\text{‰}$, respectively) (Kalish, 1991; Campana, 1999). The values of the isotopic ratios of the carbon and oxygen revealed two groups (Fig. 2) suggesting the existence of at least two stocks with two environmental distinct spawning areas along the study area. These results agree with Mai *et al.* (2014) that revealed the existence two genetically distinct populations between Rio de Janeiro, Brazil and Argentina. One group, composed by samples taken between Paraná and Rio Grande do Sul, constituted the southern population ($0.381 \pm 0.1 \text{‰}$ and $-6.936 \pm 0.46 \text{‰}$, respectively for $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$). The second group

encompassed individuals born in Rio de Janeiro ($-1.141 \pm 0.2 \text{ ‰}$ and $-3.754 \pm 0.51 \text{ ‰}$, respectively for $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) (Fig. 2).

The values of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ from Rio de Janeiro and the southern states are differed significantly (ANOVA $p < 0.001$) (Fig. 3). Homogeneity among values of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in the southern states samples suggest that all individuals of those samples were born in water with the same or very similar temperature. The inverse relationship between the environmental temperature and otolith $\delta^{18}\text{O}$ values (Kalish, 1991; Thorrold *et al.*, 1997) could be inferred from data, revealing that southern individuals were born in colder waters than those individuals from Rio de Janeiro. Based on the relationship proposed by Kalish (1991) $\delta^{18}\text{O}$ values of otoliths ($-1.141 \pm 0.2 \text{ ‰}$) correspond to water temperature values of 21 to 24 °C, matching the observed sea surface temperature of the water off Rio de Janeiro (Fig. 4). Similarly, $\delta^{18}\text{O}$ values of otoliths ($0.381 \pm 0.1 \text{ ‰}$) from southern samples correspond to water temperature values of 18 to 21 °C, matching the sea surface temperature at the place of birth of *M. liza* (Fig. 4; Lemos *et al.*, 2014).

Lemos *et al.* (2014) suggested that the peak spawning of *M. liza* southern population occurs in June off the coast of the Santa Catarina and Paraná states. According to our results, this reproductive event provides the annual supply of juveniles of *M. liza* for the southern population. Young of the year disperse southward and are distributed into different nursery areas along the Southern coast of Brazil.

The correlation of $\delta^{13}\text{C}$ versus $\delta^{18}\text{O}$ in biological carbonates might show kinetic and metabolic effects (McConnaughey 1989). In the otoliths, the correlation of $\delta^{18}\text{O}$ versus $\delta^{13}\text{C}$ is not dominated only by kinetic effect like it is in corals (Devereux, 1967; Kalish, 1991; Gao & Beamish, 2003). The correlation of $\delta^{18}\text{O}$ versus $\delta^{13}\text{C}$ is induced by biological fractionation, and may exhibit different relationships (Gao *et al.*, 2005; Deutsche & Berth, 2006).

Differently from oxygen, the $\delta^{13}\text{C}$ values observed in otoliths are in disequilibrium with the $\delta^{13}\text{C}$ values of the sea water (Kalish, 1991; Campana, 1999). About 30% of aragonite carbon derives from metabolism and is directly related to changes in diet (Kalish, 1991; Gao *et al.*, 2001). The remaining 70% comes from the dissolved inorganic carbon (DIC) (Kalish, 1991). The isotope ratio of otolith carbonate is a mixture of these two fractions and, therefore, the interpretation of $\delta^{13}\text{C}$ is not as direct as $\delta^{18}\text{O}$ (Kalish, 1991).

Like most mullets, the ingestion of diatoms and the presence of inorganic sediment in stomachs start at about 30 mm TL, when the juveniles begin to feed near the bottom at the surf-zone (Vieira, 1991). There was no difference (ANOVA, $p>0.05$) in the sizes and weights of individuals between areas (Table 1) that could represent differences in metabolic rates (Campana, 1999). Most $\delta^{13}\text{C}$ incorporated into the otolith derived from DIC (Kalish, 1991). The $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ suffers small isotopic variations in different latitudes and water masses (Kroopnick, 1980; Thorrold *et al.*, 1997). The $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ value in the open ocean waters is fairly uniform around 1‰, but, in environments with changing freshwater input, it may vary from -5 to -10‰ (Michener & Lajtha, 2007). The $\delta^{13}\text{C}$ values found in our sampled otoliths (Fig. 3B) suggest that southern waters were more influenced by estuarine contribution than those from Rio de Janeiro waters.

Genetic markers provide an important tool for identifying the degree of reproductive isolation between groups (Cadrin *et al.*, 2014). However, the individuals' life history results in differences in fine geographic scales that genetic studies are not able to show but that the otolith chemistry can identify (Conover, 1998). In this case there is a great advantage in using phenotypic methods such as isotope analysis of otoliths. Considering that the growth patterns can be different, that they are strongly influenced by the environment (Campana & Thorrold, 2001) and that fishing act as a

source of recent pressure on evolution (Rijnsdorp, 1993), phenotypic methods become relevant in the analysis of fishing resources.

Isotopic analysis of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in otoliths of juvenile *M. liza* confirmed the results found through genetic methods. There are two populations of *M. liza* along the southern and southeastern Brazilian coast (Mai *et al.*, 2014), and, the southern population (Argentina to São Paulo, Brazil) is a unit stock. Considering the economic importance of the species, managers should consider this stock as a distinct unit for management purposes.

ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge the financial aid and logistical support provided by the Universidade Federal do Rio Grande –FURG, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (CAPES/PVE N°71/2013), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Ministério da Pesca e Aquicultura MPA (CNPq/MPA N°42/2012), and Giovanni online data system, developed and maintained by the NASA GES DISC. CMN holds a Research Productivity Fellowship from Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

REFERENCES

- Albieri, R.J. & Araújo, F.G. (2010). Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* Teleostei: Mugilidae in a tropical Brazilian bay. *Zoologia* **27** (3), 331– 340.
- Cadrin, S.X., Kerr L.A. & Mariani S. (2014). *Stock identification methods: applications in fishery science*. Second Edition. Elsevier Academic Press, San Diego.
- Campana, S.E. & Thorrold, S. (2001). Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science* **58**, 30 – 38.

- Campana, S.E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series* **188**, 263 - 297.
- Campana, S.E., Fowler, A.J. & Jones, C.M. (1994). Otolith Elemental fingerprinting for stock identification of Atlantic cod *Gadus morhua* using laser ablation ICPMS. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science* **51**, 1942-1950.
- Conover, D. O. (1998). Local adaptation in marine fishes: evidence and implications for stock enhancement. *Bulletin of Marine Science* **62**, 477–493.
- Deutsch, B., & Berth, U. (2006). Differentiation of western and eastern Baltic Sea cod stocks (*Gadus morhua*) by means of stable isotope ratios in muscles and otoliths. *Journal of Applied Ichthyology*, **22(6)**, 538-539.
- Devereux, I. 1967. Temperature measurements from oxygen isotope ratios of fish otoliths. *Science* **155**, 1684–1685.
- Gao, Y. W., & Beamish R. J. (2003). Stable isotope variations in otoliths of Pacific halibut (*Hippoglossus stenolepis*) and indications for the possible 1990 regime shift. *Fisheries Research* **60**, 393–404.
- Gao, Y.W., G.G. Bargmann, U. Brand, & Noakes D.L.G. (2005). Stable isotopic and trace elemental compositions of otoliths and the stock structure of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). *Environmental Biology of Fishes* **74**, 335–348.
- Gao, Y.W., Joner, S.H. & Bargmann, G.G. (2001). Stable isotopic composition of otoliths in identification of spawning stocks of Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Puget Sound. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science* **58**, 2113-2120.
- González-Castro, M., Macchi, G. J. & Cousseau, M. B. (2011). Studies on reproduction of the mullet *Mugil platanus* Günther, 1880 (Actinopterygii, Mugilidae) from the Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina: similarities and differences with related species. *Italian Journal of Zoology* **78**, 343–353.

- IBAMA/ICMBIO/CEPSUL. (2007). Relatório de reunião técnica para o ordenamento da pesca da tainha (*Mugil platanus*, *M. liza*) na região sudeste/sul do Brasil.
- Ihssen, P. E., Booke, H. E., Casselman, J. M., McGlade, J. M., Payne, N. R. & Utter, E.M. (1981). Stock identification: materials and methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **38**, 1838-55.
- Kalish, J.M. (1991). ^{13}C and ^{18}O Isotopic disequilibrium in fish otoliths e metabolic and kinetic effects. *Marine Ecology Progress Series* **75**, 191-203.
- Kroopnick, P. (1980). The distribution of C-13 in the Atlantic Ocean. *Earth and Planetary Science Letters* **49**, 469–484.
- Lemos, V.M., Varela Jr, A.S., Schwingel, P.R., Muelbert, J.H. & Vieira, J.P. (2014). Migration and reproductive biology of *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in south Brazil. *Journal of Fish Biology*. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12452>.
- Mai, A.C.G., Minõ, C.I., Marins, L.F.F., Monteiro-Neto, C., Miranda, L., Schwingel, P.R., Lemos, V.M., Gonzalez-Castro, M., Castello, J.P. & Vieira, J. P. (2014). Microsatellite variation and genetic structuring in *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) populations from Argentina and Brazil. *Estuarine Coastal Shelf Science* **149**, 80-86.
- Mc Connaughey, T. (1989). $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ isotopic disequilibrium in biological carbonates, II. In vitro simulation of kinetic isotope effects. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **53**, 163–171.
- Menezes, N.A., Oliveira, C. & Nirchio, M. (2010). An old taxonomic dilemma: the identity of the western south Atlantic lebranche mullet Teleostei: Perciformes: Mugilidae. *Zootaxa* **2519**, 59–68.
- Michener, R. & Lajtha, K. (2007). *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. 2nd Edition. Blackwell Publishing, Maiden, Massachusetts.

- MPA/MMA. 2014. Plano de gestão para o uso sustentável da tainha, *Mugil liza* Valenciennes, 1836, no Sudeste e Sul do Brasil. Brasília: 137pp.
- Rijnsdorp, A. D. (1993). Fisheries as a large-scale experiment on life-history evolution: disentangling phenotypic and genetic effects in changes in maturation and reproduction of North Sea plaice, *Pleuronectes platessa*. *Oecologia* **96**, 391–401.
- Thorrold, S.R., Campana, S.E., Jones, C.M. & Swart, P.K. (1997). Factors determining $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ fractionation in aragonite otoliths of marine fish. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **61**, 2909-2919.
- Vieira, J.P. (1991). Juvenile Mulletts (Pisces: Mugilidae) in the Estuary of Lagoa dos Patos, RS - Brazil. *Copeia* **2**, 409-418.
- Waples, R.S., Punt, A.E., & Cope, J.M. (2008). Integrating genetic data into management of marine resources: how can we do it better? *Fish and Fisheries* **9** (4), 423-449.
- Whitfield, A.K., Panfili, J. & Durand, J.D. (2012). A global review of the cosmopolitan flat-head mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **22** (3), 641–681.

Table 1. Juvenile mullet sampling sites, number of fish (n), stable isotopes ratios ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$), salinity (Sal.), temperature (T), total length (TL) and total weight (TW) of individuals and their respective standard deviations (sd).

Sites	n	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Sal.	T (°C)	TL (mm)	TW \pm sd (g)
Chuí	15	-6.716 \pm 0.71	0.509 \pm 0.16	28.5	16.2	28.2 \pm 0.88	0.232 \pm 0.03
Patos Lagoon Estuary	16	-6.793 \pm 0.30	0.306 \pm 0.20	7.5	13	29.5 \pm 0.89	0.284 \pm 0.02
Cassino Beach	18	-6.709 \pm 0.30	0.451 \pm 0.23	27.9	13.5	28.6 \pm 1.09	0.200 \pm 0.01
Mostardas	11	-7.057 \pm 0.26	0.383 \pm 0.16	29.1	15	28.0 \pm 1.01	0.209 \pm 0.02
Tramandaí	6	-6.774 \pm 0.43	0.385 \pm 0.13	30.2	15.4	28.3 \pm 1.21	0.213 \pm 0.03
Passo de Torres	15	-7.169 \pm 0.47	0.361 \pm 0.18	11	16.6	28.0 \pm 1.19	0.248 \pm 0.03
Laguna	13	-7.323 \pm 0.16	0.261 \pm 0.11	31.1	16.3	28.0 \pm 0.86	0.221 \pm 0.09
Pontal do Paraná	3	-7.209 \pm 0.62	0.320 \pm 0.22	30	14	28.3 \pm 0.57	0.270 \pm 0.05
Rio de Janeiro	7	-3.754 \pm 0.51	-1.141 \pm 0.20	30	18	28.1 \pm 0.69	0.217 \pm 0.02

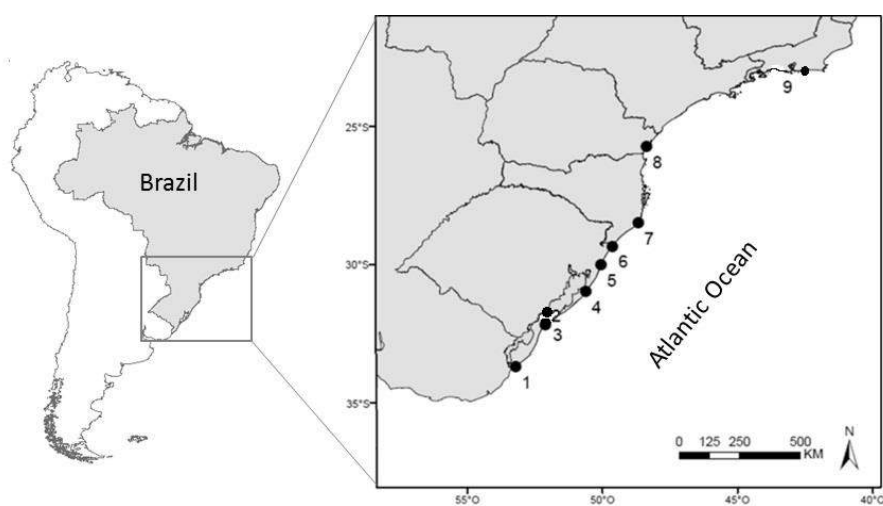


Figure 1. Map of the sampling sites in the Brazilian coast. 1- Chuí, 2- Patos Lagoon Estuary, 3- Cassino Beach, 4- Mostardas, 5- Tramandaí, 6- Passo de Torres, 7- Laguna, 8- Pontal do Paraná, 9- Rio de Janeiro.

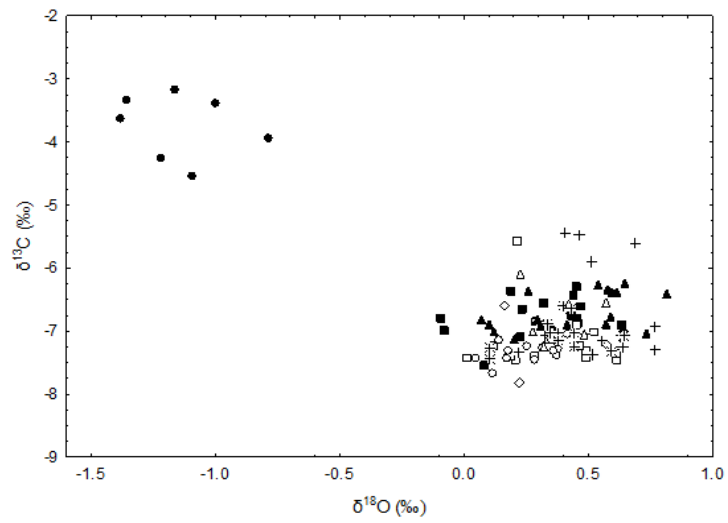


Figure 2. Stable isotope values found in whole otoliths of *Mugil liza* sampled at Chuí (+), Patos Lagoon Estuary (■), Cassino Beach (▲), Mostardas (*), Tramandaí (Δ), Passo de Torres (□), Laguna (○), Pontal do Paraná (◇), and Rio de Janeiro (●).

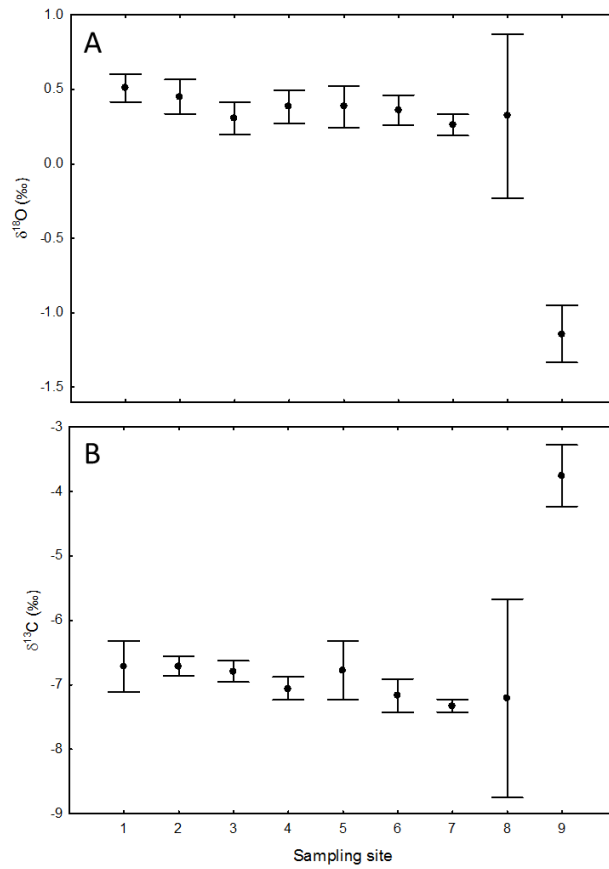


Figure 3. Mean $\delta^{18}\text{O}$ (A) e $\delta^{13}\text{C}$ (B) values (\pm one standard error) of *Mugil liza* otolith carbonate for sampling sites: 1- Chuí, 2- Patos Lagoon Estuary, 3- Cassino Beach, 4- Mostardas, 5- Tramandaí, 6- Passo de Torres, 7- Laguna, 8- Pontal do Paraná, 9- Rio de Janeiro.

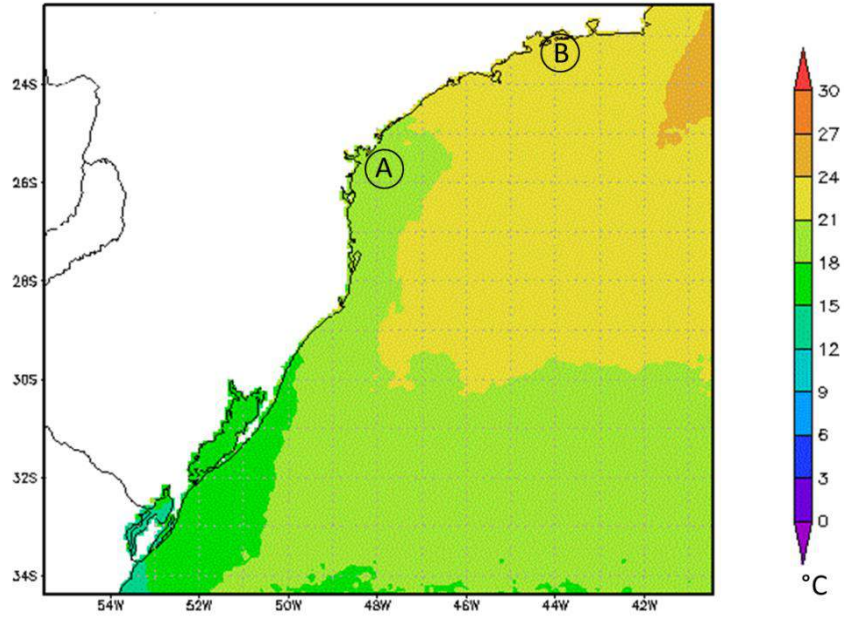


Figure 4. Average sea surface temperature for the period from May to July 2011. Reproductive area determined by Lemos et al. (2014) (A) and Albieri & Araújo (2011) (B) (data from <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>).

ANEXO III: Using the purse seine fisheries of *Mugil liza* in order to describe the reproductive migration in Southern Brazil.

USING THE PURSE SEINE FISHERIES OF *Mugil liza* IN ORDER TO DESCRIBE
THE REPRODUCTIVE MIGRATION IN SOUTHERN BRAZIL

MULLET PURSE SEINE FISHERIES

Valéria M. Lemos^{1,2}, Débora F. Ávila Troca³, Jorge Pablo Castello¹ & João Paes Vieira¹

1. Instituto de Oceanografia. Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Av. Itália Km. 8 s/n. Caixa postal 474, 96201-900 - Rio Grande, RS – Brasil.
2. Instituto de Oceanografia. Programa de pós-graduação em Oceanografia Biológica. Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Av. Itália Km.8 s/n. Caixa postal 474, 96201-900 - Rio Grande, RS – Brasil.
3. Instituto de Oceanografia. Pós Graduação em Gerenciamento Costeiro. Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Av. Itália Km.8 s/n. Caixa postal 474, 96201-900 - Rio Grande, RS – Brasil.

ABSTRACT

Brazilian mullet *Mugil liza* is a schooling fish that migrates in fall and winter leaving estuaries and coastal lagoons to spawning ocean waters. The purse seine fleet followed the movement of shoals because fishermen prefer to capture individuals before they spawn due to the high economic value of the roes. Tracking the movements of the fleet may reveal the reproductive migration path of *M. liza*. This paper analyzed data collected through the Brazilian Satellite Vessel Tracking Program from 2008 to 2012 and used it to describe the reproductive migration pattern of the southern stock of *M. liza* along Brazil's coast. During five fishing seasons (May–July) the average effort was of 51 active vessels per season. The temporal and spatial displacement of the fleet in a south–north direction follows the progression of sea surface temperature of 19–21 °C ($p < 0.05$). Most (60%) Speed Compatible with Fishing Operation (SCFO) signals occurred in areas with in this temperature, independent of the month and latitude. From May to July the highest frequency (54 %) of SCFO transmissions occurred in June, and in 95% of the SCFO transmissions the vessels were at depths less than 50 meters. The south-north displacement of the fleet throughout the season was similar among the different years ($p > 0.05$). In southern Brazil (24 – 34 °S), the migration and catches of

M. liza follow the gradual and seasonal changes in coastal waters with surface temperatures between 19 and 21 °C.

Keywords: Mulletts, Programa Nacional de Rastreamento das Embarcações Pesqueiras por Satélite (PREPS), Vessel Monitoring System (VMS), spawning temperature;

RESUMEN

La lisa (*Mugil liza*), es una especie que forma cardúmenes, migra en el otoño y el invierno, saliendo de los estuarios y lagunas costeras para desovar en el océano. Para entender la migración reproductiva del efectivo del Sur a lo largo de la costa de Brasil, se analizaron las informaciones del Programa de Rastreo de Barcos de Pesca vía Satélite de Brasil (PREPS en portugués). El período de la migración coincide con la temporada de pesca (mayo-julio), cuando los buques cerqueros licenciados pescan a lo largo de la costa sur y sudeste de Brasil, que buscan capturar las hembras de lisas por el grande valor de sus huevas. Durante las cinco temporadas de pesca (2008-2012) el esfuerzo promedio fue de 51 barcos en operación. El desplazamiento temporal y espacial de la flota cerquera en dirección sur-norte sigue la progresión de la temperatura superficial del mar en el intervalo de 19-21° C ($p < 0,05$). La mayoría de las señales (60%) VCOP ocurrieron en áreas con esta amplitud de temperatura, independiente del mes y de la latitud. De mayo a julio la mayor frecuencia (54%) de las transmisiones VCOP ocurrió en junio ($p < 0,05$), y en el 95% de las transmisiones VCOP los barcos operaron en profundidades menores de 50 metros. Este desplazamiento, de sur a norte, presentó un comportamiento regular entre los años examinados ($p > 0,05$). En el sur de Brasil (24-34 °S), la migración y la pesca de *M. liza* siguen el desplazamiento gradual y estacional de las aguas costeras con temperaturas de superficie entre 19 y 21 ° C.

Palabras clave: lisas, Programa Nacional de Rastreamento das Embarcações Pesqueiras por Satélite (PREPS), flota cerquera, Vessel Monitoring System (VMS), temperatura de desove.

INTRODUCTION

Mullet population and migration

The Mullet (*Mugil liza*) is a marine species distributed along the coast of South America, from the Caribbean Sea to Argentina (Menezes *et al.*, 2010). A population of this species identified as the “southern population” (Mai *et al.*, 2014) is distributed from the coast of the State of São Paulo (23 ° S) to Argentina (36 ° S) and more than 95% of the commercial catches occurs between the Brazilian States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina (24 - 34° S, Fig. 1) (Vieira & Scalabrin, 1991; IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL, 2007). *Mugil liza* has historical and cultural importance to the Brazilian south and southeastern region (Miranda *et al.*, 2006). Its harvest has grown faster and achieved high economic value for the industrial purse seine fleet in recent years (IBAMA/ICMBio/CEPSUL, 2007).

Mulletts use coastal lagoons and estuaries as nursery zones and may also occur in fresh water environments (Vieira & Scalabrin, 1991; Lemos *et al.*, 2014). *Mugil liza* is a single spawner and in order to complete ovaries maturation (hydration) has to reach saltwater (Lemos *et al.*, 2014). After May, in the autumn drop in water temperature of the Patos Lagoon Estuary, associated with southwest winds forcing saltwater into the estuary, acts as a trigger for shoals of *M. liza* to leave the estuary and migrate northward for spawning in ocean waters (Vieira & Scalabrin, 1991; Lemos *et al.*, 2014). Reproductive migration from estuaries in to the ocean is also reported for Argentinean waters (Vieira & Scalabrin, 1991). In southern Brazil (24 - 34° S), catches of *M. liza* follow the gradual and seasonal shifts of the coastal waters with surface temperatures between 19 and 21 °C along the Argentinean, Uruguayan, and southern Brazilian coasts (Vieira & Scalabrin, 1991; Lemos *et al.*, 2014).

Evidences from artisanal and commercial purse seine fisheries, sea surface temperature (SST) analysis and the following of gonad development reveal that peak spawning of *M. liza* occurs in June (Vieira & Scalabrin, 1991; Lemos *et al.*, 2014). The exact location of spawning remains uncertain, but seems to occur under a specific oceanographic situation that takes place in June/July between the North of Rio Grande do Sul State (29 °S) and Paraná State (26 °S) in water temperatures between 19 and 21 °C (Vieira & Scalabrin, 1991; Lemos *et al.*, 2014; Herbst & Hanazaki, 2014).

In Brazil, a Vessel monitoring system (VMS) (Programa Nacional de Rastreamento das Embarcações Pesqueiras por Satélite – PREPS) was established in 2006, with the objective of monitoring, managing, and controlling fishing operations. The responsibility of the Secretaria Especial da Agricultura e Pesca da Presidência da Republica – SEAP/PR, currently Ministério da Pesca e Aquicultura – MPA, in association with the Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Ministério do Meio Ambiente – MMA, and the Brazilian Navy, several fleets were required to adhere to the program, especially, fishing vessels larger than 15 meters.

The purse seine fleet in southern Brazil and the mullet fishery

The purse seine fleet was introduced in Brazil by Spanish immigrants in the early 20th century, searching for the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) along the coast of Rio de Janeiro (Fig. 1) (Diegues, 1983), but the catch includes more than 20 species (Cergole & Dias Neto, 2011). Until 2000 *M. liza* was considered an accessory resource, occupying the 20th position in the list of species captured by purse seiners and represented less than 0.5% of the annual amount of fish landed by purse seiners off Santa Catarina waters (Schwingel & Occhialini, 2003). In Rio Grande do Sul, the mullet represented less than 5% of the fish captured by purse seiners between 1990 and 1994 (Haimovici, 1997). With the collapse of the Brazilian sardine fishery catches dropped

from 117,000 to about 17,000 tons in 1996 (MMA/IBAMA/CEPSUL, 2000; Seckendorff & Azevedo, 2007; Cergole & Dias Neto, 2011), and drove the fleet to target the mullet during two to three months a year.

The official (legal) fishing season of *M. liza* fisheries extends from May 15th to the end of July, a period that coincides with the reproductive migration of the species along the coast of the southern and southeastern states of Brazil (Vieira & Scalabrin, 1991; Lemos *et al.*, 2014). The fleet follows the movement of shoals because fishermen prefer to capture individuals before they spawn due to the high economic value of the roes. The roes are considered analogous to caviar and are exported to Europe and Asia. Its commercial value is greater than the value of the fish (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL, 2007). Tracking the movements of the fleet may serve as an indicator for the reproductive migration of *M. liza*.

The working hypothesis

In this paper we used the PREPS information provided by the purse seine fleet to track the southern Brazilian stock of *M. liza* reproductive migration. We also analyzed the relationship between the fleet position and sea surface temperature (SST) in association with the reproductive migration patterns described for the species to test the hypothesis that reproduction occurs in the temperature interval of 19–21°C as suggested by Vieira & Scalabrin (1991) and Lemos *et al.* (2014).

MATERIAL AND METHODS

The study was delimited by the purse seine fleet activity between 23 ° - 34 °S and 53 ° - 44 °W covering from Chui, south of Rio Grande do Sul, to the northern coast of São Paulo. PREPS data provided by Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), refer to years of 2008 to 2012 from which the fishing seasons (May 15 to July 31) data were selected. The fishing season is defined between the legal opening of the fishing period

up to the moment when no mullet landings at the Port of Itajaí (SC) are registered (UNIVALI/CTTMar, 2011) in August.

The data consisted of georeferenced signals (Datum WGS84) emitted each hour for each purse seine vessel authorized to catch mullet. Vessels were not identified by name but signed a code that allowed a numerical identification. Each transmission included the position, date, time, average speed in knots, and distance traveled between consecutive transmissions in nautical miles.

In order to use only information related to fishing activities, data were filtered to select Speed Compatible with Fishing Operation (SCFO) that should be between zero and four knots (Bertrand *et al.*, 2005; SEAPPR/MMA/IBAMA/MB, 2006). Signals with transmission failures and signals emitted when the vessels were at port were also excluded from the analysis.

The monthly averages of the sea surface temperature (SST) were obtained from the database at <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni> (Acker & Leptoukh, 2007). Average monthly data from NASA's Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instrument were used – Aqua 9x9 km from May, June, and July, 2008 to 2012 in the study region (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>). After testing for different temperature intervals we choose a 3 °C interval in order to better visualize the ideal thermal range of the fishing activities and to test the hypothesis suggested by Vieira & Scalabrin (1991) and Lemos *et al.* (2014) that reproduction occurs in the temperature interval of 19–21 °C.

The density distribution (number of signals of SCFO) was estimated using 0.125° x 0.125° latitude and longitude quadrants. The spatial distribution of the operation signals were analyzed with SST and tested using analysis of variance (ANOVA) to estimate the preferential thermal range of the occurrence of mullet during

reproductive migration. We used Microsoft Excel, Bioestat 5.3 and ArcMap 10.0 to conduct the analysis.

RESULTS

During the five fishing seasons analyzed (2008 to 2012), 70 different purse seine vessels monitored by PREPS captured *M. liza* in the coastal region of Rio Grande do Sul to São Paulo with an annual average of 51 active purse seine vessels. Of those vessels, 13% (9) operated for three seasons, 27% (19) operated for four, and 37% (26) were active in all five seasons. About 23% (16) of vessels participated in only one or two fishing seasons.

In total, 537,344 signals were included in the analysis, with an annual average of 107,469 signals. Averages of 17,945 transmissions were SCFO in each fishing season. The years of 2011 represented the smallest (15,631, $p < 0.05$) and 2012 the largest (19,488, $p < 0.05$) numbers of SCFO records. Each vessel transmitted an average of 349.3 SCFO signals per season, which represented an average of 17% of the total time at sea (Table I).

There were no significant differences in the spatial patterns of the transmissions among the different years ($p > 0.05$). The highest frequency of SCFO transmissions occurred in June ($p < 0.05$), which included about 54% of the signals transmitted during the fishing season (Fig. 2). Fishing activity was most intense in May at Rio Grande do Sul, in June and July at Santa Catarina and Paraná coast, and in late June and early July at São Paulo coast (Fig. 4).

In 95% of the SCFO transmissions, the purse seine vessels were at depths of less than 50 meters. There was a northward and temporal progression of the density of the SCFO signals from the beginning of the fishing season, in the proximities of the mouth and at south of Patos Lagoon, to the São Paulo coast. This geographic progression was

observed in all years, although some interannual temporal variability was observed (Fig. 3).

According to the present data, the mullet catch occurs along the southern coast of Brazil in waters with SST between 15 and 25°C (Fig. 5). Most (60%) of the SCFO signals occurred in areas with a SST of 19–21° C, independent of the month and latitude ($p < 0.05$). The temporal and spatial displacement of the fleet in a south–north direction follows the progression of temperature along the coast (Fig. 3).

DISCUSSION

From 2008 to 2012, the number of fishing licenses to capture mullet varied widely, although the effective number of purse seine vessels in the period did not change (Table 1). During the five fishing seasons analyzed the total fishing effort amounted approximately to 108,000 hours, expended by an annual average of 51 active purse seine vessels. The results suggest that for satellite-tracked vessels the fishing effort (number of vessels and hours at sea) remained constant along the years.

The major economic importance of the resource was boosted by the economic potential of mature roe, considered analogous to caviar. According to the technical report of IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL (2007), in 2005, the market price of mullet roe reached thresholds of 40 US\$/kg. Currently, mullet is the third most captured resource by the purse seine fishery in Santa Catarina, a notable change from the late 1990s, when the species was considered an accessory capture (IBAMA /ICMBio/ CEPSUL, 2007). Mullet has been captured by this fleet for about 40 years, but, since 2000, catches increased due to the roe's export (IBAMA/ ICMBio/ CEPSUL, 2007). This trade is now the main motivation for capturing mullet by purse seine fisheries, because the value of its roe far exceeds the value of the fish. In 2001, in an attempt to prevent excessive

exploitation, the MPA and the MMA published together the INI N° 7/2011, forbidding the landings of roe without the mullet carcass.

The VMS revealed the sequential space and temporal exploration pattern of purse seine vessels fishing operation and thus trace the reproductive migratory behavior of the species. In this sense, the trajectory followed by the purse seine fleet is a good indicator of the reproductive migration of the mullet population described by Vieira & Scalabrin (1991), Lemos *et al.* (2014), and Herbst & Hanazaki (2014). More than 50% of the analyzed SCFO signals for the period originated in areas with a SST of 19–21°C, regardless of the month and latitude. Vieira & Scalabrin (1991) noted the importance of this temperature interval for artisanal fishing in their study area, and Lemos *et al.* (2014) determined that *M. liza* does not spawn in a geographically defined site in southern Brazilian waters but in specific oceanographic conditions that include these SST conditions. The PREPS data showed that the purse seine vessels fish from south to the north following a SST range between 19 and 21°C along the coast of Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, and São Paulo (Fig. 3).

In addition to the SST, wind influences the life cycle of mullet. Winds from the southeastern quadrant in May are very common in southern Brazil (Möller *et al.*, 2008). These winds, which mainly occur during the passage of cold fronts (Stech & Lorenzetti, 1992), induced seawater intrusion in the Patos Lagoon Estuary (Castello & Möller, 1977). The drop in temperature and the increase in salinity inside the estuary are considered triggers for the beginning of the reproductive migration from this environment, because they favor the formation of shoals (Vieira & Scalabrin, 1991).

In addition to triggering migration, wind influences the coastal migratory process (Herbst & Hanazaki, 2014), as it is directly involved in the dynamic of water masses on the shelf (Rossi-Wongtschowski & Madureira, 2006). The coastal water, which is derived from the mixture of the continental shelf water and freshwater from the

continental drainage of the Prata River and Patos Lagoon (Braga & Niencheski, 2006), is affected seasonally by the surface winds (Castro *et al.*, 2006; Möller *et al.*, 2008). During the mullet migration period, this water mass moves toward lower latitudes, due to the action of winds from the southern quadrant (Castello *et al.*, 1997; Piola & Romero, 2004). The intrusion of cold waters from the south (Castro *et al.*, 2006) and the progression toward the north of waters with temperature between 19 and 21°C, during the mullet migration, extend to the northern limit of the industrial fishing operations (Fig. 3). In this way, the coastal water dynamic determines the area on which the fleet acts in a scenario of ideal oceanographic conditions for migration, spawning, and, consequently, the fisheries.

Just as *M. liza* in southern Brazil, schools of mature grey mullet *M. gr. cephalus* migrate southward from the coastal waters of China along the cold North China Coastal Current, to the central portion of the eastern Taiwan Strait in winter. The spawning of the grey mullet also is affected by this latitudinal variation of the 20 °C isotherm in the Taiwan Strait (Lan *et al.*, 2014). Most recorded *M. gr. cephalus* spawning does appear to occur in water close to 20 °C (Brownell, 1979; Shyu & Lee, 1986). Water temperature to be an important determinant in vitellogenesis (Kuo *et al.*, 1974) demonstrating the importance of water temperature as a physiological factor in mugilids. Though the reason for this not well understood behavior, this behavior seems to be conserved within the family.

Mullet grow slowly and are moderately long-lived (10.5 years) (González-Castro *et al.*, 2009; Garbin *et al.*, 2013). *Mugil liza* is a single spawner and reach the maturity stage relatively late: 400 mm total length (Lemos *et al.*, 2014), which corresponds to the age of five years (Garbin *et al.*, 2013). In addition to these biological characteristics, which make the mullet very susceptible to intense exploration, the species suffers fishing pressure throughout its distribution, especially from artisanal,

recreational, and subsistence fishing (Miranda *et al.*, 2011; Lemos *et al.*, 2014). Furthermore, this species is susceptible to the degradation of estuarine habitats, which are the main nurseries for its juveniles (Vieira, 1991).

Several pelagic species are commercially fished during reproductive aggregations (Fréon & Misund, 1999), which compromises the applicability and precision of stock assessment methods (Aglen, 1994). It is known that fishing during reproductive aggregations can generate the “Illusion of plenty” (hyper-stability) (Hilborn & Walters, 1992; Hanchet *et al.*, 2005; Erisman *et al.*, 2011). In these situations, the abundance index, like the capture per unit effort (CPUE) use to remain high given the illusion that stock is full, whereas the real fish abundance decreases (Hilborn & Walters, 1992). This phenomenon occurs due to the species’ capability to maintain an aggregated formation in shoals, leading to an overestimation of the biomass and underestimation of the fishing mortality (Crecco & Overholtz, 1990). It is important to consider that hyper-stability may be occurring when *M. liza* stock is assessed, and one example could be bring form Taiwan mullets fisheries with describe the failure of the fishing activities. Like the capture of mullet in the southern region of Brazil (Vieira *et al.*, 2008), the capture of mullet in Taiwan varied widely from one year to another, but after an increase in effort and consequent increase in the catches, likewise the mullets purse seine fisheries in Brazil, the Taiwan resource drop substantial followed by a fishery collapse (Panfili *et al.*, 2006 in Whitfield *et al.*, 2012).

Since 2004, the mullet was integrated into the IN N° 05 of 05/21/2004 from the MMA, which ranked her as overexploited. The actual management plan for *M. liza* (MPA/MMA, 2014) is not effective and resent of several basic information such as official landings, stock evaluation, etc. It is imperative to develop such a plan in order to maintain and safeguard the mullet resource for the future. However, so far no policies

have been developed that will maintain the use of mullet resources at adequate levels to prevent the stock's collapse.

Maps of fishery activity may be closely correlated with the distribution of a resource and the marine environment conditions (Williams *et al.*, 2010). As far we know the present paper is the first to use data from the VMS of the Brazilian purse seine fleet authorized to catch mullet. The new information generated by this analysis regarding the species' migration patterns and the purse seine fishery fleet activities in southern and southeastern Brazil can improve our understanding of the use of this valuable Brazilian fishery resource, suggesting possible management measures and appropriate zones and time that should be closed to fishing. In addition of the use of VMS for the Brazilian purse seine fleet, other measures should be implemented as possible forms of monitoring the mullet fishing in the southeast-south of Brazil, as board observers programs and effective commercial (artisanal and industrial) official landings reports programs.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to MPA for providing PREPS data and to L. Louzada (IBAMA) for their help in interpreting the data. We tanks CAPES and CNPq (Proces. No. 406563 / 2012-8). J.P.V. received a CNPq grant (401831/2013-2). Analyses and visualizations of MODIS-Aqua SST data used in this study were produced using the Giovanni online data system, developed and maintained by the NASA GES DISC.

REFERENCES

Acker, J.G. & G. Leptoukh. 2007. Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data. Available at <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/> (accessed 20 September 2014).

Aglen, A. 1994. Sources of error in acoustic estimation of fish abundance. In: Ferno, A., Olsen, S. Eds. Marine Fish Behaviour in Capture and Abundance Estimation. Fishing News Books, Oxford, UK, pp. 107–133.

Bertrand, S.; J.M. Burgos; F. Gerlotto & J. Atiquipa. 2005. Lévy trajectories of Peruvian purse-seiners as an indicator of the spatial distribution of anchovy (*Engraulis ringens*). ICES J. Mar. Sci., 62: 477 - 482. doi:10.1016/j.icesjms.2004.12.002

Braga E.S. & L.F.H Niencheski. 2006. Composição das massas de água e seus potenciais produtivos na área entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. del B. & L. S-P Madureira. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste e Sul do Brasil. EDUSP. São Paulo, 466pp.

BRASIL, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 15, DE 21 DE MAIO DE 2009. Manter limitado o esforço de pesca para a captura de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) e respectiva fauna acompanhante, pela modalidade de cerco, na área compreendida entre os paralelos 22°00'S (Cabo de São Tomé, Estado do Rio de Janeiro) e 28°36'S (Cabo de Santa Marta, Estado de Santa Catarina), às embarcações devidamente permissionadas e inscritas no Registro Geral da Pesca - RGP, com base na Portaria IBAMA nº 96/97, de 22 de agosto de 1997. Diário Oficial da União, 22 de maio de 2009, Seção 1, p. 81.

BRASIL, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 13, DE 14 DE MAIO DE 2009. Alterar a Instrução Normativa IBAMA N.º 171, de 09 de maio de 2008. Diário Oficial da União, 15 de maio de 2009, Nº 89, Seção 1, p. 87.

BRASIL, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 171, DE 9 DE MAIO DE 2008. Estabelecer normas, critérios e padrões para o exercício da pesca em áreas determinadas e, especificamente, para a captura de tainha *Mugil platanus* e *M. liza*, no litoral das regiões Sudeste e Sul do Brasil. Diário Oficial da União, 12 de maio de 2008, Nº 89, Seção 1, p. 67.

BRASIL, MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 13 DE MAIO DE 2011. Estabelecer critérios e procedimentos para concessão de autorização de pesca complementar para a captura de tainha *Mugil platanus* e *M. liza* nas regiões Sudeste e Sul do país, durante as safras de 2011 e 2012. Diário Oficial da União, 16 de maio de 2011, Nº 89, Seção 1, p. 67.

BRASIL, MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 2, DE 10 DE ABRIL DE 2013. Estabelecer critérios e procedimentos para a concessão de Autorização de Pesca Complementar para a captura de Tainha (*Mugil platanus* e *M. liza*), com auxílio da rede de cerco, nas regiões Sudeste e Sul do País, na temporada de pesca do ano de 2013. Diário Oficial da União, 11 de abril de 2013, Seção 1, p. 57.

BRASIL, MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 7, DE 20 DE MAIO DE 2010. Regulamenta a pesca da tainha (*Mugil platanus* e *M. liza*). Diário Oficial da União, 21 de maio de 2010, Nº 96, Seção 1, p. 142.

BRASIL, MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 7, DE 08 DE JUNHO DE 2011. Estabelecer critérios e procedimentos para a concessão das Autorizações de Pesca Complementar para captura da tainha (*Mugil platanus* e *M. liza*), com o emprego

da modalidade de rede de cerco, nos limites estabelecidos pela Instrução Normativa Interministerial MPA MMA nº 8, de 2 de junho de 2011. Diário Oficial da União, 28 de maio de 2004, Seção 1, p. 41-42.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E SECRETARIA ESPECIAL DE AQUICULTURA E PESCA DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 3, DE 09 DE FEVEREIRO DE 2004. A atividade de pesca no Estuário da Lagoa dos Patos no Estado do Rio Grande do Sul fica condicionada aos critérios técnicos, padrões de uso e procedimentos administrativos estabelecidos nesta Instrução Normativa. Diário Oficial da União, 11 de fevereiro de 2004, Seção 1.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 21 DE MAIO DE 2004. Reconhecer como espécies ameaçadas de extinção e espécies sobreexplotadas ou ameaçadas de sobreexplotação, os invertebrados aquáticos e peixes, constantes dos Anexos a esta Instrução Normativa. Diário Oficial da União, 28 de maio de 2004, Nº 102, Seção 1, p. 136.

Brownell C.L. 1979. Stages in the early development of 40 marine fish species with pelagic eggs from the Cape of Good Hope. *Ichthy Bull JLB Smith Inst Ichthyol* 40:1-84.

Castello, J. P. & O. O. Moller. 1977. Sobre as condições oceanográficas no Rio Grande do Sul. *Atlântica* 2(2): 25-99.

Castello, J.P.; M. Haimovici; C. Odebrecht; C.M. Vooren. 1997. The continental shelf and slope. In: Seeliger, U, Odebrecht, C, Castello, JP eds. *Subtropical convergence environments. The coast and sea in the southwestern Atlantic*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 171-178.

Castro, B. M de; J.A. Lorenzetti; I.C.A. da Silveira & L.B. de Miranda. 2006. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS).

In: Rossi-Wongtschowski, C.L. del B. & L.S-P Madureira. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste e Sul do Brasil. EDUSP. São Paulo, 466pp.

Cergole M. C & J. Dias Neto. 2011. Plano de Gestão para uso sustentável da Sardinha-Verdadeira *Sardinella brasiliensis* no Brasil. Ministério do Meio Ambiente. http://www.ibama.gov.br/phocadownload/plano_gestao_sardinha_verdadeira_2011.pdf

Crecco, V.A & W. Overholtz. 1990. Causes of density-dependent catchability for Georges Bank haddock *Melanogrammus aeglefinus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 385-394.

Diegues, A. C. S. 1983. Pescadores, camponeses e trabalhadores do mar. São Paulo, Ática, 287 pp.

Erisman, B. E.; G. A. Larry; T. C. Jeremy; D. J. Pondella II; E.F. Miller & J. H. Murray. 2011. The illusion of plenty: hyperstability masks collapses in two recreational fisheries that target fish spawning aggregations. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 68: 1705–1716. doi:10.1139/F2011-090.

Fréon, P. & O.A. Misund. 1999. Dynamics of Pelagic Fish Distribution and Behaviour: Effects on Fisheries and Stock Assessment. Blackwell Science, Oxford. 348pp.

Garbin, T.; J. P. Castello & P. G.Kinas. 2013. Age, growth, and mortality of the mullet *Mugil liza* in Brazil's southern and southeastern coastal regions. Fish. Res., 149: 61–68.

González-Castro, M.G.; V. Abachian & R.G. Perrotta. 2009. Age and growth of the striped mullet, *Mugil platanus* Actinopterygii, Mugilidae, in a southwestern Atlantic coastal lagoon 37° 32' S - 57°19'W: a proposal for a life-history model. J. Appl. Ichthyol., 25: 61–66.

- Haimovici, M. 1997. Recursos pesqueiros demersais da região sul. Subsídios para o levantamento do estado da arte dos recursos vivos marinhos do Brasil - programa REVIZEE. 54pp.
- Hanchet, S. M.; R. G. Blackwell & A. Dunn. 2005. Development and evaluation of catch per unit effort indices for southern blue whiting (*Micromesistius australis*) on the Campbell Island Rise, New Zealand. ICES J. Mar. Sci., 62: 1131–1138.
- Herbst, D.F & N. Hanazaki. 2014. Local ecological knowledge of fishers about the life cycle and temporal patterns in the migration of mullet (*Mugil liza*) in Southern Brazil. Neotrop. Ichthyol., 12(4): 879-890. DOI: 10.1590/1982-0224-20130156.
- Hilborn, R. & C.J. Walters. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman and Hall, New York.
- IBAMA/ICMBIO/CEPSUL. 2007. Relatório de reunião técnica para o ordenamento da pesca da tainha (*Mugil platanus*, *M. liza*) na região sudeste/sul do Brasil. http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/relatorio_de_ordenamento/tainha/rel_2007_abr_tainha.pdf (accessed 20 January 2014).
- Kuo C-M., C.E. Nash & Z.H. Shehadeh. 1974. The effects of temperature and photoperiod on ovarian development in captive grey mullet (*Mugil cephalus*). Aquaculture 3: 25–43.
- Lan, K.W., M.A Lee, C. I.Zhang, P.Y.Wang, L. J. & K. T. Lee. 2014. Effects of climate variability and climate change on the fishing conditions for grey mullet (*Mugil cephalus*) in the Taiwan Strait. Climatic Change, 126(1-2), 189-202.
- Lemos, V.M., A.S. Varela Jr.; P.R. Schwingel; J.H. Muelbert & J.P. Vieira. 2014. Migration and reproductive biology of *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in south Brazil. J. Fish. Biol. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12452>.

- Mai, A. C.G.; C.I. Minõ; L.F.F. Marins; C. Monteiro-Neto; L. Miranda; P.R. Schwingel; V. M. Lemos; M. Gonzalez-Castro; J. P. Castello & J. P. Vieira. 2014. Microsatellite variation and genetic structuring in *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) populations from Argentina and Brazil. *Estuar. Coast. Shelf. S.*, 149: 80-86.
- Menezes, N.A.; C.Oliveira & M. Nirchio. 2010. An old taxonomic dilemma: the identity of the western south Atlantic lebranche mullet Teleostei: Perciformes: Mugilidae. *Zootaxa*: 2519: 59–68.
- Miranda, L. V. de; M. H. Carneiro; M. B. Peres & M. C. Cergole. 2011. Contribuições ao processo de ordenamento da pesca da espécie *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) nas regiões sudeste e sul do Brasil entre os anos de 2006 e 2010. *Série Relatórios Técnicos* 49: 23pp.
- Miranda, L.V. de; J.T. Mendonça & M. C. Cergole. 2006. Diagnóstico do estoque e orientações para o ordenamento da pesca de *Mugil platanus* (Gunther 1880). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. del B., A.O. Ávila da Silva & M.C. Cergole. Eds. *Análise das principais pescarias comerciais da região Sudeste-Sul do Brasil: Dinâmica populacional das espécies em exploração II. REVIZEE-SCORE SUL.* São Paulo Instituto Oceanográfico. 38-48pp.
- MMA/IBAMA/CEPSUL. 2000. Relatório da reunião técnica sobre o estado da arte e ordenamento da pesca de sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) nas regiões Sudeste/Sul. IBAMA/CEPSUL. Itajaí: 23pp.
- Möller Jr., O.O; A.R. Piola; A.C. Freitas & E.J.D. Campos. 2008. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off Southeastern South America. *Cont. Shelf. Res.*, 28: 1607–1624.

- MPA/MMA. 2014. Plano de gestão para o uso sustentável da tainha, *Mugil liza* Valenciennes, 1836, no Sudeste e Sul do Brasil. Proposta elaborada pelo grupo técnico de trabalho-GTT tainha, instituído pela Portaria Interministerial nº 01, de 28 de junho de 2012. Diagnóstico. Brasília: 137pp.
- Panfili, J.; C. Aliaume; P. Berrebi; C. Casellas; C.W. Chang; P.S. Diouf; J.D. Durand; D. Flores Hernández; F. García de León; P. Laléyé; B. Morales-Nin; J. Tomás; W.N. Tzeng; V. Vassilopoulou; C.W. Wang & A.K. Whitfield. 2006. State of the art of Mugil research. European Commission 6th Framework Programme, INCO-CT-2006-026180, MUGIL Deliverable: 1, 21 pp.
- Piola, A.R. & S.I. Romero. 2004. Analysis of space–time variability of the Plata River Plume. *Gayana* 68 (2): 482–486.
- Rossi-Wongtschowski, C. L. del B. & L. S-P Madureira. 2006. O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste e Sul do Brasil. EDUSP. São Paulo, 466pp.
- Schwingel, P.R. & D.S. Occhialini. 2003. Descrição e dinâmica da frota de traineiras no porto de Itajaí (SC) entre 1997 e 1999. In: Editores Rossi-Wongtschowski, C.L.; R.A. Bernardes & M.C. Cergole. Dinâmica das Frotas Pesqueiras Comerciais da Região Sudeste-Sul do Brasil. REVIZEE – SCORE SUL. São Paulo: Instituto Oceanográfico — USP.
- SEAPPR/MMA/IBAMA/MB. 2006. Cartilha do Programa Nacional de Rastreamento de embarcações pesqueiras por satélite. http://sinpesq.mpa.gov.br/preps_cms/
- Seckendorff, R. W. & V. G. Azevedo. 2007. Abordagem histórica da pesca da tainha *Mugil platanus* e do parati *Mugil curema* (Perciformes: Mugilidae) no litoral norte de São Paulo. Série Relatorios Técnicos 28: 1–10.

- Shyu C.Z. & T.J. Lee. 1986. Hydrographic studies on the area of the Taiwan Strait in winter using satellite IR imagery and its relationship to the formation of grey mullet fishing grounds. *J Fish Soc Taiwan* 12(2):98–122.
- Stech, J. L & J. A. Lorenzetti. 1992. The response of the South Brazil bight to the passage of inter time cold fronts. *J. Geophys. Res.*, 97 (66): 9507-9520.
- UNIVALI/CTTMar, 2011. Boletim estatístico da pesca industrial de Santa Catarina – Ano 2010. Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Itajaí, SC. Volume 10, número 1, 59 pp.
- Vieira, J.P. & C. Scalabrin. 1991. Migração reprodutiva da Tainha (*Mugil platanus*, Günther, 1880) no sul do Brasil. *Atlântica* 13(1): 131-141.
- Vieira, J.P. 1991. Juvenile Mulletts (Pisces: Mugilidae) in the Estuary of Lagoa dos Patos, RS - Brazil. *Copeia* (2): 409-418.
- Vieira, J.P.; A.M. Garcia & A.M. Grimm. 2008. Evidences of El Niño Effects on the Mullet Fishery of the Patos Lagoon Estuary. *Braz. Arch. Biol. Techn.*, 51 (2): 433-440.
- Whitfield, A.K.; J. Panfili & J.D. Durand. 2012. A global review of the cosmopolitan flat-head mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. *Rev. Fish. Biol. Fish.* 22 (3): 641–681.
- Williams, G.; M.Sapoznik; M. Ocampo-Reinaldo; M. Solis; M. Narvarte; R. Gonzalez; J.L. Esteves & D. Gagliardini. 2010. Comparison of AVHRR and SeaWiFS imagery with fishing activity and in situ data in San Matias Gulf, Argentina. *Int. J. Remote. Sens.*, 31: 4531–4542.

TABLE

TABLE I. Summary of data obtained by PREPS during five purse seine fishing seasons (2008-2012) of *Mugil liza* in southern and southeastern Brazil. Speed Compatible with Fishing Operation (SCFO).

Year	2008	2009	2010	2011	2012
Annual Average Signals	94032	103033	117986	115265	107028
Seasonal Average SCFO Signals	17605	18718	18287	15631*	19488**
SCFO Signals/Vessel	374.5	353.1	345.0	284.2	389.8
SCFO Signals/Day	225.7	240.0	234.4	200.4	249.8
Signals /Vessel/Day	4.80	4.53	4.42	3.64	5.00
Frequency of SCFO	18.7%	18.2%	15.5%	13.6%	18.2%
Days at sea /Vessel	83	81	93	87	89
Hours at sea /Vessel	2000.7	1944.0	2226.2	2095.7	2140.6

* p=0.038

**p=0.012

FIGURES

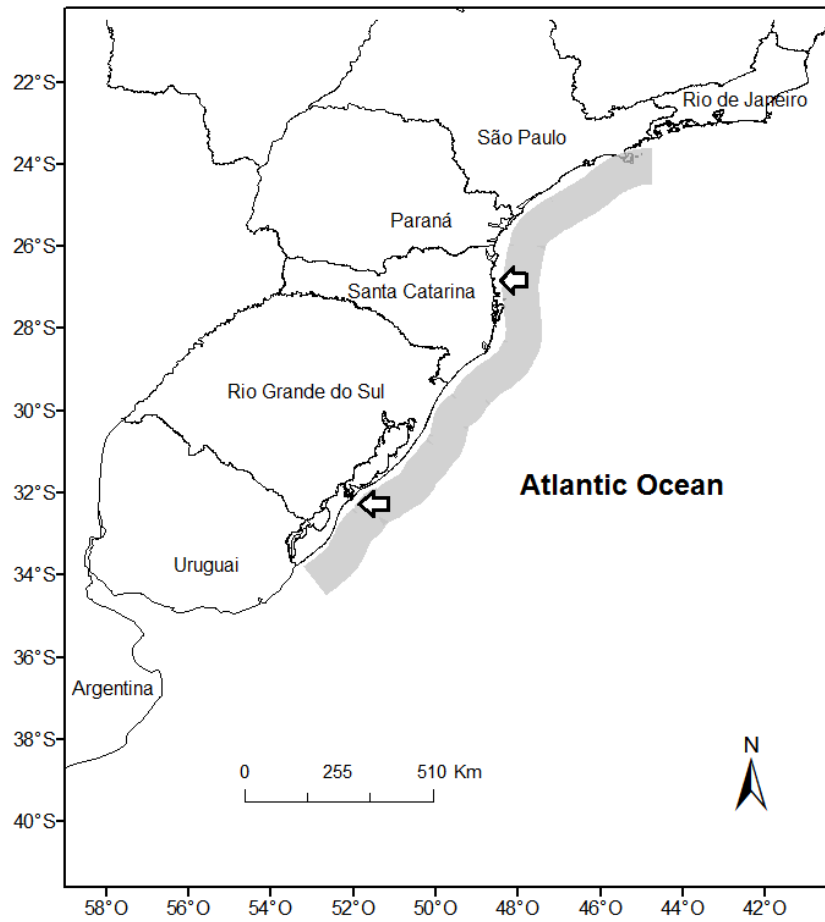


Figure 1. Study area. Arrows correspond to the two main ports for fishing in the region: Itajaí, in Santa Catarina state and Rio Grande, in Rio Grande do Sul state. Marked area corresponds to the area of fishing operation.

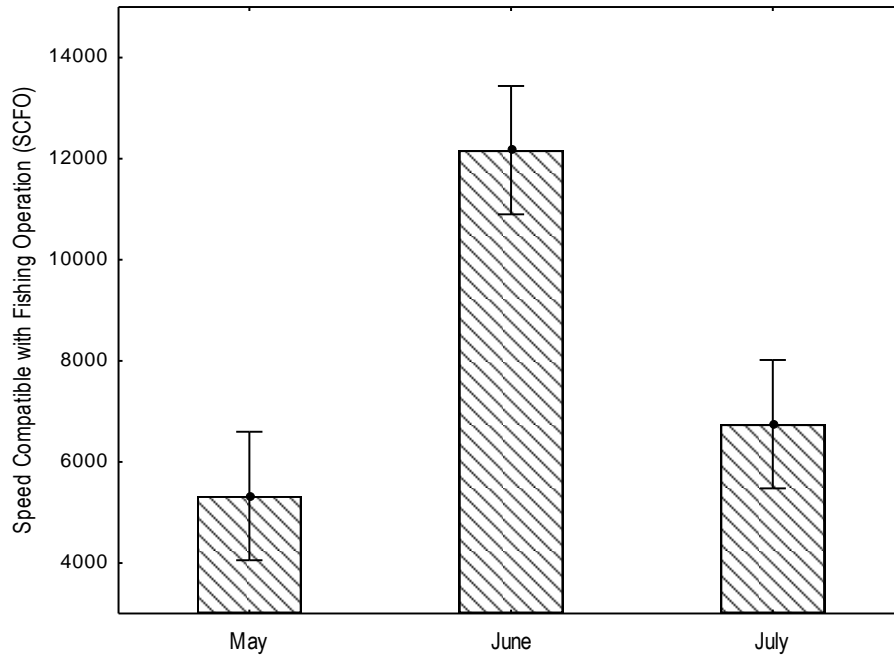
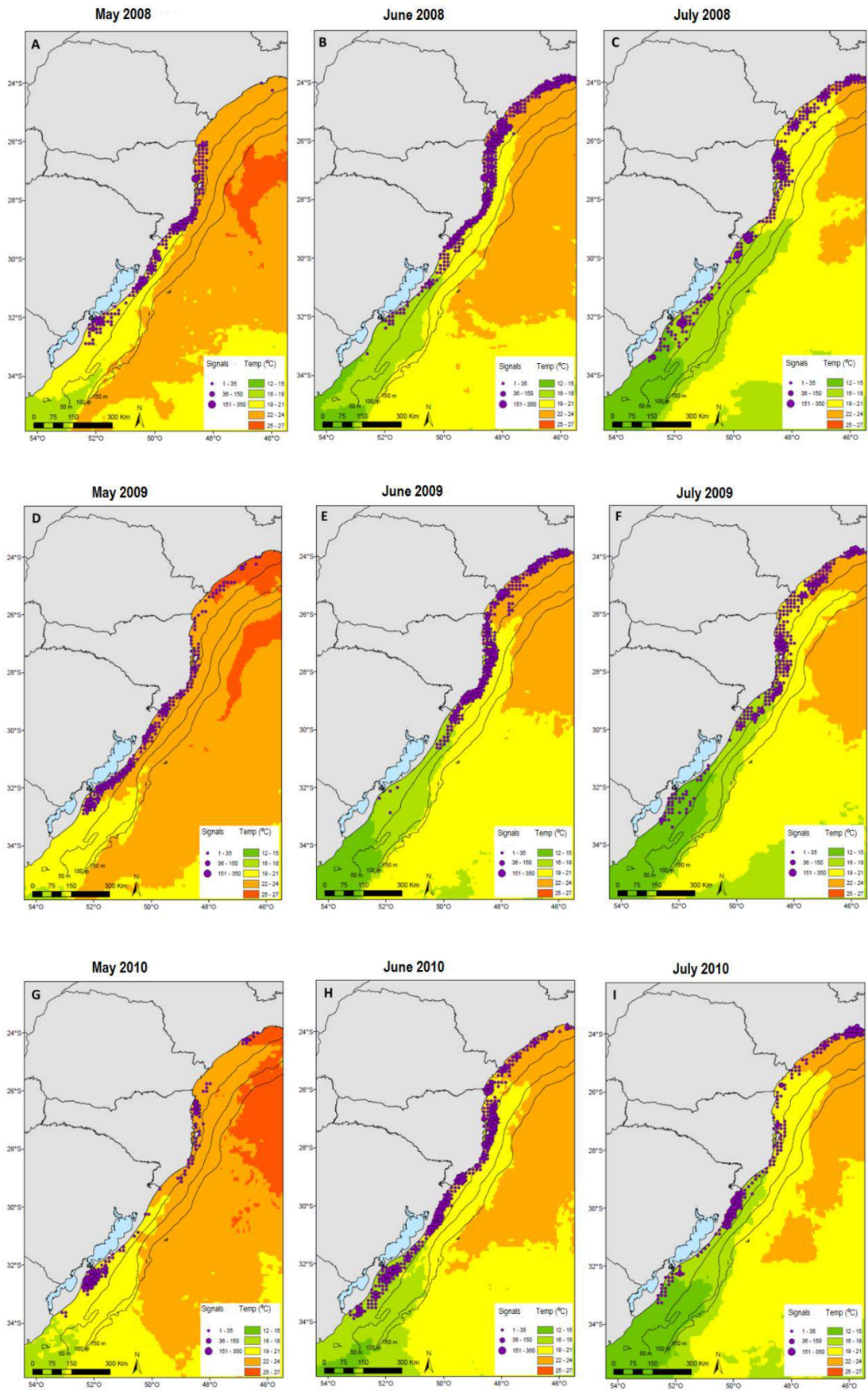


Figure 2. Frequency of monthly average of Speed Compatible with Fishing Operation (SCFO) signals of the purse seine fleet during the fishing seasons between 2008 and 2012.



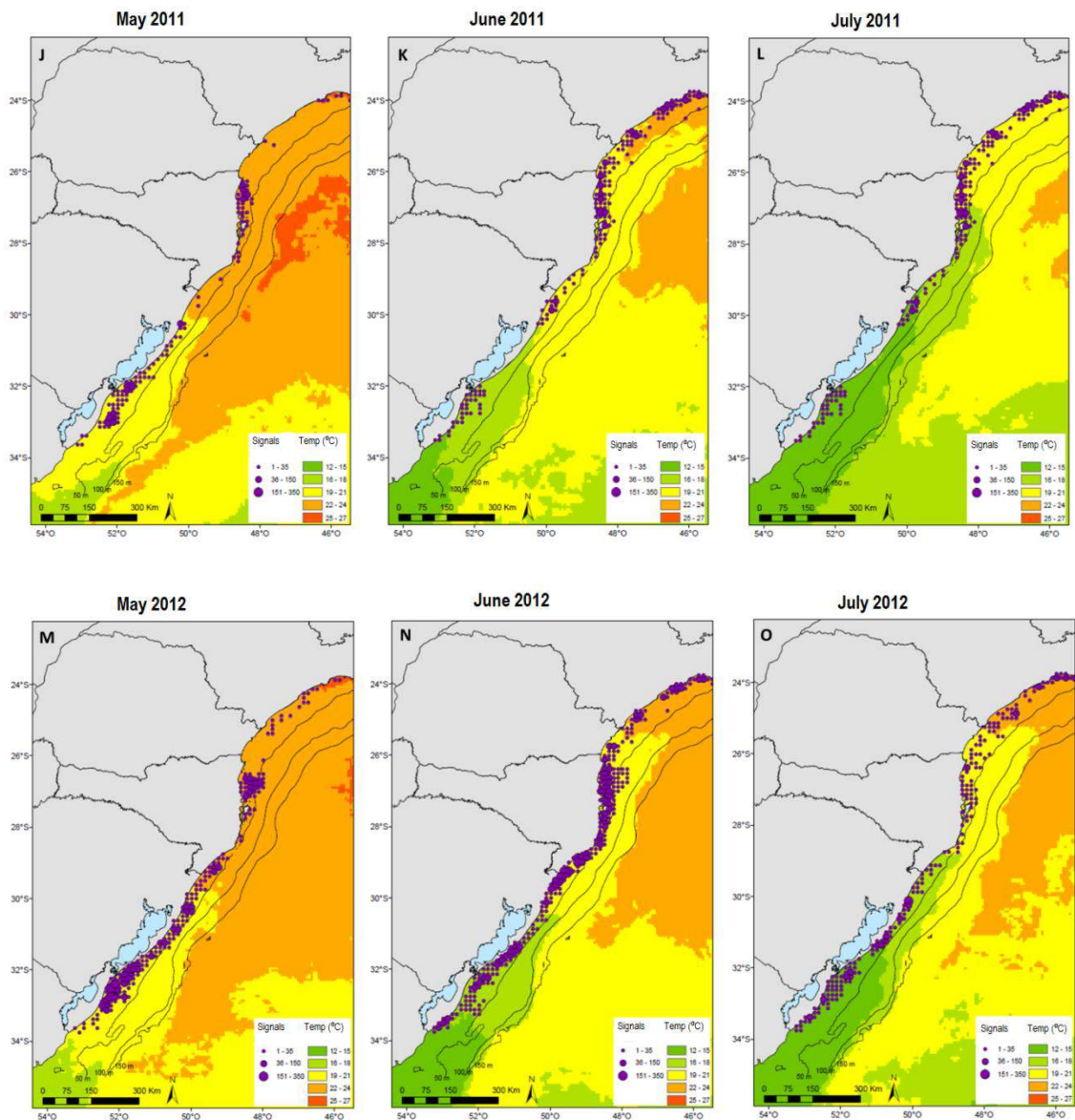


Figure 3. Maps of the monthly density distribution of Speed Compatible with Fishing Operation (SCFO) signals of the purse seine fleet and of Sea Surface Temperature (SST) during the study period (2008–2012).

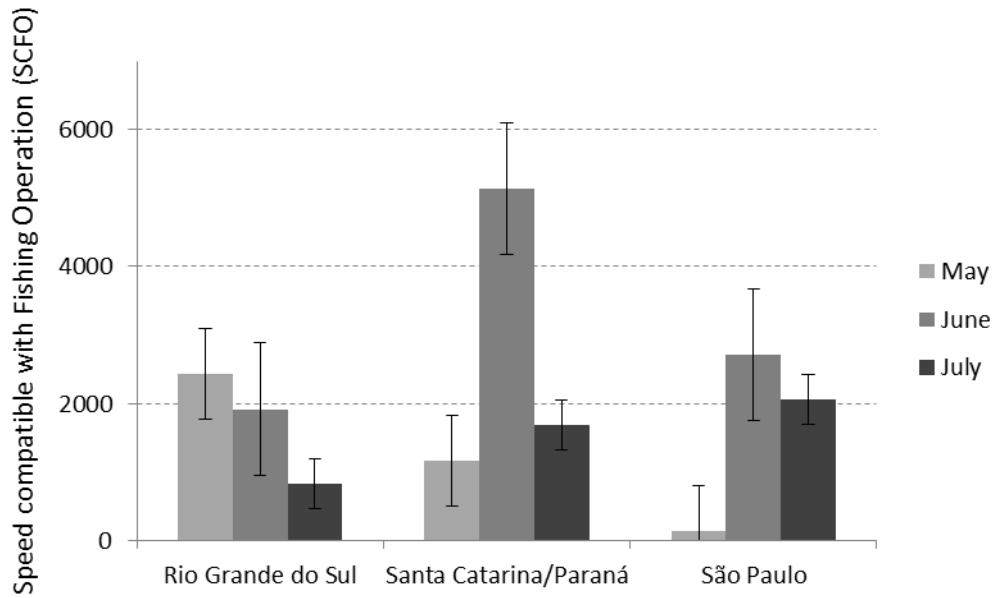


Figure 4. Mean monthly of Speed Compatible with Fishing Operation (SCFO) signals of the purse seine fleet and during the study period (2008–2012).

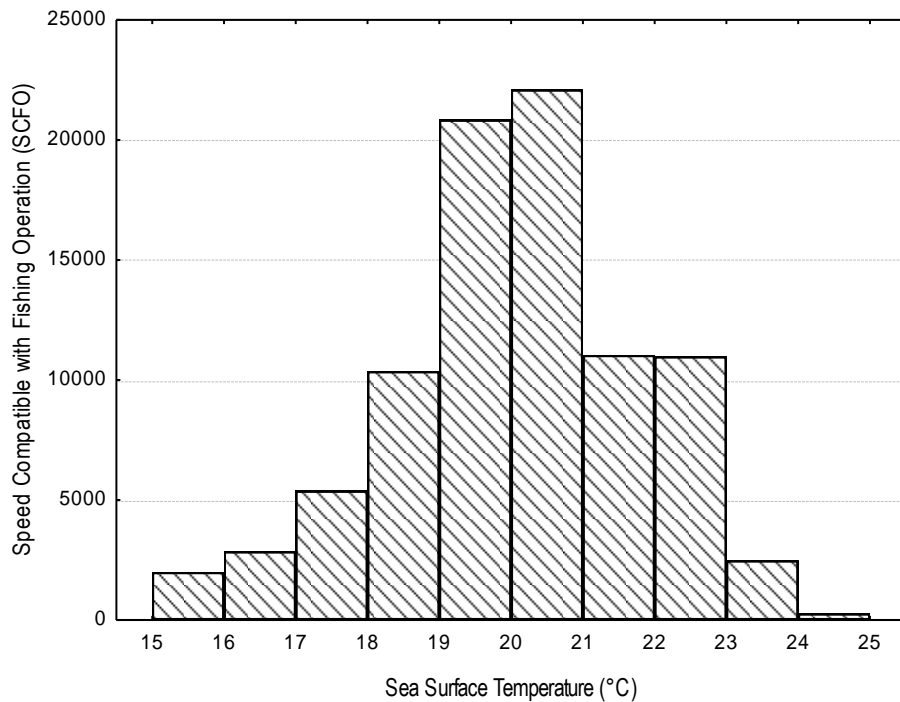


Figure 5. Frequency distribution of Speed Compatible with Fishing Operation (SCFO) signs of the purse seine fleet during the fishing seasons between 2008 and 2012 for different Sea Surface Temperature intervals.

ANEXO IV: Pré-recrutamento de *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) na costa sul do Brasil

Pré-recrutamento de *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) na costa sul do Brasil

V. M. Lemos, S. Pasquaud, H. Cabral & J. P. Vieira

Periódico a ser definido.

RESUMO

A tainha *Mugil liza* desova no ambiente marinho após realizar uma migração costeira. Juvenis da espécie utilizam estuários como áreas de berçário. A população sul de tainha tem distribuição entre São Paulo (23 °S) e Argentina (36 °S) e desova na costa de Santa Catarina e Paraná (26 °S). Antes de recrutarem em estuários, os juvenis utilizam temporariamente a zona de arrebentação de praias arenosas. Esta fase caracteriza-se como pré-recrutamento e é definida como a ocupação da zona de arrebentação de indivíduos com comprimento total ≤ 30 mm. Neste trabalho foram analisadas as relações entre variáveis ambientais e a presença e a abundância de pré-recrutas de *M. liza* na zona de arrebentação adjacentes aos seis principais estuários da costa Sul do Brasil entre 29 °S (Laguna, SC) e 34 °S (Chui, RS) durante 12 meses (junho/2011 a maio/2012) através de modelos lineares generalizados. A área estuarina adjacente ao ponto amostral foi a variável responsável pela maior parte da explicabilidade dos modelos. Rio Grande foi local que apresentou maior probabilidade de ocorrência e também a maior abundância de pré-recrutas, representando 51,7% do total dos pré-recrutas de *M. liza* capturado nos seis locais. Este resultado demonstra a maior probabilidade de ocorrência e abundância de pré-recrutas pela área costeira adjacente à desembocadura do Estuário da Lagoa dos Patos, que pode ser considerado o principal estuário berçário para a população sul da espécie.

Palavras-chave: pré-recrutas, tainha, zona de arrebentação, modelos lineares generalizados

ABSTRACT

The mullet *Mugil liza* spawn in the marine environment after a coastal migration, and juveniles use estuaries as nursery areas. South population of mullet is distributed among

São Paulo (23 °S) and Argentina (36 °S) and spawning occurs between the coast of Santa Catarina and Paraná (28 - 26 °S). Before recruiting in estuaries, juvenile use the surf zone as a temporary habitat. This phase is characterized as pre-recruitment and is defined as the occupancy of the surf zone by individuals of ≤ 30 mm total length. This study analyzed the relationship between environmental variables and the presence and abundance of pre-recruits in the surf zone adjacent the six major estuaries of the southern coast of Brazil (between 29 °S and 34 °S) during 12 months (June/2011 to May/2012) through generalized linear models. Estuary size (area) adjacent to the sample point was the variable responsible for most of the explicability models. Rio Grande was the site with the highest probability of occurrence and also the greater abundance of pre-recruits, represented 51.7% of total pre-recruits *M. liza* captured in six sites. This result demonstrates the predilection of pre-recruits the coastal area adjacent to the mouth of the Patos Lagoon Estuary, which can be considered the main nursery estuary to the south population.

Key words: pre-recruits, mullet, surf zone, general linear models

INTRODUÇÃO

A tainha *Mugil liza* Valenciennes 1836 ocorre na costa Ocidental do Atlântico, desde a região do Caribe até a Argentina (Menezes et al. 2010). A população sul, se distribui do Sudeste do Brasil (litoral do estado de São Paulo) a Argentina (Mai et al. 2014), e constitui um importante recurso pesqueiro artesanal e industrial para o Sul e Sudeste do Brasil (Lemos et al. 2014).

A população sul realiza uma migração reprodutiva anual desde a Argentina até o local de desova entre o norte do Rio Grande do Sul e o Paraná (Vieira & Scalabrin 1991, Lemos et al. 2014). A desova ocorre entre maio e julho, e os ovos e as larvas são neustônicos (Vieira 1991), com poucos registros para plataforma continental sul brasileira (Lopes et al. 2006, Macedo-Sores et al. 2014).

No modelo do ciclo de vida proposto por Vieira (1991), após a fase larval, os juvenis de tainhas deslocam-se em direção a zona costeira, onde ocorre uma ocupação temporária da zona de arrebentação que antecede o recrutamento em ambiente estuarino. Esta fase pode ser denominada de “pré-recrutamento ao estuário” e caracteriza-se pela ocupação temporária da zona de arrebentação por indivíduos de comprimento total de até 30 mm CT. A presença destes indivíduos na zona de arrebentação na porção norte da distribuição da população, ocorre somente logo após o período reprodutivo, sendo pouco abundantes, ou ausentes, nos outros meses do ano (Godefroid et al. 1999, 2003, Favero & Diaz 2015). Entretanto, na porção sul do Rio Grande do Sul, os pré-recrutas são frequentes e abundantes ao longo de todo ano (Rodrigues & Vieira 2013), com picos de abundância ocorrendo de dois a três meses após o período reprodutivo (Vieira 1991, Monteiro-Neto et al. 2003, Lima & Vieira 2009, Rodrigues & Vieira 2013).

Da mesma forma como ocorre na zona de arrebentação no sul do Rio Grande do Sul, no interior do estuário da Lagoa dos Patos – ELP, juvenis de tainha são frequentes o ano inteiro e com alta abundância (Ramos & Vieira 2001), fato que não ocorre em outros estuários do Sudeste-Sul do Brasil (Monteiro-Neto et al. 1990, Ramos & Vieira 2001, Hostim-Silva et al. 2002, Santos et al. 2002, Spach et al. 2003, Plavan et al. 2010, Vilar et al. 2011).

Entretanto, além da grande abundância dos pré-juvenis e juvenis neste estuário, o longo tempo de ocupação na zona de arrebentação pelos juvenis no sul do Rio Grande do Sul, a relevância do ELP para a população sul de *M. liza* também pode ser demonstrada pela exploração pesqueira histórica deste recurso neste estuário (Vieira et al. 2008, Lemos et al. 2014). Durante a “corrida da tainha”, que se caracteriza pela migração anual de cardumes a partir do ELP em direção ao ambiente costeiro durante os meses que ocorre a reprodução, ocorre a exploração pesqueira do recurso (Lemos et al.

2014). Essa pescaria, determinada pelo hábito de migração da espécie, tem importância histórica para a região sul do Brasil (Vieira & Scalabrin 1991, Vieira et al. 2008).

Portanto, este trabalho tem como objetivo testar a hipótese de que os pré-recrutas são mais abundantes na zona coseira adjacente a desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos o qual é o principal local de berçário da população sul de *M. liza* e identificar quais variáveis ambientais influenciam a ocupação de juvenis da espécie na zona de arrebentação durante o período de pré-recrutamento.

MATERIAL E METODOS

Área de estudo

A área do estudo compreende a zona de arrebentação da região temperada-quente do Atlântico Sudoeste (Seeliger et al. 1998), desde Laguna, Santa Catarina (29 °S 48 °W) até o Chuí, no extremo Sul do Brasil (34 °S 53 °W) (Fig. 1). A região é caracterizada por uma costa com praias expostas à ação das ondas, com ampla zona de arrebentação, variando seu estado morfodinâmico de dissipativo a intermediário (Calliari & Klein 1995) com um regime de micro maré (0,3 m) (Defant 1961).

O clima da região é temperado, com sazonalidade bem marcada, e está sob o controle do centro de alta pressão do anticiclone do Atlântico Sul (Nobre et al. 1986). A migração latitudinal deste anticiclone, e a passagem de sistemas frontais polares (Stech & Lorenzetti 1992) modificam e influenciam o ciclo sazonal (Vieira & Rangel 1988). Estes sistemas respondem pela dominância de ventos do quadrante norte (NE) (velocidade média de 5 m s^{-1}) ao longo do ano, seguida por ventos do quadrante sul (SW) (velocidade média de 8 m s^{-1}) durante a passagem de sistemas frontais comuns nos meses de inverno (Stech & Lorenzetti 1992). A precipitação média anual (1200-

1500 mm) está relacionada ao padrão e frequência destes sistemas e pelos efeitos dos ciclos do El Niño - Oscilação Sul (Nobre et al. 1986).

A complexa hidrografia da planície costeira do sul do Brasil permite a existência de vários corpos lagunares e estuários (Lana et al. 2001). Seis complexos estuarinos estão presentes na área de estudo (Fig. 1). A região é influenciada por grandes descargas sazonais de água doce para a plataforma oriundas principalmente do estuário do Rio da Prata e do estuário da Lagoa dos Patos (Castello et al. 1990). Esta descarga continental, aliada a convergência subtropical, integra a zona costeira e torna a região uma importante área de criação e reprodução de espécies marinhas (Seeliger et al. 1998).

Amostragem biológica e variáveis ambientais

As coletas biológicas ocorreram mensalmente entre junho de 2011 a maio de 2012 na zona de arrebentação adjacente a desembocadura dos seis estuários mais representativos da região: 1- Arroio Chuí, 2- Lagoa dos Patos, 3- Lagoa do Peixe, 4- Complexo Lagunar Tramandaí - Armazém, 5- Rio Mampituba, e 6- Complexo Lagunar Imaruí - Mirim - Santo Antônio (Fig. 1). Em cada um dos locais foram eleitos dois pontos amostrais, um deles adjacente e um segundo distante a desembocadura do estuário, totalizando 12 pontos amostrais. Em cada ponto amostral, foram realizados cinco arrastos mensais, perpendiculares a praia, em profundidades de até 1,5 m, com uma rede de arrasto do tipo picaré (9 m de comprimento, 1,5 m de altura, com malha de 13 mm entre nós opostos nas asas e 5 mm entre nós opostos no pano central). O material biológico foi mantido em gelo e posteriormente processado em laboratório.

Em cada ponto amostral foram registrados mensalmente a temperatura (°C) e a salinidade da água através de uma sonda multiparâmetros digital e a transparência da água pela leitura do disco de Secchi (cm). Além das variáveis medidas em campo, foram usadas na análise: a área (km²) e a largura da boca (km) de cada um dos seis estuários, distância (km) de cada um dos pontos amostrais ao estuário mais próximo, e a

distância de cada ponto amostral da área aproximada de desova (definida por Lemos et al. 2014). Área dos estuários e largura da boca foram obtidas através da bibliografia disponível (Tabela I). Distância do ponto amostral ao estuário mais próximo e distância do ponto amostral até a área de desova foram determinadas com a ferramenta Arc. Map 10.0.

Análise de dados

Antes da análise estatística, foi construída uma matriz de correlação par a par através do coeficiente de Spearman com o propósito de identificar e inibir eventuais redundâncias entre as variáveis abióticas, as quais poderiam reduzir a precisão nas estimativas e seus significados. Correlações significativas ($p < 0,05$; $R^2 > 0,8$) foram registradas entre algumas variáveis (Tabela II). A seleção das variáveis para compor os modelos, com base na importância ecológica das mesmas, resultou em um conjunto de sete variáveis explicativas (Tabela II). A Tabela I descreve as variáveis ambientais nos diferentes pontos amostrais.

A fim de testar a associação entre a presença e abundância dos pré-recrutas nos distintos pontos amostrados e as variáveis foram construídos Modelos lineares generalizados (GLMs) (McCullagh & Nelder 1989) utilizando o software R (R Development Core Team 2005).

A elevada ocorrência de zeros na matriz de dados (40%) nos arrastos de praia acarretou a construção de dois modelos (Courrat et al. 2009). O primeiro para testar a presença/ausência de *M. liza* e o segundo para testar as abundâncias positivas (arrastos de praia onde ocorreram pelo menos um indivíduo de *M. liza*). No primeiro modelo foi estimada a probabilidade da ocorrência da espécie (presença de *M. liza*, como variável resposta) ao longo das praias amostradas, utilizando um modelo de regressão logística com a função de ligação log (Hosmer et al. 1989). O GLM para a presença pode ser descrito como: Presença *M. liza* \sim (mês*ponto) + $X_1 + \dots + X_i \dots + X_n$, família = binomial

(link = “logit”), onde X_i representa os descritores ambientais e ecológicos para a presença de *M. liza*.

O segundo modelo foi construído utilizando os valores das abundâncias positivas de *M. liza*. Foi assumida a distribuição Gamma com a função de ligação log, porque essa distribuição é preferível quando se trabalha com dados de pescarias (Myers & Pepin 1990). O GLM para abundância pode ser descrito como: Abundância *M. liza* ($\log(\text{CPUE}+1) \sim (\text{mês} \cdot \text{ponto}) + X_1 + \dots + X_i \dots + X_n$, família = Gamma (link = “log”), onde X_i representa os descritores ambientais e ecológicos para a abundância de *M. liza*.

Todos os modelos foram construídos com a adição da interação entre mês e ponto amostral, pois uma análise prévia demonstrou a significância desta interação ($p < 0,05$).

A escolha do melhor modelo seguiu a metodologia utilizada por Rodrigues et al. (2014). O comando drop1 foi usado para comparar o modelo completo com o modelo em que a interação foi eliminada, utilizando o teste de qui-quadrado (Zuur et al. 2007). Um processo de seleção passo a passo foi utilizado para determinar a escolha das variáveis mantidas nos modelos finais e para ordená-las a partir da mais significativa para a menos significativa. Todos os modelos foram testados para sobredispersão. A melhor combinação final de variáveis foi selecionada de acordo com o teste do qui-quadrado, Akaike Information Criterion (AIC) (Sakamoto et al. 1986), a relevância ecológica e análise gráfica dos resíduos. O modelo final foi equipado apenas com as variáveis significativas. A percentagem da deviança total explicada e a contribuição relativa de cada um dos fatores foram avaliadas independentemente para cada modelo.

A abundância foi determinada pelo número de pré-recrutas de *M. liza* por unidade de esforço (CPUE) em cada ponto amostral log-transformados [$\text{Log}(x + 1)$]. Um limite de significância de $p < 0,05$ foi considerado em todos os procedimentos.

RESULTADOS

O modelo linear generalizado baseado na presença/ausência de pré-recrutas de *M. liza* apresentou quatro variáveis significativas (ponto amostral, mês, área do estuário mais próximo e temperatura), as quais explicam 8,1% da deviança dos dados. O valor de área do estuário mais próximo ao ponto amostral explica 4,2% (Tabela III). Pré-recrutas estavam presentes em todos os meses de coleta, mas a probabilidade da ocorrência foi maior entre agosto e novembro, estando também associada a temperaturas mais baixas (Fig. 2). A maior probabilidade de ocorrência de pré-recrutas de *M. liza* foi no local Rio Grande, adjacente a desembocadura do ELP (Fig. 2).

O modelo linear generalizado que descreve a abundância de pré-recrutas de *M. liza* demonstrou a importância de três variáveis explicativas (área do estuário mais próximo, ponto amostral e mês de coleta) (Tabela III). A abundância total explicada pelo modelo foi de 15,9% da deviança, sendo que, da mesma forma como no modelo para a presença de pré-recrutas, a área do estuário foi responsável pela maior parte da deviança explicada (7,4%). O período que apresentou maior abundância de pré-recrutas foi de dezembro a fevereiro, embora a abundância tenha variado ao longo do ano nos diferentes locais (Fig. 3).

Foram capturados 6525 indivíduos de *M. liza*. O número de indivíduos por arrasto (CPUE) apresentou diferenças significativas entre locais (Fig. 4), sendo Rio Grande o local com maior abundância (CPUE: 26,4 indivíduos/arrasto; ANOVA; $F=4,98$; $p < 0,05$) representando 51,7 % do total de *M. liza* capturado nos 6 locais. Não houve diferença significativa entre a abundância no restante dos locais (ANOVA; $F=10,73$; $p > 0,05$) (Fig. 4).

A composição de tamanho dos indivíduos de *M. liza* variou entre 15 e 60 mm CT. Dos juvenis coletados, 92,6 % deles foram pré-recrutas ($CT \leq 30$ mm), sendo estes mais abundantes do que os juvenis ($30 < CT \leq 60$ mm) (ANOVA; $F=16,38$; $p < 0,05$)

em todos os locais amostrados. A captura de maior parte de pré-recrutas (53,7 %) ocorreu em Rio Grande, seguido de Laguna (21,4 %). Quanto aos juvenis, cerca de 80% foram capturados em Rio Grande e Mostardas.

DISCUSSÃO

O estuário da Lagoa dos Patos pode ser considerado o principal berçário da população sul de *Mugil liza* (Vieira 1991). Apesar desta população sul de *M. liza* desovar a cerca de 1000 km ao norte da desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos (ELP), e, que ao longo da costa existam outros ambientes estuarinos também utilizados pelos juvenis de tainha (Vieira 1991, Ramos & Vieira 2001, Godefroid et al. 2003, Favero & Diaz 2015), a maior abundância de pré-recrutas na zona marinha costeira adjacente a desembocadura do ELP corrobora a hipótese de que este estuário constitui o principal local de berçário da população sul de *M. liza*.

Este padrão de maior abundância de juvenis de *M. liza* se repete também no interior do ELP, diferente do que ocorre com outros estuários ao longo da distribuição da população (Monteiro-Neto et al. 1990, Ramos & Vieira 2001, Hostim-Silva et al. 2002, Spach et al. 2003, Plavan et al. 2010, Vilar et al. 2011). Além disto, a “corrida da tainha”, caracterizada pela migração anual de cardumes a partir do ELP para a área de desova marinha, sustenta uma atividade pesqueira estuarina e costeira reconhecida historicamente (Vieira & Scalabrin 1991, Vieira et al. 2008, Lemos et al. 2014). Este evento, onde indivíduos que cresceram e desenvolveram-se dentro do ELP saem para a reprodução no mar é tão marcante, que pescadores consideram este estuário como o principal berçário da espécie no sul do Brasil (Herbst & Hanazaki 2014).

Segundo Boehlert & Mundy (1988) duas fases no processo de recrutamento em estuários de espécies que desovam no mar devem ser consideradas. Primeiro, a chegada e deslocamento na zona costeira, e, posteriormente, a agregação perto de bocas

estuarinas e a conseqüente entrada nestes ambientes. A primeira fase está associada a fatores físicos responsáveis pelo transporte passivo dos organismos, como marés, frentes oceanográficas e correntes costeiras (Boehlert & Mundy 1988). O modelo proposto por Vieira (1991) define que, entre a fase de vida planctônica até o recrutamento em um ambiente estuarino, juvenis de tainha passam a viver temporariamente na zona de arrebentação. Durante a ocupação deste ambiente, os juvenis passam a viver junto ao fundo, e ficam submetidos à ação de correntes costeiras as quais auxiliam seu transporte até os locais de berçário (Vieira 1991).

Na região do estudo, as correntes costeiras longitudinais seguem o padrão sazonal de ventos da região (Tomazelli & Villwock 1992, Calliari & Fachin 1993). Entre abril e agosto há o predomínio de ventos intensos de sudoeste e sul (principalmente durante a passagem de frentes frias) ocasionando correntes também intensas para o nordeste. Entretanto, na maior parte do ano (setembro a março) há predomínio de ventos de nordeste e correntes costeiras com baixa intensidade, mas com alta frequência para sudoeste (Tozzi & Calliari 2000, Costa & Moller 2011). O período após a reprodução de *M. liza*, com maior probabilidade da presença (Fig. 2) é a partir de agosto, estendendo-se até novembro, e coincide com os meses onde há predomínio de correntes em sentido sudoeste indicando a importância destas correntes costeiras no transporte de juvenis de tainhas ao longo da costa, em sentido sul, até o ELP.

O segundo aspecto importante para o recrutamento em estuários é a fase de agregação dos indivíduos junto a desembocaduras estuarinas (Boehlert & Mundy 1988). Os juvenis de Mugilídeos mostram forte agregação em resposta à presença de descargas estuarinas em zonas de arrebentação (Strydon 2003). Rodrigues et al. (2014) comparando as praias ao norte e sul da desembocadura do ELP, demonstraram a influência positiva da menor morfodinâmica e da ocorrência da pluma estuarina da praia ao sul, na abundância de juvenis de *M. liza* na zona de arrebentação adjacente ao ELP.

A pluma está relacionada ao tamanho da bacia de drenagem e o alto grau de descarga da Lagoa dos Patos que são importantes fatores para o grande aporte de sedimento para a zona costeira adjacente (Figueiredo & Calliari 2006). Já nas praias adjacentes ao Rio Mampituba, Complexo Tramandaí - Armazém e Arroio Chuí esta contribuição de sedimentos via descarga estuarina não é significativa (Figueiredo & Calliari 2006).

Para que um ambiente seja considerado importante berçário para uma espécie deve contribuir efetivamente na manutenção das populações adultas (Beck et al. 2001). A Lagoa dos Patos atende a estes pressupostos com relação a tainha, pois é reconhecida a importância deste estuário na migração reprodutiva desta espécie (Vieira & Scalabrin 1991).

Os resultados apresentados nos modelos tanto para a probabilidade de ocorrência, como para abundância dos pré-recrutas indicaram o tamanho do estuário como a variável com maior percentual explicativo. Embora o estuário do Rio da Prata (35 – 36 °S) apresente cerca de 38.000 km² de área estuarina (Mianzan et al. 2001) os juvenis de *M. liza* não são abundantes na zona costeira desta região (Martinez et al. 2001, Plavan et al. 2010). A Lagoa dos Patos, por sua vez, comporta a maior área de ambiente estuarino da região sul do Brasil (Asmus 1997), entretanto, a maior abundância que indicaria o ELP como local de berçário pelos juvenis de tainha pode estar associada também a outras variáveis, como a grande produtividade, o provimento de microhabitats, e o grande suprimento de carbono autóctone do ELP.

Como em outras lagoas do tipo “estrangulado” e com regime de micromaré, a Lagoa dos Patos é dependente de padrões de vento e de precipitação sazonais que influenciam a hidrodinâmica, fatores abióticos e também a composição e abundância de produtores na área estuarina (Seeliger et al. 1998). A diversidade de produtores aliada aos padrões sazonais de produtividade alterna a disponibilidade entre matéria orgânica e detritos, garantindo um grande suprimento de carbono autóctone ao longo do ano no

ELP (Seeliger et al. 1998). Considerando que *M. liza* possui hábito alimentar iliófago (Vieira 1991), a importância da cadeia de detritos no sedimento do estuário e a reciclagem *in situ* de grande parte da produção das marismas (cobertura de cerca de 70 km² da área estuarina) (Seeliger et al. 1998) podem ser fatores importantes na manutenção da grande abundância da tainha na região.

A heterogeneidade fisiográfica do ELP também fornece uma variedade de habitats tais como canais profundos, enseadas rasas protegidas, redes de canais de drenagem e planos vegetados e não vegetados (Seeliger et al. 1998), que influenciam a diversidade, abundância e distribuição de espécies que utilizam o estuário como área de berçário (Costa et al. 1997), como por exemplo, dos juvenis de tainha, que representam a espécie mais abundante nas zonas rasas do ELP (Garcia & Vieira 1997).

A ocorrência de juvenis de tainha apresentou uma relação negativa com a temperatura. A temperatura é um fator que afeta diretamente (fisiologicamente) e indiretamente (ecologicamente) os processos durante as fases iniciais da vida dos peixes (Blaber & Blaber 1980). A temperatura superficial do mar durante os meses em que há o pico de abundância de *M. liza* no pré-recrutamento na área de estudo é de em média 18 °C (Lima & Vieira 2009, Rodrigues & Vieira 2013). Na área do Rio da Prata, a condição térmica da superfície do mar durante os meses após a reprodução da espécie, é inferior (entre 10 e 15 °C) (Lucas et al. 2005, Guerrero et al. 2010), podendo ser este o fator limitante para uma maior ocupação de juvenis de tainha nesta região.

Mesmo existindo interação significativa entre mês e ponto amostral nos modelos, a ocorrência de pré-recrutas durante o ano inteiro ao longo da área amostral é um fato que merece atenção. A população sul de *M. liza* tem um período reprodutivo anual, entre os meses de maio a julho (Lemos et al. 2014) e existem evidências de que a população realiza uma única desova anual no ambiente marinho com condições ambientais conhecidas (Anexo II) após uma migração costeira necessária para o término

do desenvolvimento gonadal (Lemos et al. 2014). Em Taiwan, o recrutamento de juvenis de *M. gr. cephalus* em estuários ocorre antes do período de migração reprodutiva e as hipóteses da existência de uma população residente ou uma segunda migração foram cogitadas para explicar tal fato (Tung 1981). Entretanto, a tainha *M. liza*, pode estar se beneficiando de outras estratégias para que o pré-recrutamento tenha uma grande duração.

Uma estratégia que pode estar sendo empregada por juvenis de *M. liza* no sul do Brasil pode ser de diminuição das taxas de crescimento durante o pré-recrutamento. Na fase de pré-recrutamento, os juvenis mudam o hábito alimentar de zooplânctófago para iliófago (na medida em que abandonam o plâncton e passam a ocupar a zona de arrebentação) (Vieira 1991). Em praias com alta morfodinâmica a fase de pré-recrutamento é curta, e a alteração do hábito alimentar ocorre dentro dos estuários (Blaber & Whitfield 1977). Já em localidades onde a plataforma continental é mais larga, com praias de caráter mais dissipativo, a transição do hábito alimentar ocorre na zona de arrebentação (Blaber & Blaber 1980), a exemplo do que acontece com *M. liza* no sul do Brasil (Vieira 1991). Já foi demonstrado que no sul do Brasil, os juvenis da tainha permanecem durante longos períodos com aproximadamente 25 mm de comprimento total no ambiente costeiro (Vieira 1991, Rodrigues et al. 2014) pois o aumento do desenvolvimento do indivíduo somente tem início no ambiente estuarino (Roselet 2005). Considerando que o tamanho e taxa de crescimento durante os estágios iniciais é um dos principais determinantes para a sobrevivência (Anderson 1988), mais estudos devem ser realizados para entender este comportamento da *M. liza*.

A população sul de *M. liza* com distribuição de São Paulo até Argentina (Mai et al. 2014) após realizar uma migração a partir de estuários, desova no ambiente marinho na costa de Santa Catarina e Paraná (Lemos et al. 2014). Antes do recrutamento em um estuário, utilizado pela espécie como ambiente de berçário (Vieira 1991), ocorre

ocupação temporária da zona de arrebentação de praias arenosas: o pré-recrutamento. Ao longo da distribuição da população sul, o estuário da Lagoa dos Patos pode ser considerado como principal berçário para *M. liza*, pois apresenta maior abundância de recrutas do que os outros estuários da região (Ramos & Vieira 2001), a migração reprodutiva anual da espécie a partir deste estuário é citada como principal aporte de adultos para a safra de pesca (Herbst & Hanazaki 2014), e porque, segundo os resultados deste trabalho, a maior concentração de pré-recrutas encontra-se na região costeira adjacente a desembocadura deste estuário. Assim, o estuário da Lagoa dos Patos pode ser considerado como habitat fundamental na manutenção da espécie, merecendo ênfase quando medidas de conservação da espécie forem elaboradas.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, J.T. 1988. A review of size dependent survival during pre-recruit stages of fishes in relation to recruitment. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 8: 55-66.
- Asmus, M.L. 1997. Coastal Plain and Patos Lagoon. In: Seeliger U., Odebrecht C., Castello J.P. (eds). *Subtropical convergence Environments-The coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Springer-Verlag, New Yourk, pp9-12.
- Beck, M.W., K.L. Heck Jr, K.W. Able, D.L. Childers, D.B. Eggleston, B.M. Gillanders & M.P. Weinstein. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates: A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *Bioscience*, 51(8): 633-641.

- Blaber, S.J.M. & T.G. Blaber. 1980. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and in shore fish. *Journal of fish biology*, 17(2): 143-162.
- Blaber, S.J.M., & A.K. Whitfield. 1977. The feeding ecology of juvenile mullet (Mugilidae) in south-east African estuaries. *Biological Journal of the Linnean Society* 9.3: 277-284.
- Boehlert, G.W. & B.C. Mundy. 1988. Roles of behavioral and physical factors in larval and juvenile fish recruitment to estuarine nursery areas. *American Fisheries Society Symposium* 33: 51–67.
- Calliari, L.J. & S. Fachin. 1993. Laguna dos Patos. Influência nos depósitos lamíticos costeiros. *Pesquisas* 20(1): 57-69.
- Calliari, L.J., & A.H.F. Klein. 1995. Variabilidade das praias oceânicas entre Cassino e Chuí, RS. *Publ. Esp. IO/USP*, 11: 55-63.
- Castello, J.P., A.K. Duarte, O.O. Möller Jr, L.F. Niencheski, C. Odebrecht, G. Weiss, R.P. Habiaga, V.R. Bellotto, D. Kitzmann, C. Souto, R.B. Souza, A.M. Ciotti, G. Fillmann, P.R. Schwingel, J.C. Bersano, M. Cirano, K. Freire, I. Lima, R. Mello, A. Monteiro, C. Resgalla Jr, I. Soares & M. Suzuki. 1990. On the importance of coastal and subantarctic waters for the shelf ecosystem off Rio Grande do Sul. *Publ Acad Ciências Est* 71(1): 112-129.
- Costa, C.S.B., U. Seeliger, C.P.L. Oliveira & A.M.M. Mazo. 1997. Distribuição, funções e valores das marismas e pradarias submersas no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). *Atlântica* 19: 65-83.
- Costa, R. L. & O.O. Möller. 2011. Estudo da estrutura e da variabilidade das correntes na área da plataforma interna ao largo de Rio Grande (RS, Brasil), no sudoeste do Atlântico Sul, durante a primavera-verão de 2006-2007. *RGCI-Revista de Gestão Costeira Integrada* 11(2): 273-281.

- Courrat, A., J. Lobry, D. Nicolas, P. Laffargue, R. Amara, M. Lepage & O. Le Pape. 2009. Anthropogenic disturbance on nursery function of estuarine areas for marine species. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81(2): 179–190. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.10.017>.
- Defant, A. 1961. Physical oceanography, vol 1. Pergamon Press, New York.
- Favero, J. M. del & J.F. Dias. 2015. Juvenile fish use of the shallow zone of beaches of the Cananéia - Iguape coastal system, southeastern Brazil. *Brazilian Journal Of Oceanography* 63(2): 103-114. <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592015081806302>.
- Figueiredo, S.A. & L.J. Calliari. 2006. Sedimentologia e suas Implicações na Morfodinâmica das Praias Adjacentes às Desembocaduras da Linha de Costa do Rio Grande do Sul, *Gravel* 4: 73–87.
- Garcia, A.M., & J.P. Vieira. 1997. Abundância e diversidade da assembleia de peixes dentro e fora de uma pradaria de *Ruppia maritima* L., no estuário da Lagoa dos Patos (RS-Brasil). *Atlântica* 19: 161-181.
- Godefroid, R.S., H.L. Spach, R. S. Junior, G. Mac & L.D.E. Queiroz. 2003. A fauna de peixes da praia do Balneário Atami, Paraná, Brasil. *Atlântica* 25: 147–161.
- Godefroid, R.S., M. Hofstaetler & H.L. Spach. 1999. Larval fish in the surf zone of Pontal do Sul beach. *Revista Brasileira de Zoologia*, 16: 1005–1011.
- Guerrero, R.A., A.R. Piola, G.N. Molinari, A.P. Osiroff & S.I. Jáuregui. 2010. Climalotogía de temperature y salinidad en el Río de La Plata y su frente marítimo. Argentina –Uruguay. Instituto Nacional de Investigación Y desarrollo Pesquero. INIDEP. Mar del Plata, Argentina. 95p.
- Herbst, D. F. & N. Hanazaki. 2014. Local ecological knowledge of fishers about the life cycle and temporal patterns in the migration of mullet (*Mugil liza*) in Southern

- Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 12(4): 879–890. <http://doi.org/10.1590/1982-0224-20130156>
- Hostim-Silva, M., M.J.D. Vicente, V. Figna & J.P. Andrade. 2002. Ictiofauna do rio Itajaí Açu, Santa Catarina, Brasil. *Notas Técnicas Da FACIMAR*, 6: 127–135.
- Lana, P. C., E. Marone, R. M. Lopes, E. C. Machado, U. Seeliger, L. D. Lacerda & B. Kjerfve. 2001. Coastal marine ecosystems of Latin America. *Coastal marine ecosystems of Latin America*.
- Lemos, V.M., A.S. Varela Jr., P.R., Schwingel, J.H. Muelbert & J.P. Vieira. 2014. Migration and reproductive biology of *Mugil liza* (Teleostei : Mugilidae) in south Brazil, 1–17. <http://doi.org/10.1111/jfb.12452>
- Lima, M.S.P. & J. P. Vieira. 2009. Variação espaço-temporal da ictiofauna da zona de arrebentação da Praia do Cassino, Rio Grande do Sul, Brasil. *Zoologia* 26(3): 499–510. <http://doi.org/10.1590/S1984-46702009000300014>
- Lopes, R.M., M. Katsuragawa, J.F. Dias, A. Monica, J.H. Muelbert, C.Gorri & F.P. Brandini. 2006. Zooplankton and ichthyoplankton distribution on the southern Brazilian shelf : an overview. *Scientia Marina* 70: 189–202.
- Lucas. A.J., R.A. Guerrero, H.W. Mianzan, E.M. Acha & C.A. Lasta. 2005. Coastal oceanographic regimes of the Northern Argentine Continental Shelf (34 - 43°S). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65: 405 - 420. doi:10.1016/j.ecss.2005.06.015
- Macedo-Soares, L.C.P., C.A.E. Garcia, A.S. Freire, J.H. Muelbert. 2014. Large-Scale Ichthyoplankton and Water Mass Distribution along the South Brazil Shelf. *PLoS ONE* 9(3): e9124.
- Mai, A.C.G., C.I. Minõ, L.F.F. Marins, C. Monteiro-Neto, L. Miranda, P.R. Schwingel, V.M. Lemos, M. Gonzalez-Castro, J.P. Castello & J.P. Vieira. 2014. Microsatellite variation and genetic structuring in *Mugil liza* (Teleostei:

- Mugilidae) populations from Argentina and Brazil. *Estuarine Coastal Shelf Science* 149: 80-86.
- Martínez, G., S. Retta, D. Vizziano, P. Puig, C. Mesones & G. Nagy. 2001. Caracterización de las áreas de cría de la corvina (*Micropogonias furnieri*) en la costa uruguaya. El Río de la Plata. Investigación para la gestión del ambiente, los recursos pesqueros y la pesquería en el frente salino 141-148.
- McCullagh, P. & J.A. Nelder. 1989. *Generalized linear models* (Vol. 37). CRC press.
- Menezes, N.A. 2010. An old taxonomic dilemma: the identity of the western south Atlantic lebranche mullet (Teleostei: Perciformes: Mugilidae). *Zootaxa* 2519: 59-68.
- Mianzan, H., C.A. Lasta, E.M. Acha, R. A. Guerrero, G. Macchi & C. Bremec. 2001. The Rio de la Plata estuary, Argentina–Uruguay. In U. Seeliger, L.D. de Lacerda, & B. Kjerve (Eds.), *Ecological studies: coastal marine ecosystems of Latin America* 144 (13) (pp. 185–204). Berlin: Springer.
- Monteiro-Neto, C., C. Blacher, A.S. Laurent, F.N. Snizek, M.B. Canozzi & L.L.C. Tabajara. 1990. Estrutura da comunidade de peixes de águas rasas na região de Laguna, Santa Catarina, Brasil. *Atlântica* 12(2): 53-69.
- Monteiro-Neto, C., L.P.R. Cunha & J.A. Musick. 2003. Community structure of surf-zone fishes at Cassino beach, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research* 35: 492-501.
- Myers, R.A. & P. Pepin. 1990. The robustness of lognormal based estimators of abundance. *Biometrics* 46: 1185–1192.
- Nobre, C.A, M.A.G. Cavalcanti, P. Nobre, M.T. Kayano, V.B. Rao, J.P. Bonatti, P. Satyamurti, C.B. Uvo & J.C. Cohen. 1986. Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil. *Climanálise* número especial.

- Plavan, A.A., C. Passadore & C. Gimenez. 2010. Fish assemblage in a temperate estuary on the Uruguayan coast: seasonal variation and environmental influence. *Braz. J. Oceanogr.* 58: 299-314.
- Ramos, L.A. & J.P. Vieira. 2001. Composição específica e abundância de peixes de zonas rasas dos cinco estuários do Rio Grande do Sul, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 27(1): 109-121.
- Rodrigues, F.L., & J.P. Vieira. 2013. Surf zone fish abundance and diversity at two sandy beaches separated by long rocky jetties. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 93(04): 867-875.
- Rodrigues, F.L.; H.N. Cabral & J.P. Vieira. 2014. Assessing surf-zone fish assemblage variability in southern Brazil. *Marine and Freshwater Research* <http://dx.doi.org/10.1071/MF13210>
- Roselet, F.F.G. 2005. Considerações ecológicas sobre o hábito alimentar iliófago dos juvenis da tainha *Mugil platanus* Günther, 1880 no estuário da Lagoa dos Patos e região costeira adjacente, RS Brasil. Monografia do Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande do Sul, Brasil.
- Sakamoto, Y., M. Ishiguro & G. Kitagawa. 1986. Akaike information criterion statistics. *Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel*.
- Santos, C., R. Schwarz, J.F. de Oliveira Neto & H.L. Spach. 2002. A ictiofauna em duas planícies de maré do setor euhalino da baía de Paranaguá, PR. *Boletim do Instituto de Pesca* 28(1): 49-60.
- Seeliger, U., C. Odebrecht & J.P. Castello. 1998. Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ed. Ecoscientia: Rio Grande.
- Spach, H. L., C. Santos & R. S. Godefroid. 2003. Padrões temporais na assembleia de peixes na gamboa do Sucuriú, Baía de Paranaguá, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20(4), 591-600.

- Stech, J.L., & J.A. Lorenzetti. 1992. The response of the South Brazil Bight to the passage of wintertime cold fronts. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*, 97(C6): 9507-9520.
- Strydom, N.A. 2003. Occurrence of larval and early juveniles fishes in the surf zone adjacent to two intermittently open estuaries, South Africa. *Environmental Biology of Fishes* 66: 349–359. doi:10.1023/ A:1023949607821
- Tomazelli, L.J. & J.A. Villwock. 1992. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*: 19 (1): 3-12.
- Tozzi, H.A.M. & L.J. Calliari. 2000. Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS. *Pesquisas* 27 (1): 29-42.
- Tung, I.H. 1981. On the fishery biology of grey mullet, *Mugil cephalus* in Taiwan. *Rep Inst Fish Biol Ministry Econ Affairs Natl Taiwan Univ* 3: 38-102.
- Vieira, E.F. & S.R.S. Rangel. 1988. *Planície costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica*. Sagra.
- Vieira, J.P. & C. Scalabrin. 1991. Migração reprodutiva da Tainha (*Mugil platanus*, Günther, 1880) no sul do Brasil. *Atlântica* 13: 131–141.
- Vieira, J.P. 1991. Juvenile mullets (Pisces: Mugilidae) in the Estuary of Lagoa dos Patos, RS, Brazil. *Copeia* 409–418. doi:10.2307/ 1446590
- Vieira, J.P., A.M. Garcia & A.M. Grimm. 2008. Evidences of El Niño effects on the mullet fishery of the Patos Lagoon Estuary. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51: 433–440.
- Vilar, C.C., H.L. Spach & J.C. Joyeux. 2011. Spatial and temporal changes in the fish assemblage of a subtropical estuary in Brazil : environmental effects. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 91(3): 635–648. <http://doi.org/10.1017/S0025315410001943>

Zuur, A.F., E.N. Ieno & G.M. Smith. 2007. *Analysing Ecological Data*. Springer:
Dordrecht.

FIGURAS

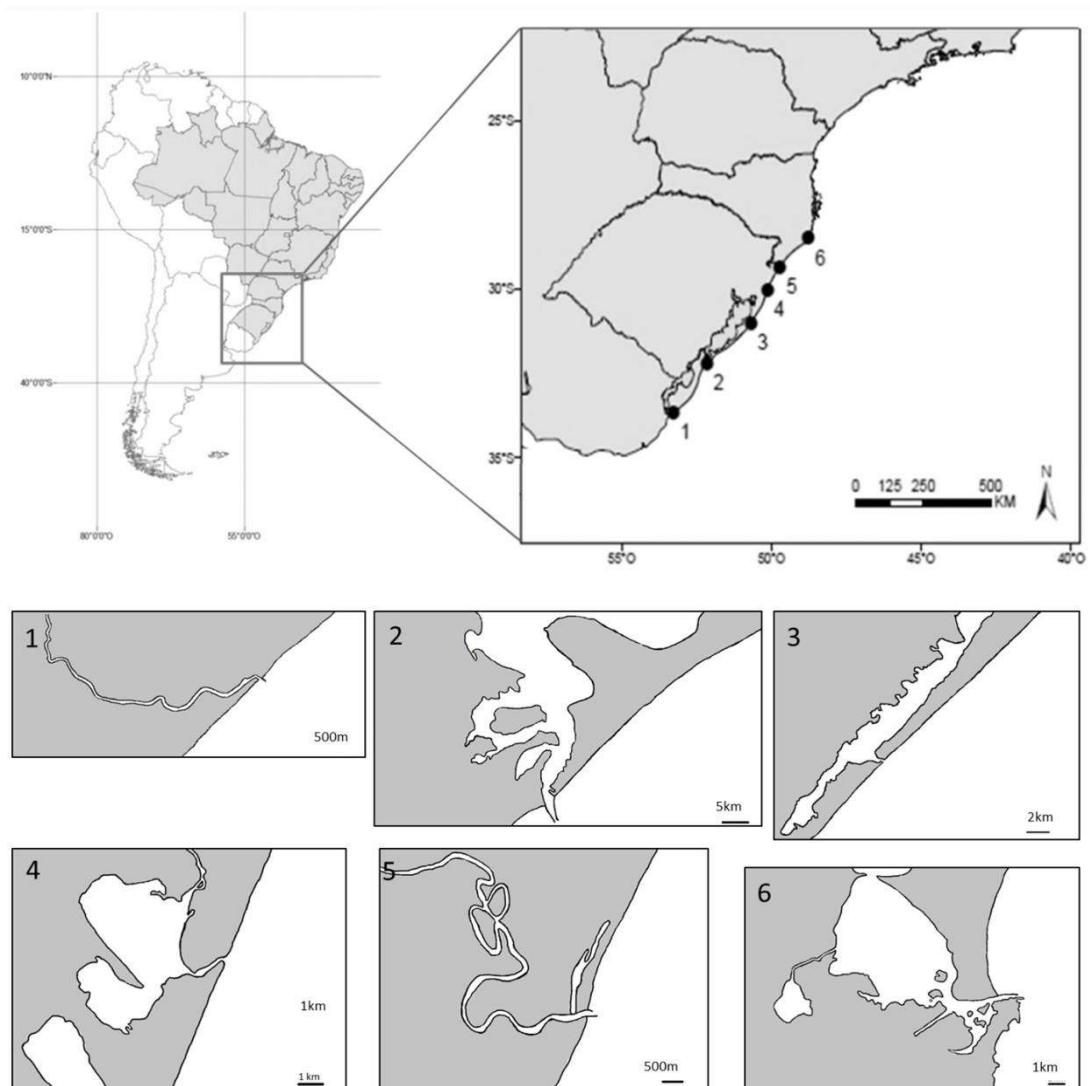


Figura 1. Área de estudo. Pontos assinalam os locais onde foram realizadas amostragens de arrasto de praia para coleta de *Mugil liza*. Quadros demonstram esquemas da morfologia dos estuários da região de estudo. 1 - Chuí, 2 - Rio Grande, 3 - Mostardas, 4 - Tramandaí, 5 - Passo de Torres e 6 - Laguna.

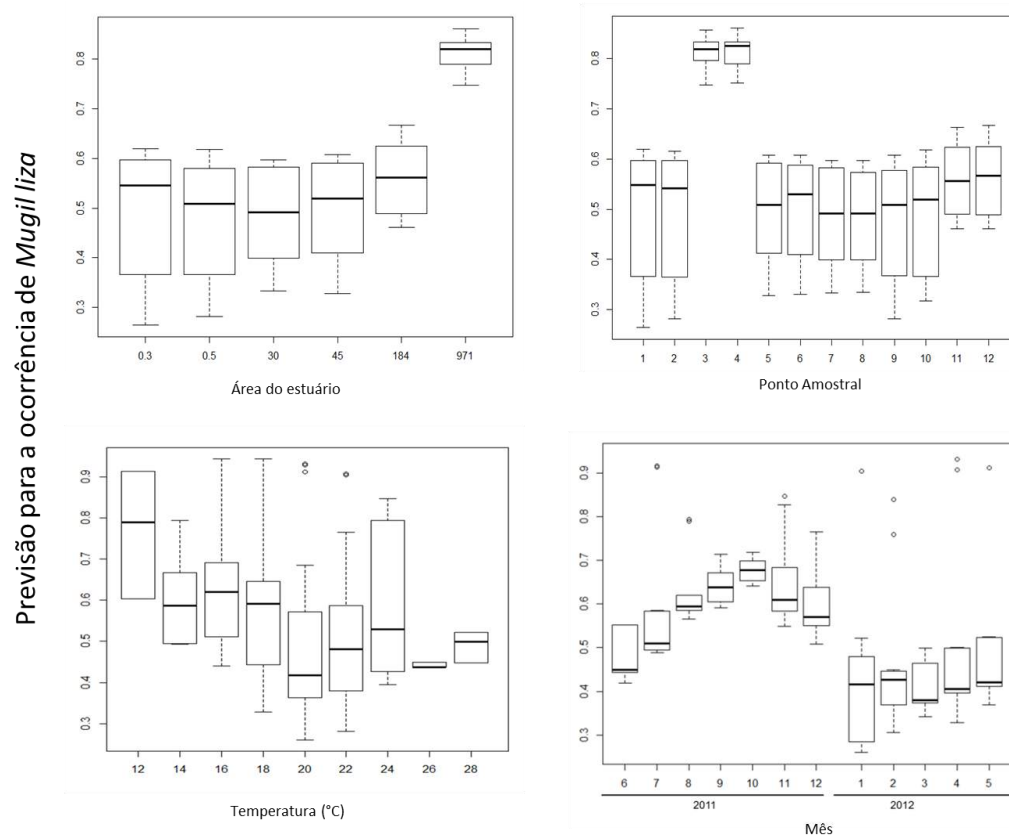


Figura 2. Probabilidade de presença de *Mugil liza* de acordo com as variáveis explicativas significantes no modelo linear generalizado. Barras denotam o desvio padrão. Ponto amostral e área do estuário: 1 e 2 (Chuí - 0,3 km²), 3 e 4 (Rio Grande - 971 km²), 5 e 6 (Mostardas - 45 km²), 7 e 8 (Tramandaí - 30 km²), 9 e 10 (Passo de Torres - 0,5 km²), 11 e 12 (Laguna - 184 km²).

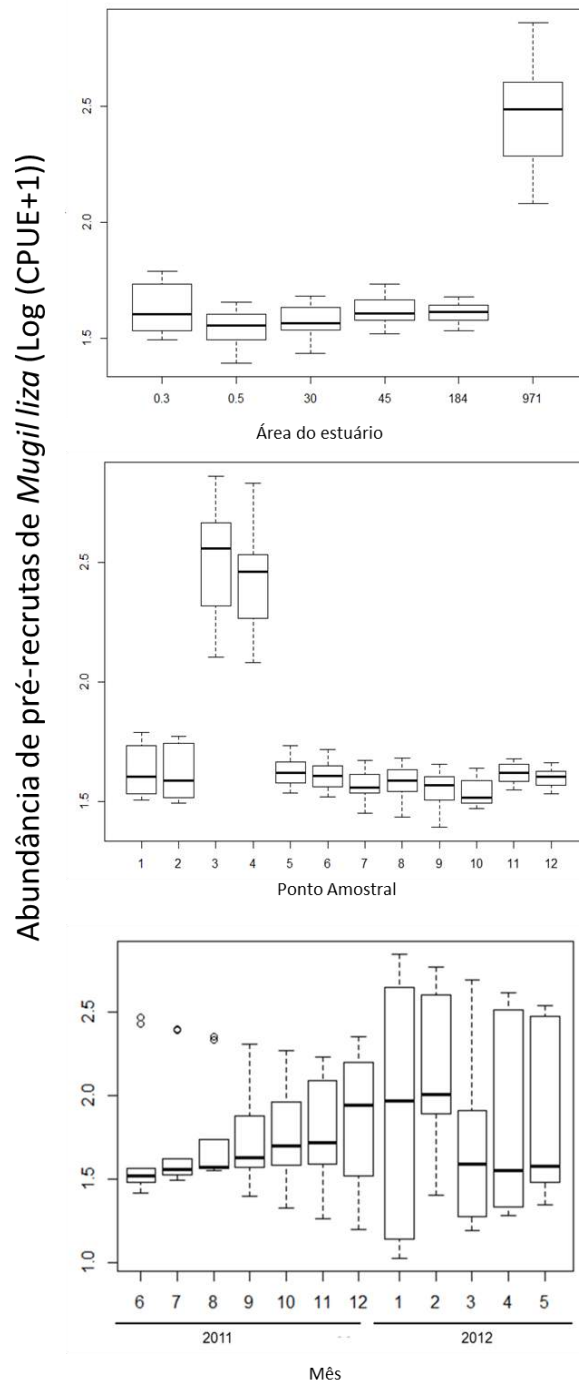


Figura 3. Abundância de *Mugil liza* e sua relação com as variáveis explicativas significantes do modelo linear generalizado. Barras denotam o desvio padrão. Ponto amostral e área do estuário: 1 e 2 (Chuí- 0,3 km²), 3 e 4 (Rio Grande- 971 km²), 5 e 6 (Mostardas- 45 km²), 7 e 8 (Tramandaí- 30 km²), 9 e 10 (Passo de Torres- 0,5 km²), 11 e 12 (Laguna- 184 km²).

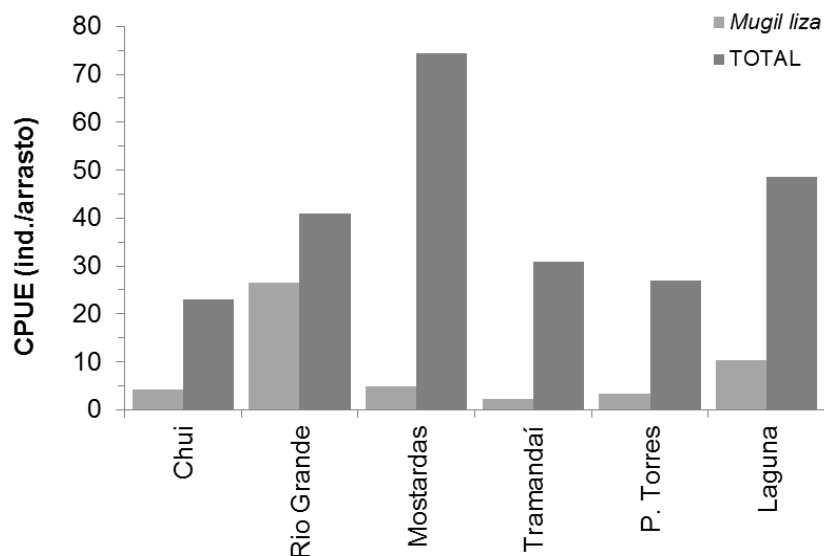


Figura 4. Abundância (captura por unidade de esforço - CPUE) total e de *Mugil liza* nos diferentes locais durante o período do estudo (junho/2011 a maio de 2012).

TABELAS

Tabela I. Resumo das variáveis ambientais nos pontos de coleta de *Mugil liza* entre junho de 2011 e maio de 2012.

Local	Ponto	Área do estuário (km ²)	Distância do estuário (km)	Salinidade		Temperatura (°C)		Transparência (cm)	
				mín - máx	média ± dp	mín - máx	média ± dp	mín - máx	média ± dp
Chuí	1	0,3 ^a	0,3	24 - 30,3	28,1 ± 1,7	13,2 - 28,0	19,8 ± 4,6	10 - 50	33,6 ± 13
	2		1,4	26,4 - 30,1	28,5 ± 1,2	14,9 - 26,0	20,0 ± 4,0	10 - 100	39,0 ± 23
Rio Grande	3	971 ^a	8,8	15,8 - 32,6	28,5 ± 4,5	12 - 28,0	20,3 ± 4,4	10 - 60	30,0 ± 16
	4		0,7	17,3 - 33,0	28,1 ± 4,6	11,4 - 28,5	20,1 ± 4,5	10 - 100	40,3 ± 23
Mostardas	5	45 ^b	13	29 - 36,4	32 ± 2,6	14,9 - 26,0	20,2 ± 3,1	15 - 60	31,0 ± 17
	6		13,9	29,1 - 37,5	32,4 ± 2,8	15,2 - 25,7	20,3 ± 3,4	10 - 70	34,0 ± 18
Tramandaí	7	30 ^e	3,6	25,2 - 36,7	30,9 ± 3,0	15,4 - 24,8	20,6 ± 2,7	0 - 100	44,6 ± 30
	8		0,4	22,6 - 36,9	30,8 ± 3,8	15,4 - 25,0	21,0 ± 2,6	15 - 70	45,8 ± 14
Passo de Torres	9	0,5 ^c	0,2	6,4 - 37,8	23,4 ± 9,3	16,6 - 26,0	20,7 ± 2,9	20 - 60	40,3 ± 13
	10		0,8	15,5 - 38,2	29,8 ± 5,0	15 - 23,5	20,1 ± 3,0	0 - 45	29,1 ± 14
Laguna	11	184 ^d	0,3	28 - 36,8	32,5 ± 2,3	16,1 - 23,0	19,1 ± 2,3	35 - 100	71,9 ± 24
	12		2,2	25,2 - 37,4	31,9 ± 3,2	16,3 - 23,0	19,1 ± 2,3	30 - 100	64,6 ± 25

Referencia: a (Ramos & Vieira 2001), b (Loebmann & Vieira 2005), c (ArcGis), d (Fonseca & Netto 2006).

Tabela II. Matriz de correlação entre as variáveis preditoras para os modelos lineares generalizados. Asteriscos denotam valores significativos através do teste de Spearman ($p < 0,05$).

	Mês	Local	Ponto	Latitude	Área do estuário	Largura da boca	Distância do estuário	Distância do local da desova	Transparência	Temperatura	Salinidade
Mês	1										
Local	-0,005	1									
Ponto	-0,005	0,980*	1								
Latitude	0,005	-1*	-0,980*	1							
Área do estuário	-0,007	-0,301*	-0,301*	-0,301*	1						
Largura da boca	-0,008	-0,310*	-0,310*	-0,310*	0,980*	1					
Distância do estuário	-0,008	-0,240*	-0,263*	0,240*	0,068	0,192*	1				
Distância do local da desova	0,007	-0,980*	-0,970*	0,980*	0,330*	0,325*	0,160*	1			
Transparência	-0,131*	0,350*	0,350*	-0,350*	-0,050	-0,094	-0,232*	-0,327*	1		
Temperatura	-0,266*	-0,500	-0,049	0,500	-0,010	-0,001	0,025	0,031	0,112	1	
Salinidade	-0,058	0,134	0,147*	-0,130	-0,094	-0,081	0,208*	-0,158*	0,144*	0,028	1

Tabela III. Resultados para a análise da deviancia explicada dos melhores modelos lineares generalizados obtidos para explicar a ocorrência e a abundância de pré-recrutas de *Mugil liza*. GL: graus de liberdade; Dev. Res.: deviancia residual; Dev. Expl.: percentual da deviancia explicada pelo modelo; Sig: significância; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$.

	Modelos	GL	Dev. Res.	Dev. Expl.	Sig.	Relação
<i>Ocorrência</i>						
<i>(Modelo Binomial)</i>	~ (ponto*mês) + área estuário + temperatura					
	Nulo (ocorrência ~ 1)	749	1030,3			
	~ Ponto	748	1024,3	0,6	*	-
	+ mês	747	1007,2	1,6	***	-
	+ área do estuário	746	963,8	4,2	***	+
	+ temperatura	745	960,9	0,3	*	-
	+ ponto: mês	744	946,1	1,4	***	+
	Total explicado			8,1		
<i>Abundância</i>						
<i>(Modelo Gamma)</i>	~ (ponto*mês) + área estuário					
	Nulo (abundância ~ 1)	416	145,1			
	~ ponto	415	140,2	3,4	***	-
	+ mês	414	140	0,1	***	-
	+ área do estuário	413	129,2	7,4	***	+
	+ ponto: mês	412	122	4,9	***	+
	Total explicado			15,9		