



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
OCEANOGRAFIA FÍSICA, QUÍMICA E GEOLÓGICA



Transporte e retenção de ovos e larvas de *Micropogonias furnieri* no estuário da Lagoa dos Patos

MONIQUE DE OLIVEIRA FRANZEN

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação de Oceanografia Física, Química e Geológica, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Henrique Muelbert
Co-orientadora: Prof^ª Dr^ª Elisa Fernandes

RIO GRANDE
Janeiro 2010

Dedico este trabalho especialmente a Deus e aos meus pais

“A felicidade está em cada momento da caminhada, não somente no fim dela”

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
Lista de tabelas	vi
Lista de Figuras	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	6
3. ÁREA DE ESTUDO	6
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4.1. Informações sobre os primeiros estágios do ciclo de vida e abundância da corvina	9
4.2. Modelo Hidrodinâmico	9
4.3. Modelo Biológico.....	14
4.4. Análise e processamento dos resultados.....	18
5. RESULTADOS	19
5.1. Levantamento bibliográfico dos parâmetros biológicos de <i>Micropogonias furnieri</i>	19
5.2. Distribuição das larvas e o campo de velocidades superficiais em regime de descarga baixa.....	20
5.3. Distribuição das larvas e o campo de velocidades superficiais em regime de descarga moderada.....	25
5.4. Abundância por classe de tamanho.....	29
5.5. Recrutamento ao estuário da Lagoa dos Patos.....	32
5.6. Tempo de duração para entrada e permanência de larvas no estuário.....	32
5.7. Simulações com ventos predominantes na região Sul do Brasil	36
6. DISCUSSÃO.....	51
6.1. Implementação do MBI.....	51
6.2. Influência do local de desova	52
6.3. Influência da vazão	54
6.4. Influência do vento no recrutamento larval	57
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	59
8. Referências Bibliográficas.....	61

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais essa conquista, pois sei da Sua presença em tudo em minha vida!

Aos meus pais queridos (Aldo e Rosália) que são presentes sempre em minha vida, apoiando em minhas decisões e tornando essa distância menos difícil, sem vocês essa etapa não estaria sendo vencida com tanto êxito! Aos meus irmãos queridos (Jean e Aldinho), que sempre me ajudaram e tornaram esse momento da minha vida mais alegre com suas gargalhadas!

Muito obrigada ao Natan (meu denço) que se fez sempre presente nos momentos finais desse trabalho, passando junto comigo por uma etapa decisiva e mais tensa e tornando tudo muito mais feliz e calmo. Obrigada pela paciência (que tivestes que ter muita), por toda a forma carinhosa que sempre me tratastes. Obrigada de coração.

Obrigada à Juliana que fez com que tudo desse certo na minha vinda pra Rio Grande.

Obrigada ao Neto, pela presença incondicional nos momentos difíceis do início dessa caminhada, e por todo o apoio e compreensão concedidos.

Obrigada ao Renan e Léa pelas risadas, pela ajuda nos momentos difíceis e pela amizade.

Obrigada pelas meninas do Willena (início de tudo) que foram presentes e foram importantes pelos momentos de descontração. À Andréa, Marília, Priscila e Salame que apareceram em um momento difícil, mas pudemos aproveitar muitos momentos bons juntos.

Obrigada à Natália e Cristiano que me acolheram em um momento difícil e complicado ao fim dessa etapa.

Agradeço ao Zeca, meu orientador, que foi imprescindível nessa conclusão. Pela confiança depositada em mim desde o início, me acolhendo e repassando muitos conhecimentos importantes no âmbito profissional, e pessoal também. À Elisa (minha co-orientadora), por toda a presença e disposição em me ajudar em uma área bastante desconhecida!

Obrigada aos colegas de laboratório (Cristiano, Vanessa, Cristiane, Marcela, Evandro) que tornaram esse ambiente sempre mais alegre.

Obrigada ao Wilian pelas tantas ajudas com as saídas do TELEMAT, realmente tua ajuda foi de grande valia para a confecção desse trabalho.

Obrigada à Ana Vaz e Carolina Parada, pelos ensinamentos à distância que foram indispensáveis na construção do MBI, sem a ajuda de vocês teria sido bem mais difícil.

Sou grata também à Prof^a. Nísia Krusche, por todas as ajudas matlabianas, se mostrando sempre muito disposta a me ajudar.

Enfim agradeço aos professores, por todos os ensinamentos.

E ainda por todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para esse momento.

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida durante 24 meses, e ao Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN 2076 patrocinado pelo US National Science Foundation (Grant GEO-0452325) pela ajuda financeira concedida durante 3 meses, após o término da bolsa. Que fizeram com que a minha estada aqui fosse mais estável.

RESUMO

Estuários e outros ambientes costeiros constituem um importante habitat para os estágios iniciais no ciclo de vida de muitos organismos marinhos. Dentro desse contexto o estuário da Lagoa dos Patos (ELP) serve como um importante habitat de criação para larvas e pós-larvas de peixes e crustáceos decápodos, porém pouco se sabe a respeito da forma como as larvas respondem aos processos que controlam a dinâmica estuarina. Para resolução desse problema se aumentou a busca de novas técnicas que explorem os processos ecológicos envolvidos. Uma maneira relativamente nova de tratar o problema da dispersão de ovos e larvas de peixes é o uso dos “Modelos Baseados no Indivíduo” (MBI ou Individual Based Model - IBM’s). O MBI inicia a partir das condições ambientais fornecidas por um modelo hidrodinâmico. Neste sentido o presente trabalho, visa à implementação de um MBI para *Micropogonias furnieri*, com o objetivo de estudar o transporte e retenção de ovos e larvas da mesma no ELP. Para isso foram necessários atributos biológicos desta espécie, como a equação de eclosão ($\text{Log } D = 7,1 + 0,608 \log \Phi - 4,09 \log (T + 26)$) e crescimento $C_p = 1,85e^{9,077(1-e^{-0,008t})}$. Para as simulações no MBI foram considerados o campo de velocidades com relação à descarga e padrões de vento para a área de estudo e sua influência no transporte de ovos e larvas de *Micropogonias furnieri* no estuário da Lagoa dos Patos a partir de 3 áreas distintas de desova. Com os resultados obtidos foi observado que o padrão de circulação da área de estudo aliado ao local de desova tem grande influência no sucesso do transporte dos organismos para o interior do ELP. Além disso, a condição ideal para a entrada de ovos/larvas de corvina no estuário da Lagoa dos Patos é a de vento do quadrante sul e desova na proximidade da entrada do estuário, o que propicia o ingresso dos ovos e larvas no estuário, inclusive a entrada de algumas larvas nos sacos. O recrutamento de larvas de *Micropogonias furnieri* é mais eficiente nas condições de descarga baixa ($1000 \text{ m}^3/\text{s}$) e com a desova na desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos. Estes resultados demonstram a dependência do recrutamento de ovos e larvas ao ELP da dinâmica física e da localização da área de desova.

ABSTRACT

Estuaries and other coastal environments are an important habitat for the early stages in the life cycle of many marine organisms. Within this context the estuary Patos Lagoon (PLE) serves as an important breeding habitat for larvae and post larvae of fish and decapod crustaceans, but little is known about how larvae respond to the processes that control the dynamics of estuarine. Furthermore, the study of recruitment and knowledge of the dynamics of the life cycle of pelagic fish are very complex. To aid in the solution of this problem, the search for new techniques that explore the ecological processes involved has increased. A relatively new way to treat the problem of dispersion of eggs and larvae is the use of "Individual-Based Models" (IBM). An IBM is initialized by coupling environmental condition from a hydrodynamic model to biological information from the organism. This work implements an IBM to study transport and retention of eggs and larvae of whitemouth croaker, *Micropogonias furnieri*, in the PLE. The IBM uses as biological attributes for *Micropogonias furnieri* the equation of egg eclosion ($\text{Log } D = 7.1 + 0,608 \log \Phi - 4.09 \log (T + 26)$) and growth $C_p = 1,85e^{9,077(1-e^{-0,008t})}$. For the simulations, the velocity field with respect to discharge and wind patterns in the study area, and 3 different spawning locations were considered. The results showed that circulation patterns and spawning location have great influence on the transport of eggs and larvae of *Micropogonias furnieri* in the PLE. The recruitment of larvae of *Micropogonias furnieri* is more efficient in conditions of low discharge (1000 m³/s) and spawning at the mouth of the estuary Patos Lagoon. Results suggest that ideal condition for the entry of eggs/larvae of *Micropogonias furnieri* to the PLE are southern winds and spawning close to the mouth of the estuary. This condition allows not only entrance of larvae to the PLE, but also their invasion of the shallow interior breeding grounds. This study clearly shows that recruitment of eggs and larvae of the whitemouth croaker is a function of physical estuarine dynamics and the biological spawning ground.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Posição das áreas de desova com sua área em Km ²	15
Tabela 2: Quantidade de indivíduos perdidos por classe de tamanho e área de desova no regime de descarga baixa (1000 m ³ /s)	29
Tabela 3: Quantidade de indivíduos perdidos por classe de tamanho e área de desova no regime de descarga moderada (3000 m ³ /s)	29
Tabela 4: Tempo de duração (em horas) para entrada das larvas no estuário da Lagoa dos Patos. ∞ representa que as larvas não entraram no estuário	35
Tabela 5: Tempo de permanência (em horas) das larvas no estuário da Lagoa dos Patos	35
Tabela 6: Tempo para a entrada de ovos/larvas (em horas) no estuário da lagoa dos Patos, em período de ventos de quadrante sul	50
Tabela 7: Tempo de permanência de ovos/ larvas (em horas) no estuário da lagoa dos Patos, em período de ventos de quadrante sul.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo: Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) entre 31.5°S e 32.5°S	8
Figura 2: Grade batimétrica utilizada para modelagem hidrodinâmica (A), com ênfase na área estuarina(B). Fonte: Monteiro (2007)	13
Figura 3: Áreas de desova selecionadas para as simulações no Modelo Biológico. Em rosa: desova norte, em verde: desova sul, em azul: desova estuário.	17
Figura 4: Distribuição dos ovos/larvas (em vermelho) nos passos de tempo (A)17 horas, (B)67 horas, (C)última hora (480 horas) em condições de descarga baixa (1000m ³ /s) e com Desova estuário. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.	22
Figura 5: Distribuição dos ovos/ larvas (em vermelho) nos passos de tempo (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora (480 horas), em condições de descarga baixa (1000m ³ /s) e com Desova norte. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.	23
Figura 6: Distribuição dos ovos/larvas (em vermelho) nos passos de tempo (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora, em condições de descarga baixa (1000m ³ /s) e com Desova sul. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.....	24
Figura 7: Distribuição das larvas nos passos de tempo (em vermelho) (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora, em condições de descarga moderada (3000m ³ /s) na Desova estuário. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.....	26
Figura 8: Distribuição das larvas nos passos de tempo (em vermelho) (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora, em condições de descarga moderada (3000m ³ /s) e com Desova norte. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.....	27
Figura 9:Distribuição das larvas nos passos de tempo (em vermelho) (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora, em condições de descarga moderada (3000m ³ /s) e com Desova sul. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.	28
Figura 10: Quantidade de indivíduos perdidos em condições de descarga baixa a partir das 3 regiões de desova durante o período de janeiro de 1998	30
Figura 11: Quantidade de indivíduos perdidos em condições de descarga moderada a partir das 3 regiões de desova durante o período de janeiro de 1998	31
Figura 12: Quantidade de larvas retidas por área de desova sob condições de descarga baixa (1000 m ³ /s)	33
Figura 13: Quantidade de larvas retidas por área de desova sob condições de descarga moderada (3000 m ³ /s)	34
Figura 14: Vetores de vento para o período da simulação (janeiro de 1998). Os retângulos denotam os intervalos de tempo utilizados para a simulação no modelo biológico, para os ventos de quadrante norte (a) e sul (b)	38
Figura 15: Distribuição das larvas de <i>Micropogonias furnieri</i> (em vermelho) sob condições de descarga baixa com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova estuário.....	39

Figura 16: Distribuição das larvas de <i>Micropogonias furnieri</i> (em vermelho) sob condições de descarga baixa com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova norte.....	40
Figura 17: Distribuição das larvas de <i>Micropogonias furnieri</i> (em vermelho) sob condições de descarga baixa com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova sul	41
Figura 18: Quantidade de larvas retidas em condições de descarga baixa (1000m ³ /s), com vento de quadrante norte.....	43
Figura 19: Distribuição das larvas de <i>Micropogonias furnieri</i> (em vermelho) sob condições de descarga moderada com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova estuário.....	44
Figura 20: Distribuição das larvas de <i>Micropogonias furnieri</i> (em vermelho) sob condições de descarga moderada com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova norte.....	45
Figura 21: Distribuição das larvas de <i>Micropogonias furnieri</i> (em vermelho) sob condições de descarga moderada com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova sul	46
Figura 22: Quantidade de larvas retidas em condições de descarga moderada (3000m ³ /s), com vento de quadrante sul.....	47
Figura 23: Quantidade de larvas retidas em condições de descarga moderada (3000m ³ /s), com vento de quadrante norte.....	48

1. INTRODUÇÃO

Estuários e outros ambientes costeiros constituem um importante habitat para os estágios iniciais no ciclo de vida de muitos organismos marinhos. Esses ambientes atuam como verdadeiros berçários, pois oferecem abundância de alimento e proteção de predadores às larvas de peixes e invertebrados marinhos (Pearcy e Myers, 1974; Weinstein, 1979).

Muitas dessas espécies habitam regiões próximas a estuários e rios, e dessa forma seus ovos e larvas são transportados para estas regiões, aonde eles se desenvolvem e crescem (Yañes-Arancibia, 1978). Devido a este comportamento e por passar uma parte do seu ciclo de vida no estuário, essas espécies são chamadas de estuarino dependentes (Vieira e Musick, 1994).

A região estuarina da Lagoa dos Patos compreende 9% da laguna, sendo habitada por uma fauna e flora diversificada e abundante. Além disso, esse ambiente oferece uma grande disponibilidade de alimento e proteção contra predadores através das enseadas rasas (profundidades menores que 2m), as quais abrangem aproximadamente 80% do estuário (Vieira e Castello, 1997; Sinque e Muelbert, 1997; Haimovicci *et al.*, 1996).

Dentro desse contexto, o estuário da Lagoa dos Patos (ELP) serve como um importante habitat de criação para larvas e pós-larvas de peixes e crustáceos decápodos (Muelbert e Weiss, 1991; Calazans, 1984). O crescimento destes organismos dentro do estuário é fundamental para a manutenção da atividade pesqueira local e ao longo da costa do Rio Grande do Sul (D'Incao, 1991; Chao *et al.*, 1985, Calazans, 1984; Zenger e Agnes, 1977), a qual comporta uma das principais atividades pesqueiras do Atlântico sudoeste (Garcia *et al.*, 2001).

Dentre esses recursos pesqueiros, pode-se enfatizar a importância da corvina, *Micropogonias furnieri*, a qual é o objeto de estudo do presente trabalho. A mesma possui ampla distribuição no Atlântico subocidental, sendo que a corvina presente no Rio Grande do Sul juntamente com outras espécies de Scianidae, desova na região costeira adjacente à desembocadura da Lagoa dos Patos (Castello, 1986; Ibagy e Sinque, 1995).

O ciclo de vida da corvina pode ser sintetizado como tendo desova do tipo parcelada, sendo possível uma única fêmea de porte médio desovar entre três e sete milhões de ovos ao longo de uma estação reprodutiva (Macchi *et al.*, 2003). A desova ocorre preferencialmente nos meses quentes e próximas ao estuário (Vazzoler, 1991), podendo também ocorrer no interior destes (Macchi e Christiansen, 1996). Os ovos, que são planctônicos, eclodem em aproximadamente 20 a 24 horas e as larvas recém eclodidas medem em torno de 1,8 mm (Albuquerque, 2003). Ovos e larvas são transportados para zonas mais internas dos estuários, constituindo um dos taxa mais abundantes encontrados no ictioplâncton do estuário da Lagoa dos Patos (Muelbert e Weiss, 1991).

Para as espécies estuarino dependentes, como a corvina, a sobrevivência está ligada ao seu transporte e migração em direção aos ecossistemas estuarinos e aos fatores que influenciam os processos de recrutamento (Shaw *et al.*, 1988). Grande parte do deslocamento de larvas de peixes e crustáceos decápodos da área de desova em direção à costa e aos estuários é passiva e controlada pela ação das correntes, das marés e dos ventos (Norcross e Shaw, 1984; McConaughy, 1988), através do transporte de Ekman e da propagação de ondas internas em direção à costa (Shanks, 1988).

Hjort (1914) foi um dos pioneiros a considerar que a complexa questão da variabilidade nas populações marinhas está ligada a fatores ambientais. O autor discutiu

múltiplas causas das flutuações interanuais registradas na mortalidade durante os estágios iniciais de vida, e levantou duas razões principais: variações na disponibilidade de alimento em estágios críticos no desenvolvimento larval, e transporte de ovos e larvas para fora de zonas apropriadas ao seu desenvolvimento, causado por variabilidade nos padrões de circulação. Este foi um dos autores a considerar a deriva larval como processo chave no recrutamento dos estoques pesqueiros.

A idéia inicial de Hjort (1914) foi refinada por Harden-Jones (1968). Em sua teoria, Harden-Jones constatou que diversos organismos marinhos são planctônicos nos primeiros estágios de seu desenvolvimento, sendo assim seu deslocamento se dá por processos físicos. Esses processos ocorrem em diferentes escalas temporais e espaciais, sendo as principais: difusão turbulenta e molecular, marés, mistura por tempestade, correntes dirigidas pelo vento, ondas internas, vórtices de meso-escala e circulação geral de larga escala (Okubo, 1994).

A circulação do estuário da Lagoa dos Patos está sujeita à combinação dos efeitos causados pela ação do vento local na superfície da água e vento não-local na região costeira, e pela descarga dos rios na laguna (Möller *et al.*, 1996; 2001; Vaz *et al.*, 2006). Além disso, o afunilamento da região estuarina da Lagoa dos Patos em direção à sua desembocadura pode intensificar os fluxos de vazante (Möller e Castaing, 1999). Estas oscilações fazem com que o transporte e a retenção de ovos e larvas de peixes sejam suscetíveis a mudanças de vazão e ao regime de ventos (Martins *et al.*, 2007).

Sabe-se que de acordo com a circulação nas áreas de desova tem-se um maior ou menor sucesso no recrutamento dos organismos, e conseqüentemente sucesso reprodutivo (Hill, 1991). Devido à complexidade do estudo do recrutamento dos peixes pelágicos, pouco se sabe a respeito da forma como as larvas respondem aos processos que controlam a dinâmica estuarina, em função disso aumentou-se a busca de novas

técnicas que explorem os processos ecológicos envolvidos (Vaz, 2005). Técnicas numéricas são comprovadamente viáveis para ajudar no entendimento de padrões espaciais e temporais na desova. Análises de sensibilidade podem ser usadas para estimar quais características da desova (em manchas/uniforme, frequência alta/baixa, tempo/localização da desova, profundidade) são importantes para aplicação do modelo (Gallego *et al.*, 2007).

Uma maneira relativamente nova de tratar o problema da dispersão de ovos e larvas de peixes baseia-se no uso dos “Modelos Baseados no Indivíduo” (MBI ou Individual Based Model - IBM’s) (Mullon *et al.*, 2002). Esta ferramenta vem sendo muito utilizada em modelagem ecológica, especialmente a partir da década de 90 (Grimm, 1999). Seu conceito básico consiste em tratar indivíduos como entidades únicas e discretas com atributos biológicos próprios mutáveis ao longo do seu ciclo de vida, dentre eles tamanho, posição, peso (Vaz, 2005; Grimm e Railsback, 2005).

O MBI funciona a partir do acoplamento de um modelo hidrodinâmico ao mesmo, fornecendo as condições ambientais ao modelo biológico (Adlandsvik *et al.*, 2004; Davis e Lyne, 1994; Doney *et al.*, 2001; Lima *et al.*, 2002 a e b; Lyne e Thresher, 1994; Sentchev e Korotenko, 2004; Skogen *et al.*, 2003; Mullon *et al.*, 2002). Desta forma, o deslocamento das partículas é seguido no tempo e espaço e sua posição final é avaliada em função dos critérios previamente estabelecidos (e.g. crescimento, distribuição vertical e mortalidade) para verificar se houve retenção ou perda de larvas (Mullon *et al.*, 2002).

Esta ferramenta tem tido grande aplicabilidade em diversas partes do mundo, tendo a capacidade de acomodar diversos aspectos relacionados ao recrutamento.

Parada *et al.*, 2003, Huggett *et al.*, 2003, Mullon *et al.*, 2003 aplicaram um MBI acoplado ao modelo hidrodinâmico ROMS para estudar a importância de diversos

fatores no sucesso do transporte de ovos e larvas de anchoíta e ainda o subsequente sucesso do seu recrutamento no sul de Benguela. Vaz (2005) aplicou um MBI acoplado ao modelo hidrodinâmico POM para os estágios iniciais de *Engraulis anchoita*, observando quais as áreas de maior ou menor retenção na Plataforma Continental do Atlântico Sudoeste. Adlandsvik *et al.*, 2004 modelaram o transporte e dispersão de ovos e larvas de *Greenland halibut* a fim de prever a localização dos sítios de recrutamento foram usados campos de velocidades de correntes de um modeloh hidrodinâmico 3-D para alimentar um modelo lagrangeano de partículas.

Skogen *et al.*, 2003 estudaramas variações ocorrentes no padrão de transporte das larvas de *Engraulis capensis* a partir de áreas de desova diferentes, no sul de Benguela.

Com o intuito de estudar o recrutamento no estuário da Lagoa dos Patos, Martins *et al.* (2007) implementaram o primeiro modelo hidrodinâmico acoplado a dispersão de ovos de peixes. Nesse estudo utilizaram um modelo hidrodinâmico 2D acoplado a um modelo Lagrangeano para partículas flutuantes passivas. Entretanto, este tipo de enfoque trata o organismo (ovos/larvas) como uma partícula sem atributos biológicos.

O presente trabalho é um avanço neste sentido, através da implementação de um MBI para o estuário da Lagoa dos Patos. O uso desta técnica é fundamental para o estudo do recrutamento e do conhecimento da dinâmica do ciclo de vida de peixes e crustáceos decápodos no estuário, fornecendo importantes subsídios para uma exploração racional dos recursos pesqueiros do sul do Rio Grande do Sul. Sendo assim, devido à importância e disponibilidade de informações, o MBI foi desenvolvido para a corvina.

2. OBJETIVOS

O objetivo desta proposta é estudar o transporte e retenção de ovos e larvas de peixes de importância comercial para a região sul do Rio Grande do Sul.

Objetivos Específicos

- Identificar as características de ovos e larvas de *Micropogonias furnieri* necessárias para implementar o MBI no ELP;
- Implementar o MBI para os primeiros estágios de vida de *M. furnieri*;
- Aplicar o MBI para estudar os mecanismos que controlam o transporte e a retenção de ovos e larvas de *M. furnieri* no ELP.

3. ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa dos Patos, localizada na costa do Sul do Brasil situa-se entre 30–32°S e 50–52°W, é a maior laguna costeira, do tipo estrangulado, do mundo (Kjerfve, 1986) (Fig.1). Com 250 Km de comprimento e uma largura média de 40 Km, a laguna cobre uma área de 10360 Km², e está conectada ao Oceano Atlântico Sul por uma via de 5 Km de comprimento e menos do que 1 Km de largura. Esta é a única conexão com a zona costeira e permite uma troca constante de água, sedimento, materiais dissolvidos e organismos entre o estuário e o oceano aberto (Fernandes *et al.*, 2004).

O Complexo Patos-Mirim recebem afluentes que drenam uma área de aproximadamente 201.700 Km² (Vieira e Rangel, 1988), os quais regem um ritmo de escoamento comum daqueles de médias latitudes: altas descargas no inverno e fim da primavera e baixas a moderadas descargas no outono e inverno, sendo que nesta

estrutura sazonal há grande variabilidade interanual (Möller *et al.*, 1996). Médias mensais da descarga de água doce baseadas em uma série de dados de 56 anos para os rios Jacui-Taquari e Camaquã indicam valores entre 796,91 m³/s em março e 2464,85 m³/s em agosto, observando picos evidentes em julho e agosto, que correspondem ao inverno, considerada a estação mais chuvosa (Vaz *et al.*, 2006).

Medições e experimentos numéricos desenvolvidos por Möller *et al.*, (2001) e Fernandes *et al.*, (2002) mostraram que as condições de vento NE (predominantemente na primavera e verão) diminuem o nível de água no norte da laguna e empilham água na Ponta da Feitoria, e ocasionam o aumento da descarga de água doce. Quando o vento vem de SO (predominantemente no inverno), o efeito local aumenta o nível de água na Ponta da Feitoria, e o efeito não-local promovido pelo Transporte de Ekman empilha água na boca do estuário, provocando intrusão de água salgada (Moller *et al.* 2001).

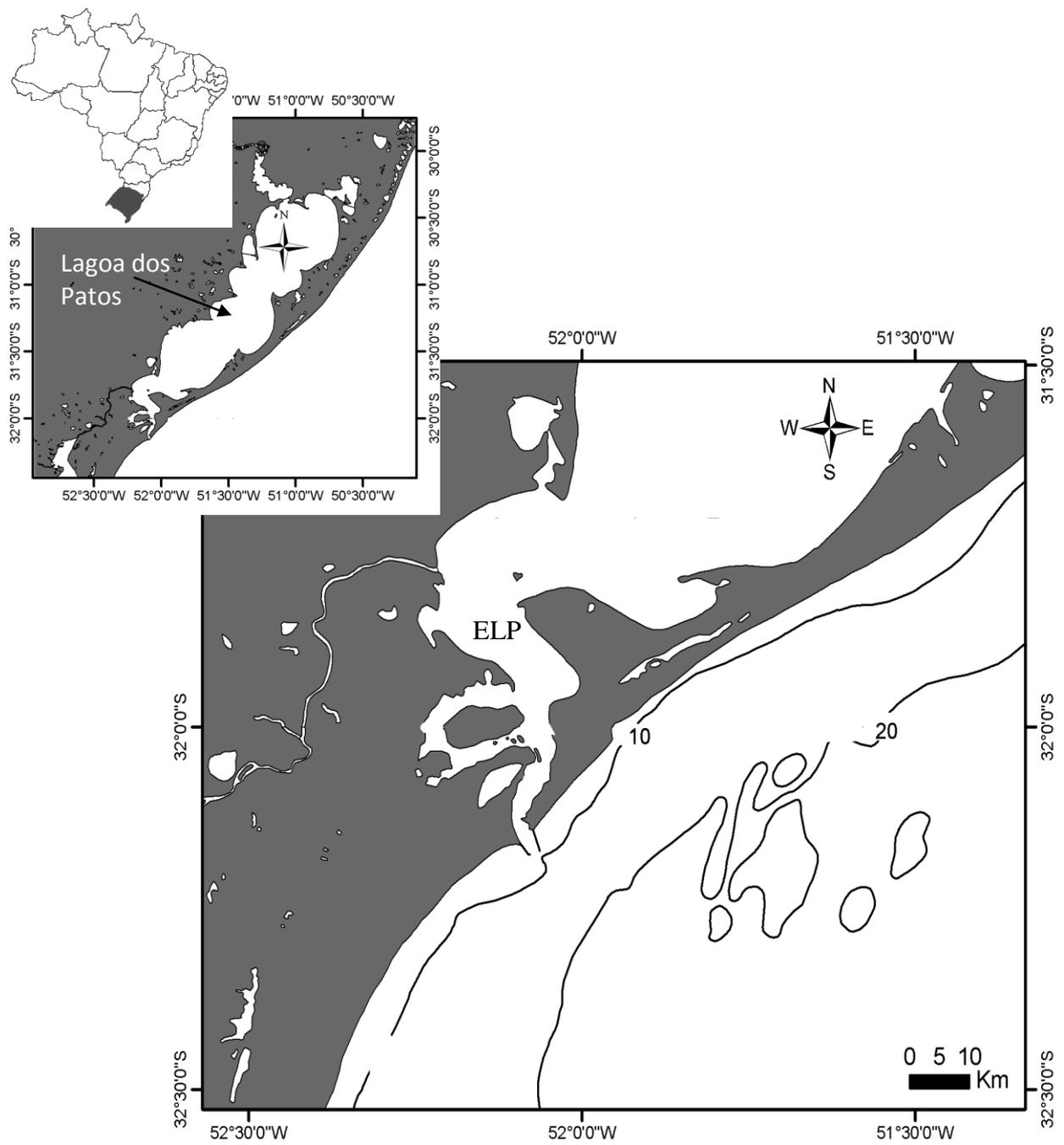


Figura 1: Localização da área de estudo: Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) entre 31.5°S e 32.5°S

A dinâmica das águas estuarinas no estuário da Lagoa dos Patos é principalmente condicionada pelos regimes de vento e chuvas na bacia hidrográfica do sistema Patos-Mirim (Garcia, 1998). Assim, sua dinâmica está relacionada com a variação na entrada de água doce em escalas semanais e horárias (Garcia, 1997; Costa *et al.*, 1998).

A maré observada na região é mista com predominância diurna, com altura máxima de 0,51 m (Möller, 1996) e sua influência é muito pequena, ficando restrita ao canal de acesso à zona estuarina, que funciona como um filtro dinâmico que atenua as oscilações forçadas pela maré (Möller, 1996; Fernandes *et al.*, 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Informações sobre os primeiros estágios do ciclo de vida e abundância da corvina

Para a implementação do MBI foram levantados parâmetros a respeito do ciclo inicial de vida de *Micropogonias furnieri*, segundo a literatura. Os dados de distribuição e abundância foram obtidos de Ibagy e Sinque, (1995) e Muelbert e Weiss, (1991). A eclosão é calculada segundo a equação de Pauly e Paulin (1988): $\log D = 7,1 + 0,608 \log \Phi - 4,09 \log (T + 26)$, onde Φ = diâmetro do ovo; t= temperatura; D=dias (Ibagy, 1996). O crescimento das larvas pode ser estimado pelo modelo de Laird-Gompertz, sendo a equação resultante: $C_p = 1,85e^{9,077(1-e^{-0,008t})}$ (Albuquerque, 2003).

4.2. Modelo Hidrodinâmico

No presente trabalho foi utilizado o TELEMAC-3D (EDF, França) que é um modelo hidrodinâmico baseado na técnica de elementos finitos. Esta técnica permite que se concentre maior número de elementos nas regiões de maior interesse e com maiores variações morfológicas, e seja utilizada uma menor resolução nas regiões onde a morfologia é mais homogênea, permitindo a diminuição do tempo computacional. Ele utiliza um sistema cartesiano como referência, no qual os eixos x e y formam um plano horizontal e a gravidade atua na direção vertical (Monteiro, 2007).

Para que a hidrodinâmica da região seja mais bem representada, é primordial uma boa reprodução das características batimétricas e morfológicas durante a criação da grade batimétrica. Sendo assim, a utilização de grades batimétricas não estruturadas facilita o trabalho de modelagem, visto que permite representar com resolução adequada morfologias complexas, como é o caso da região de conexão entre a Lagoa dos Patos e a zona costeira adjacente.

O domínio do modelo abrange desde as latitudes de 28° S (Florianópolis-SC) a 36° S (Punta Del Este – Uruguai) e as longitudes de 45° W e 54° W (Fig.2).

Com o intuito de obter a melhor representação da batimetria da Lagoa dos Patos fez-se necessário a combinação de dados batimétricos de diferentes fontes. Dessa forma, a batimetria da Lagoa dos Patos foi extraída da carta náutica 2140 e para a região estuarina foram utilizados dados batimétricos das cartas náuticas seguintes:

- N°2101: Costa Sul – Porto de Rio Grande;
- N°2102: Lagoa dos Patos – São José do Norte e Canal da Setia;
- N°2103: Lagoa dos Patos – Barra do Canal de São Gonçalo às Porteiras;
- N°2106: Lagoa dos Patos – Saco do Rincão e proximidades;
- N°2112: Lagoa dos Patos – Rio Grande à Ponta da Feitoria.

O baixo estuário da Lagoa dos Patos teve sua batimetria atualizada com os dados de um levantamento feito pela Superintendência do Porto de Rio Grande (SUPRG) (Marques, 2009).

A grade possui um total de 16800 elementos triangulares e contém 8974 nós (encontro entre as arestas dos triângulos) onde as equações são resolvidas, sendo que a mesma adotou a configuração sem os molhes da barra, os mesmos foram considerados apenas no MBI.

As condições iniciais utilizadas pelo modelo foram de dados de campo de vento foram extraídos da página do *National Oceanic & Atmospheric Administration* (NOAA), disponíveis no site www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis. As séries temporais de descarga prescritas nas fronteiras continentais do rio Guaíba e do rio Camaquã foram extraídas da Agência Nacional de Águas (www.ana.gov.br) (ANA), para o período das simulações utilizadas no presente trabalho. Os dados de descarga do Canal de São Gonçalo foram considerados constantes em $760 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$, pelo fato de não haver séries temporais disponíveis (Marques, 2009).

As condições de temperatura e salinidade foram estabelecidas através de um mapa tridimensional com a média mensal de salinidade e temperatura para o ano de 2003. Os dados foram obtidos da página da OCCAM (<http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/OCCAM>), e prescritos de forma tridimensional em todo o domínio (Marques, 2009).

Além dessas condições, o modelo necessita de condições de contorno para possibilitar o cálculo das variáveis. O TELEMAC-3D considera dois tipos de contorno: os contornos líquidos que são as fronteiras continentais do Rio Guaíba, do Rio Camaquã e do canal São Gonçalo, onde são prescritas séries temporais de descarga fluvial. E a fronteira oceânica, prescrita pela maré, ou níveis de água em baixa frequência,

velocidades de correntes, salinidade e temperatura, onde foram utilizados dados de amplitude e fase de cinco componentes principais de maré da região, calculadas pelo *Grenoble Model FES95.2 (Finite Element Solution – v.95.6)*. O outro tipo são os contornos superficiais que são forçados pelos dados de ondas de superfície, campo de superfície e de vento. Os modelos de turbulência utilizados para essas simulações foram de Manning e Nikuradse (Marques, 2009).

Os parâmetros físicos usados no TELEMAC-3D, foram:

Passo de tempo	90s
Coefficiente de Coriolis	$-7,70 \times 10^{-5} \text{ N m}^{-1} \text{ s}^{-1}$
Modelo de turbulência horizontal	Smagorinsky
Modelo de turbulência vertical	Mixing length (Jet)
Lei de fricção de fundo	Manning e Nikuradse

Os dados de saída do TELEMAC não eram compatíveis para entrada do modelo biológico, por esse motivo fez-se necessário a interpolação dos dados de velocidade U e V (longitudinal e transversal), em rotina do MATLAB. Estes dados fornecidos pelo TELEMAC-3D eram somente da camada superficial, os quais alimentavam a hidrodinâmica da área de interesse para as simulações no MBI. Sendo assim, o MBI foi implementado para duas dimensões.

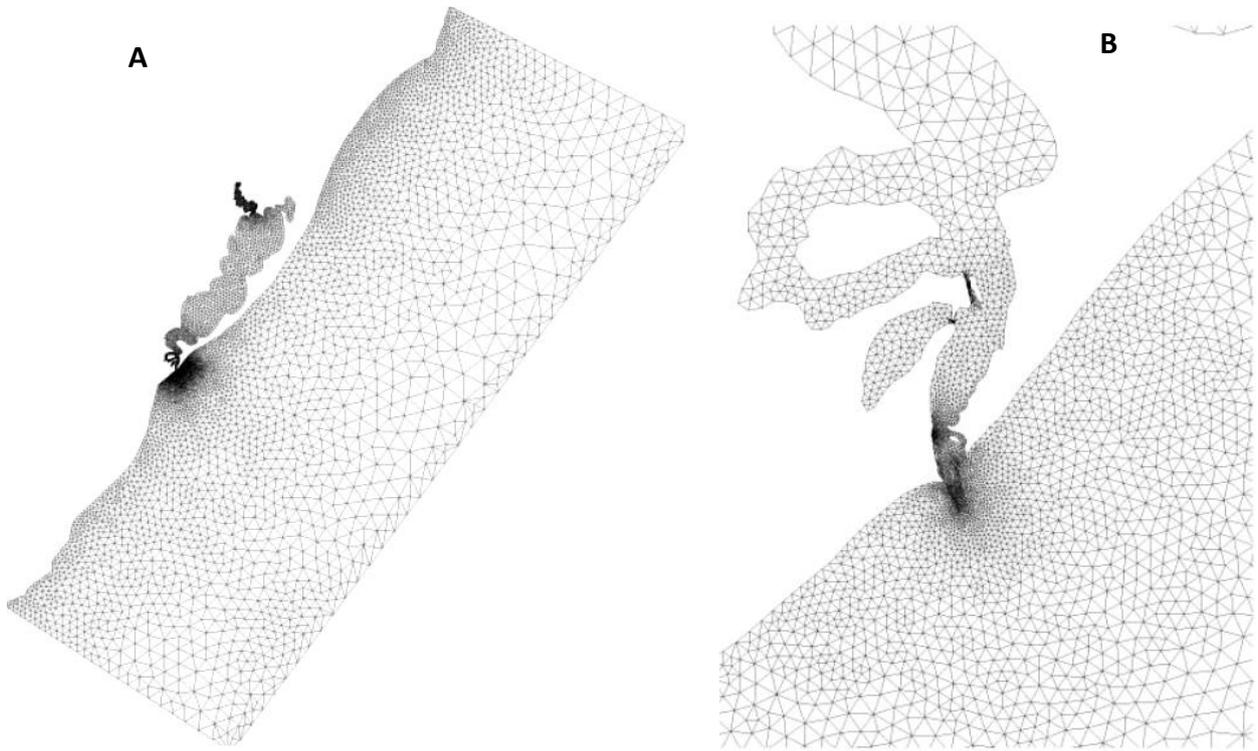


Figura 2: Grade batimétrica utilizada para modelagem hidrodinâmica (A), com ênfase na área estuarina(B). Fonte: Monteiro (2007)

O período de simulação para calibração do modelo foi de 01 de abril a 31 de maio de 1994 e a simulação que foi utilizada para o trabalho no período de 01 de janeiro de 1998 a 01 março de 1998, consistindo 2 meses de simulação. Este modelo vem sendo amplamente utilizado para estudos na costa sul do Rio Grande do Sul (Marques (2009), Monteiro (2007), Collares (2007)). Para maiores detalhes e resultados dos experimentos de simulação e calibração consultar Marques (2009) . Os dados extraídos do modelo hidrodinâmico foram interpolados para a área de estudo do presente trabalho, a qual engloba somente a região estuarina da Lagoa dos Patos e região costeira adjacente. Os arquivos de saída do TELEMAC utilizados na simulação com o MBI foram de 3 em 3 horas.

4.3. Modelo Biológico

O modelo biológico utilizado neste trabalho foi adaptado de Vaz, (2005), sendo implementado com dados biológicos da corvina e para o estuário da Lagoa dos Patos e região costeira adjacente. Este MBI gera simulações considerando a trajetória dos ovos e larvas de *Micropogonias furnieri* desde o estágio inicial (desova) até o estágio de pós-flexão larval de 12 mm, e considera também as equações de crescimento e eclosão da espécie em questão. O transporte dos ovos e das larvas de *Micropogonias furnieri* é analisado somente na camada superficial. Sendo que as simulações foram realizadas para janeiro e fevereiro de 1998, que é considerado o pico de desova de *Micropogonias furnieri*.

Para a inicialização do modelo biológico, faz-se necessário a utilização dos dados de saída do modelo hidrodinâmico (nesse caso, o TELEMAC), tais como velocidades superficiais, salinidade e a batimetria que engloba a área de estudo.

A área total a ser utilizada para as simulações estende-se desde 31°30' S a 32°30' S de latitude e 51°20' W a 52°20' W, que consiste do resultado da interpolação do domínio do TELEMAC-3D para somente a região do estuário e áreas de desova. Três áreas de desova foram determinadas de acordo com sua posição em relação à desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos, próximas a isóbata de 10 m, essas áreas foram escolhidas devido ao comportamento da desova de *Micropogonias furnieri*, sendo detalhadas na tabela 1.

Tabela 1: Posição das áreas de desova com sua área em Km²

Área de desova	Posição geográfica	Área (Km ²)
Desova norte	32°9'36'' S a 32°10'12'' S	1,82
Desova estuário	32°11'24'' S a 32°12'0'' S	2,42
Desova sul	32°15'0'' S a 32°17'24'' S	3,63

A divisão dessas áreas foi feita com o intuito de observar o sucesso no transporte a partir de cada uma delas isoladamente e poder ser usado como ferramenta para conhecimento de qual área propicia um maior recrutamento no estuário, o tempo que as mesmas levam para entrar no estuário, quantidade de larvas retidas e perdidas por área de desova (Fig.3).

No momento da eclosão, todas as larvas possuem o mesmo tamanho (1.85mm) que foi estimado pelo modelo de Laird-Gompertz, sendo a equação resultante: $C_p = 1,85e^{9,077(1-e^{-0,008t})}$ (Albuquerque, 2003). As larvas são seguidas até atingirem o tamanho

(12 mm) onde adquirem a capacidade de natação e podem ativamente seguir aos seus locais de crescimento. Ao atingirem esse tamanho a posição e o número das larvas retidas ao final do experimento são salvos.

O deslocamento das partículas foi feito pelo método Runge Kutta de quarta ordem e ainda para simular a trajetória das partículas fez-se necessário um campo turbulento, sendo feita uma combinação do campo de velocidade com o campo turbulento para, assim, calcular uma nova posição.

A descrição do movimento das partículas na presença de uma velocidade turbulenta u , com componentes u e v , se dá pelo método random-flight (Vaz, 2005).

O passo de tempo para as simulações foi de 1 hora. As condições de contorno impostas para o IBM foram os limites do domínio e a terra, de tal forma que as larvas que chegassem a terra ou ultrapassassem os limites da área eram consideradas como perdidas pelo domínio do modelo.

Para as simulações de janeiro de 1998 foram consideradas duas condições de descarga constante em todo o período: descarga baixa ($1000 \text{ m}^3/\text{s}$) e moderada ($3000 \text{ m}^3/\text{s}$). As simulações foram realizadas para estas condições de descarga para cada um dos cenários de locais de desova, com uma abundância absoluta de 60.000 ovos iniciais.

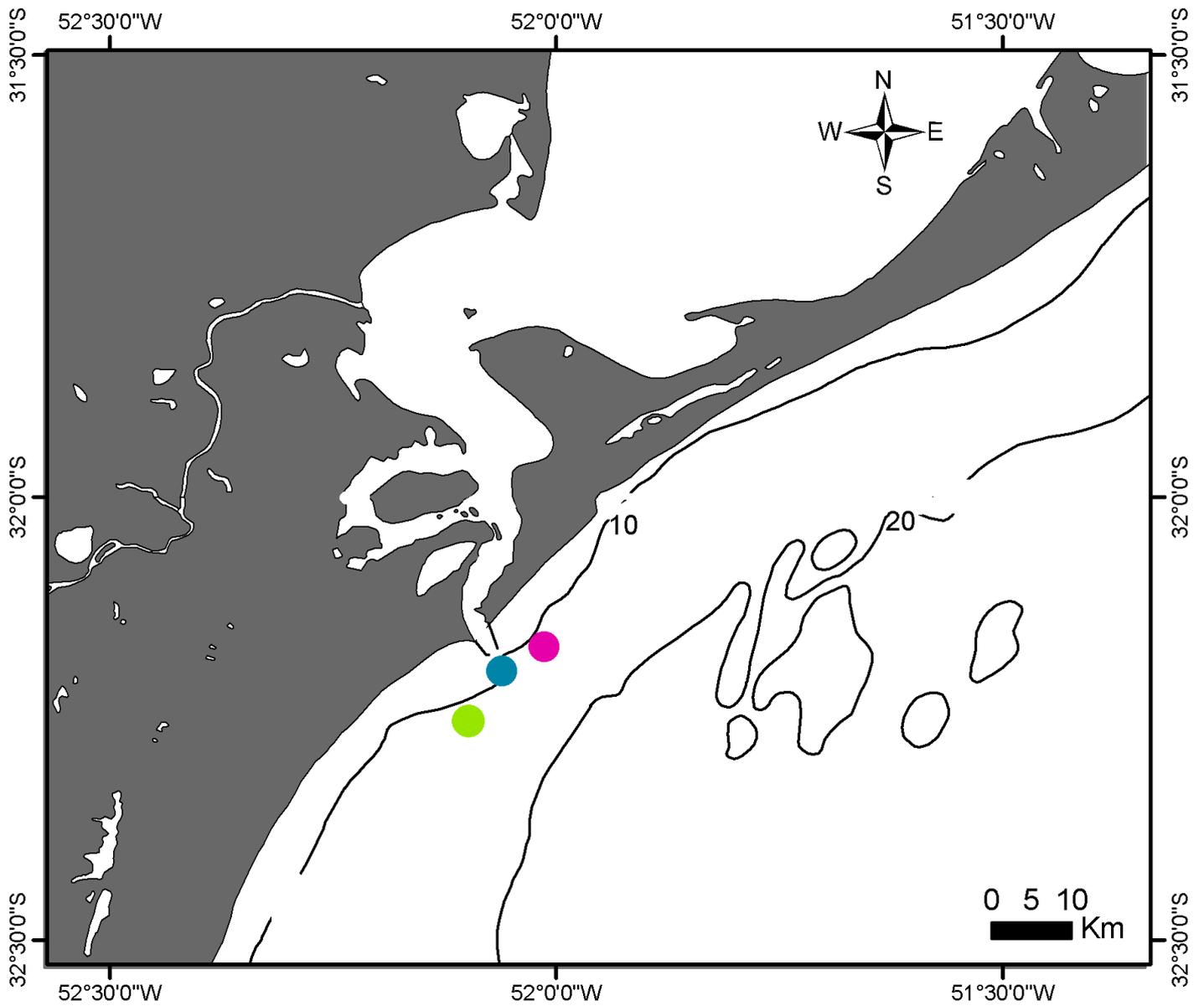


Figura 3: Áreas de desova seleccionadas para as simulações no Modelo Biológico. Em rosa: desova norte, em verde: desova sul, em azul: desova estuário.

4.4. Análise e processamento dos resultados

O transporte dos ovos e larvas foi evidenciado através da geração de figuras mostrando o campo de velocidades em passos de tempo diferentes, juntamente com a distribuição dos organismos no mesmo passo de tempo. Esta análise mostra a diferença de transporte nas diferentes condições de descarga utilizadas no presente trabalho.

Gráficos de quantidade de larvas por tamanho e locais de desova foram utilizados para observar a quantidade de larvas perdidas por classe de tamanho para condições de baixa e moderada descarga. As classes foram divididas como: classe 1=0.8 a 1.8 mm (ovos); classe 2=1.8 a 4.0 mm (larvas); classe 3= 4.0 a 7.0 mm (larvas); classe 4= 7.0 a 12 mm (larvas).

O recrutamento a partir de cada area de desova foi observado através da quantidade de ovos/larvas retidas ao fim da simulação para cada área de desova nas situações de baixa e moderada descarga. O tempo até a entrada dos ovos/larvas de corvina no estuário foi estimado considerando o tempo (em horas) que os organismos levaram até entrarem pela primeira vez no estuário, sendo utilizado como indicador de sucesso no transporte. Foi registrado também o tempo de permanência dos indivíduos no estuário, como o tempo total (somatório de cada entrada) que os indivíduos permaneceram na área estuarina, sendo consideradas duas condições de descarga.

Os resultados com relação aos ventos predominantes na região foram analisados considerando ventos de quadrante norte e sul. Foi feita a análise da direção e intensidade do vento no período da simulação, e a partir disso foi extraído um período com incidência de vento sul (hora 218) e de vento norte (hora 55). A simulação com o MBI teve início apenas para o período que abrangesse o padrão de vento escolhido, e

com isso foi obtida a diferença no transporte dos ovos/larvas sob diferentes condições iniciais de vento.

5. RESULTADOS

5.1. Levantamento bibliográfico dos parâmetros biológicos de *Micropogonias furnieri*

A ocorrência de ovos e larvas de espécies de Scianidae na área de estudo se dá durante todo o ano, sendo que seu pico de abundância foi observado no verão. Segundo Ibagy e Sinque (1995), os ovos da espécie mais abundante na região costeira do Rio Grande do sul são de *Micropogonias furnieri*, a corvina, com 33,6% do total encontrado. A mesma pôde ser observada em uma ampla faixa de temperatura (12,6 a 25,6° C), porém as maiores ocorrências foram observadas em temperaturas mais baixas. Com relação à salinidade, a espécie foi registrada dentro da faixa de 18 a 36.

De acordo com Ibagy e Sinque (1995), a densidade larval é de 835 larvas/100m³ durante o verão, apresentando as maiores concentrações de larvas recém-eclodidas quando comparadas com as demais estações. Sendo assim, supõe-se que *Micropogonias furnieri* apresente seu pico de desova nesse período.

O diâmetro médio do ovo é em torno de 0,8 mm a uma temperatura de aproximadamente 24° C (temperatura média no estuário). Dessa forma o tempo de eclosão é em torno de 29 horas dependendo da temperatura do ambiente, porém o tamanho da larva após a eclosão é considerado uniforme 1,8mm (Ibagy, 1996). Posteriormente, o crescimento é dado pela equação de crescimento: $C_p = 1,85e^{9,077(1-e^{-0,008t})}$ (Albuquerque, 2003).

A maioria dos ovos de corvina distribui-se bem na boca do estuário da Lagoa dos Patos (Castello, 1986; Ibagy e Sinque, 1995), porém essa distribuição depende da estação do ano. As larvas apresentam uma diminuição de abundância, à medida que adentram ao estuário (Weiss, 1981; Muelbert e Weiss, 1991).

5.2. Distribuição das larvas e o campo de velocidades superficiais em regime de descarga baixa

A circulação na área de estudo pode ser evidenciada nas figuras seguintes através do tamanho dos vetores. As velocidades são baixas em todo domínio com valores máximos de 1m/s, sendo verificadas as maiores velocidades no canal do estuário e na desembocadura, dependendo do regime de vazão e ventos.

A figura 4 apresenta os resultados de distribuição de ovos e larvas de corvina a partir da Desova estuário. Após 17 horas de simulação, os ovos são deslocados em direção ao sul devido à ação das correntes predominantes nesta direção (Fig. 4a). É evidente a presença de um giro, o qual faz com que as larvas aproximem-se da entrada do estuário no molhe oeste. Com 67 horas de simulação (Fig. 4b) observamos a entrada de larvas no estuário, devido aos vetores de velocidades mais intensas em direção à área estuarina. Neste momento, ocorre a dispersão de larvas tanto para o sul como para o norte, porém com maior intensidade para o sul (Fig. 4b). Ao final da simulação as larvas encontram-se dispersas ao sul, ao norte, no centro e no interior do estuário (Fig. 4c).

Na figura 5 observamos os resultados para a distribuição com a Desova norte. Com 17 horas de simulação, os ovos estão distribuídos bem distantes da área costeira, em frente ao estuário (Fig.5a), após 67 horas de simulação as larvas são dispersas para o sul, devido à ação das correntes predominantes nesse sentido (Fig. 5b). Ao final do experimento quase a totalidade das larvas são perdidas e uma pequena quantidade foi retida bem ao sul do domínio (Fig.5c).

A distribuição dos ovos/larvas com a Desova sul pode ser evidenciada na figura 6. Após 17 horas de simulação podemos observar que os ovos encontram-se ao sul da área de domínio, seguindo a direção das correntes (Fig. 6a). Com 67 horas de simulação, a distribuição foi parecida com a anterior, porém tinham dois grupos de larvas ao sul, um pouco mais próximo à costa e outro mais distante da costa (Fig. 6b). No final da simulação as larvas encontravam-se quase fora do domínio do modelo, ao sul da área (Fig.6c).

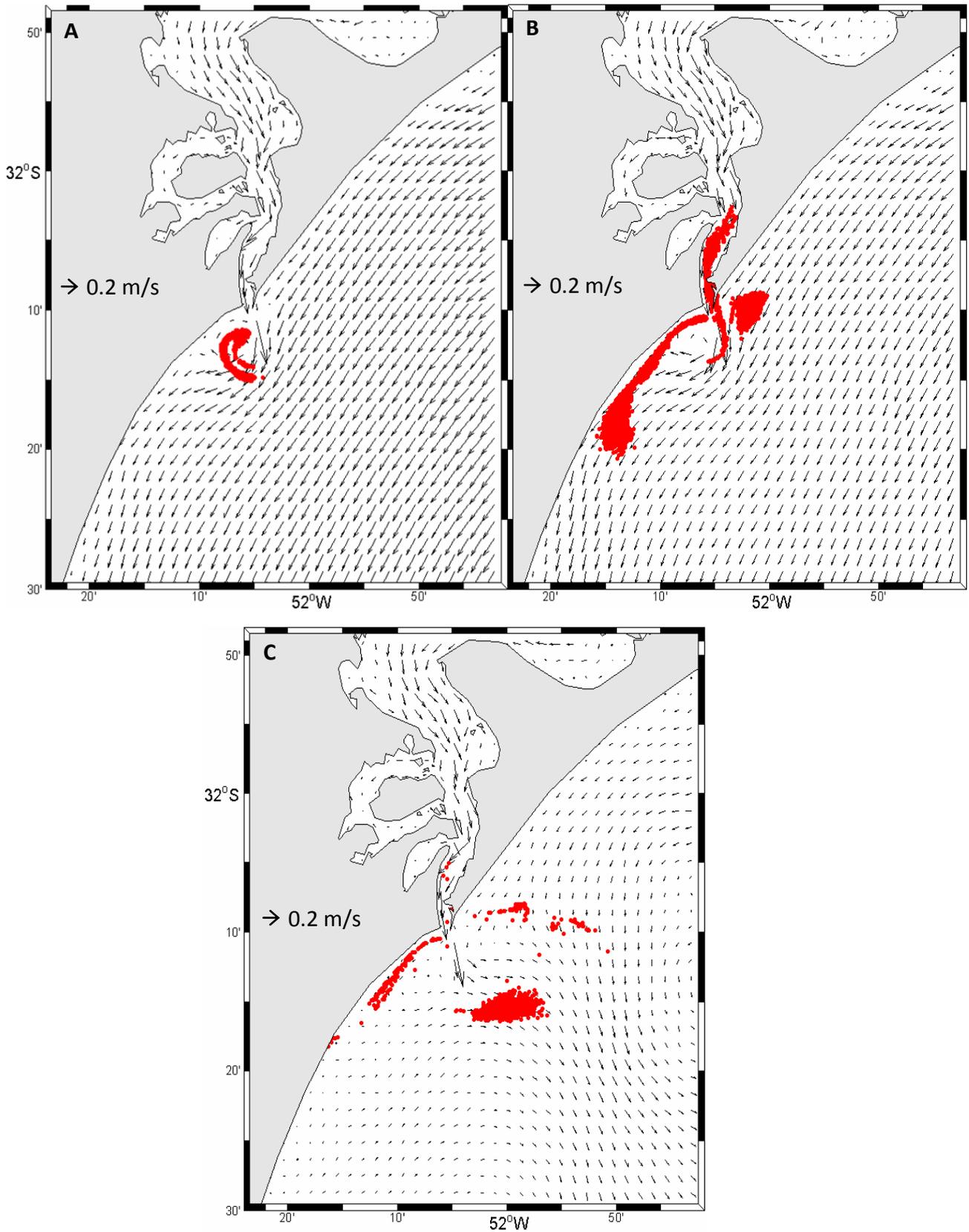


Figura 4: Distribuição dos ovos/larvas (em vermelho) nos passos de tempo (A)17 horas, (B)67 horas, (C)última hora (480 horas) em condições de descarga baixa ($1000\text{m}^3/\text{s}$) e com Desova estuário. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.

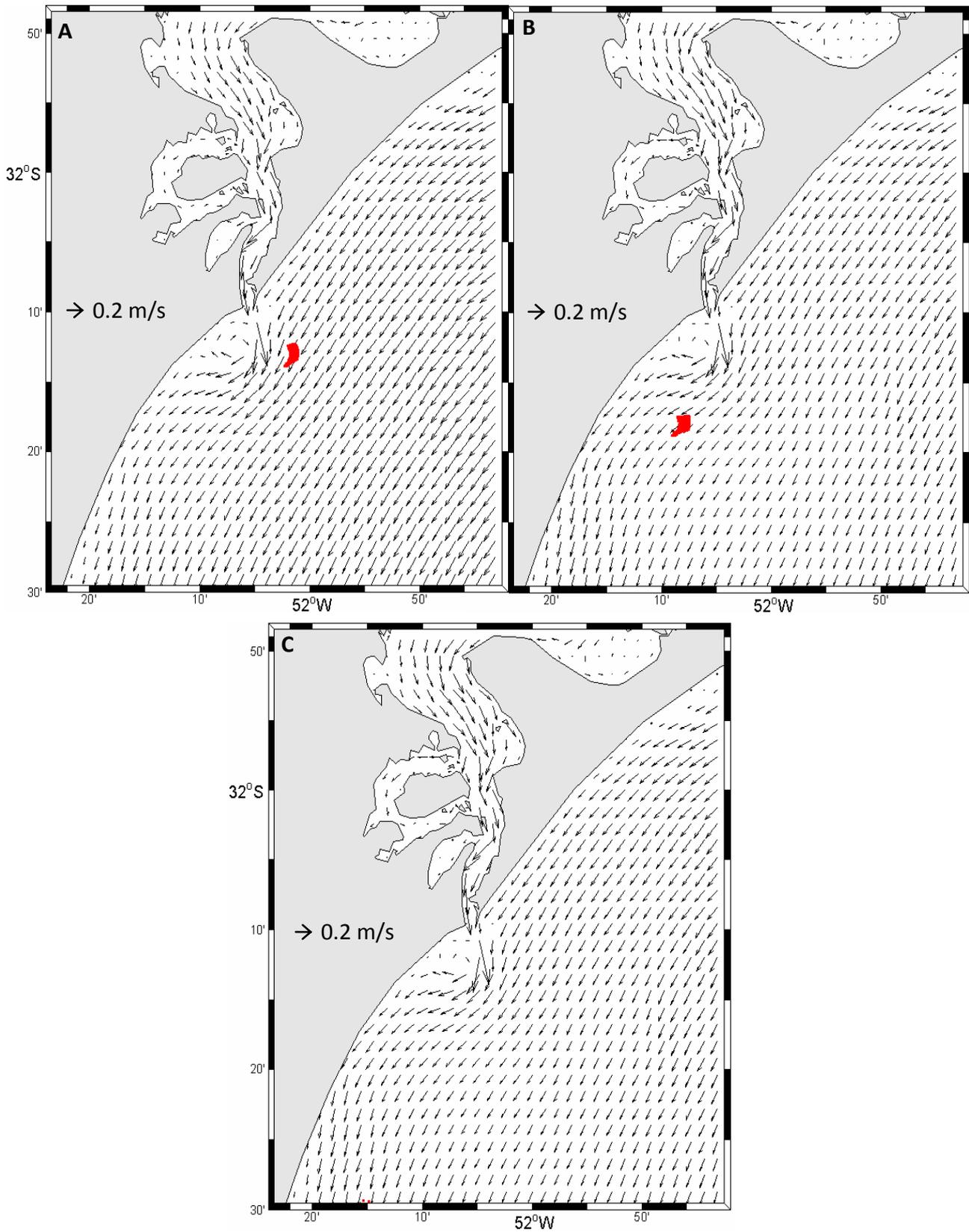


Figura 5: Distribuição dos ovos/ larvas (em vermelho) nos passos de tempo (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora (480 horas), em condições de descarga baixa ($1000\text{m}^3/\text{s}$) e com Desova norte. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.

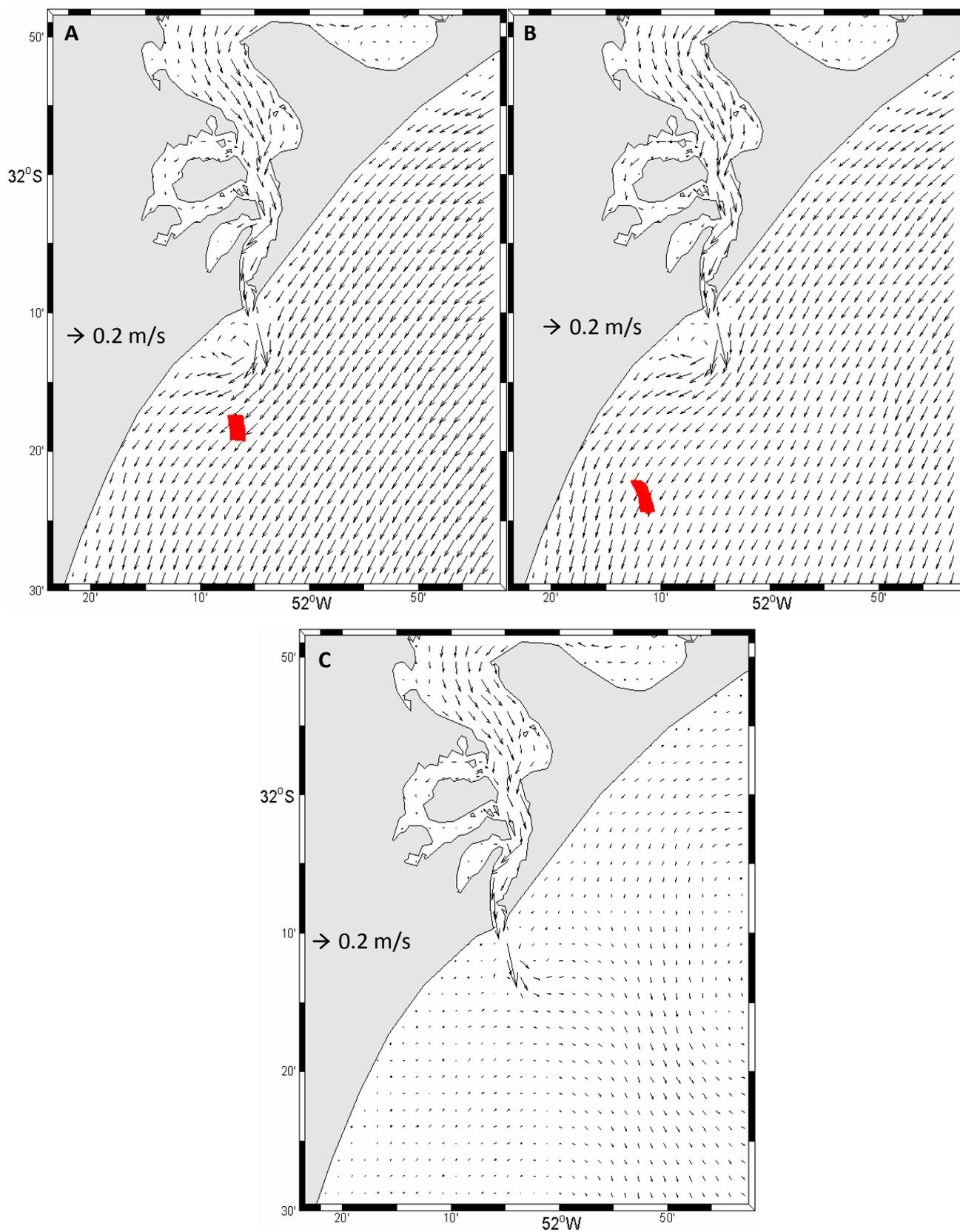


Figura 6: Distribuição dos ovos/larvas (em vermelho) nos passos de tempo (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora (480 horas), em condições de descarga baixa ($1000\text{m}^3/\text{s}$) e com Desova sul. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM

5.3. Distribuição das larvas e o campo de velocidades superficiais em regime de descarga moderada

Com a Desova estuário, podemos visualizar que nas primeiras 17 horas os ovos são deslocados em direção ao molhe oeste, formando um giro (Fig. 7a). Posteriormente, as larvas são transportadas em direção à boca do estuário, e com a incidência de vento sul adentram no estuário, sendo que algumas são dispersas mais para o sul, outras para o norte e região central do estuário (Fig. 7b). No final da simulação temos a presença de grupos de larvas, situados ao sul, ao norte, dentro do estuário e bem afastados da costa (Fig. 7c).

Na Fig. 8, temos a distribuição com a Desova norte, onde após 17 horas de simulação o padrão de circulação de correntes leva os ovos para o sul (Fig. 8a). Com 67 horas o fluxo ainda é predominante de sul, levando-as para áreas mais distantes da costa (Fig.8b). Ao final do experimento, poucas larvas são retidas e ficam distribuídas ao sul do domínio (Fig. 8c).

A distribuição das larvas com a Desova sul pode ser observada na Fig. 9. Após 17 horas de simulação os ovos são deslocados para o sul, não muito distantes do local de desova (Fig. 9a). Com 67 horas vemos as larvas ainda em direção ao sul, formando dois grupos: um bem próximo à costa e outro mais distante (Fig. 9b) E, ainda com a incidência constante dos ventos de quadrante norte, as mesmas continuam a serem transportadas para o sul e, conseqüentemente, para fora do domínio do modelo (Fig. 9c).

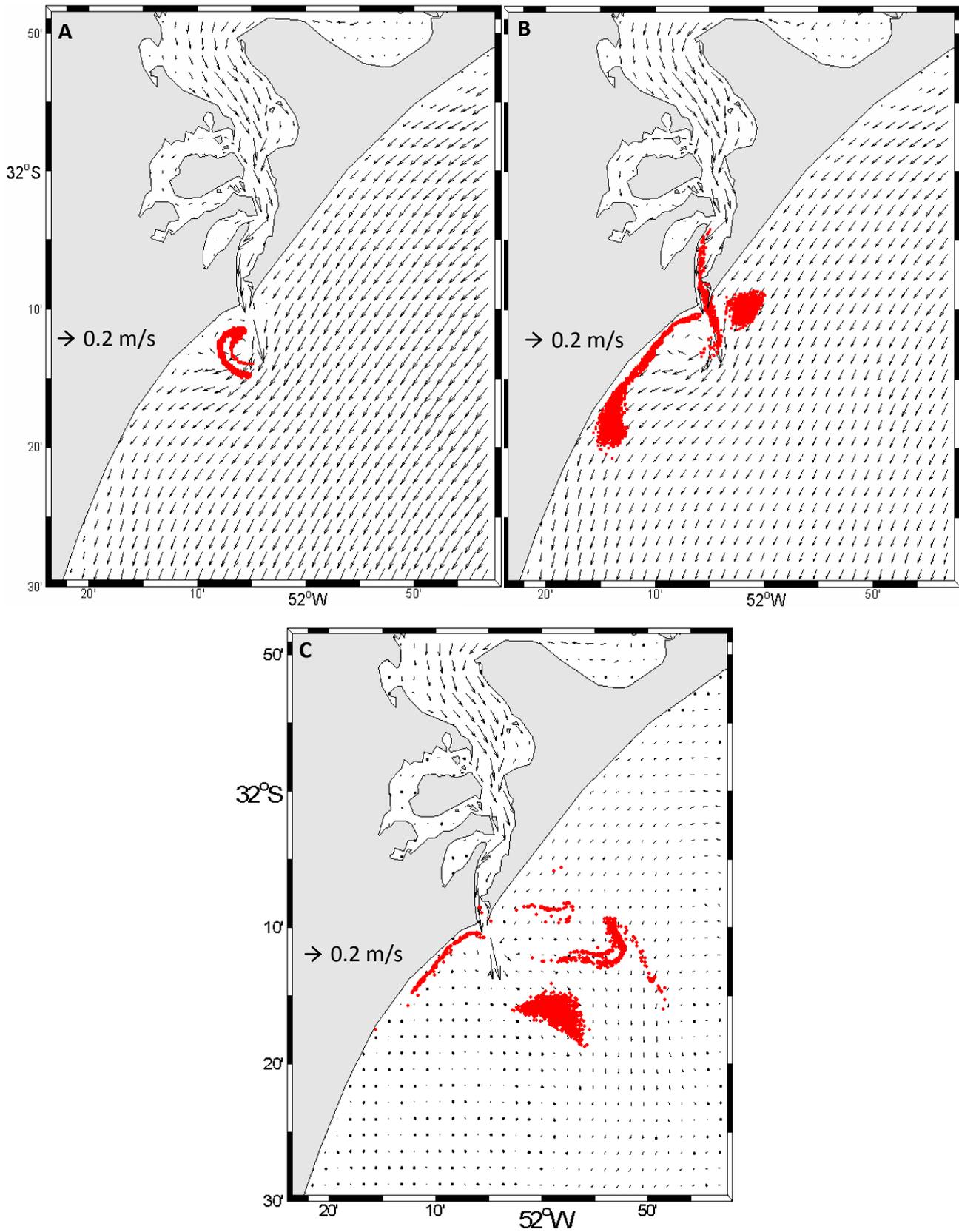


Figura 7: Distribuição das larvas nos passos de tempo (em vermelho) (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora (480 horas), em condições de descarga moderada ($3000\text{m}^3/\text{s}$) na Desova estuário. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.

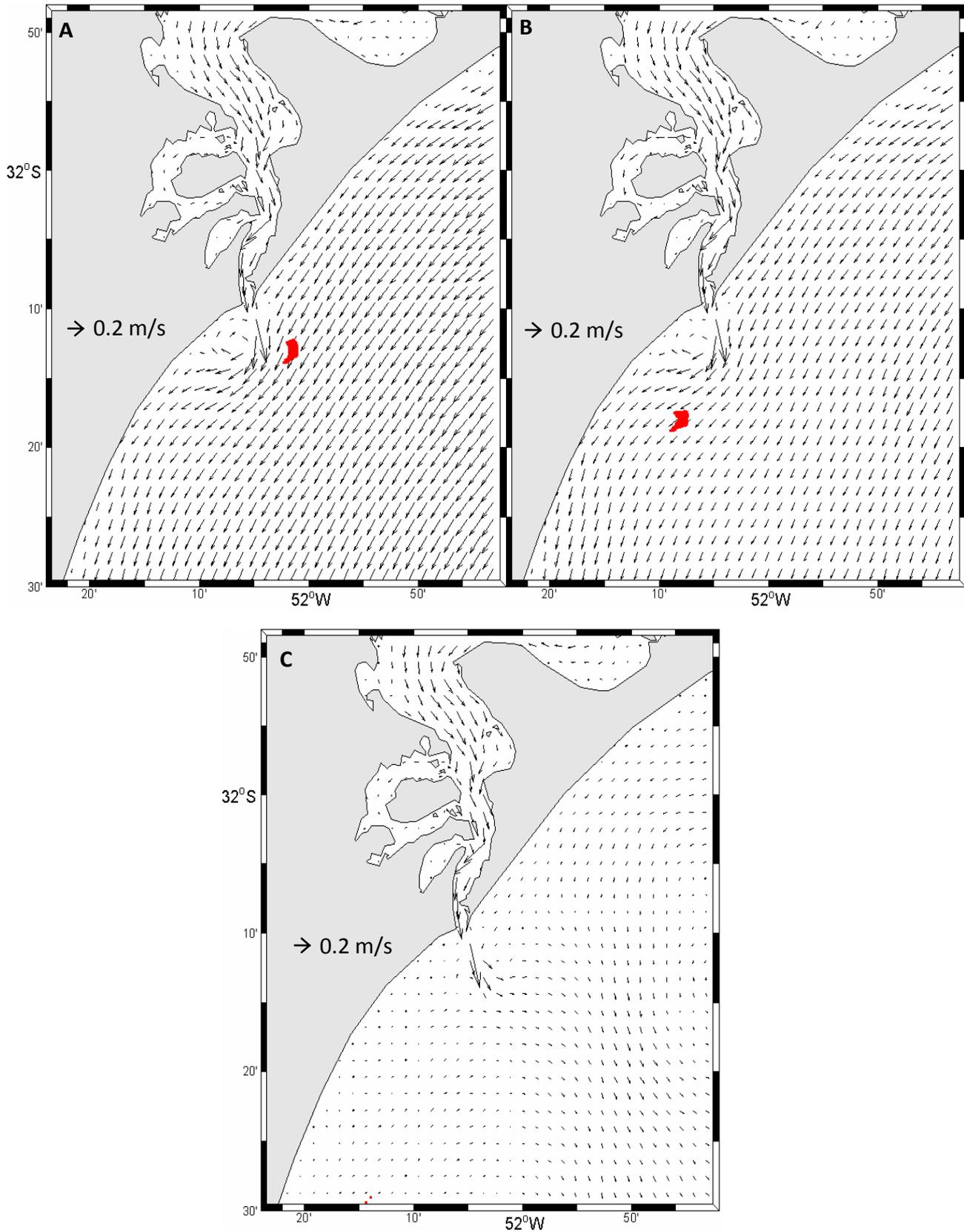


Figura 8: Distribuição das larvas nos passos de tempo (em vermelho) (A)17 horas, (B)67 horas, (C) última hora (480 horas), em condições de descarga moderada (3000m³/s) e com Desova norte. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.

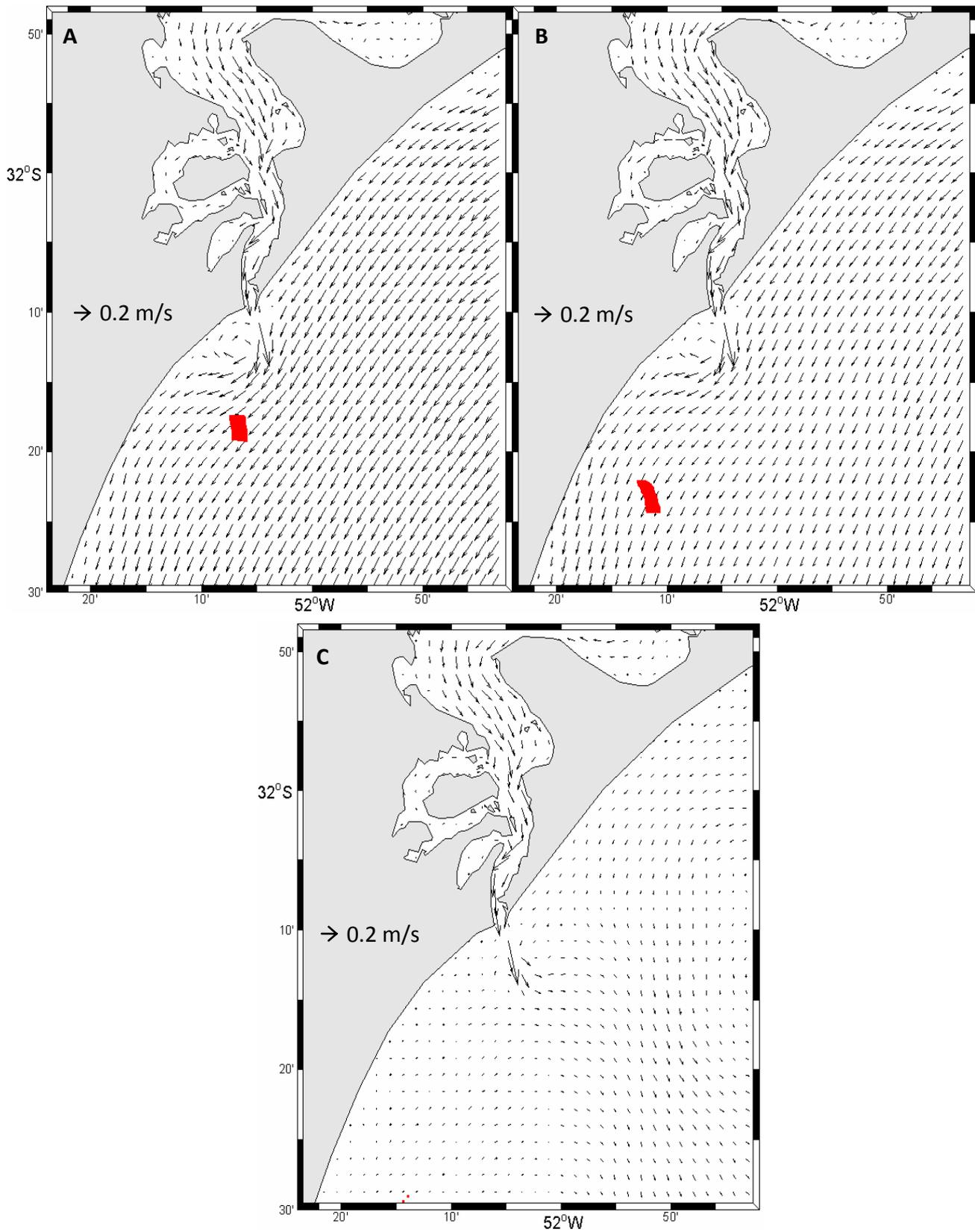


Figura 10: Distribuição das larvas nos passos de tempo (em vermelho) (A) 17 horas, (B) 67 horas, (C) última hora (480 horas), em condições de descarga moderada (3000m³/s) e com Desova sul. As setas em preto significam a intensidade das velocidades em m/s. Experimentos realizados com saídas do TELEMAC acopladas ao IBM.

5.4. Abundância por classe de tamanho

Tabela 2: Quantidade de indivíduos perdidos por classe de tamanho e área de desova no regime de descarga baixa (1000 m³/s)

Área de desova	Classes de tamanho			
	(0,8-1,8mm)	(1,8-4,0mm)	(4-7mm)	(7-12mm)
Desova estuário	2957	35164	9929	5136
Desova norte	-	36438	23483	77
Desova sul	-	60000	-	-

Tabela 3: Quantidade de indivíduos perdidos por classe de tamanho e área de desova no regime de descarga moderada (3000 m³/s)

Área de desova	Classes de tamanho			
	(0,8-1,8mm)	(1,8-4,0mm)	(4-7mm)	(7-12mm)
Desova estuário	2960	34913	8956	5221
Desova norte	-	30038	29980	80
Desova sul	-	59998	-	-

As figs. 10 e 11 mostram a quantidade de indivíduos perdidos com suas devidas porcentagens para cada classe de tamanho e área de desova.

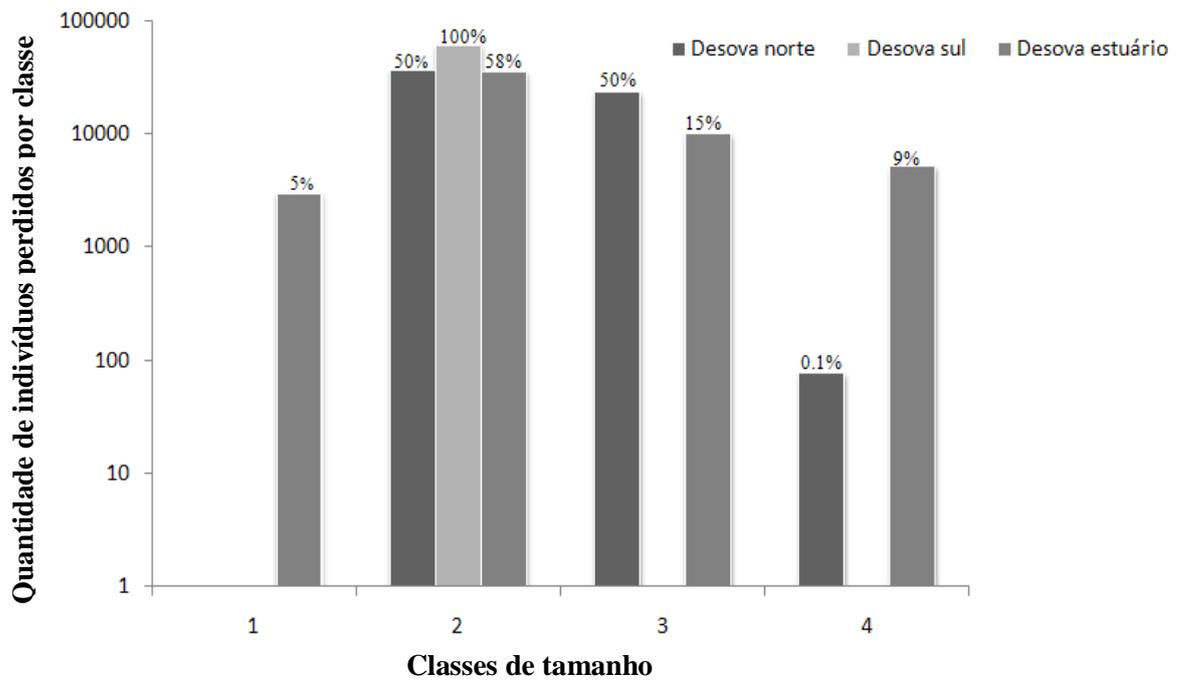


Figura 11: Quantidade de indivíduos perdidos em condições de descarga baixa a partir das 3 regiões de desova durante o período de janeiro de 1998

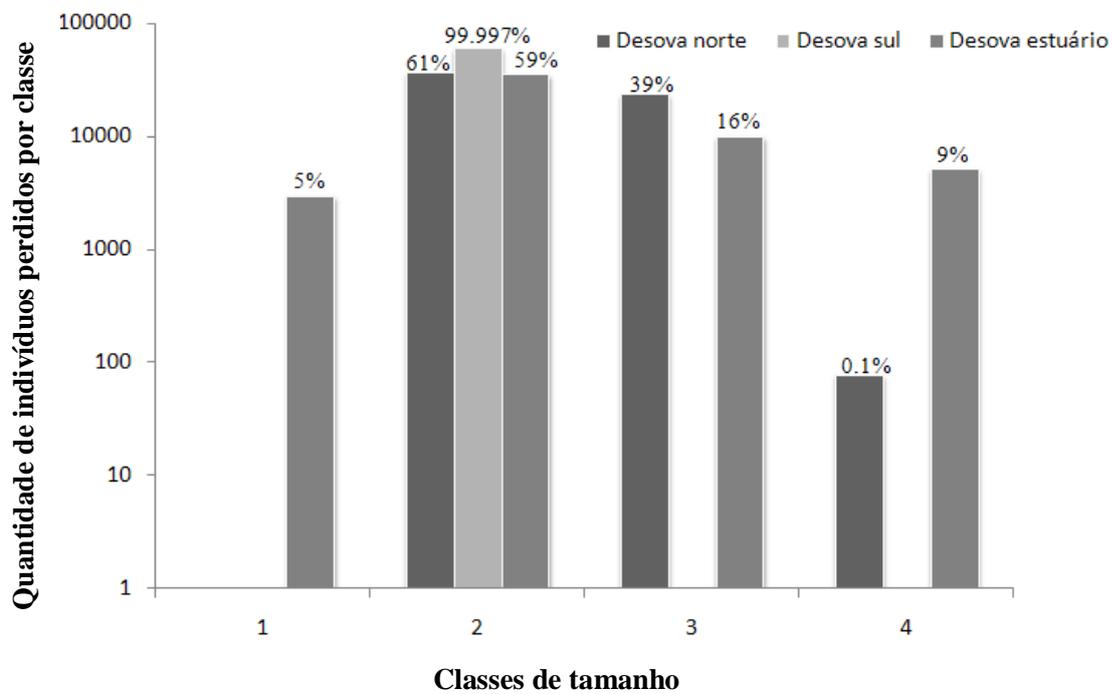


Figura 12: Quantidade de indivíduos perdidos em condições de descarga moderada a partir das 3 regiões de desova durante o período de janeiro de 1998

5.5. Recrutamento ao estuário da Lagoa dos Patos

A maior retenção larval ao final do experimento para a condição de descarga baixa ($1000 \text{ m}^3/\text{s}$) é na Desova estuário com 6814 larvas retidas, já na Desova norte são retidas apenas 2 larvas e na desova sul não há retenção (Fig.12).

Nas condições de descarga moderada (Fig.13), os maiores valores de larvas retidas são encontrados na Desova estuário onde tivemos 7950 larvas retidas, sete larvas são retidas na Desova sul e duas apenas na Desova norte, esta última com valor igual a condição de descarga baixa.

5.6. Tempo de duração para entrada e permanência de larvas no estuário

Tanto na condição de baixa descarga como na descarga moderada a área de Desova estuário possibilita que, em aproximadamente 48 horas, as larvas entrem no estuário (tabela 2).

O tempo de permanência das larvas no estuário é maior em condições de descarga baixa (149 horas) quando comparada com a descarga moderada (121 horas) (tabela 3).

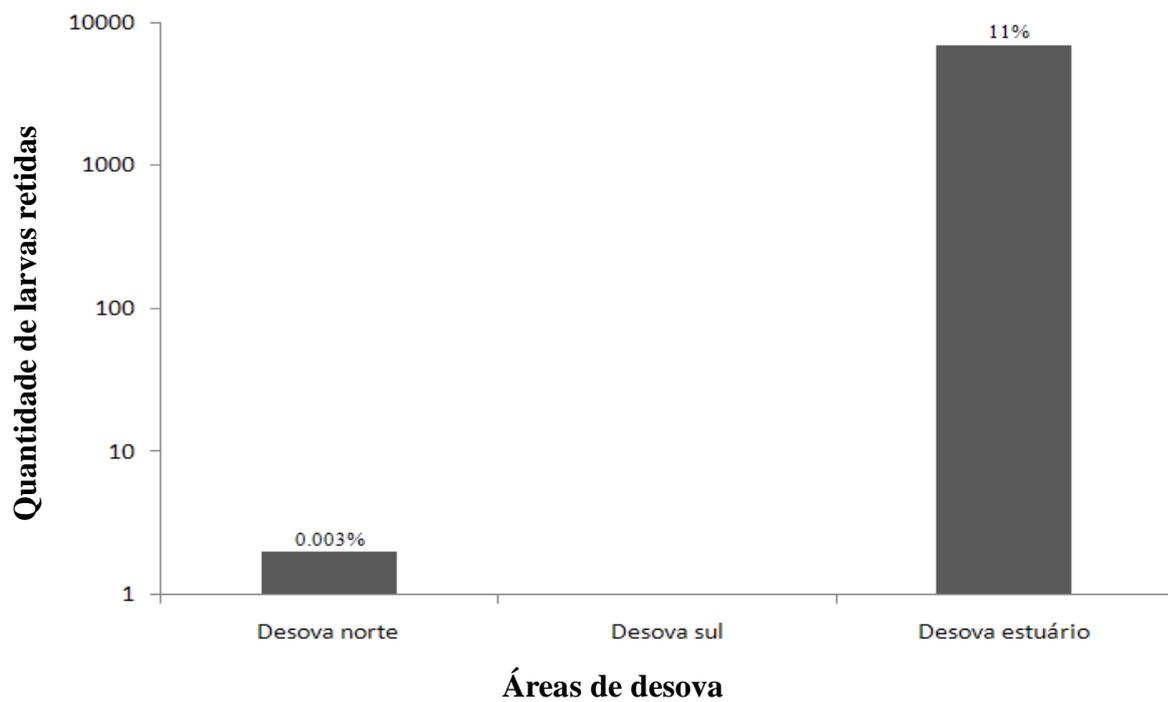


Figura 13: Quantidade de larvas retidas por área de desova sob condições de descarga baixa (1000 m³/s)

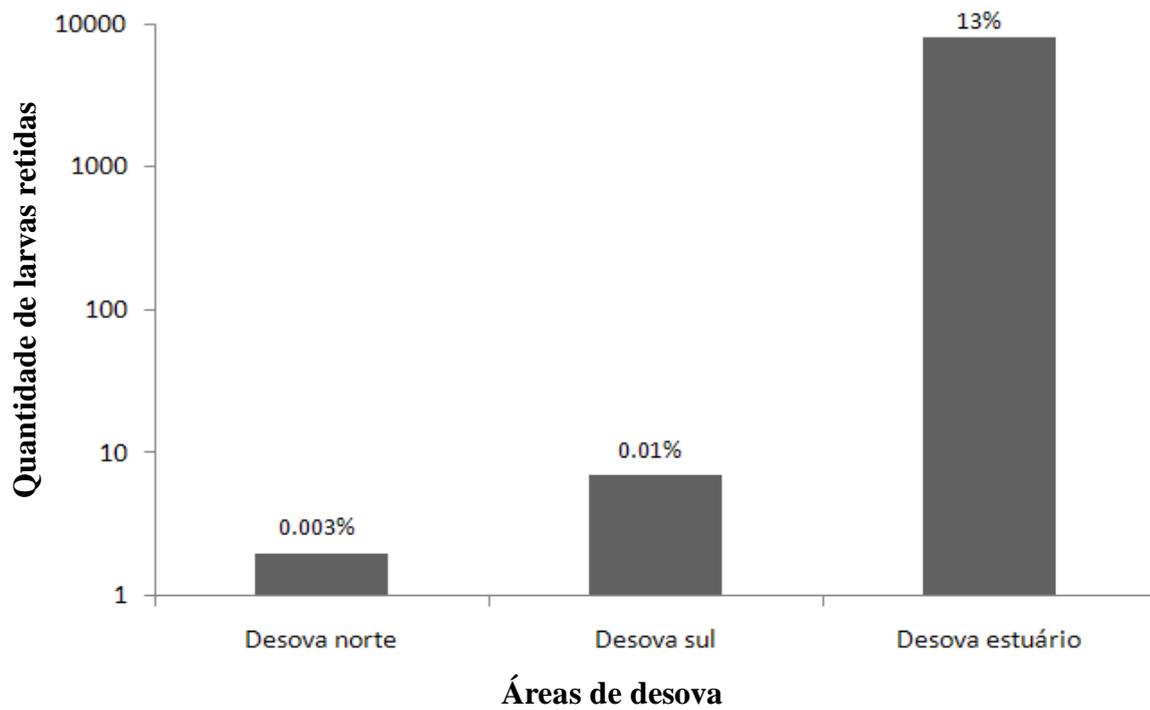


Figura 14: Quantidade de larvas retidas por área de desova sob condições de descarga moderada (3000 m³/s)

Tabela 4: Tempo de duração (em horas) para entrada das larvas no estuário da Lagoa dos Patos. ∞ representa que as larvas não entraram no estuário

	Condições de descarga	
Área de desova	Baixa	Moderada
Estuário	48	48
Norte	∞	∞
Sul	∞	∞

Tabela 5: Tempo de permanência (em horas) das larvas no estuário da Lagoa dos Patos

	Condições de descarga	
Área de desova	Baixa	Moderada
Estuário	149	121
Norte	0	0
Sul	0	0

5.7. Simulações com ventos predominantes na região Sul do Brasil

O padrão de vento para o período da simulação pode ser visualizado na Fig. 14.

5.7.1. Influência do padrão de ventos sob baixa descarga

Na figura 15, podemos visualizar a distribuição das larvas para as condições de Desova estuário e ventos de quadrante sul (15A) e de quadrante norte (15B). Com vento sul, as larvas entram no estuário e distribuem-se ao longo do canal e algumas chegam a ingressar no Saco do Arraial (Fig. 15A). Porém, com a situação de vento de quadrante norte, nota-se que as larvas não ingressam no estuário são afastadas da costa e deslocadas para o sul, devido à direção das correntes predominantes vindas do norte (Fig. 15B).

Na figura 16, observamos a distribuição de larvas de corvina com a Desova norte, Neste cenário e com a influência de vento de quadrante sul, as larvas aproximam-se da entrada do estuário, porém não adentram no mesmo e permanecem próximas ao molhe leste (Fig. 16A). Com a influência de vento norte, as larvas são levadas pelas correntes em direção ao sul, afastando-se da costa e da desembocadura do estuário. (Fig. 16B).

A distribuição das larvas na condição de Desova sul com vento de quadrante sul segue a tendência de permanecerem em frente ao estuário, porém mais distantes da costa (Fig.17A). Com ventos de quadrante norte, as larvas concentram-se mais ao sul do domínio e um pouco distante da costa (Fig. 17B).

A quantidade de larvas retidas ao final do experimento sob condições de descarga baixa e vento sul mostra que na Desova estuário são retidas 27466 larvas, na Desova norte 8227 e na Desova sul todos os organismos são retidos (Fig.18).

Com a incidência de vento norte e descarga baixa não há perda de indivíduos (Fig.19).

5.7.2. Influência do padrão de ventos sob moderada descarga

A distribuição dos organismos na Desova estuário sob influência do vento sul (Fig.20A) mostra que os mesmos são retidos próximos ao local de desova, independente das correntes, em direção ao sul e próximos à costa. Com o vento norte podemos observar que as larvas são deslocadas mais para o sul (Fig. 20B).

As larvas com a Desova norte e sob influência de vento sul permanecem em frente ao estuário, porém entram no mesmo (Fig. 21A). Sob a influência do vento de quadrante norte, as larvas são levadas mais para o sul do domínio, se afastando da costa (Fig.21B).

A distribuição das larvas com vento sul e Desova sul, é afastada da costa e as correntes predominantes induzem seu transporte para o sul (Fig.22A). Com o vento norte, as larvas migram para o sul fazendo com que as mesmas fiquem distantes da costa na direção da desembocadura do estuário (Fig. 22B).

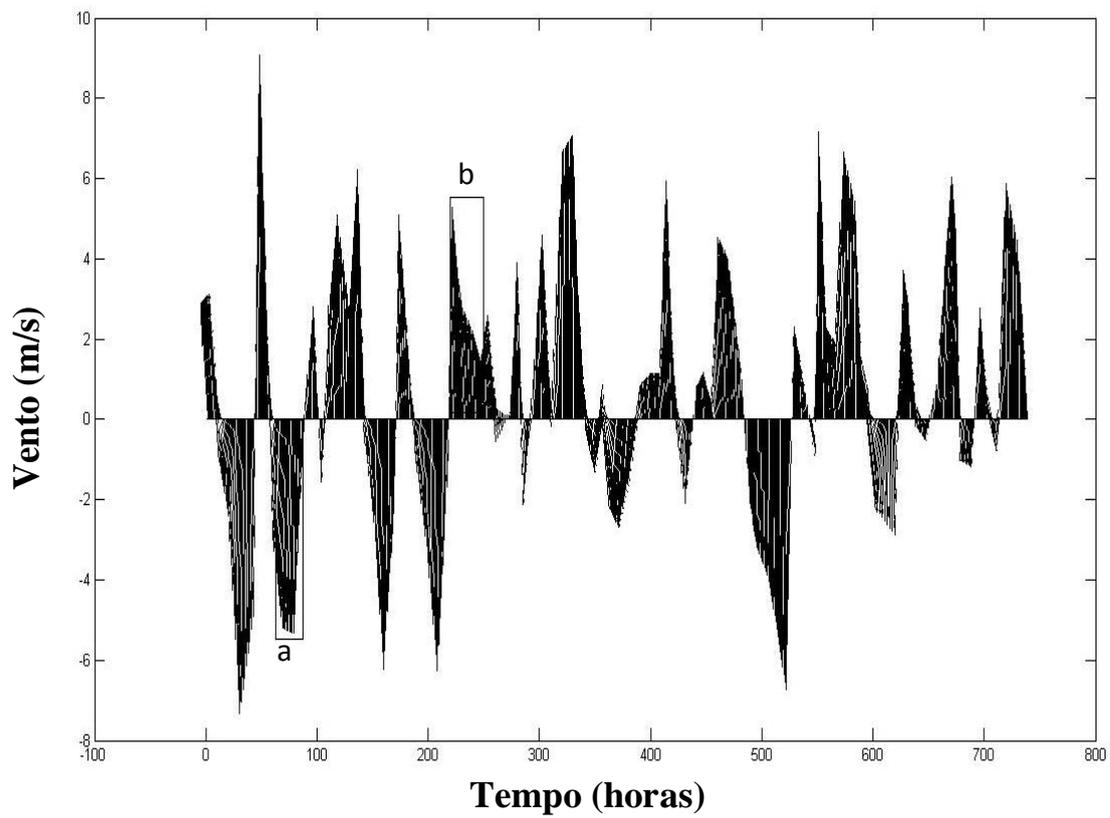


Figura 15: Vetores de vento para o período da simulação (janeiro de 1998). Os retângulos denotam os intervalos de tempo utilizados para a simulação no modelo biológico, para os ventos de quadrante norte (a) e sul (b)

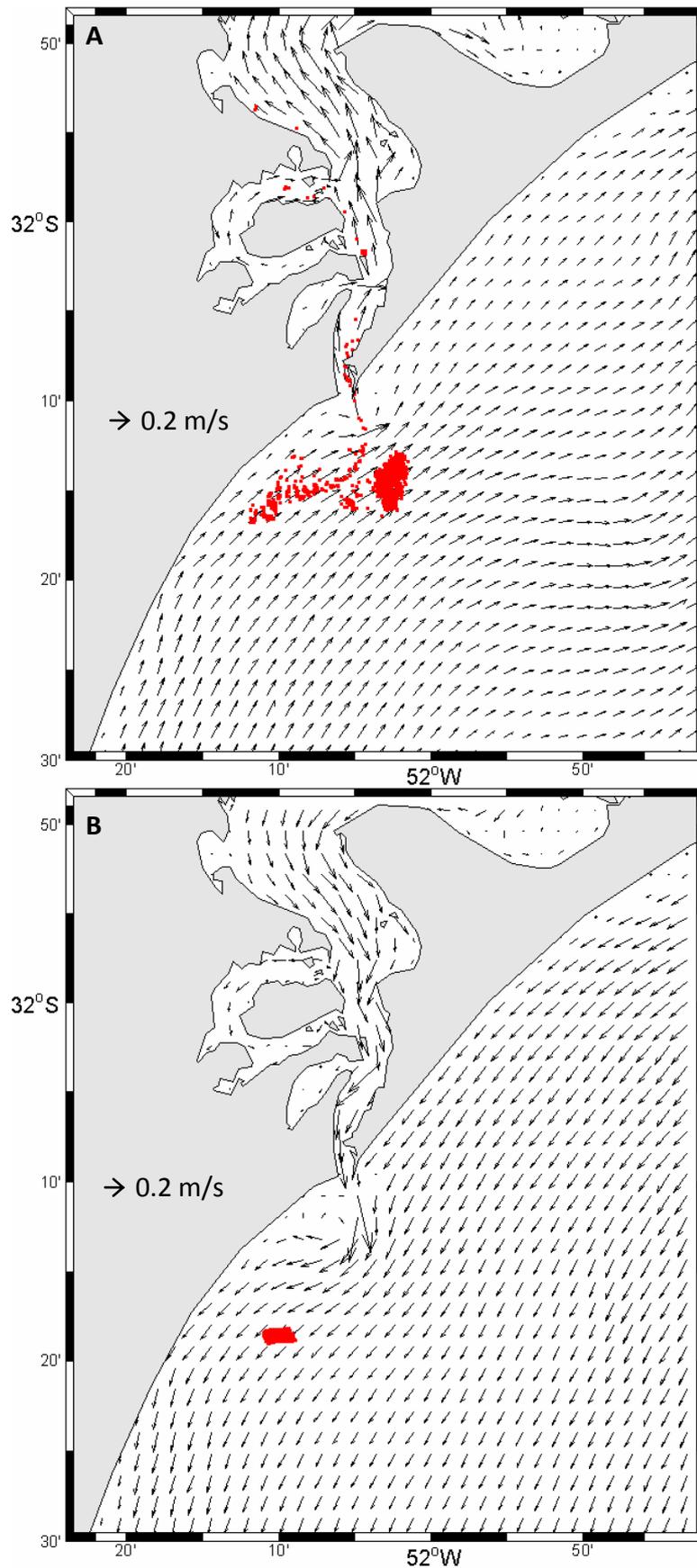


Figura 16: Distribuição das larvas de *Micropogonias furnieri* (em vermelho) sob condições de descarga baixa com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova estuário

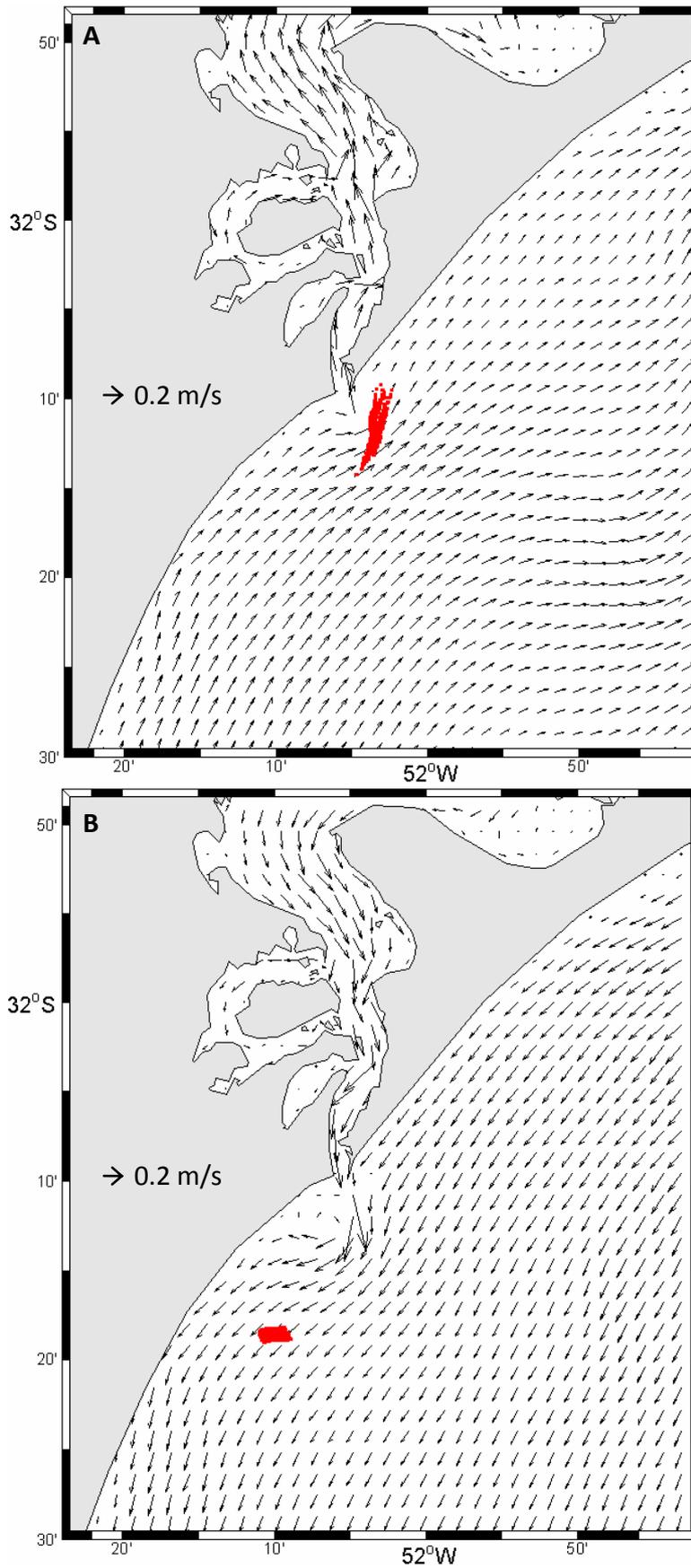


Figura 17: Distribuição das larvas de *Micropogonias furnieri* (em vermelho) sob condições de descarga baixa com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova norte

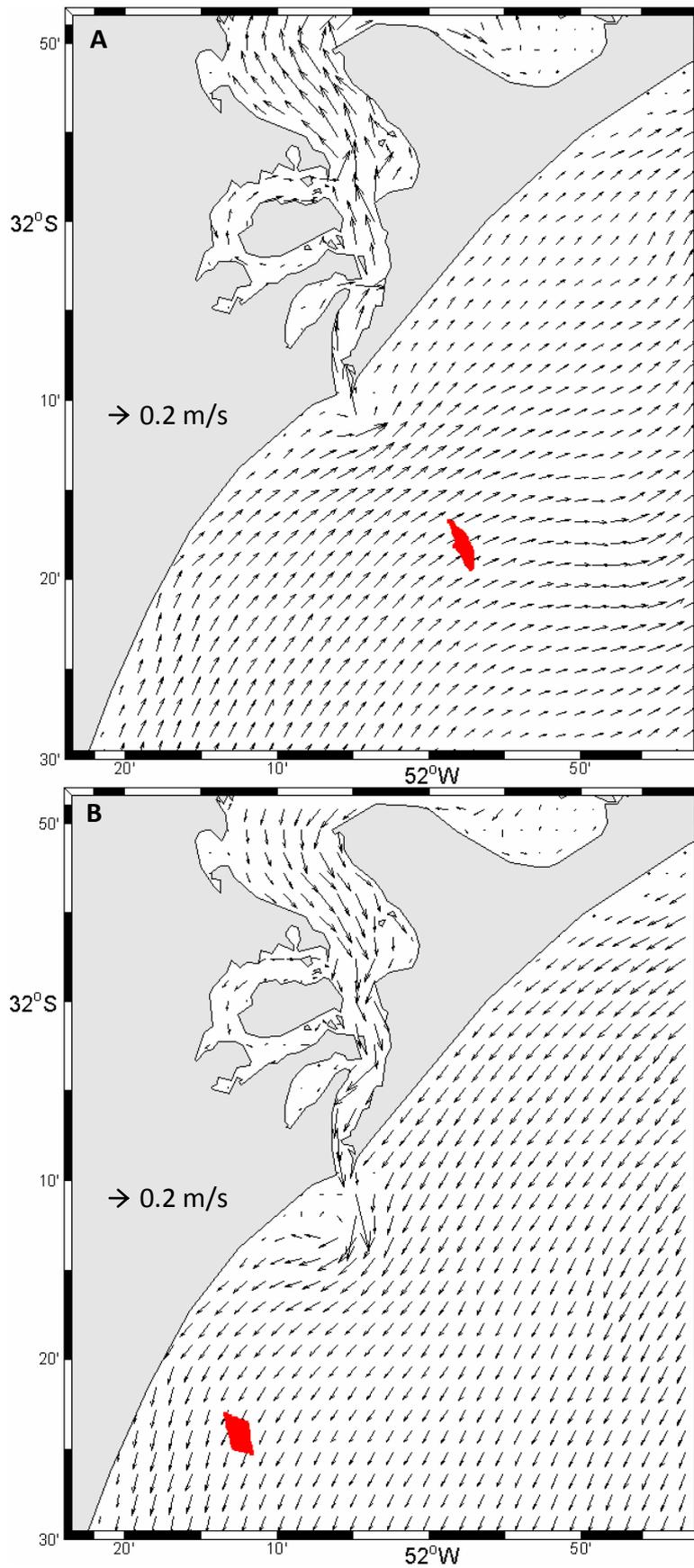


Figura 18: Distribuição das larvas de *Micropogonias furnieri* (em vermelho) sob condições de descarga baixa com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova sul

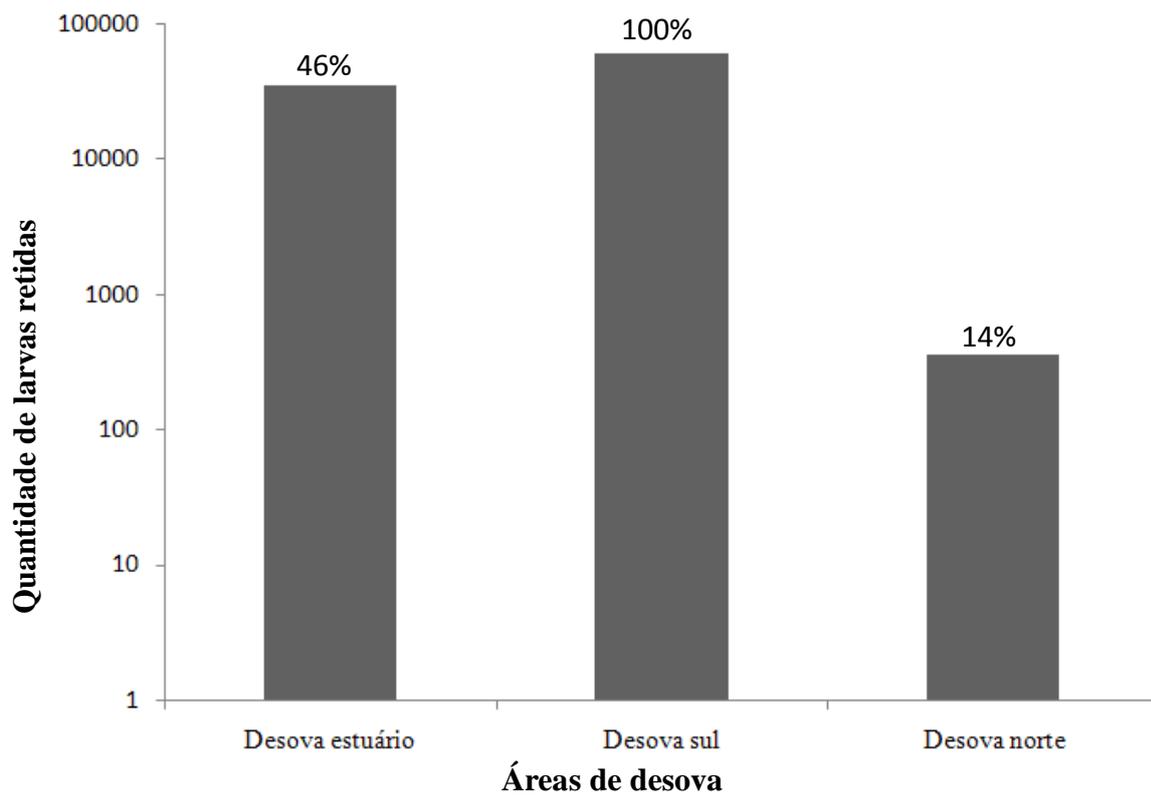


Figura 18: Quantidade de larvas retidas em condições de descarga baixa ($1000\text{m}^3/\text{s}$), com vento de quadrante sul

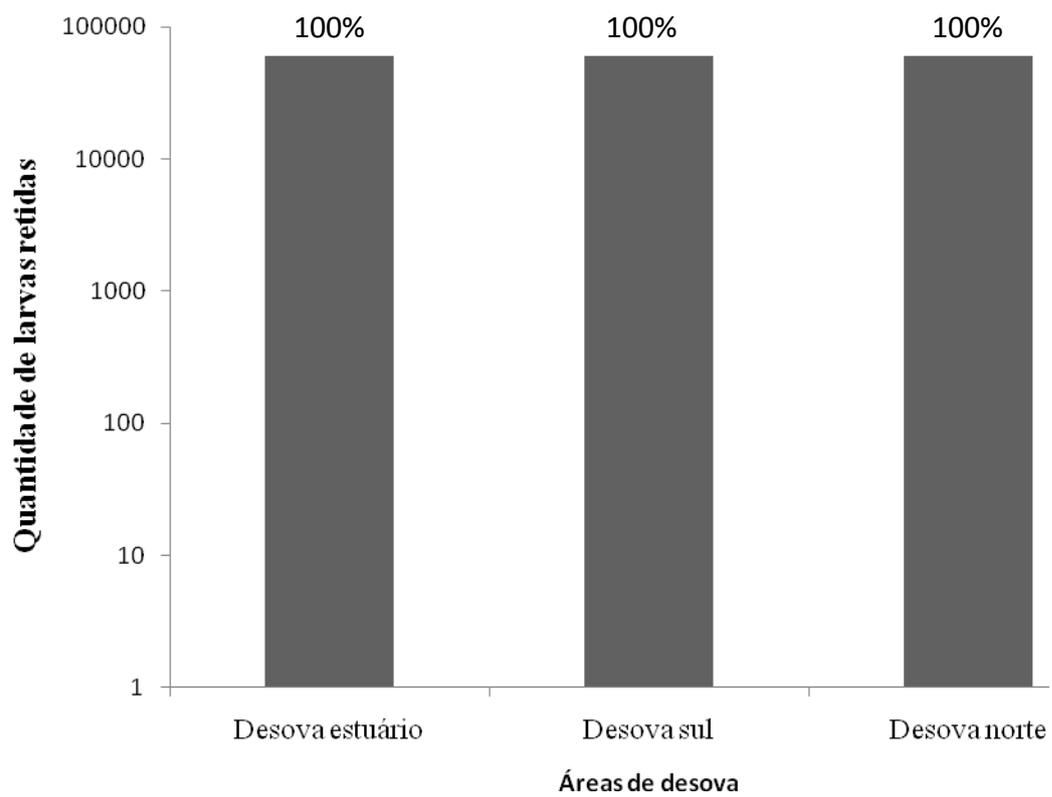


Figura 19: Quantidade de larvas retidas em condições de descarga baixa ($1000\text{m}^3/\text{s}$), com vento de quadrante norte

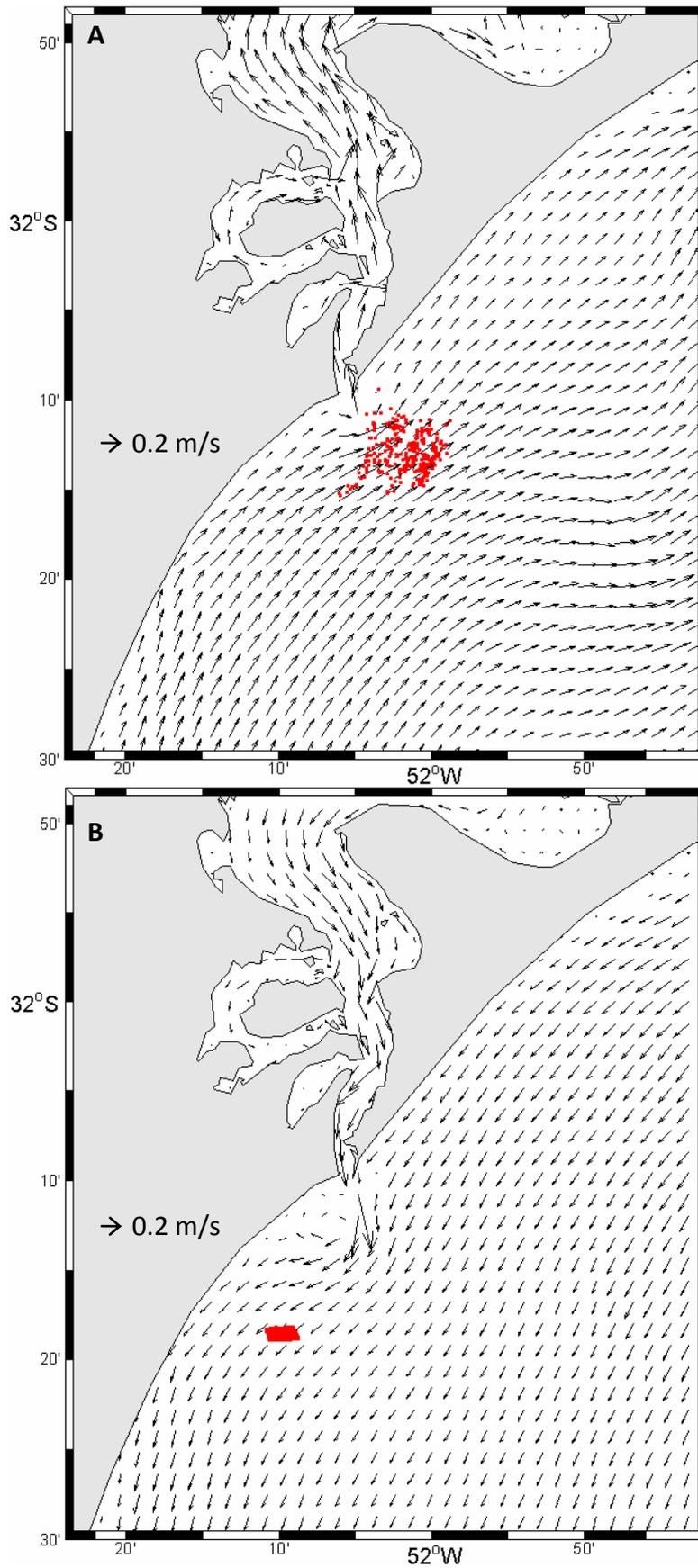


Figura 20: Distribuição das larvas de *Micropogonias furnieri* (em vermelho) sob condições de descarga moderada com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova estuário

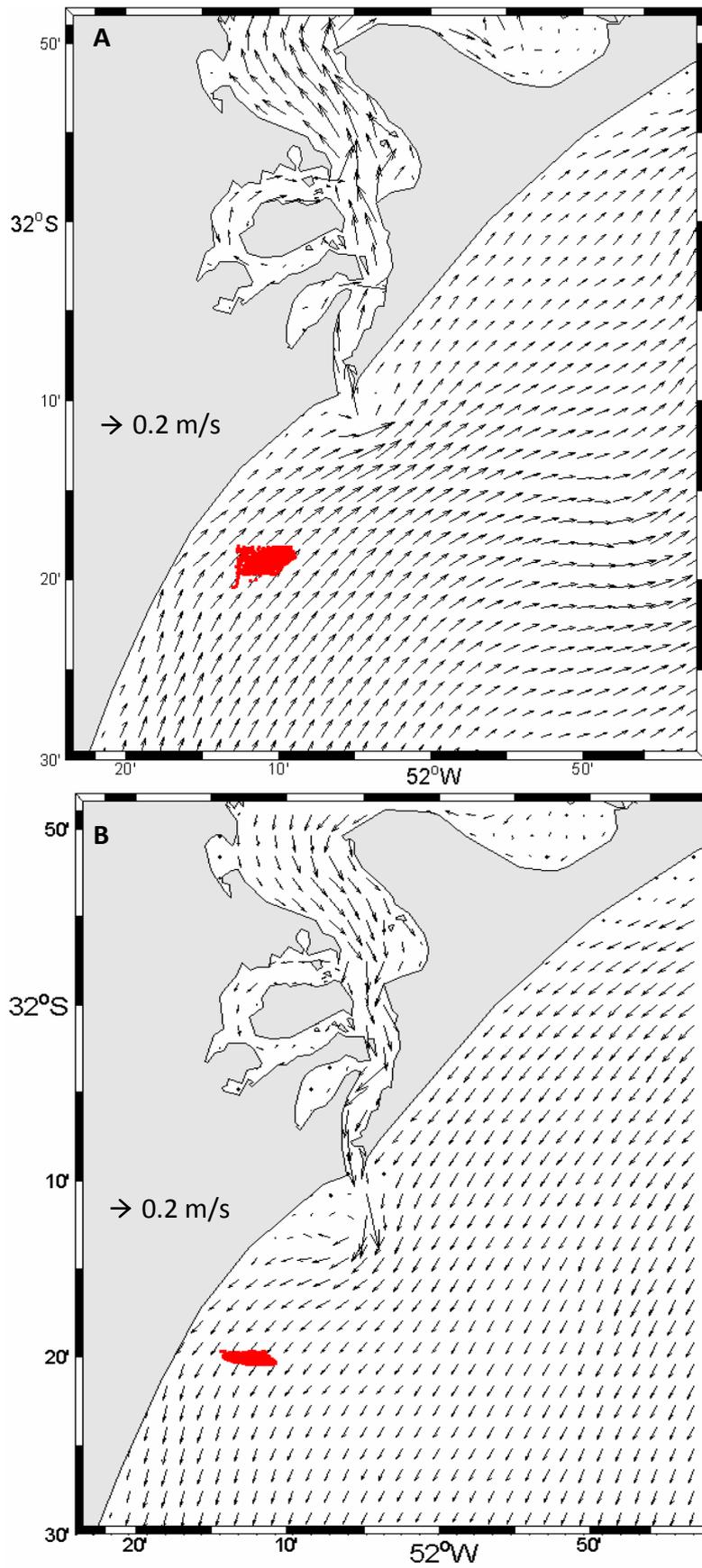


Figura 21: Distribuição das larvas de *Micropogonias furnieri* (em vermelho) sob condições de descarga moderada com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova norte

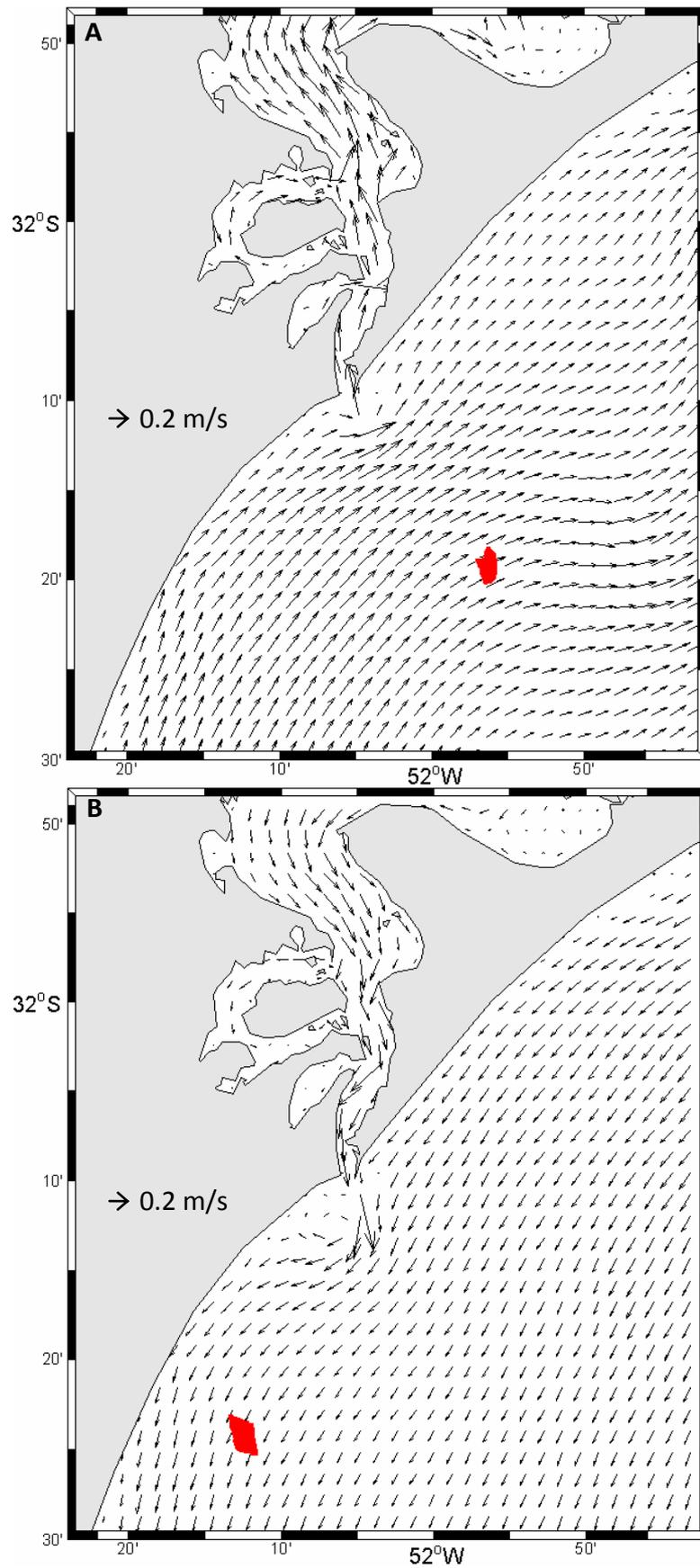


Figura 22: Distribuição das larvas de *Micropogonias furnieri* (em vermelho) sob condições de descarga moderada com incidência de vento sul (A), vento norte (B) para Desova sul

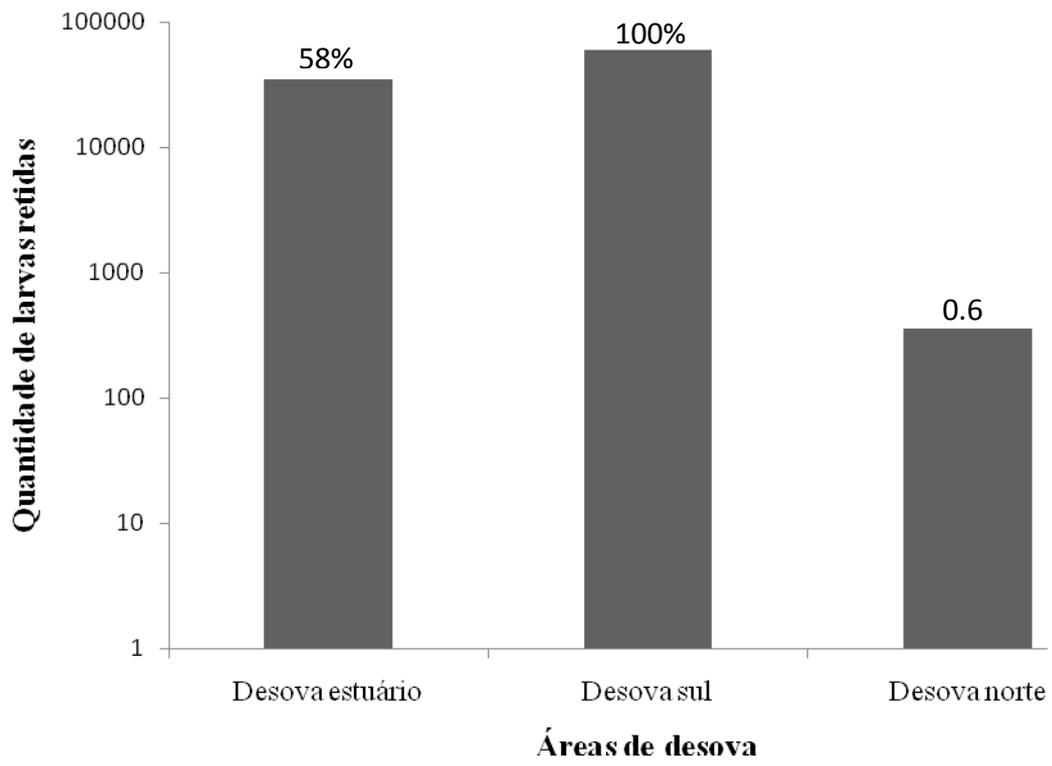


Figura 23: Quantidade de larvas retidas em condições de descarga moderada ($3000\text{m}^3/\text{s}$), com vento de quadrante sul

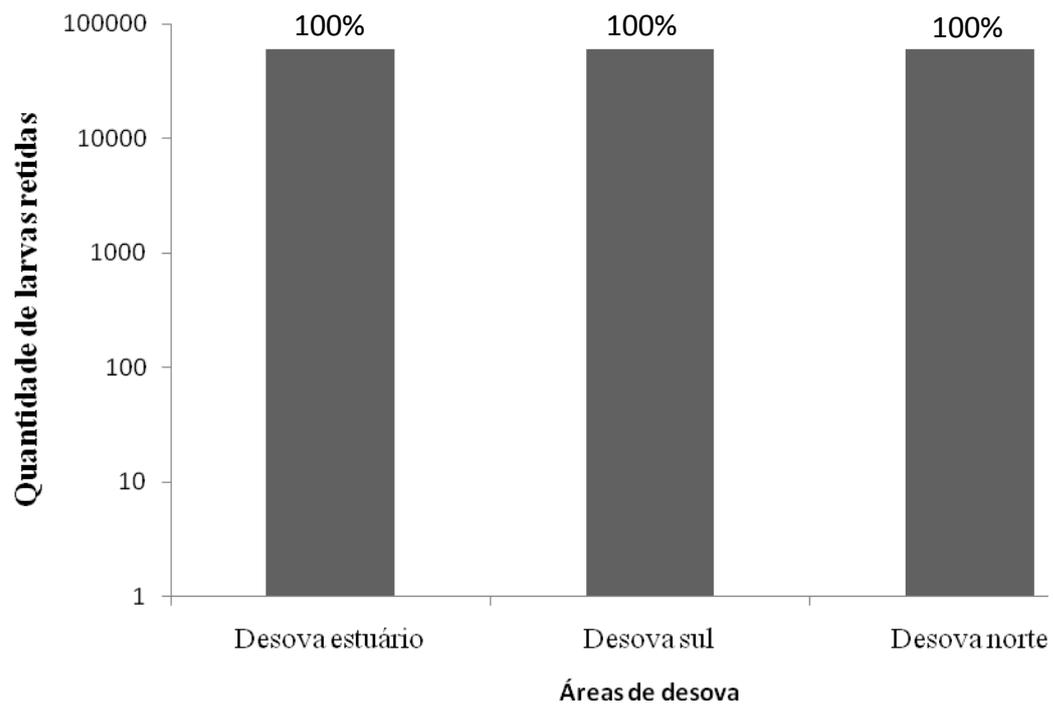


Figura 24: Quantidade de larvas retidas em condições de descarga moderada ($3000\text{m}^3/\text{s}$), com vento de quadrante norte

A quantidade de larvas retidas observada durante a descarga moderada e vento sul mostra que na Desova estuário foram retidos 35144 indivíduos, na Desova norte 356 e na Desova sul não houve perda (Fig.23). Com descarga moderada e vento norte não houve perda de indivíduos em nenhuma das áreas de desova (Fig.24). Só há entrada de indivíduos com Desova estuário e vento sul, levando 3 horas para entrar e permanecem 159 horas no mesmo (tabela 4 e 5). Com vento norte não entram larvas em nenhuma das áreas de desova.

Tabela 6: Tempo para a entrada de ovos/larvas (em horas) no estuário da lagoa dos Patos, em período de ventos de quadrante sul

Áreas de desova	Condições de descarga	
	Baixa	Moderada
Desova estuário	3	∞
Desova sul	∞	∞
Desova norte	∞	∞

Tabela 7: Tempo de permanência de ovos/ larvas (em horas) no estuário da lagoa dos Patos, em período de ventos de quadrante sul.

Áreas de desova	Condições de descarga	
	Baixa	Moderada
Desova estuário	158	0
Desova sul	0	0
Desova norte	0	0

6. DISCUSSÃO

6.1. Implementação do MBI

O presente trabalho consistiu na implementação de um Modelo Baseado no Indivíduo (MBI) para os estágios iniciais de *Micropogonias furnieri*. O MBI desenvolvido apresenta um sistema simples baseado no acoplamento do campo de velocidade do modelo hidrodinâmico (TELEMAC) com o modelo biológico. O MBI simula o transporte a partir de uma abordagem lagrangeana (método mais comumente utilizado nos modelos), e os ovos e larvas (partículas) são também regidas por parâmetros de seu ciclo de vida, como desova, eclosão e crescimento.

Vaz (2005) utilizou, pela primeira vez, um MBI no Brasil, com o objetivo de determinar áreas de maior ou menor retenção de *Engraulis anchoita* na Plataforma Continental do Atlântico Sudoeste. O estudo consistiu no acoplamento de dados hidrodinâmicos originados do Princeton Ocean Model (POM) ao modelo biológico. O trabalho atual representa a primeira utilização de um MBI para o estudo de recrutamento estuarino no Brasil, e utilizou a circulação originada a partir do TELEMAC-3D. Mesmo a circulação sendo em 3D, a implementação do MBI foi feita em 2D, simulando condições apenas para a camada superficial da coluna d'água.

Foram necessários dados bibliográficos a respeito do ciclo de vida da corvina e sua distribuição para que o MBI fosse satisfatoriamente implementado e pudesse traduzir, o comportamento da corvina no estuário da Lagoa dos Patos. Para isso foram inseridos parâmetros como: local de desova, concentração e tamanho dos ovos e larvas, para que fosse aplicável à área e espécie em questão. Este procedimento tem sido usual na pesquisa sobre recrutamento e retenção de larvas de peixes, como atestam os

trabalhos de Allain *et al.*, 2003, Huggett *et al.*, 2003, Mullon *et al.*, 2002 e Parada *et al.*, 2003.

6.2. Influência do local de desova

Através dos resultados das simulações foi estabelecido que o local de desova da corvina na desembocadura da Lagoa dos Patos é o mais favorável ao seu recrutamento, pois na Desova estuário foram encontradas as condições ideais para entrada de ovos no estuário da Lagoa dos Patos. Este evento está de acordo com o encontrado por Muelbert (1986), Weiss (1981), e Ibagy e Sinque, (1995) que relatam as maiores concentrações de ovos de Sciaenidae junto ao canal de acesso do estuário da Lagoa dos Patos. Sabe-se que a corvina desova em locais bem específicos, normalmente definidos por estruturas oceanográficas. No Rio da Prata, esta desova ocorre em uma faixa estreita delimitada pela frente subsuperficial de salinidade (Braverman *et al.*, 2009).

A Desova estuário favoreceu a entrada de larvas com maior frequência no estuário facilitando a retenção dos organismos na área estuarina (áreas de berçário) e no domínio do modelo. Com a Desova norte, os ovos/larvas ficaram afastados da costa e não ingressaram no estuário. O experimento realizado com a Desova sul mostrou que os organismos foram deslocados em direção a região oceânica, com bastante intensidade para o sul.

Os resultados do transporte dos ovos/larvas de corvina com relação ao campo de velocidades superficiais mostram que em condições de descarga baixa, os organismos tendem a manter-se mais próximos à costa durante toda a simulação. Estes resultados indicam que a influência da descarga é pequena para promover um afastamento maior dos mesmos com relação à costa. Consequentemente, com a Desova

estuário os ovos/larvas são mantidos no entorno da região favorável ao seu ingresso no estuário. Com o distanciamento da área de desova, os organismos são mantidos mais afastados dificultando seu recrutamento.

Apesar disso, o aporte fluvial tem influência no transporte e é claramente possível identificar uma zona de retenção mais ao sul da desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos. Esta retenção é devido à presença de um giro ciclônico (Figs. 4A, 7A) o qual favorece a retenção de ovos ou larvas nessa célula. Marques (2009) constatou em seu que ventos de quadrante norte condicionam o transporte em direção a sudeste, e conforme as linhas de corrente contornam os molhes do canal de acesso da Lagoa dos Patos formam uma célula de re-circulação ao sul do molhe oeste. Essas zonas de re-circulação geram velocidades verticais bem fortes e intensos fluxos de deposição na região do giro ciclônico, provocando a retenção de sedimentos. Essa mesma situação foi observada com relação às simulações de baixa e moderada descarga com a desova estuário, pois com a incidência de vento norte há uma retenção dos ovos/larvas ao sul do molhe oeste, com a presença de um giro ciclônico.

Bakun *et al.*, (1974) encontraram feição semelhante causada pelo aporte do Rio Columbia, o qual concomitantemente com os padrões de vento, levaram a formação de um giro anticiclônico adjacente a desembocadura. Esta feição oceanográfica mantém as características da pluma e causa a retenção de larvas de *Engraulis mordax*. A retenção observada nessa região se dá por alguns motivos: devido a velocidades muito baixas nas correntes superficiais (entre 0,08 e 0,1 m/s); e a interação do transporte de Ekman direcionado para a costa juntamente ao efeito da descarga. As consequências deste meandramento para a retenção e o recrutamento de organismos planctônicos ao estuário da Lagoa dos Patos deverá ser explorado com mais detalhes em trabalhos futuros.

6.3. Influência da vazão

A influência da descarga pode ser claramente evidenciada através do tempo de entrada e permanência dos organismos no estuário. Quando a descarga foi mais alta os organismos encontraram maior resistência para permanecer na área estuarina, pois o fluxo de vazante foi maior e o tempo de permanência menor. Essa forçante física e ecológica é muito importante em sistemas lagunares e estuarinos, a qual é usualmente a fonte dominante de entrada de material proveniente da bacia de drenagem (Kjerfe e Magill 1989).

Busoli (2001) relatou que o deságüe continental pode ocasionar um problema para as espécies estuarina dependentes, pois com o aumento do aporte fluvial diminui as chances de entrada passiva de ovos e larvas para o estuário da Lagoa dos Patos e conseqüentemente colocando em risco os estoques futuros. Um fator relevante com relação à descarga moderada é que a mesma tem a capacidade de empurrar as larvas para mais distante da costa, por terem velocidades de saída do estuário mais fortes do que nas condições de descarga baixa. De tal forma que provocam uma maior dispersão larval.

Möller *et al.* (2009) constataram que vazões maiores que 2000 m³/s, geram um fluxo forte em direção ao mar capaz de bloquear a entrada de larvas de camarão (*Farfantepenaeus paulensis*) e cunha salina no estuário da Lagoa dos Patos. E ainda que, o sucesso de entrada de larvas irá depender da combinação favorável de fluxo do rio e condições de vento. Govoni (1993) encontrou que larvas de peixes na pluma do Rio Mississippi podem ser transportadas para a plataforma por mistura advectiva.

Os resultados referentes ao transporte dos ovos/larvas com a Desova norte e Desova sul mostraram padrões semelhantes com os de descarga baixa. Isso se deve ao fato que estes locais de desova fazem com que os indivíduos ao serem mantidos afastados da costa, conseqüentemente, não sofram influência da descarga (único fator que diferencia os campos de velocidade de descarga baixa e moderada), sendo assim não apresentam diferenças significativas com relação ao transporte quando comparado às condições de descarga baixa.

Os resultados quanto à perda dos ovos/larvas apontaram que em condições de baixa descarga a classe 2 (1,8 a 4,0 mm) concentrou o maior número de indivíduos perdidos. Todos os indivíduos da Desova sul foram perdidos durante essa classe, isso ocorreu porque o deslocamento dos organismos em direção ao sul foi mais efetivo, fazendo com que os mesmos saíssem do domínio do modelo ao sul, sendo, dessa maneira contabilizados como perdidos.

Com a Desova estuário, ocorre uma menor perda comparada com as outras duas desovas nessa mesma classe. Este resultado indica que as larvas adentraram no estuário, e permaneceram em regiões dentro do domínio e com condições favoráveis à sua retenção.

Nas condições de descarga baixa e moderada com a Desova estuário, observam-se altos valores de retenção. Isto demonstra uma condição favorável ao recrutamento e retenção, devido ao ingresso de organismos no estuário e um longo tempo de permanência dos mesmos.

O fator preponderante para que houvesse menor sobrevivência nas áreas de Desova norte e sul foi que as velocidades propiciaram a advecção das larvas para o sul retirando-as do domínio do modelo e contabilizadas como perdidas. Já na desova estuário devido sua maior proximidade da costa, a entrada de larvas foi possibilitada

devido ao giro ciclônico, ressaltado anteriormente, promovido pelas correntes que favorecem a retenção das larvas no mesmo impedindo-as que sejam dispersas.

Nas condições de descarga moderada ($3000 \text{ m}^3/\text{s}$) podemos observar que o padrão é semelhante ao anterior, isso se deve ao fato de que circulação para as simulações de baixa e moderada descarga é semelhante. Sendo assim, diferenças com relação à distribuição dos ovos/larvas sob influência da descarga, resultam em um transporte para mais próximo ou distante da costa. Com a Desova estuário as larvas ingressaram no estuário, aumentando sua probabilidade de retenção e, por conseguinte seu recrutamento. Dessa forma, o sucesso no transporte do ictioplâncton para áreas ideais de crescimento possui um papel crucial na disponibilidade de futuros juvenis e posterior recrutamento para a população adulta (Okubo, 1994), como ocorre com *Micropogonias furnieri* e outras espécies estuarina dependentes, as quais precisam ingressar no estuário para que haja sucesso no recrutamento (Ibáñez e Sinque, 1995).

Dependendo das condições de transporte induzidas pela descarga podemos observar um comportamento diferenciado com relação ao ingresso dos organismos, visto que percebemos um tempo de permanência maior dos mesmos no estuário em condições de descarga baixa do que com descarga moderada, isso reforça o papel da vazão como um fator preponderante para a entrada de ovos/larvas no estuário.

As condições de alta descarga podem ser de alta relevância para espécies que usam a plataforma para se desenvolver ou desovar. As larvas de *Cancer irroratus* dependem da pluma flutuante com fluxo em direção ao mar para que eles retornem para águas da plataforma. Sua desova e dispersão ocorrem na primavera quando há o máximo de entrada de água doce em Chesapeake Bay resultando numa descarga máxima das águas da pluma dentro da plataforma (Roman e Boicourt, 1999).

6.4. Influência do vento no recrutamento larval

Quando consideramos o padrão de vento de quadrante sul podemos perceber que a Desova estuário é a única que favorece a entrada dos ovos/larvas no estuário, pois o padrão de circulação não permite que a partir de outras áreas de desova haja esse ingresso.

Estudos anteriores para a região comprovam que o mecanismo que combina a ação do efeito do vento local e não-local é um importante fator que força as trocas entre a laguna e o continente (Möller *et al.*, 1996; Fernandes *et al.*, 2002; 2004). Com a influência do vento sul, o transporte de Ekman é voltado para a costa, de maneira que favorece a permanência dos ovos e larvas sempre na região costeira. Por esse motivo, a corvina, a qual possui sua desova na desembocadura do estuário da Lagoa dos Patos é favorecida pela incidência desse padrão de ventos, para sua entrada na área estuarina. Vaz (2005) observou que o transporte de Ekman também influenciou o deslocamento de anchoíta para a costa, com a influência de ventos vindo do sul.

Os resultados do vento sul mostram sua influência sobre o transporte das larvas com a Desova estuário, pois propicia um maior ingresso e permanência das larvas no estuário. Esta influência chega a propiciar o ingresso das larvas nas regiões de baixio, como o Saco do Arraial, consideradas zonas de berçário para organismos estuarinos dependentes (Sinque e Muelbert, 1997; Vieira e Castello, 1997). Roman e Boicourt (1999) concluíram que a circulação induzida pelo vento sobre a plataforma de Chesapeake Bay foi um importante mecanismo para a dispersão e recrutamento das larvas de caranguejo.

Martins *et al.* (2007) perceberam que o transporte advectivo dos ovos no canal principal em direção ao interior do estuário da Lagoa dos Patos é diretamente relacionado com a intensidade e direção dos ventos. A intensidade, direção e duração do

vento é um importante fator no transporte de larvas de caranguejo azul na Baía de Delaware Epifanio, (1995). Jones e Epifanio, (1995) constataram que o recrutamento larvas de caranguejo para dentro do estuário ocorre quando há a influência do transporte de Ekman associado com fortes ventos em direção ao sul.

Vale ressaltar que apesar do transporte de Ekman ser um fator primordial para o deslocamento das larvas para as zonas de retenção na ocorrência de vento sul, isto talvez não seja tão evidente nos resultados, devido às condições de construção para o modelo. O modelo considera que todas as larvas que chegam à terra são contabilizadas como perdidas. Sendo assim com o transporte em direção a terra somente as larvas que ingressam no estuário são visualizadas, as demais são perdidas. Dessa maneira, é criado um falso resultado de perda de larvas sob condições de vento sul. O mesmo problema foi evidenciado por Vaz, (2005).

Por outro lado, nas simulações das desovas com vento norte não há perda evidente de larvas, isso acontece porque as larvas não chegam à costa e não são contabilizadas pelo modelo como perdidas. Nesse cenário as larvas tendem a ficarem dispersas na plataforma, e como esta faz parte do domínio as larvas não são consideradas como perdidas.

Com a descarga moderada e vento sul não houve entrada de larvas a partir de nenhuma das áreas de desova. Esse resultado mostra o quanto a descarga pode influenciar no transporte das larvas estuário adentro. Möller *et al.* (2009) relatam que vazões superiores a $2000 \text{ m}^3/\text{s}$, geram um fluxo forte em direção ao mar capaz de bloquear a entrada de larvas de camarão (*Farfantepenaeus paulensis*) e cunha salina no estuário da Lagoa dos Patos. Na simulação foi utilizada uma vazão de $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, que além de impedir o ingresso, provavelmente favoreceu a advecção dos organismos para zonas mais distantes da costa.

Considerando os resultados com relação aos ventos de quadrante norte, podemos observar que o mesmo, favorece a dispersão das larvas para a plataforma, pois o transporte de Ekman está voltado para o oceano (fora da costa), não permitindo a entrada dos organismos no estuário. Esse padrão também foi observado pelo trabalho de Martins *et al.*, 2007, onde perceberam que os ovos de larvas não adentram no estuário em condições de vento NE. Pedersen *et al.*, (2006) constataram que a magnitude do transporte de Ekman está atrelada à velocidade do vento. Com a diminuição da velocidade média do vento há uma diminuição do transporte larval em direção ao oceano.

De uma maneira geral os organismos tendem a ser deslocados em direção ao sul, sob influência de ventos de norte. Sendo assim a probabilidade de perda larval na Desova sul é grande. Por estarem desovando mais ao sul do domínio, as larvas são carregadas para fora da região propícia para recrutamento. Assim, a Desova na área norte pode representar uma opção secundária de desova para a corvina, considerando que no período de desova há maior incidência de ventos do quadrante norte.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- O modelo biológico utilizado no presente trabalho pode ser considerado como um exercício que visa analisar o transporte dos ovos e larvas de *Micropogonias furnieri* no estuário da Lagoa dos Patos, podendo ser utilizado como uma ferramenta para determinação de estratégias de amostragem de campo.
- A condição ideal para a entrada de ovos/larvas de corvina no estuário da Laguna dos Patos é a de vento de quadrante sul e Desova estuário, a qual

propicia o ingresso dos mesmos no estuário e à entrada de algumas larvas nos sacos.

- O padrão de circulação para área de estudo mostrou que há grande influência do local de desova com relação ao sucesso do transporte realizado pelos organismos.
- O recrutamento e retenção de ovos e larvas de *Micropogonias furnieri* no estuário da Lagoa dos Patos é favorecida quando ocorre Desova estuário para as duas condições de descarga, sendo mais efetiva em descarga baixa.
- O MBI mostrou vantagens no presente estudo, porém algumas limitações podem ser destacadas:
 - ✓ Restrição quanto à disponibilidade de recurso computacional, os quais se adequem ao problema que se deseja investigar.
 - ✓ A validação do modelo com dados de campo para o período em que se está simulando
 - ✓ O modelo a ser simulado não considerou a coluna d'água somente a camada superficial, dessa forma não pôde-se ter resultados à respeito da influência da cunha salina no transporte e ingresso dos ovos e larvas de *Micropogonias furnieri* no estuário da Lagoa dos Patos.
 - ✓ Devido às condições de contorno do modelo não foi possível estimar a quantidade de ovos e larvas que realmente podem ser retidos e posteriormente recrutados.
 - ✓ O MBI não possibilitou controlar a taxa de mortalidade em seus estágios iniciais.

Os resultados obtidos com o presente trabalho ajudaram a compreender a influência da hidrodinâmica local no transporte de ovos e larvas de corvina, de forma a garantir uma melhoria na escolha das amostragens de campo, com a relação do local para amostrar de acordo com a época e local de desova.

Apesar da relevância desse trabalho, faz-se necessário alguns avanços, as seguintes sugestões são apresentadas:

- Compatibilização dos passos de tempo das saídas do modelo hidrodinâmico para posterior acoplamento ao modelo biológico;
- Implementação de IBM tridimensional, para avaliar o transporte das larvas na colna d'água e entrada dos organismos no estuário pela cunha salina;
- Calibração e validação do modelo biológico para o período da simulação;
- Utilizar alguma ferramenta acoplada ao MBI que considere a mortalidade natural dos ovos e larvas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adlandsvik B., A.C. Gundersen, J.K.H. Nedreaas, A.Stene e O.T.Albert. 2004. Modelling the advection and diffusion of eggs and larvae of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in the north-east Artic. *Fisheries Oceanography*, 13:403-415.

Albuquerque, C.Q., 2003. Validação, idade e crescimento larval inicial de corvina, *Micropogonias furnieri*, no estuário da Laguna dos Patos e área adjacente. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica. Fundação Universidade Federal de Rio Grande. 94 p.

Albuquerque, C.Q. 2008. Bionomia da corvina *Micropogonias furnieri* no extremo sul de sua área de ocorrência, através da análise química de otólitos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biológica. Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS. Brasil.

Allain G., P. Petitgas, P. Grellier e P. Lazure. 2003. The selection process from larval to juvenile stages of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay investigated by Lagrangian simulations and comparative otolith growth. *Fisheries Oceanography*, 12 (4/5): 407-418.

Bakun, A., D.R. McLain e F. Mayo. 1974. The mean annual cycle of coastal upwelling off western North America as observed from surface measurements. *Fisheries Bulletin*, U.S., 72:843-844.

Braverman, M.S., M.E. Acha, D.A. Gagliardini, M. Rivarossa. 2009. Distribution of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*, Desmarest 1823) larvae in the Rio de la Plata estuarine front. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. doi:10.1016/j.ecss.2009.02.018.

Calazans, D. 1984. Penetração de pós-larva do camarão-rosa *Penaeus paulensis* no estuário da Laguna dos Patos. In: Resumos do II Simpósio Brasileiro sobre Recursos do Mar. Rio de Janeiro.

Castello, J.P. 1986. Distribucion, crecimiento y maduración sexual de la corvina juvenil (*Micropogonias furnieri*) en el estuario de la Laguna dos Patos, Brasil. *Physis*, Buenos Aires, 44 (106): 21-36.

Chao, L. N., Pereira, L.E., e J.P. Vieira. 1985. Estuarine fish community of the dos Patos Lagoon, Brazil. A baseline study. Chap 20. 429-450. In: A. Yanez-Arancibia (Ed.) Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration. DR(R) UNAM Press Mexico, 654 p.

Costa, C. S. B., Seeliger, U., e P.G. Kinas. 1988. The effect of wind velocity and direction on the salinity regime in the Patos Lagoon estuary. *Ciência e Cultura*. (São Paulo) 40(9):909-912.

D'Incao, F. 1991. Pesca e biologia de *Penaeus paulensis* na Laguna dos Patos, RS. *Atlântica, Rio Grande*, 13(1): 159-169.

Davis T.L.O. e V.D. Lyne. 1994. Dispersal of the larval stage of southern Bluefin Tuna *Thunnus maccoyii*, in the East Indian Ocean. In: Sammarco, P W and Heron, M L (Eds.). *The Bio-Physics of Marine Larval Dispersal*. Washington, Dc, USA: Agu, (Ch.7): 137-148 57 refs, illus.

Doney, S.C., I. Lima, K. Lindsay, J.K. Moore, S. Dutkiewicz, M.A.M. Friedrichs e R.J. Matear. 2001. Marine Biogeochemical Modeling: Recent advances and future challenges. *Oceanography* 14(4):93:107.

Epifanio, C.E. 1995. Transport of blue crab (*Callinectes sapidus*) larvae in the waters off Mid-Atlantic states. *Bulletin of Marine Science*, 57(3):713-725.

Fernandes, E.H.L., Tapia I.M., Dyer K.R. e O.O. Möller. 2004. The attenuation of tidal and subtidal oscillations in the Patos Lagoon estuary. *Ocean Dynamics*, 54, 348-359.

Fernandes EHL, Dyer KR, Möller OO, Niencheski LFH (2002).The Patos Lagoon hydrodynamics during an El Niño event(1998). *Continental Shelf Research* 22: 1699–1713.

Gallego, A., North, E.W., Petitgas, P. 2007. Introduction: status and future of modeling physical–biological interactions during the early life of fishes. *Marine Ecology Progress Series*. 347:121–126.

Garcia, C.A.E. 1998. O ambiente e a biota do estuário da Lagoa dos Patos. In: Seeliger, U. Odebrecht, C. e Castello, J.P. (Eds) *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*. Editora Ecocientia. Rio Grande. 326p.

Garcia, C.A.E. 1998. Características Hidrográficas. *In*: Seeliger, U. Odebrecht, C. e Castello, J.P. (Eds) Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Editora Ecocientia. Rio Grande. 326p.

Garcia, A. M.; Vieira, J. P. e K.O., Winemiller. 2001. Dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil) during cold and warm ENSO episodes. *Journal of Fish Biology*. 59:1218-1238.

Govoni, J.J., 1993. Flux of larval fish across frontal boundaries: examples from the Mississippi River Plume and the Western Gulf Stream Front in winter. *Bulletin of Marine Science*, 53, 538-566.

Grimm, V. e S.F. Railsback. 2005. Individual-based Modelling and Ecology. Princeton, *Princeton University Press*. 480 p.

Haimovici, M; Martins, A. S. & Vieira, P. C. 1996. Distribuição e abundância de peixes demersais sobre a plataforma continental do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*. 56(1): 27-50.

Harden-Jones, F.R. 1968. *Fish Migration*. Arnold. London. 325 pp.

Hill, A.E. 1991. Advection-diffusion-mortality solutions for investigating pelagic larval dispersal. *Marine Ecology Progress Series*, 70:117-128.

Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe. *Rapports et Procès-verbaux des Rèunions, Conseil international pour l'Exploration de la Mer* 20:1-1228.

Huggett, J.A., Fre'ón, P., Mullon, C. e P. Penven. 2003. Modelling the transport success of anchovy *Engraulis encrasicolus* eggs and larvae in the southern Benguela: the effect of spatio-temporal spawning patterns. *Marine Ecology Progress Series*. 250:247–262.

Ibagy, A.S. e C. Sinque. 1995. Distribuição de ovos e larvas de Sciaenidae (Perciformes-Teleostei) da região costeira do Rio Grande do Sul-Brasil. *Arquivos Biologia e Tecnologia* 38 (1), 249–270.

Jones, M. B. e C. E. Epifanio. 1995. Settlement of brachyuran megalopae in Delaware Bay: an analysis of time series data. *Marine Ecology Progress Series. Ser* 125:67–76

Kjerfve, B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: *Estuarine Variability*. Ed. D. A. Wolfe. pp. 63-81. Academic Press.

Kjerfve, B. e K.E. Magill. 1989. Geographic and hydrographic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine Geology*. 88: 187-199.

Lyne D.V. e R.E. Thresher. 1994. Dispersal and advection of *Macrurus novaezelandiae* (Gadiformes: Merlucciidae) larvae off Tasmania: Simulations of the effects of physical forcing on larval distribution. In: Sammarco P.W. e M.L. Heron (eds.) *The Bio-Physics of Marine Larval Dispersal*. American Geophysical Union. Washington, pp 109-136.

Macchi, G.J. e H.E. Christiansen. 1992. Estudio histológico del ciclo reproductivo em hembras de la corvine rubia (*Micropogonias furnieri*). Análisis de la estructura madurativa en distintas localidades del area bonaerense. *Frente Marítimo*. 11, 47-56.

Macchi, G.J., Acha, E.M. e C.A. Lasta. 1996. Desove y fecundidad de la corvina rubia *Micropogonias furnieri* Desmarest, 1823 del estuario del Río de la Plata, Argentina. *Boletín do Instituto Espanhol de Oceanografía*. 12 (2), 99-113.

Marques, W.C. 2009. Estudo da dinâmica da pluma costeira da Lagoa dos Patos. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Oceanografia Física, Química e Geológica. Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande, RS, Brasil. 284p.

Marteinsdottir G, Steinarsson A (1998) Maternal influence on the size and viability of Iceland cod *Gadus morhua* eggs and larvae. *Journal of Fish Biology* .52(6):1241–1258

- Martins, I.M.S., Dias, J.M., Fernandes, E.H.L. e J.H. Muelbert. 2007. Numerical modelling of fish eggs dispersion at the Patos Lagoon estuary -Brazil. *Journal of Marine Systems*. 68: 537-555
- McConaughy, J.R. 1988. Export and reinvasion of larvae as regulators of estuarine decapod populations. *American Fisheries Society Symposium* .3: 90-103.
- Möller, O.O., Lorenzetti, J.A., Stech, J.L. e M.M. Mata. 1996. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. *Continental Shelf Research* 16, 35–351.
- Möller, O.O. e P. Casting. 1999. Hydrographical Characteristics of the Estuarine Area of Patos Lagoon (30°S, Brazil). In: Perillo, G.M.E.; Piccolo, M.C.; Quivira, M.P. (Eds.), *Estuaries of South America*. Springer-Verlag, pp. 83-100.
- Möller, O.O., Castaing, P., Salomon, J.C. e P. Lazure. 2001. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos Lagoon. *Estuaries* 24 (2), 297–311.
- Möller Jr., O.O., Castello, J.P. e A.C. Vaz. 2009. The effect of river discharge and winds on the interannual variability of the Pink Shrimp *Farfantepenaeus paulensis* production in Patos Lagoon. *Estuaries and Coasts*. 32:787-796.
- Monteiro, I.O. 2007. Modelagem barotrópica da pluma da Lagoa dos Patos. Trabalho de graduação do curso de Oceanologia. Universidade Federal de Rio Grande. Rio Grande, RS, Brasil.
- Muelbert, J. H. 1986. Estrutura e dinâmica do ictioplâncton da área de canal, no estuário da Lagoa dos Patos, RS, no período outono/81 a verão/83. Tese de Mestrado, FURG, 88p.
- Muelbert, J.H. e G. Weiss. 1991. Abundance and distribution of fish larvae in the channel area of the Patos Lagoon Estuary, Brazil. In: Larval fish recruitment and research in the Americas: Proceedings of the thirteenth annual larval fish conference. R. Hoyt (Ed.). *NOAA Technical Report. NMFS*, 95: 43-54.

Mullon, C., Cury, P. e P. Penven. 2002. Evolutionary individual-based model for the recruitment of anchovy (*Engraulis capensis*) in the southern Benguela. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.*, 59,910-922.

Norcross, B.L. e Shaw, R.F. 1984. Oceanic and estuarine transport of fish eggs and larvae: a review. *Transactions of the American Fisheries Society.* 113: 153-165.

Okubo, A. 1994. The role of diffusion and related physical processes in dispersal and recruitment of marine populations. In: Sammarco, P. W. & M.L. Heron (eds.) *The Bio-Physics of Marine Larval Dispersal.* American Geophysical Union. Washington, pp 5-32.

Parada C., C.D. Van Der Lingen, C. Mullon e P.Penven. 2003. Modelling the effect of buoyancy on the transport of anchovy (*Engraulis capensis*) eggs from spawning to nursery grounds in the southern Benguela: an IBM approach. *Fisheries Oceanography*, 12(3):170-184.

Pearcy, W.G. e Myers, S.S. 1974. Larval fishes of Yaquina Bay, Oregon: a nursery ground for marine fishes? *Fishery Bulletin., US*, 72: 201-213.

Pedersen, O.P., Nilssen, E.M., Jorgensen, L.L. e D. Slagstad. 2006. Advection of the Red King Crab larvae on the coast of North Norway—A Lagrangian model study. *Fisheries Research*, 79: 325-336.

Roman, M. e W. Boicourt. 1999. Dispersion and recruitment of crab larvae in the Chesapeake Bay plume: physical and biological control. *Estuaries*, 22:563-574.

Sentchev A. e K. Korotenko. 2004. Stratification and tidal currents effects on larval transport in the eastern English Channel: Observations and 3D modelling. *Environmental fluid Mechanics*, 4:305-331.

Shaw, R.F., Rogers, B.D., Cowan, Jr., J.H. e W.H. Herke. 1988. Ocean-estuary coupling of ichthyoplankton and nekton in the northern Gulf of Mexico. *American Fisheries Society Symposium*. 3: 77-89.

Shanks, A.L. 1988. Further support for the hypothesis that internal waves can cause shoreward transport of larval invertebrates and fish. *Bulletin of the United States Fish Commission*. 86(4): 703-714.

Sinque, C. e J.H. Muelbert. 1997. Ichthyoplankton. In: Seeliger, U., C. Odebrecht e J.P. Castello (Eds.). *Subtropical Convergence Environments: the Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Berlin. Springer-Verlag. p. 51-56.

Skogen, M.D., F. Shannon e J.E. Stiansen. 2003. Drift patterns of anchovy *Engraulis capensis* larvae in the southern Benguela, and their possible importance for recruitment. *African Journal of Marine Science*. 25:37-47.

Vaz, A.C. 2005. Modelagem do Transporte e Retenção Larval da Anchoita *Engraulis anchoita* na Plataforma Continental do Atlântico Sudoeste. Dissertação de mestrado. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Brasil.

Vaz, A.C., Möller Jr., O.O. e T.L. Almeida. 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios e afluentes da Laguna dos Patos. *Atlântica*, 28(1): 13-23.

Vazzoler A.E.A.M., 1991. Síntese de conhecimentos sobre a biologia da corvina, *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823), da costa do Brasil. *Atlântica*. 13, 55- 74.

Vieira, J.P. e J.A. Musick. 1994. Fish faunal composition in warmtemperate and tropical estuaries of western Atlantic. *Atlântica*. 16 (1), 31–53.

Vieira, J.P., Castello, J.P., 1997. Fish Fauna. In: Seeliger, U., Odebrecht, C., Castello, J.P. (Org.). *Subtropical Convergence Environments. The coast and sea in the southwestern Atlantic*. New York: Springer-Verlag, 56–61.

Vieira, E.F. e Rangel, S.R.S. 1988. Planície costeira do Rio Grande do Sul. Geografia, física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica. Porto Alegre. Sagra. 256pp.

Weinstein, M.P. 1979. Shallow marsh habitats as primary nurseries for fishes and shellfishes, Cape Fear River, North Carolina. *Marine Biology.*, 58: 227-243.

Weiss, G. 1981. Ictioplanton del Estuario de Lagoa dos Patos, Brasil. Universidad Nacional de La Plata. Tese de Doutorado. 164p.

Yañes-Arancibia, A. 1978. Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en las lagunas costeras con boca efímeras del Pacífico de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autonoma de México. México.

Zenger, H.H. e Agnes, J.L. 1977. Distribuição do camarão-rosa (*Penaeus brasiliensis* e *Penaeus paulensis*) ao longo da costa sudeste e sul do Brasil. *Série de Documentos Técnicos SUDEPE-PDP*. 21:1-105.